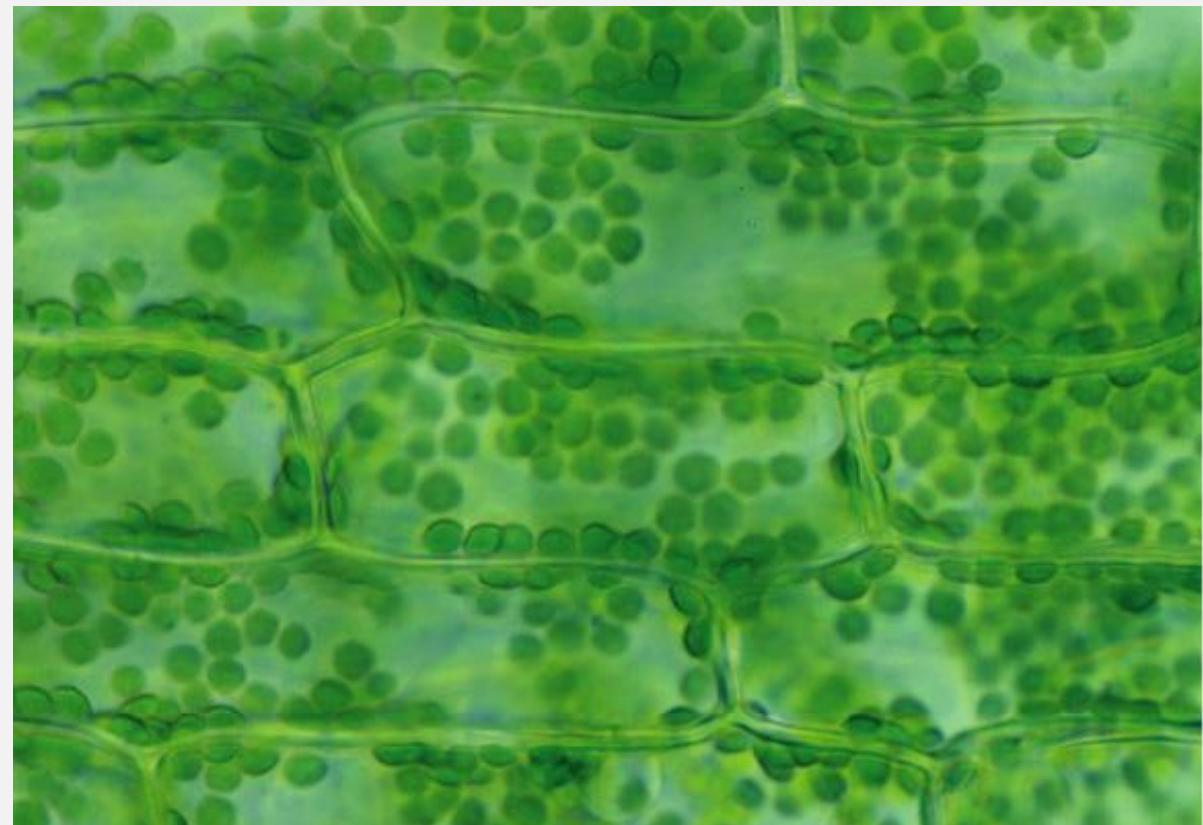




UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

# Plastidi: generalità e classificazione

Prof. **Elisabetta Onelli**

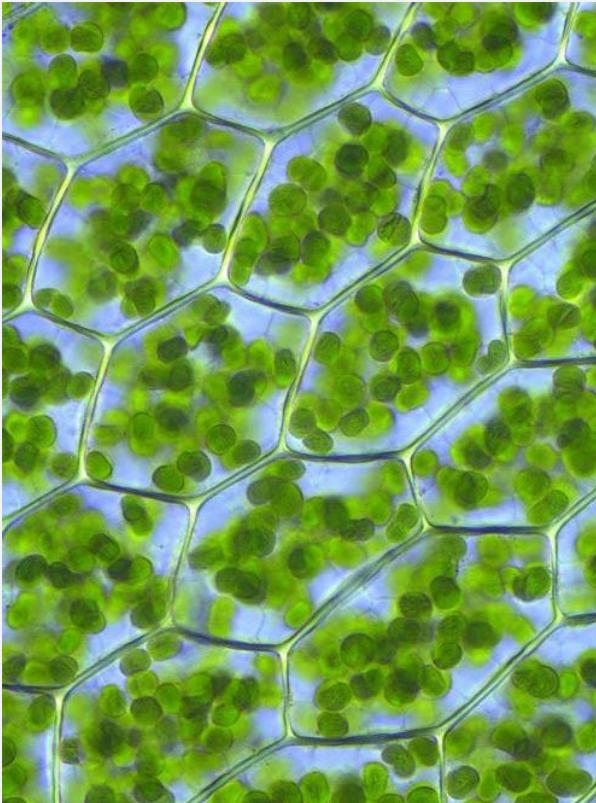


10  $\mu\text{m}$

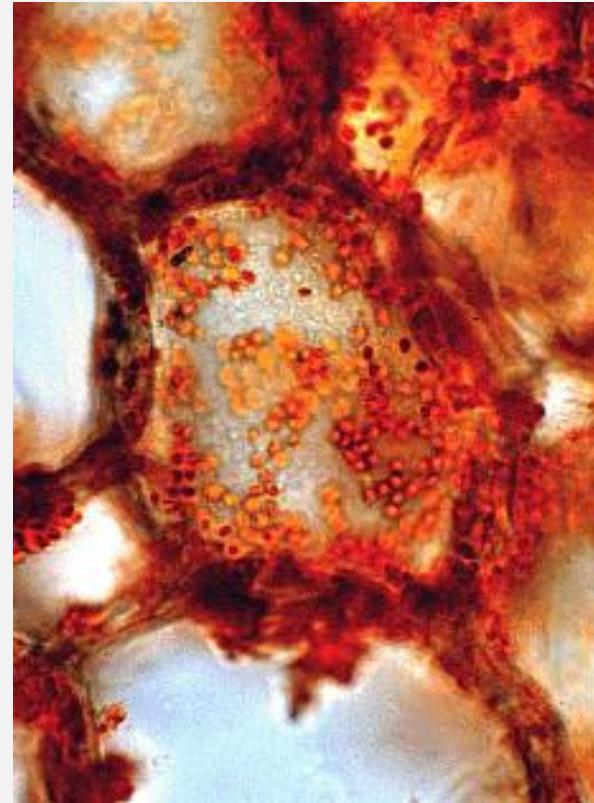
# PLASTIDI

**Sono tipici delle cellule vegetali.  
Come per i mitocondri, ci troviamo di fronte ad un organulo semi autonomo.  
Sono di diverso tipo e svolgono svariate funzioni**

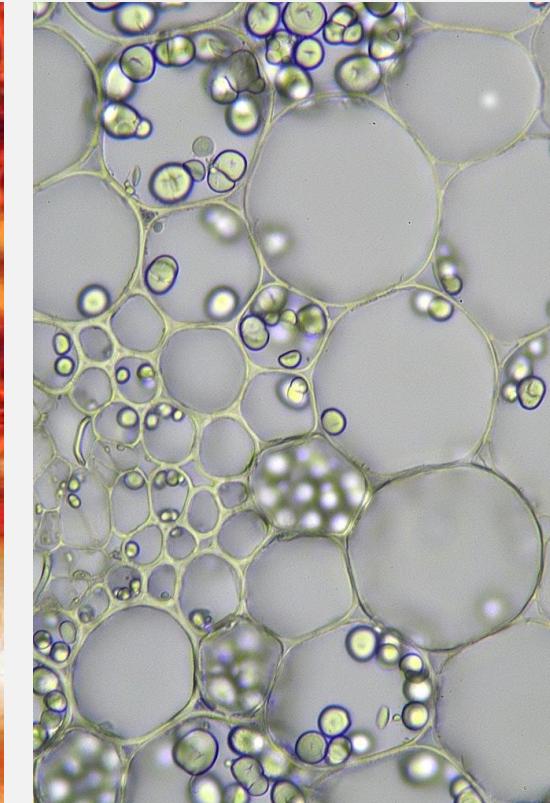
Cloroplasti



Cromoplasti



Leucoplasti



# Cloroplasti delle piante terrestri

Li troviamo dalle alghe alle piante a fiore e possono essere in numero e forme diverse

## FUNZIONE FOTOSINTETICA

Sono visibili al Microscopio Ottico e nelle cellule di alcuni tessuti sono molto numerosi (40-50 per cellula nel mesofillo fogliare).

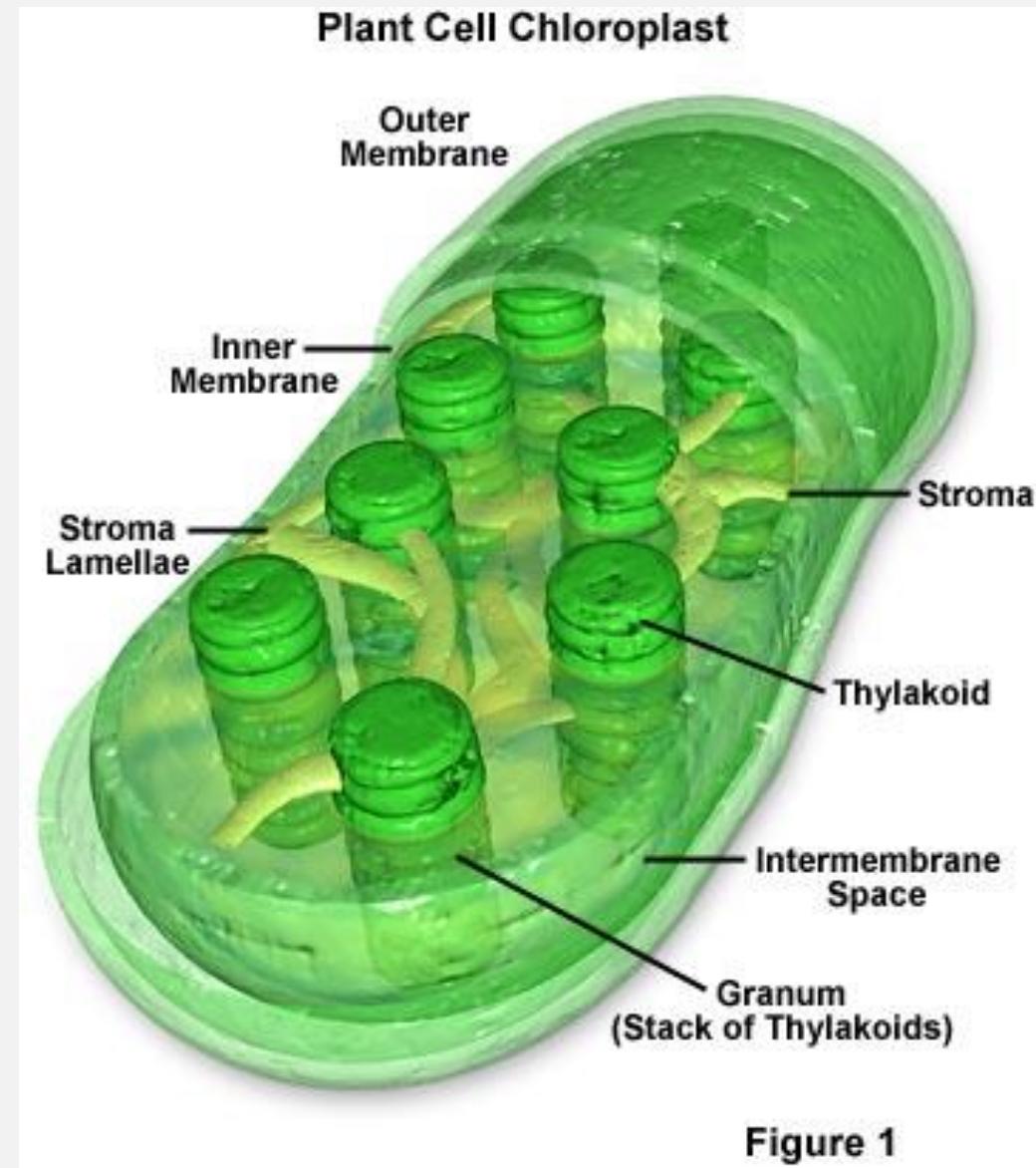
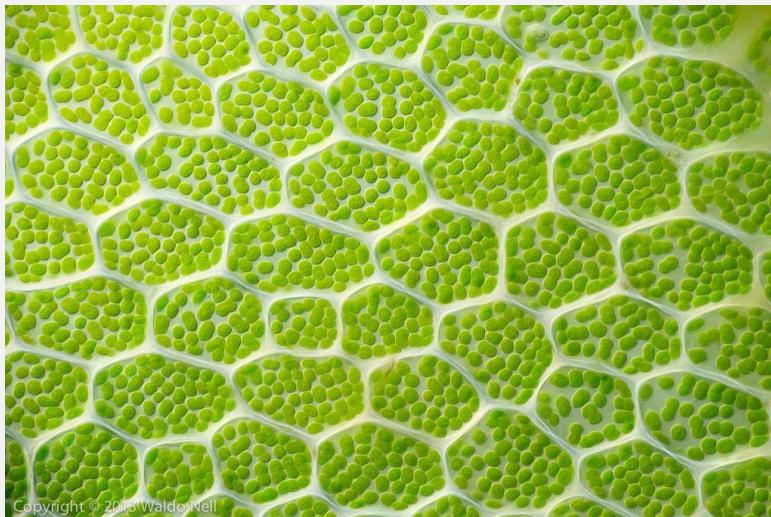
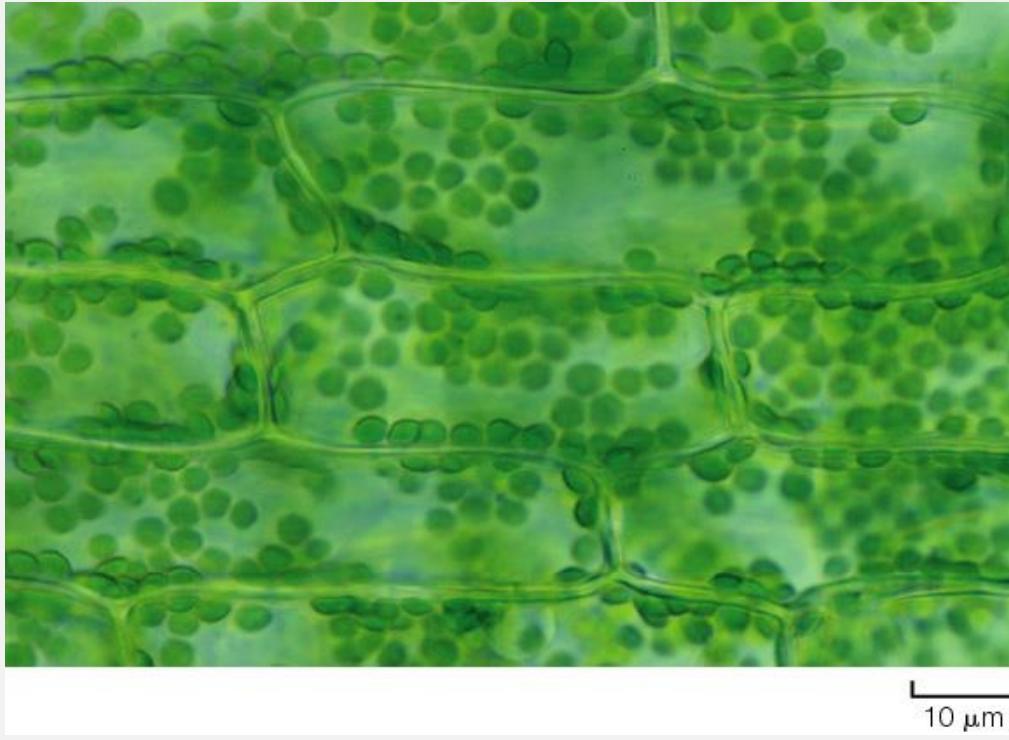


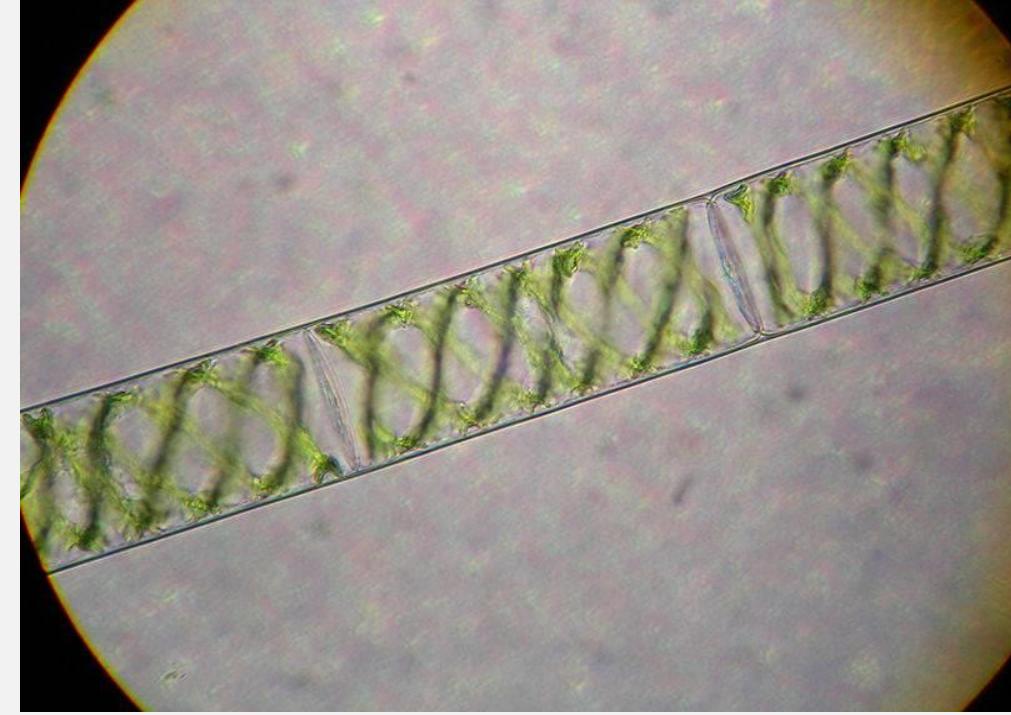
Figure 1

Presentano notevole variabilità di forma a *seconda del gruppo sistematico*

Mentre in tutte le piante terrestri i cloroplasti sono piccoli, lentiiformi ed in numero elevato in ogni cellula,



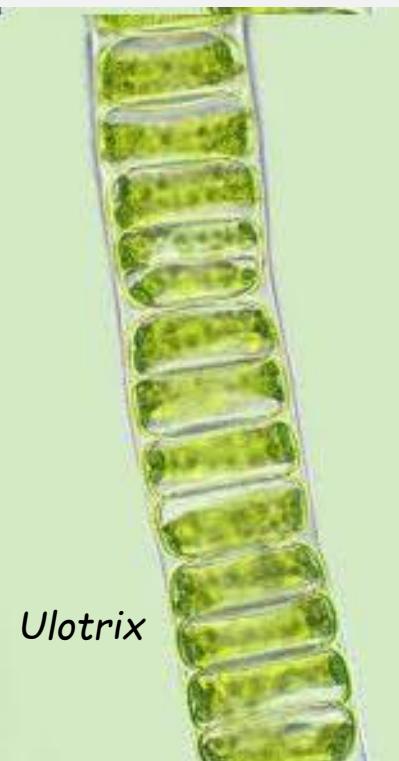
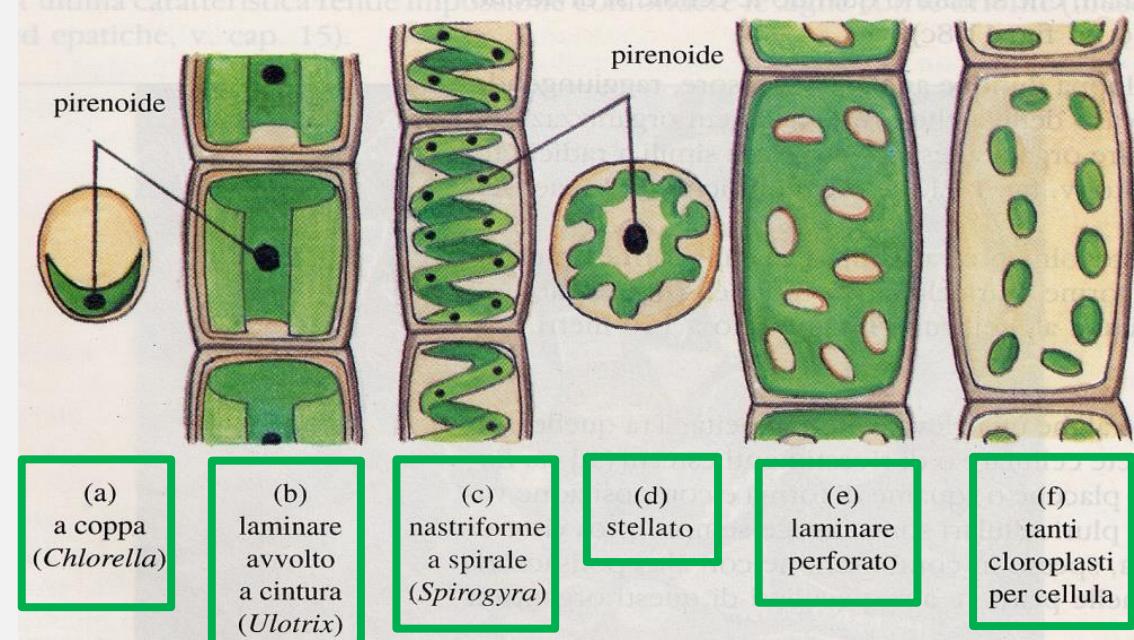
nelle alghe possono assumere dimensioni e forme caratteristiche come quella a spirale di *Spirogyra* in cui è presente un solo cloroplasto per cellula.



*La maggiore variabilità può essere osservata nei vari gruppi di alghe*



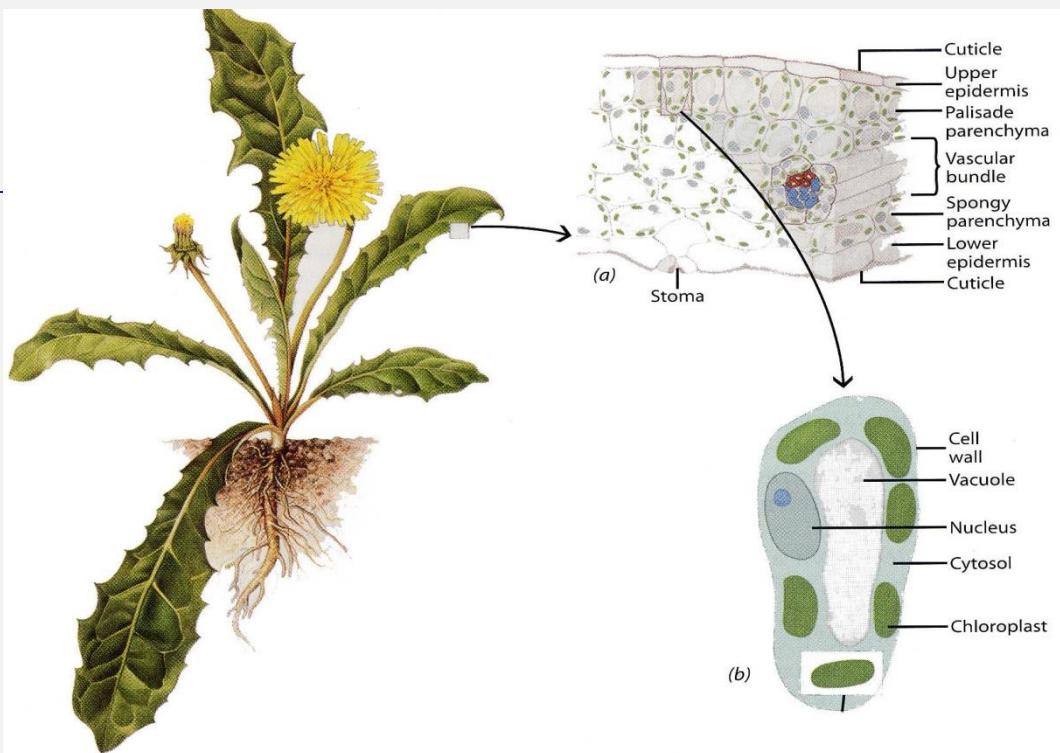
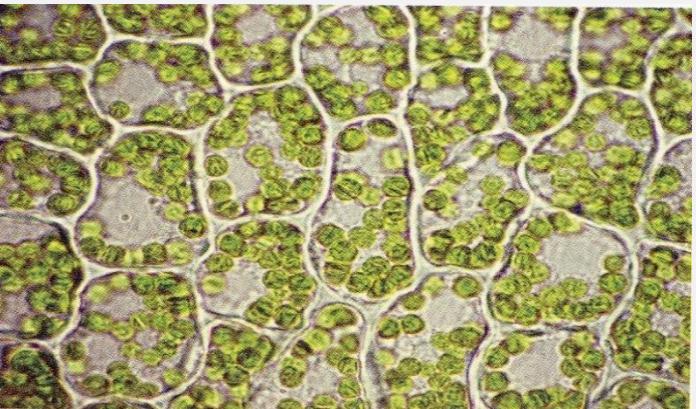
Nelle alghe possono essere singoli e molto grandi e avere forme molto diverse che hanno importanza tassonomica:



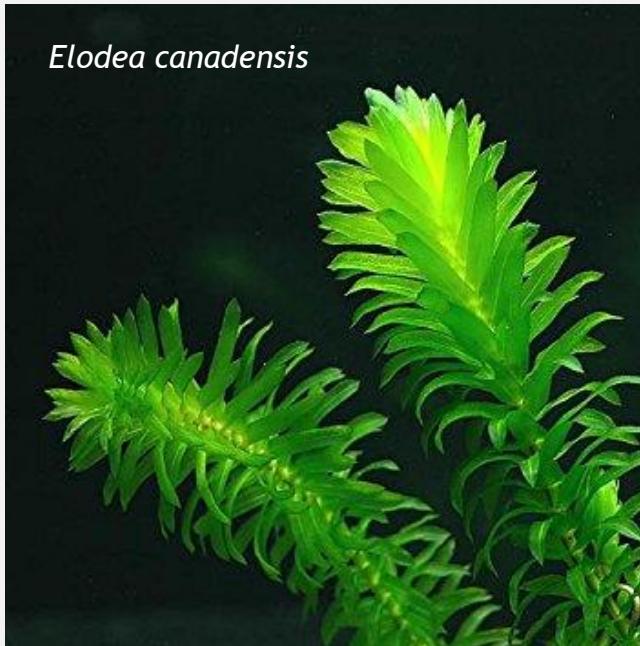


Nelle piante superiori sono sempre piccoli e numerosi tranne che nelle Anthocerotae (Briofite)

Muschio



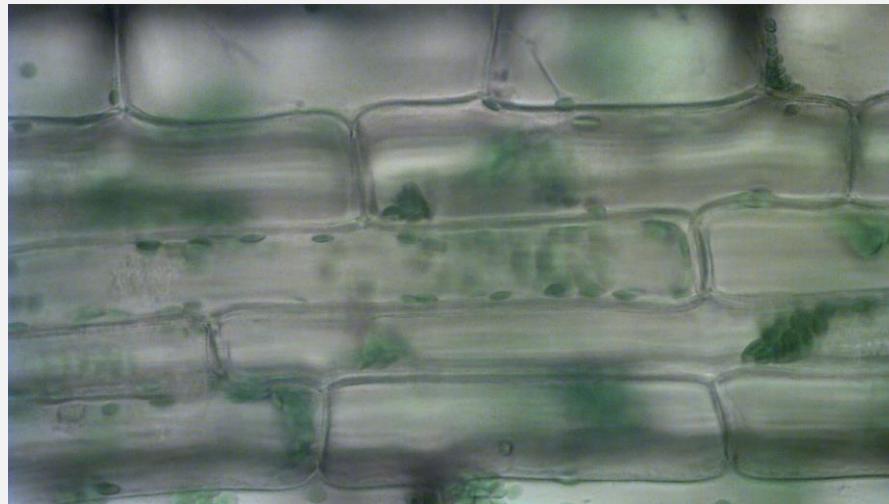
*Elodea canadensis*





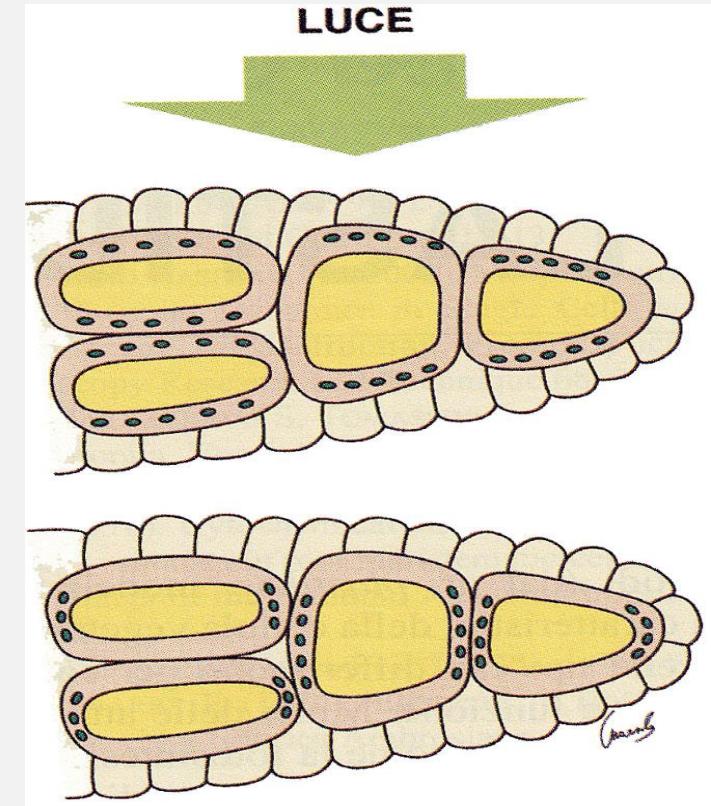
## Vantaggio evolutivo di avere molti cloroplasti:

- si possono muovere indipendentemente orientandosi a favore della radiazione luminosa:



Illuminazione moderata

Illuminazione eccessiva



- sviluppano una maggiore superficie disponibile per gli scambi di sostanze con il citoplasma

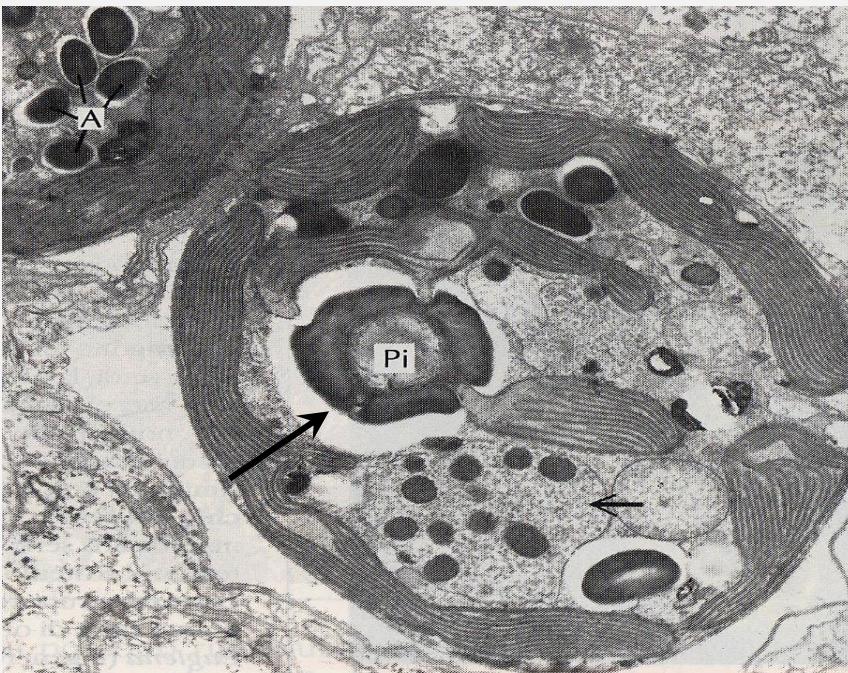


# I cloroplasti più antichi hanno uno o più corpuscoli elettrondensi: Pirenoide,

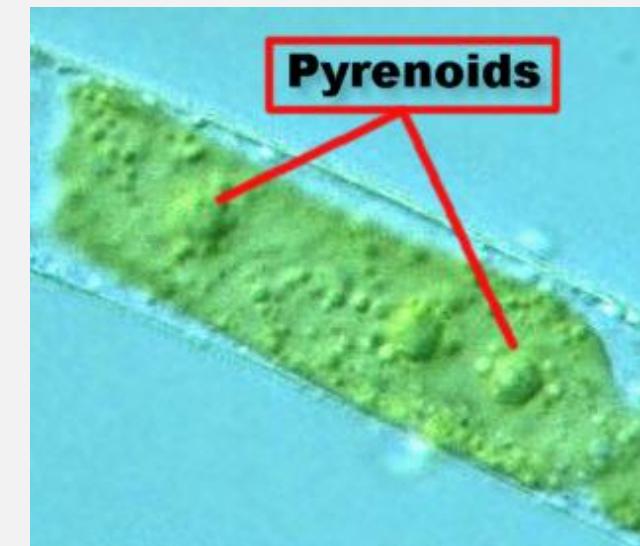
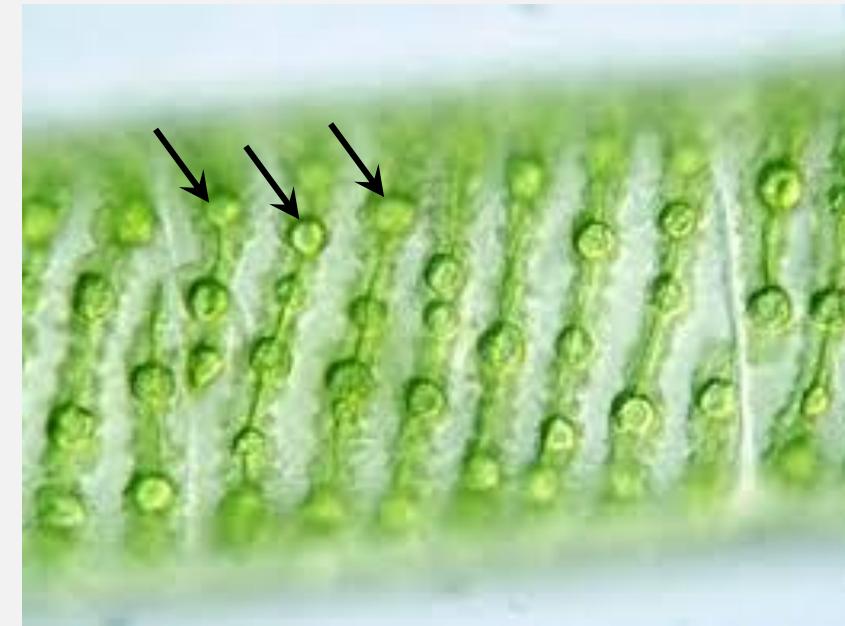
Nelle Alghe è presente il pirenoide.  
Nelle piante terrestri il carattere si perde e lo ritroviamo solo  
in *Anthoceros*

- **PIRENOIDE**: è caratteristico delle alghe e costituisce un centro specifico di organicazione della CO<sub>2</sub>. Esso contiene la RUBISCO, che catalizza la prima reazione di riduzione della CO<sub>2</sub> nella fase oscura della fotosintesi.

Favorisce inoltre il mantenimento di una elevata concentrazione di CO<sub>2</sub> che è problematica in ambiente acquatico.

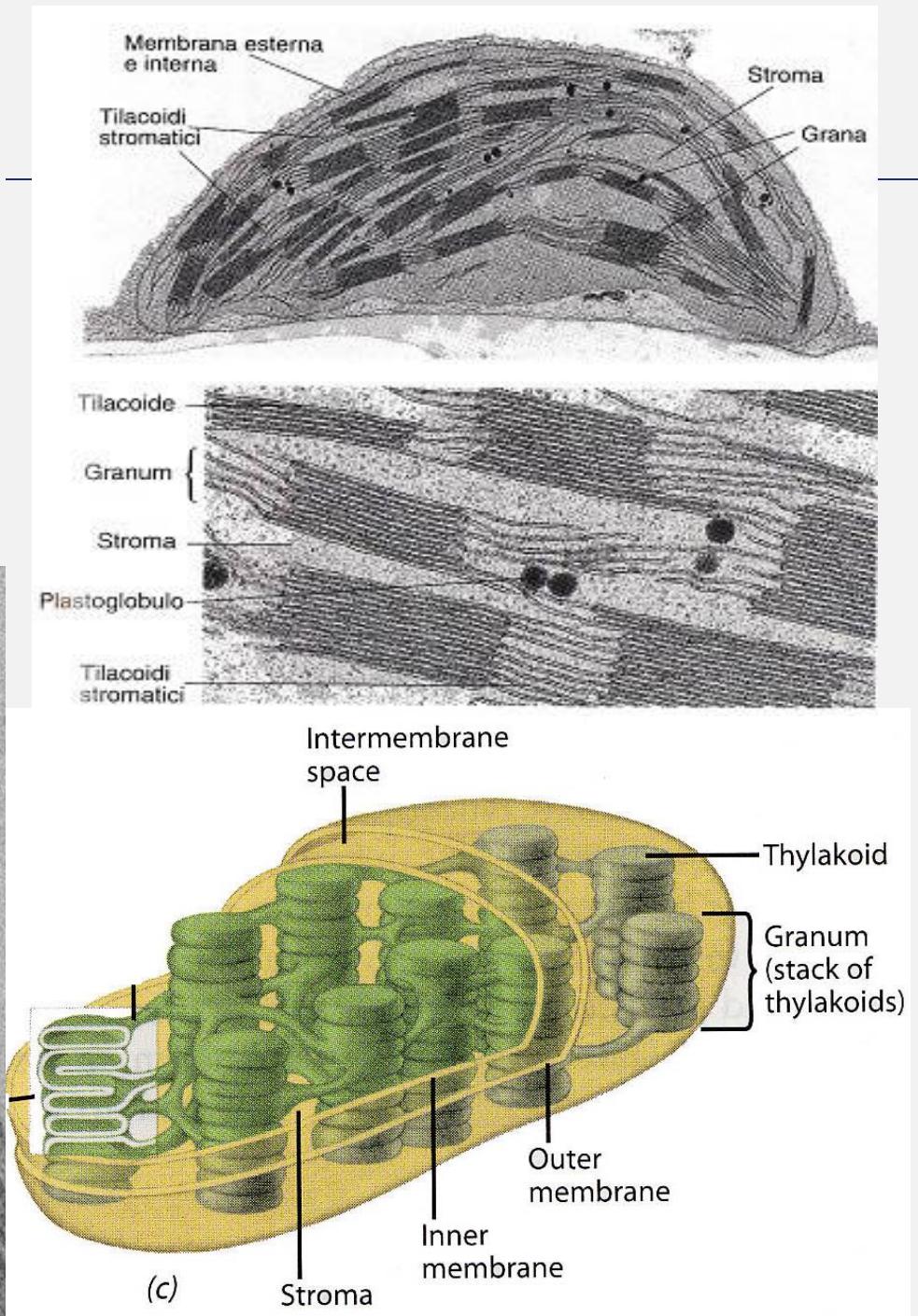
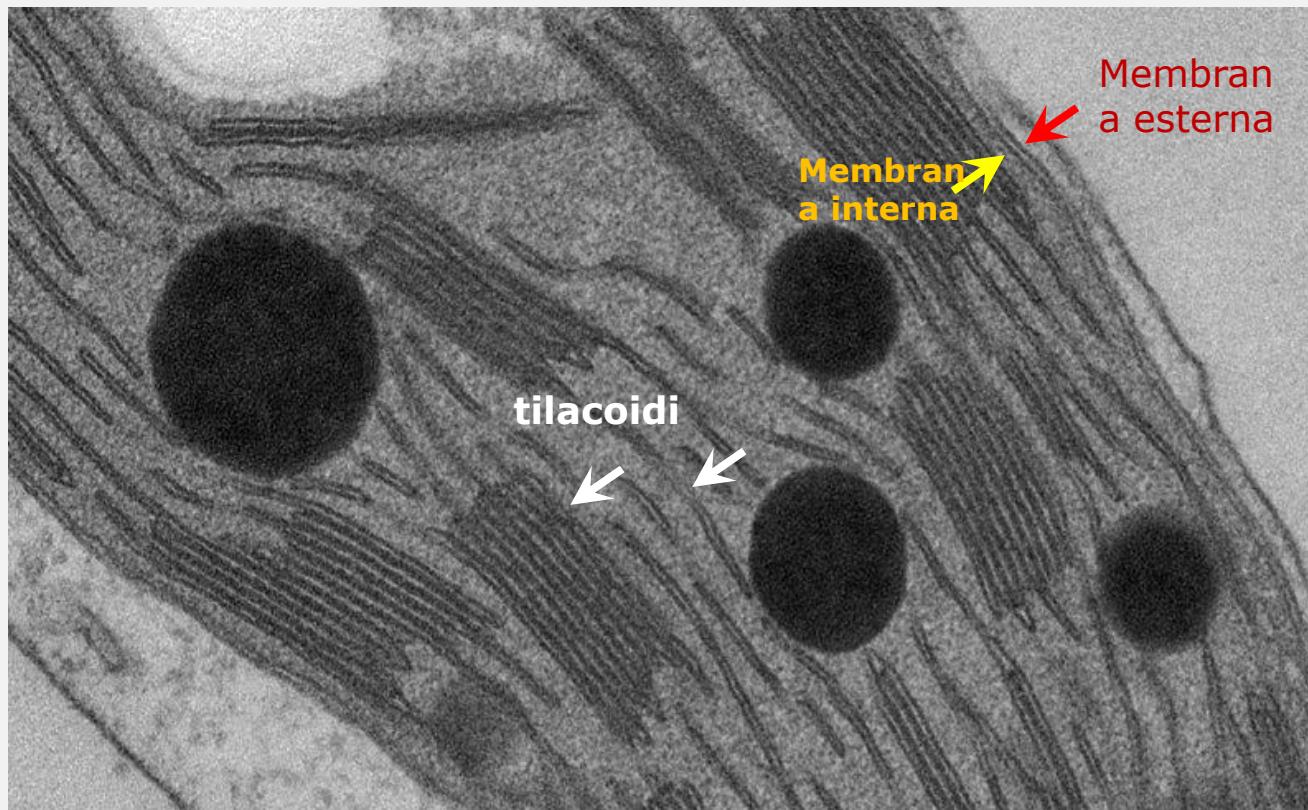


Esso inoltre è coinvolto nel processo di polimerizzazione degli zuccheri di riserva; nelle Alghe può essere circondato da membrane in continuità coi tilacoidi o circondato/attraversato da amido.



## Sono delimitati da **doppia membrana**:

- **membrana esterna**: con forma lineare e funzione di delimitare il plastidio. Ha anche funzione di riconoscimento e di importo di proteine citoplasmatiche
- **membrana interna**: si ripiega variamente a dare un sistema di sacchi appiattiti detti **TILACOIDI**.  
**E' altamente selettiva**



## Tilacoidi:

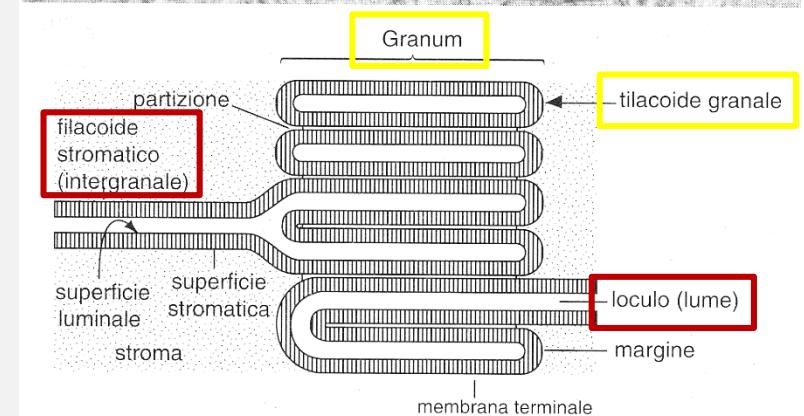
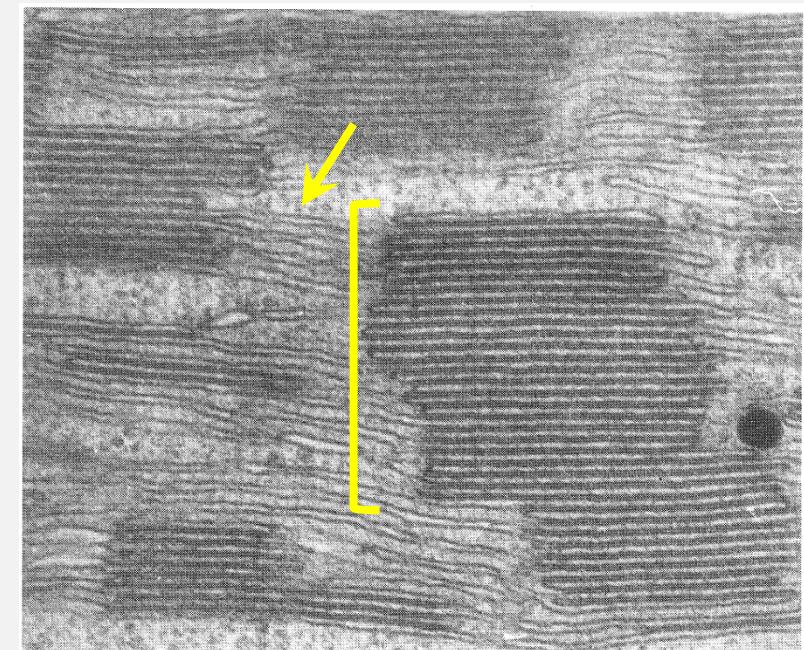
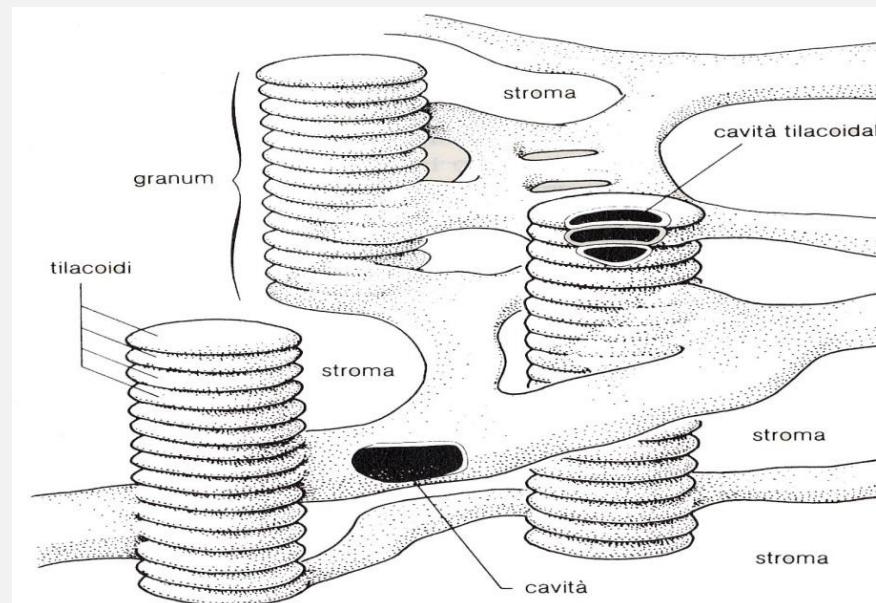
è il sistema di membrane interne su cui sono localizzati i pigmenti e i fattori coinvolti nella fase luminosa della fotosintesi.

Le membrane fotosintetiche formano un complesso di cisterne (**tilacoidi**) che possono essere:

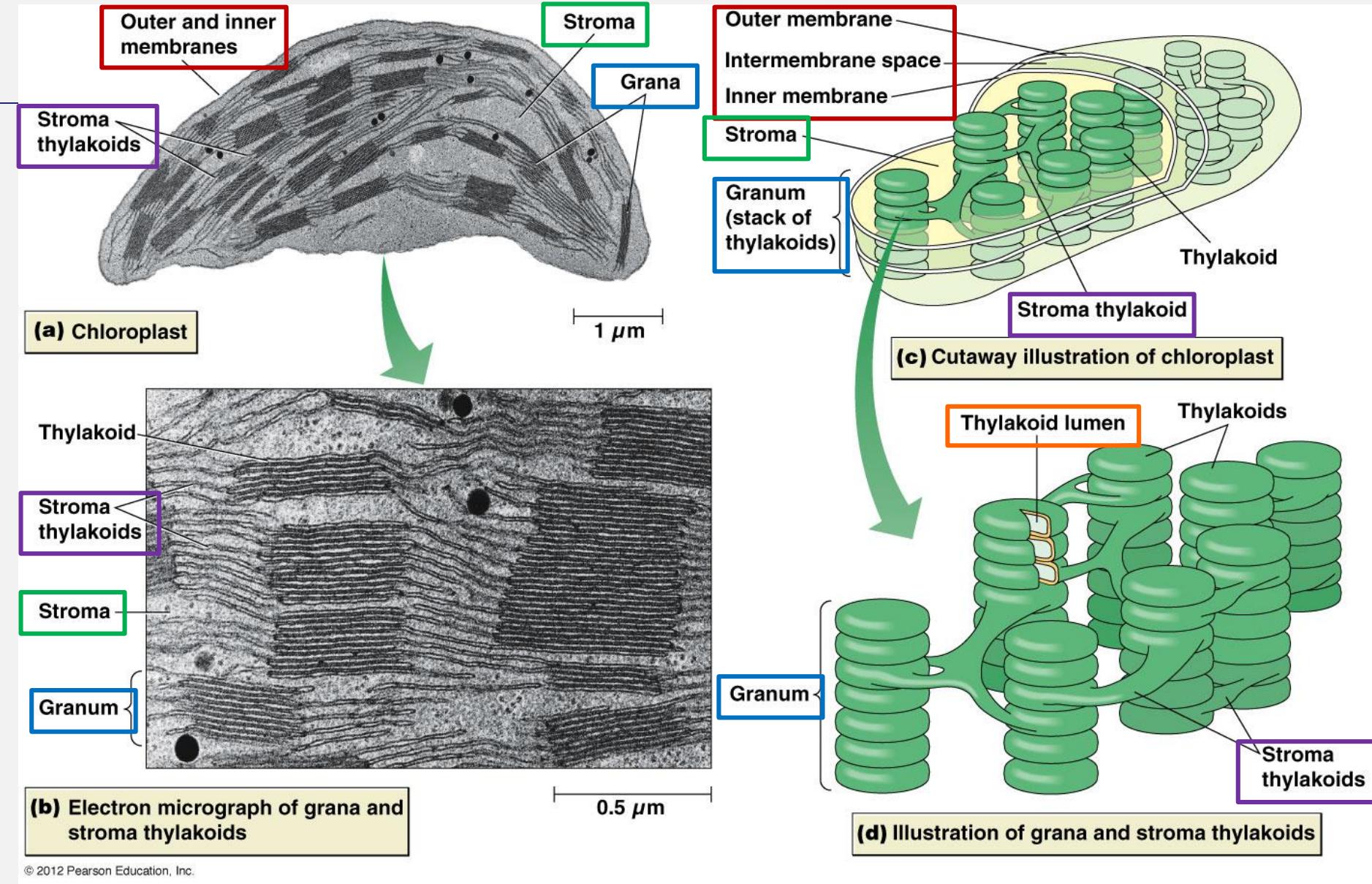
- associati a formare pile di cisterne dette **grana**
- liberi, con entrambe le superfici esposte verso lo stroma (**tilacoidi intergrana o stromatici**)

Grana e tilacoidi intergrana costituiscono un sistema di compartimenti interconnessi.

Racchiudono una singola camera interna definita **Lume**



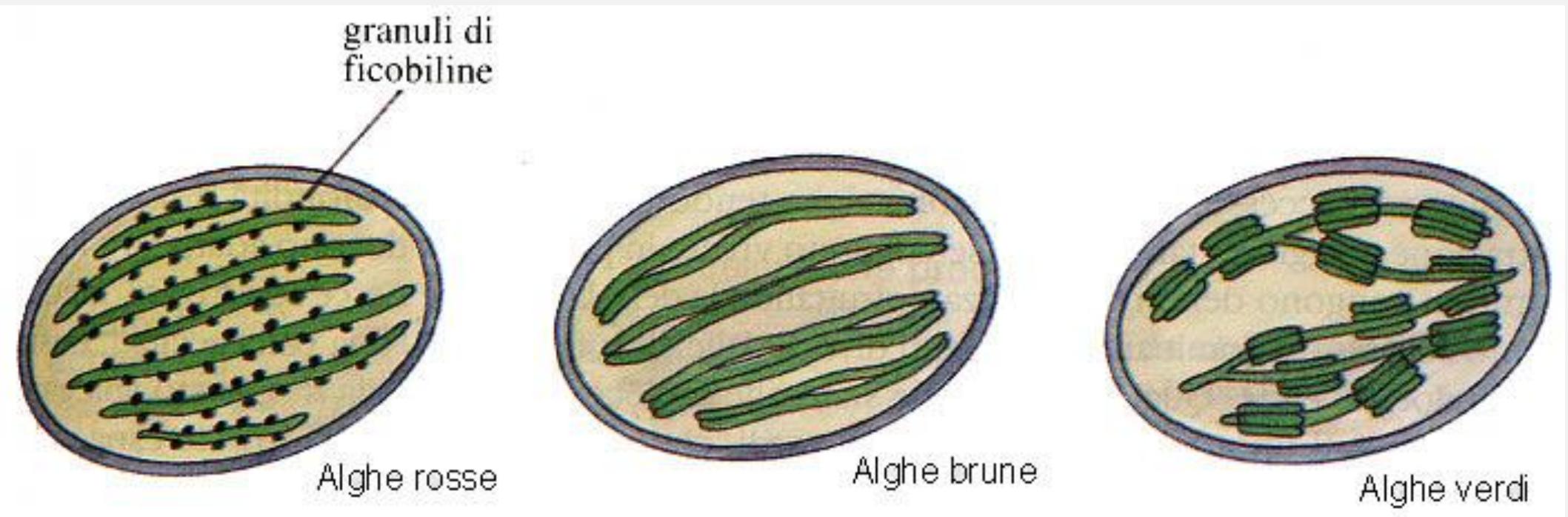
**Fig. 7.2. a)** Particolare del sistema tilacoidale di un cloroplasto maturo. **b)** Nomenclatura usata per distinguere le diverse regioni di questo. (Foto N. Rascio).



La matrice in cui sono immersi i tilacoidi è chiamata **stroma**.



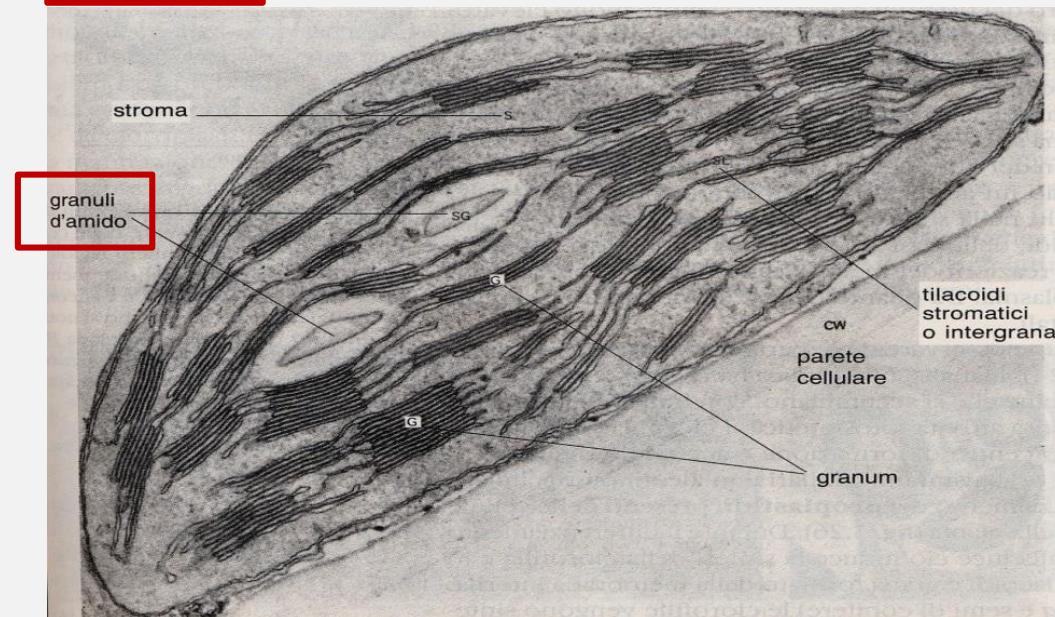
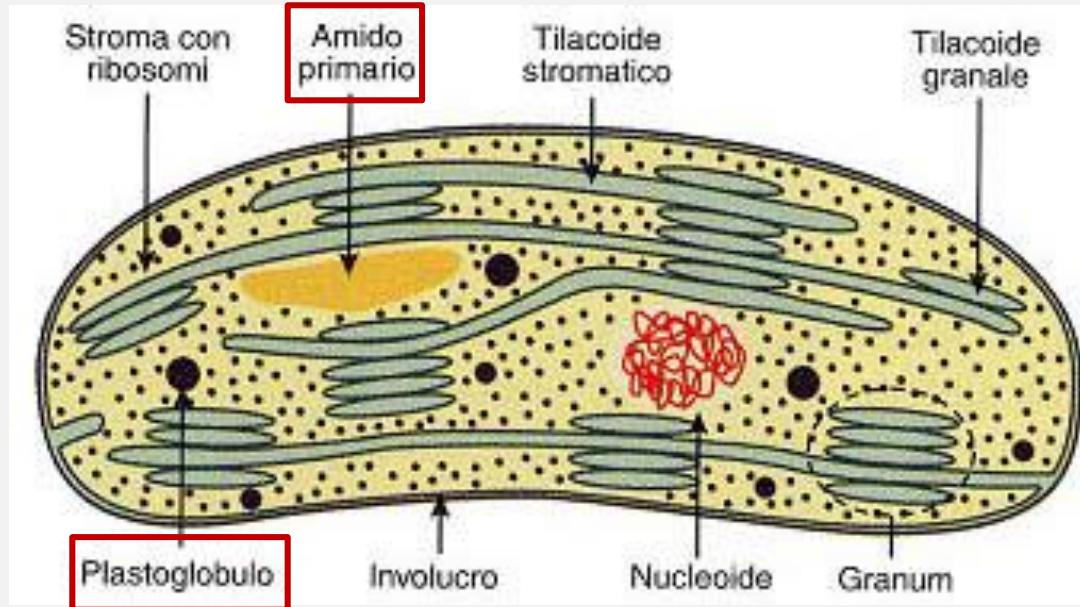
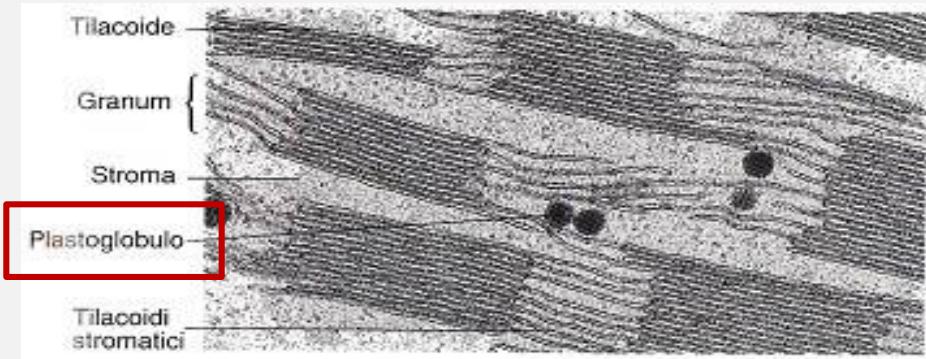
# L'organizzazione dei tilacoidi ha valore tassonomico nelle Alghe



**Stroma**: è la matrice in cui è immerso il sistema di membrane.

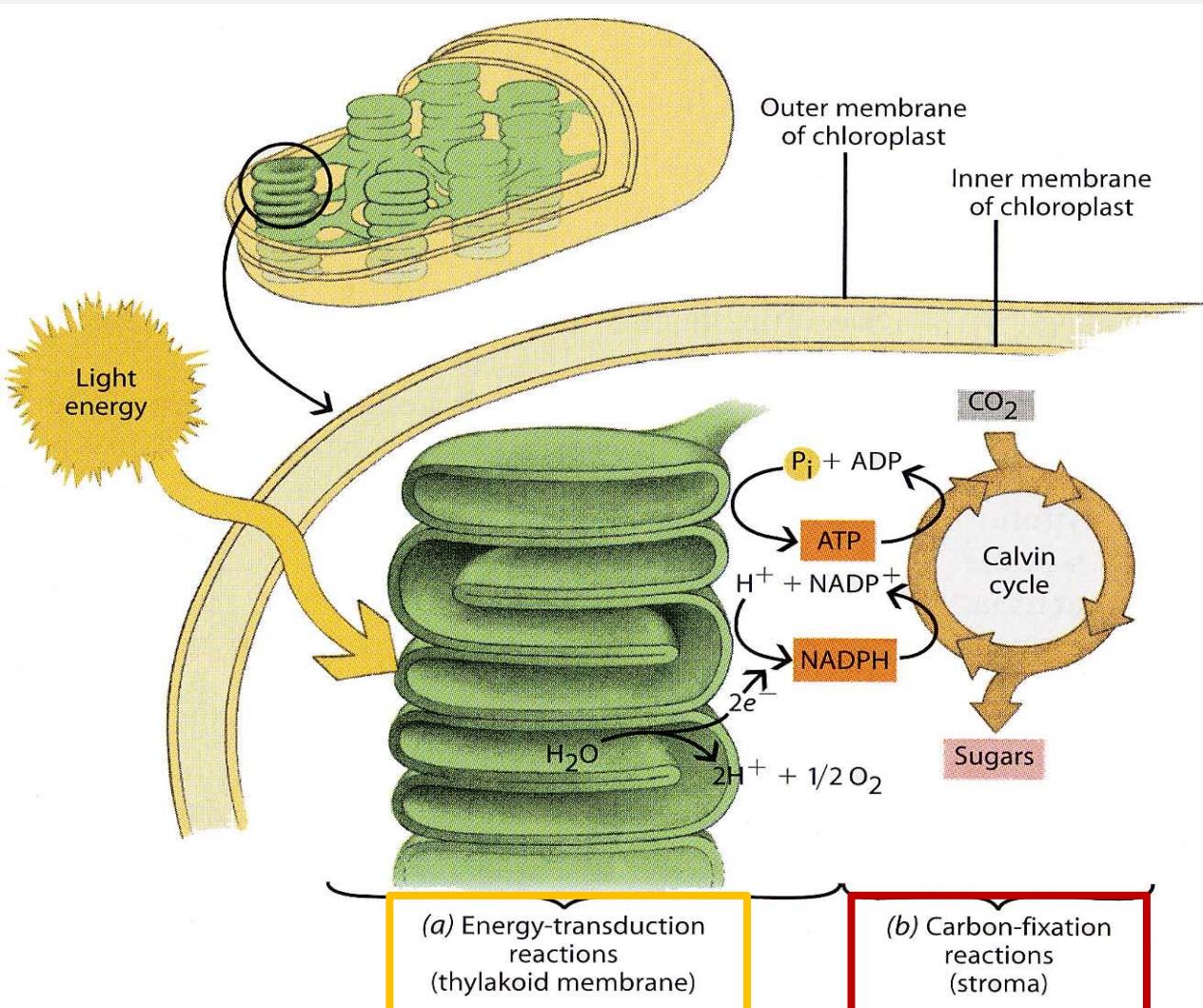
E' un compartimento idrofilo che contiene:

- Complessi enziamtici che intervengono nella **fase oscura della fotosintesi durante la fissazione della CO<sub>2</sub>.**
- Ribosomi 70S, simili a quelli mitocondriali e batterici.
- Filamento di DNA e RNA
- Sostanze di riserva:
  - amido primario
  - lipidi (plastoglobuli).



# Funzioni del cloroplasto:

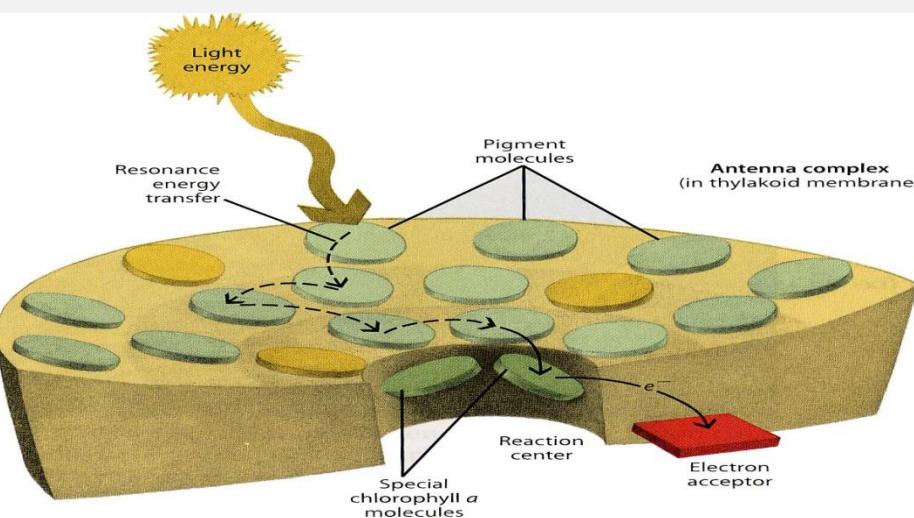
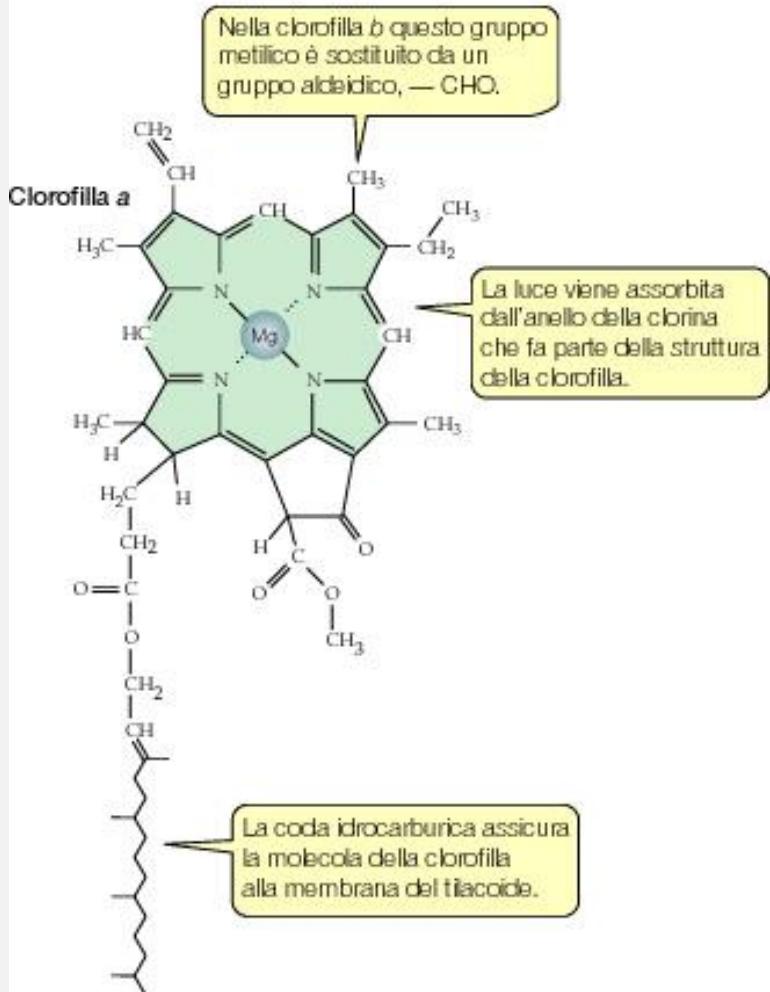
- Sono sede della fotosintesi



Sulle membrane tilacoidali avviene la fase luminosa durante la quale l'energia luminosa è convertita in energia chimica:  
ATP + NADPH

Nello stroma avviene la fase oscura durante la quale l'energia chimica (ATP + NADPH) prodotti nella fase luminosa vengono utilizzati per la fissazione della CO<sub>2</sub> e la formazione di glucosio.

Nel corso della fase luminosa, una serie di pigmenti, denominati **pigmenti antenna**, raccolgono l'energia luminosa e la trasferiscono al **centro di reazione** che è rappresentato da una **clorofilla a**.



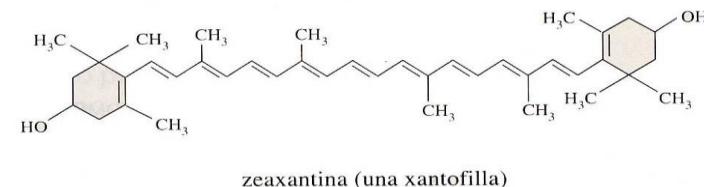
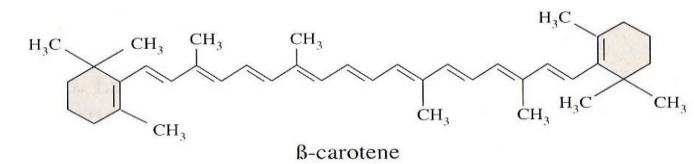
I pigmenti antenna possono essere clorofille (b,c,d)

**Alge rosse** → **Clorofilla a**  
**Clorofilla d**

**Alge brune** → **Clorofilla a**  
**Clorofilla c**

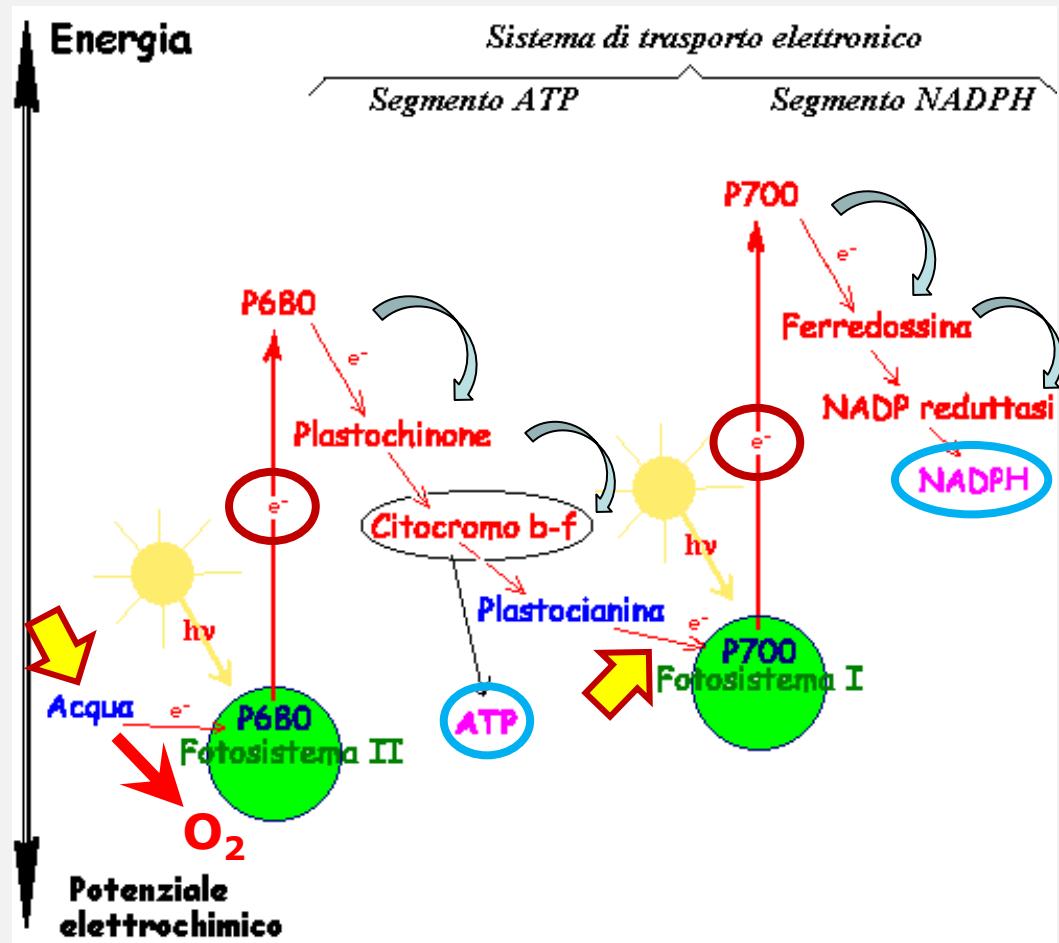
**Alge verdi** → **Clorofilla a**  
**Piante terrestri** → **Clorofilla b**

e carotenoidi.



Composti liposolubili (terpeni) che comprendono:  
Caroteni (contengono solo C e H)  
Xantofille (contengono anche O)

# Nelle piante esistono due fotosistemi: il PSI e il PSII che comprendono pigmenti e complessi proteici.



Gli elettroni persi dal Centro di reazione, quando la clorofilla a viene colpita da un fotone della lunghezza d'onda opportuna, passano attraverso una catena di trasporto di elettroni, lungo un gradiente di ossidoriduzione. Durante questi trasferimenti viene immagazzinata sufficiente energia per la sintesi di ATP e NADPH.

I due fotosistemi lavorano in serie: prima il PSII e poi il PSI

L'elettrone perso dal centro di reazione del PSII viene recuperato dalla fotolisi dell'acqua e tale reazione porta alla liberazione di  $O_2$ . L'elettrone perso nel PSI viene recuperato dalla catena di trasporto precedente.

Il risultato netto della fase luminosa:

- produzione di ATP e NADPH
- liberazione di ossigeno gassoso (come prodotto di scarto)





# Fase oscura

---

**Utilizza i prodotti della fase luminosa per sintetizzare glucosio:**

**Potere riducente** → **NADPH**

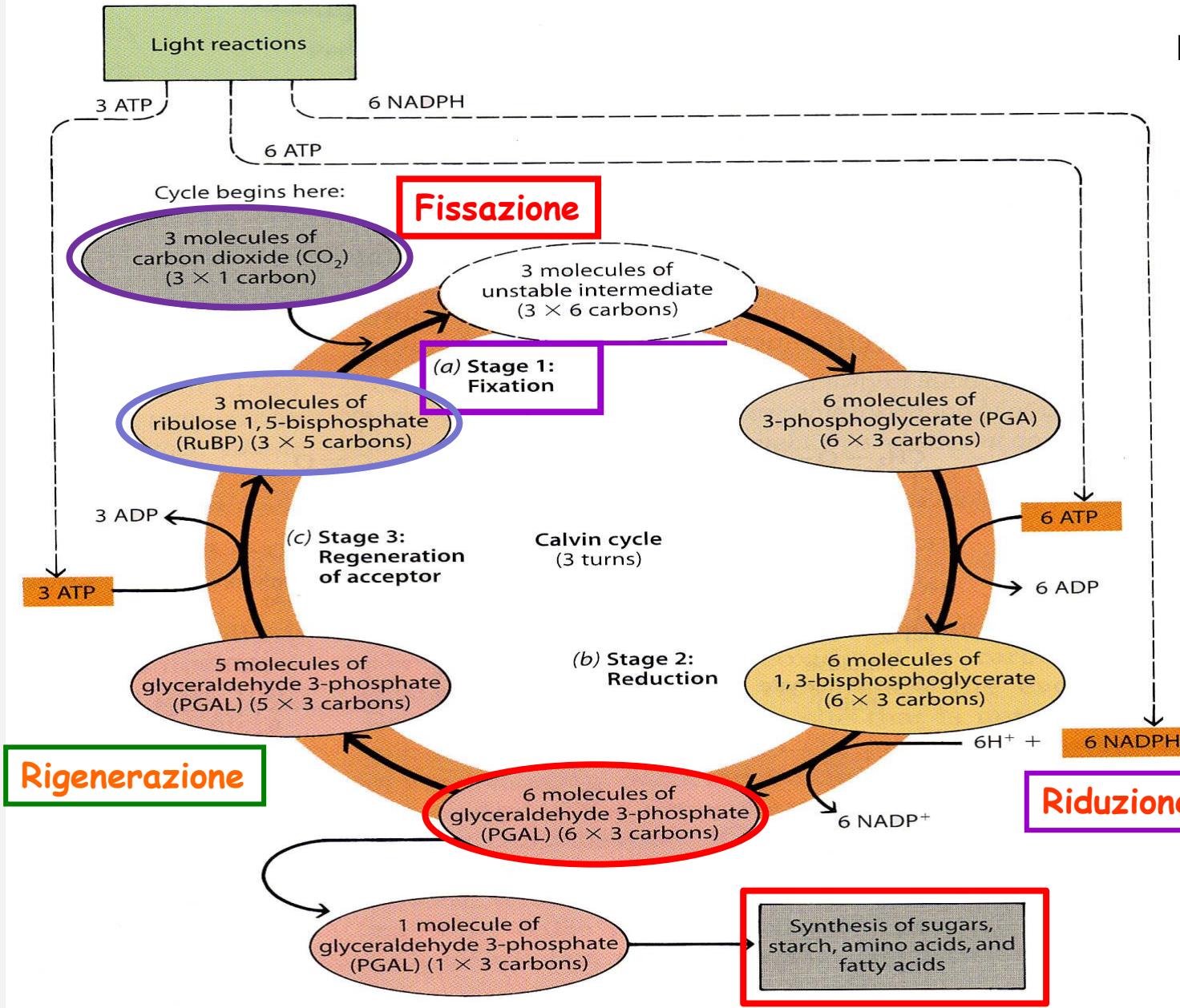
**Energia** → **ATP**

**Mentre**

**C** → **deriva dalla CO<sub>2</sub>**

**Nel corso della fase oscura la CO<sub>2</sub> viene organicata. Questo avviene mediante una serie di reazioni biochimiche cicliche, chiamate ciclo di Calvin-Benson.**



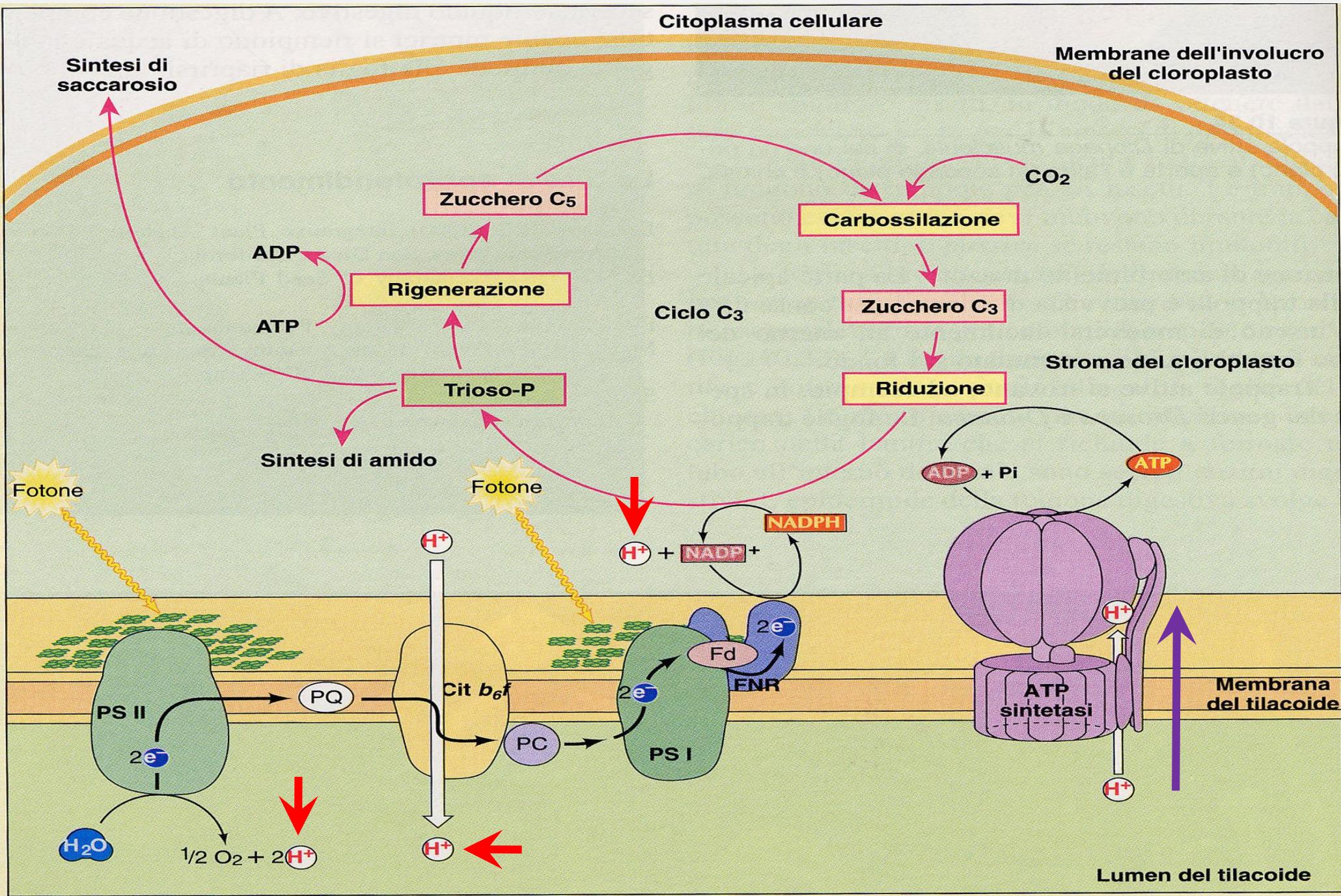


Delle 6 molecole di gliceraldeide 3-fosfato:

- 5 continuano il ciclo per rigenerare le molecole di ribulosio 1,5-difosfato utilizzato per fissare la  $\text{CO}_2$ .
- 1 esce dal ciclo ed è utilizzata per la sintesi di glucosio**

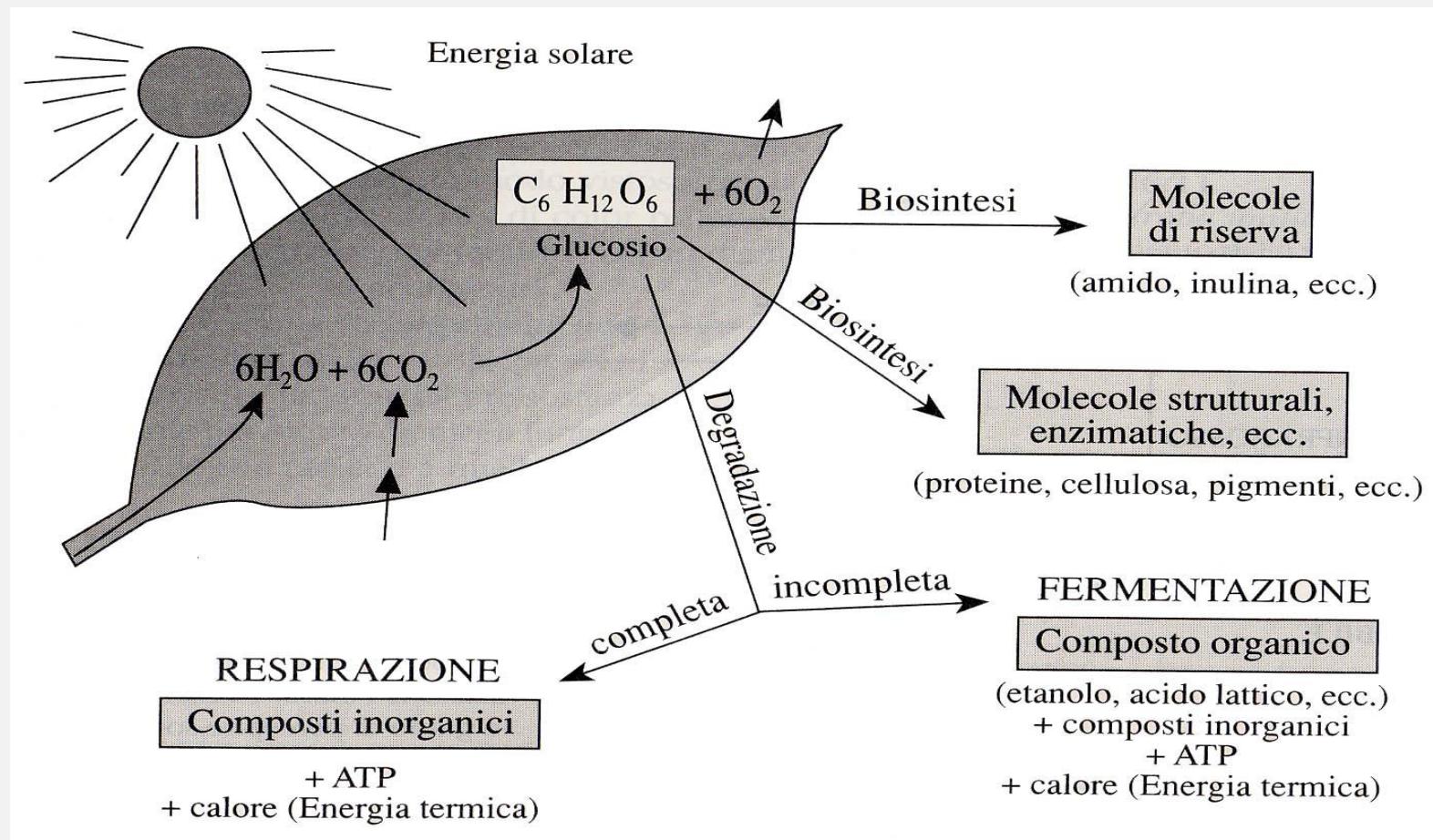
**Il glucosio di-fosfato appena sintetizzato può seguire diversi destini:**

- viene unito al fruttosio a dare saccarosio.**
- è trasformato in amido primario**
- è utilizzato per la sintesi di altre molecole**



## Il risultato netto della fase oscura:

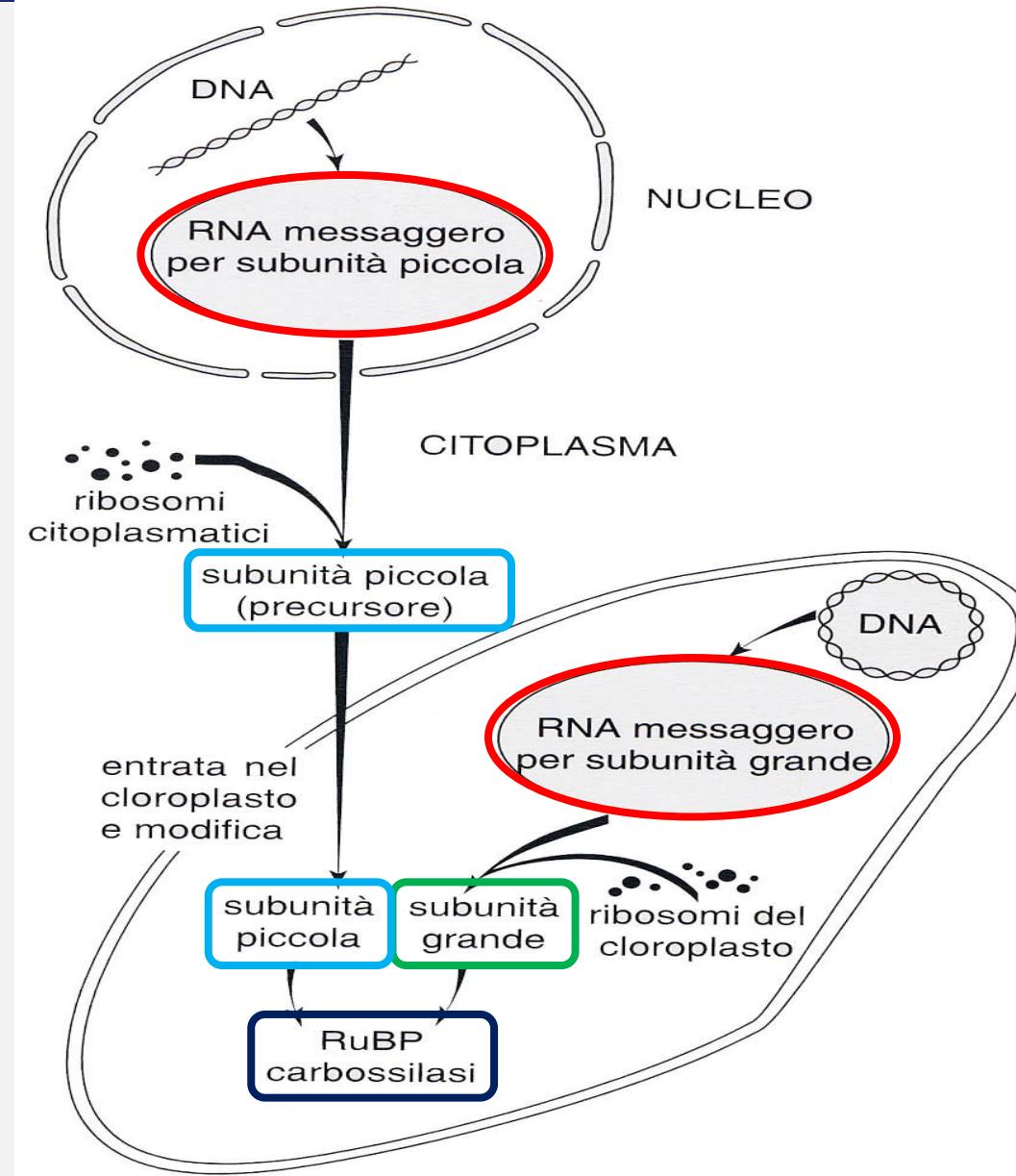
**organicazione (=inserimento in una molecola organica) di 6 atomi di carbonio ad ogni ciclo, con formazione di 1 molecola di esoso (zucchero a 6 atomi di C)**



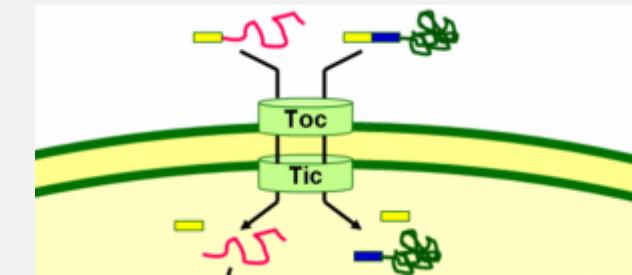
# Alcune proteine coinvolte nella fotosintesi sono codificate in parte dal DNA nucleare e in parte da quello plastidiale:

Es: **RUBISCO**

8 subunità grandi e  
8 subunità piccole



Alcune proteine vengono sintetizzate nel citoplasma e trasportate attraverso importatori specifici localizzati sulle membrane del plastidio.



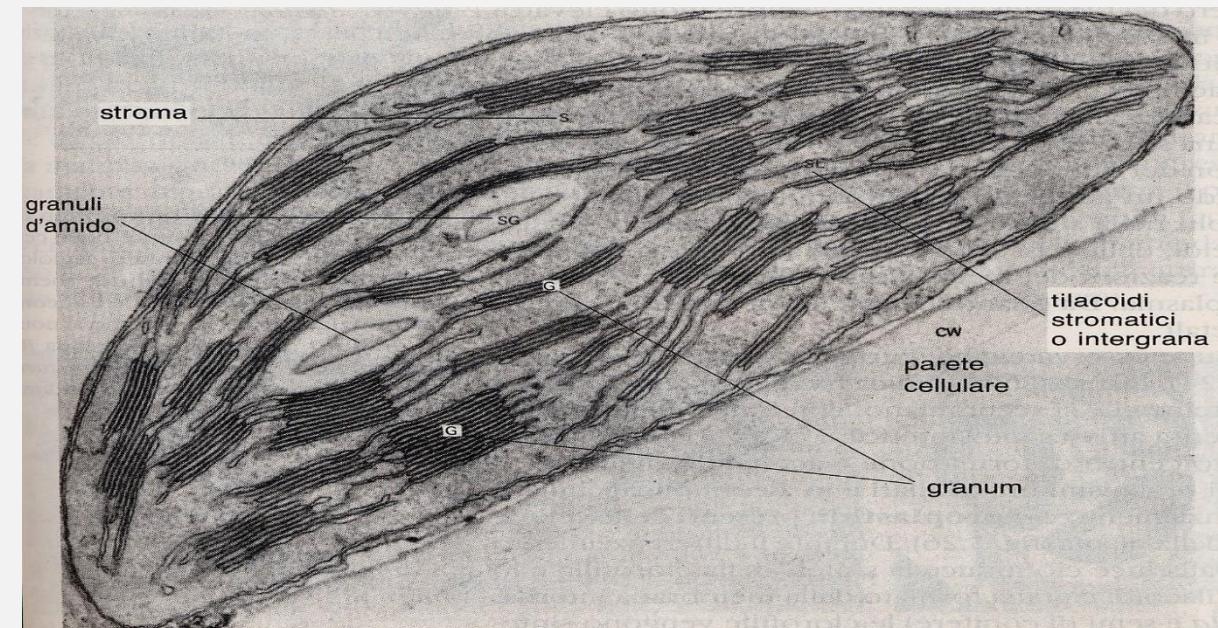
Ci sono anche proteine che vengono sintetizzate nel plastidio e sono trasportate nel citoplasma grazie a trasportatori specifici delle membrane plastidiali.



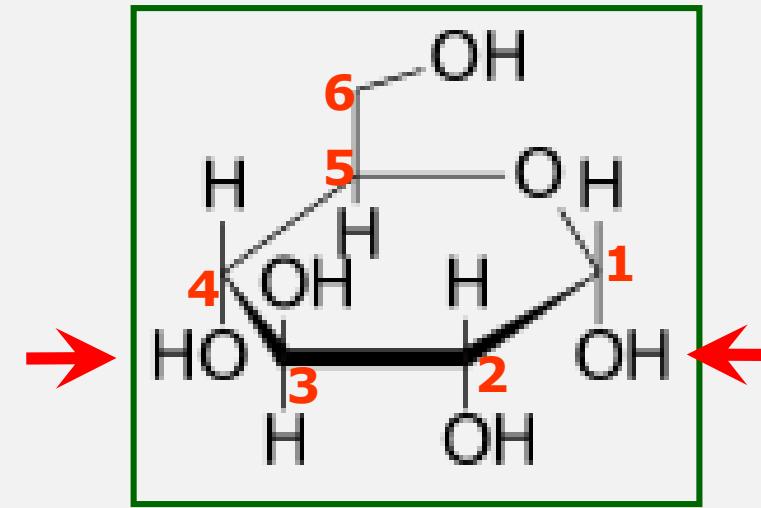
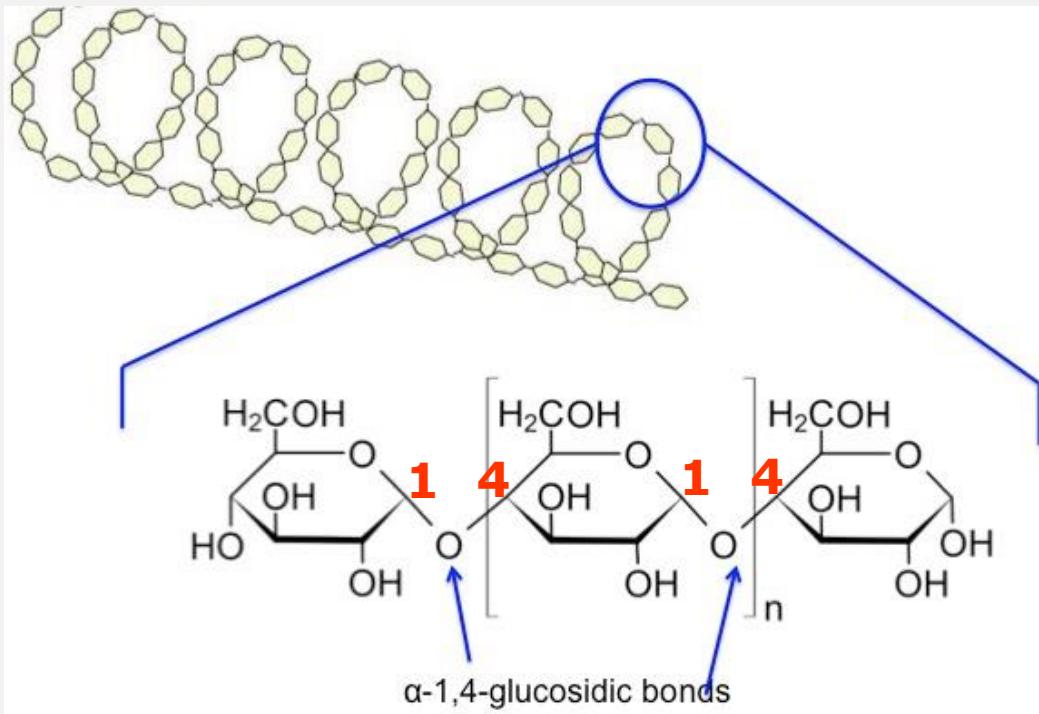
## Altre funzioni del cloroplasto:

- Sono sede della sintesi di:
  - alcuni amminoacidi
  - basi azotate
  - acidi grassi
  - pigmenti
- Sono sede della produzione di **amido primario**

Quando i cloroplasti fotosintetizzano rapidamente, producono una grande 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 (**amilosio, polimero lineare del glucosio, legami  $\alpha$  1-4**).



L'amilosio (o amido primario) è **LINEARE** e il legame tra le molecole di glucosio viene chiamato  **$\alpha$ -1,4 glucosidico**:



I'-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  $\alpha$ .*

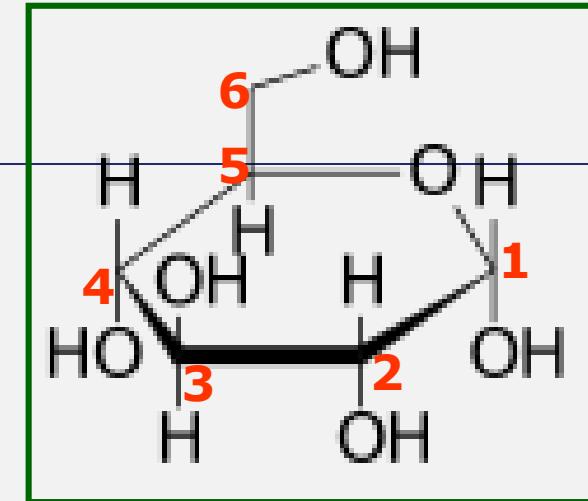
Le molecole di amilosio possono essere formate da circa 1000 residui di glucosio anche se c'è una certa variabilità nella loro lunghezza

## AMIDO secondario

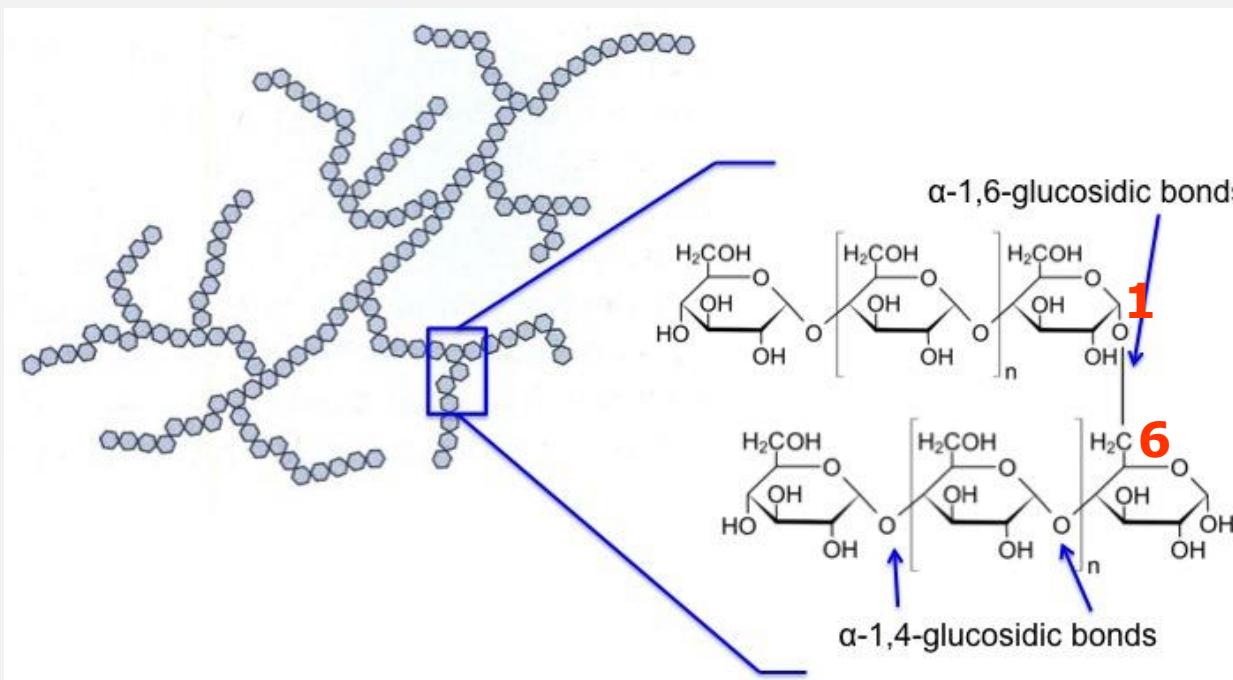
È dato dall'unione di due diversi polimeri:

**AMILOSIO e AMILOPECTINA**

entrambi formati da **GLUCOSIO**.

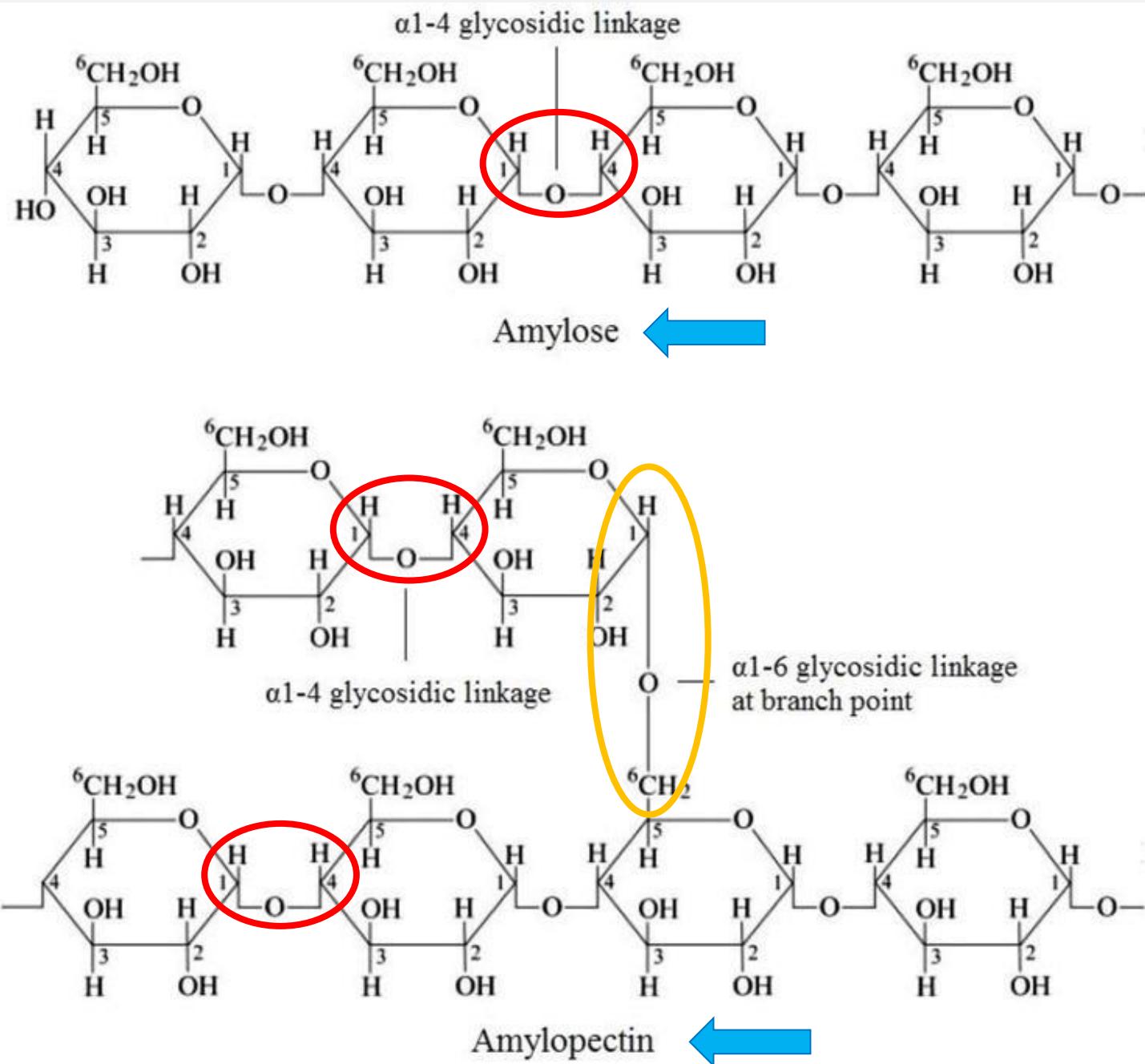


L'amilopectina è un polimero del glucosio RAMIFICATO: ad alcune molecole di amilosio vengono attaccati in posizione 6 altre molecole di glucosio (legame  $\alpha$ -1,6).



Da tali molecole la polimerizzazione prosegirà mediante legami  $\alpha$ -1,4 costruendo catene laterali costituite da circa 25 residui di glucosio.

Le percentuali dei due polimeri nei granuli di amido variano a seconda dell'organismo vegetale: maggiore concentrazione di AMILOPECTINA causa la maggiore tendenza a trattenere acqua e quindi il rigonfiamento delle cellule. Es. patata 78% di amilopectina



# Leucoplasti

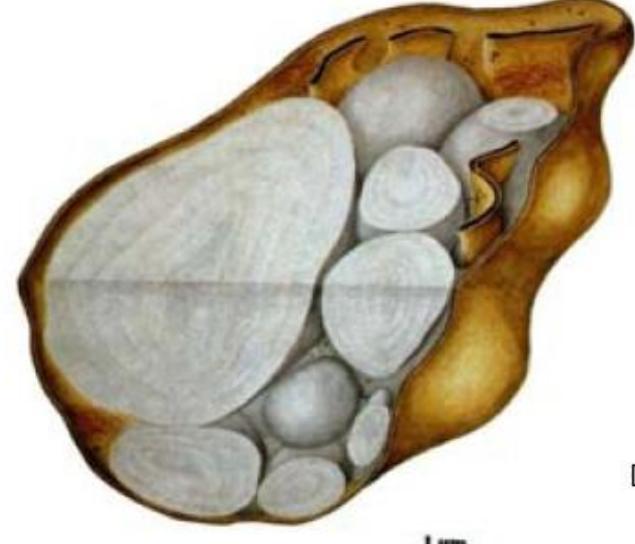
**Sono plastidi incolori che hanno funzione di riserva.**

**Si classificano in base al tipo di riserva che accumulano**

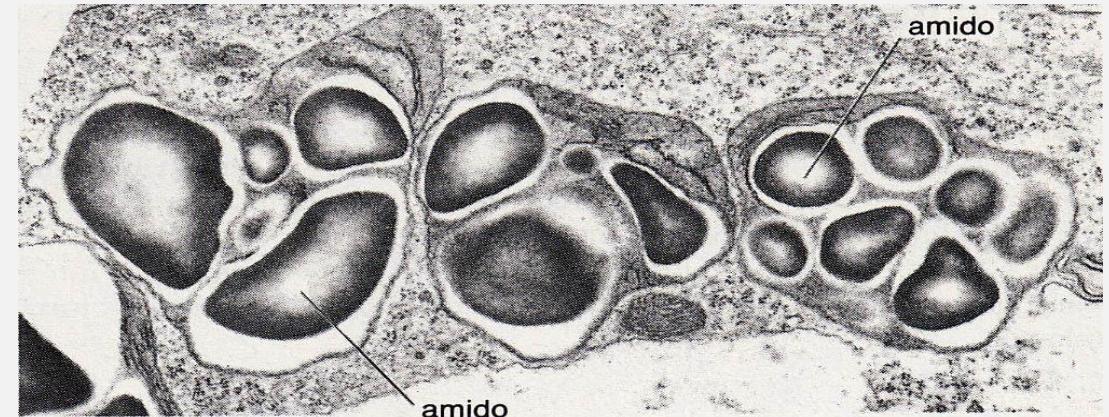
## Amiloplasti:

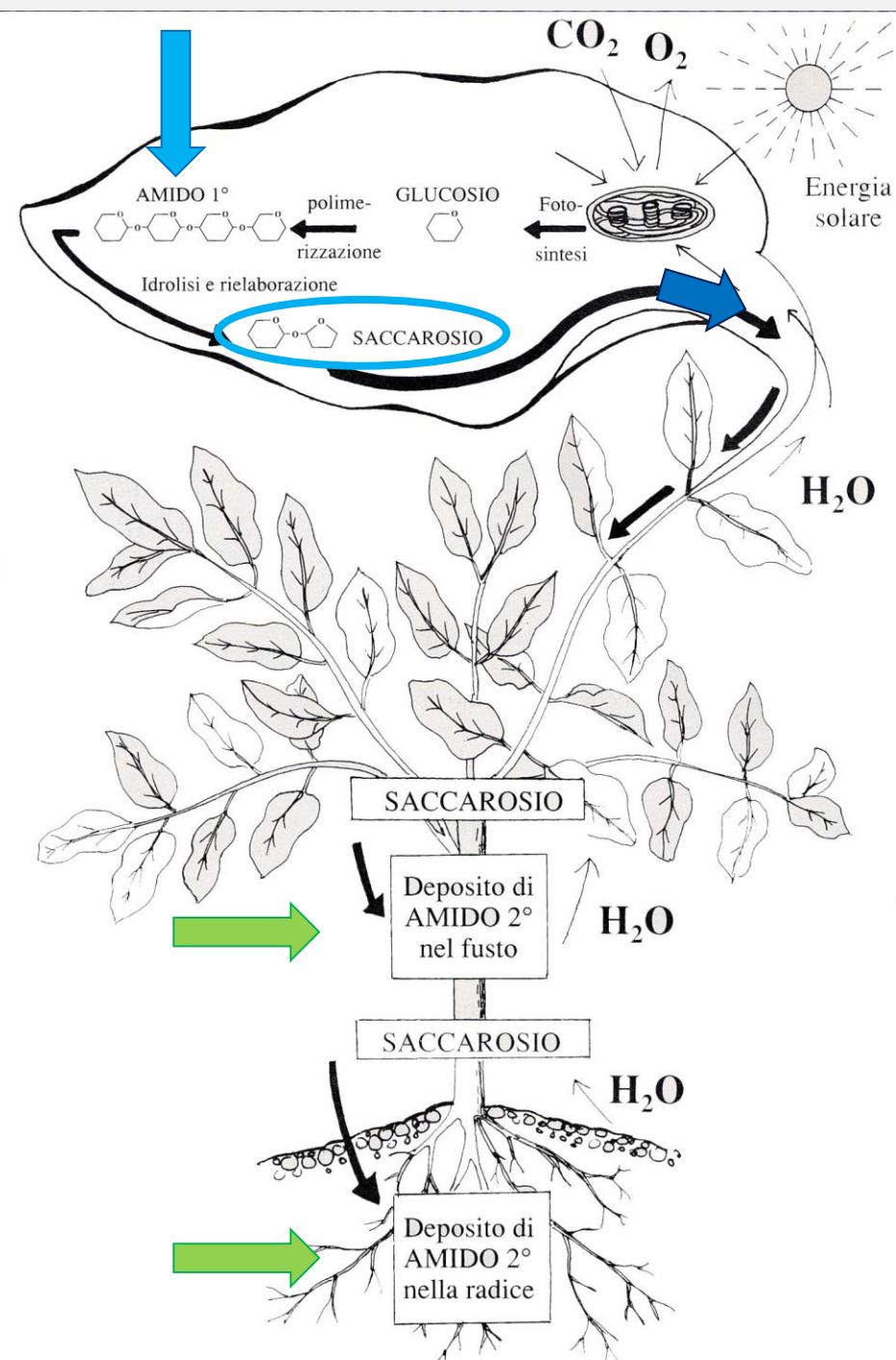
Sede di accumulo dell'amido secondario.

Negli amiloplasti il sistema di membrane è scomparso per lasciar posto all'amido.



Da Nultsch.





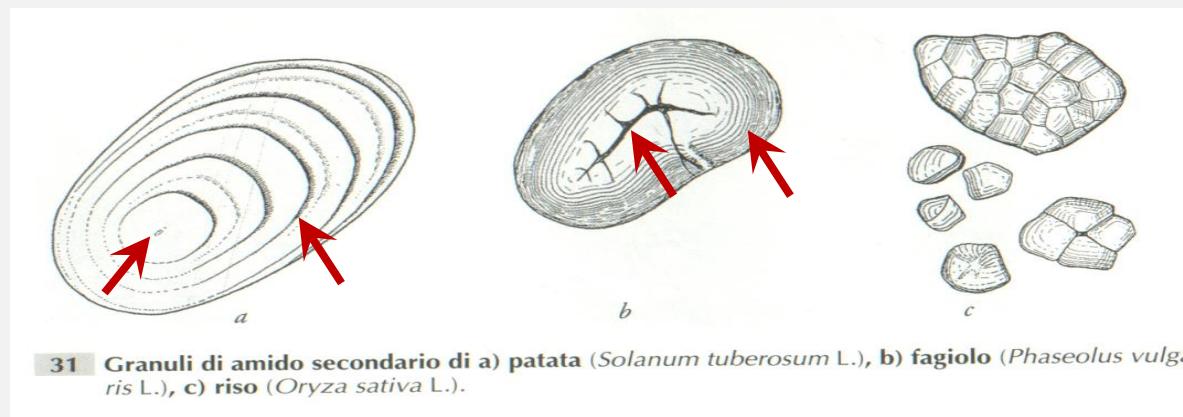
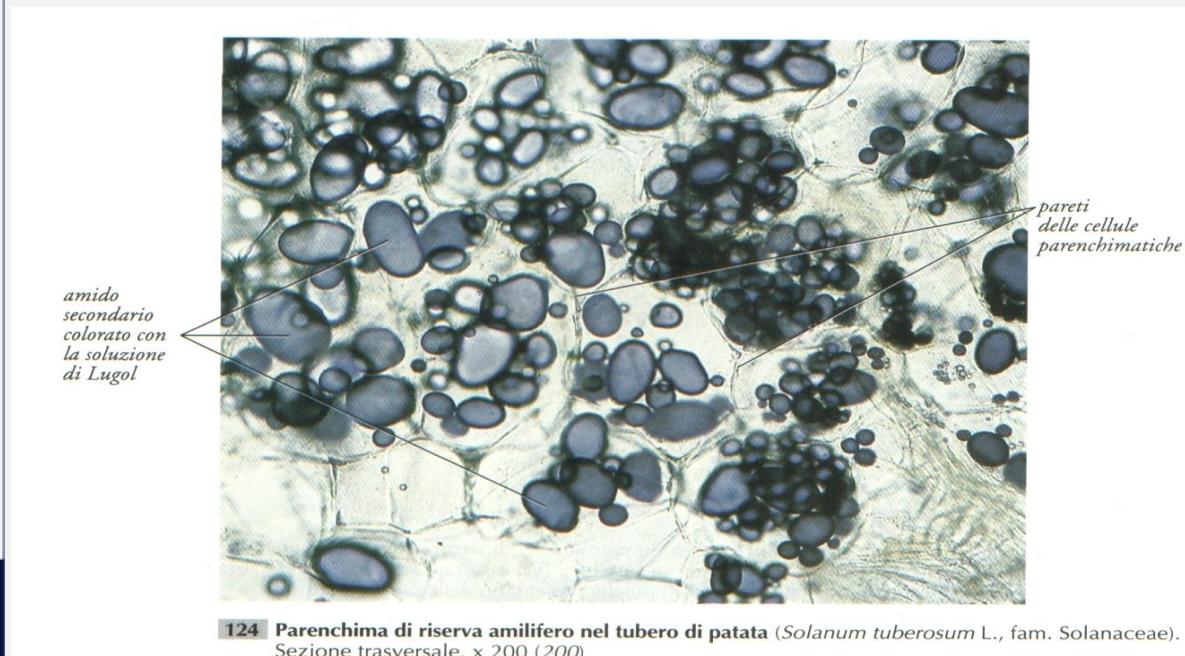
**L'amido primario** che si forma durante la fotosintesi nei cloroplasti dove è deposto in piccoli granuli, durante la notte quando non si ha fotosintesi viene idrolizzato ed usato per la respirazione, in parte trasformato in dimeri di saccarosio (un glucosio + un fruttosio) i quali vengono poi trasferiti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

Si trovano in organi con tessuti di riserva come:

- nelle radici
- nei fusti, anche specializzati per la riserva (es. tuberi di patata)
- nei semi (es. frumento, fagiolo)
- in alcuni frutti (es. banana)

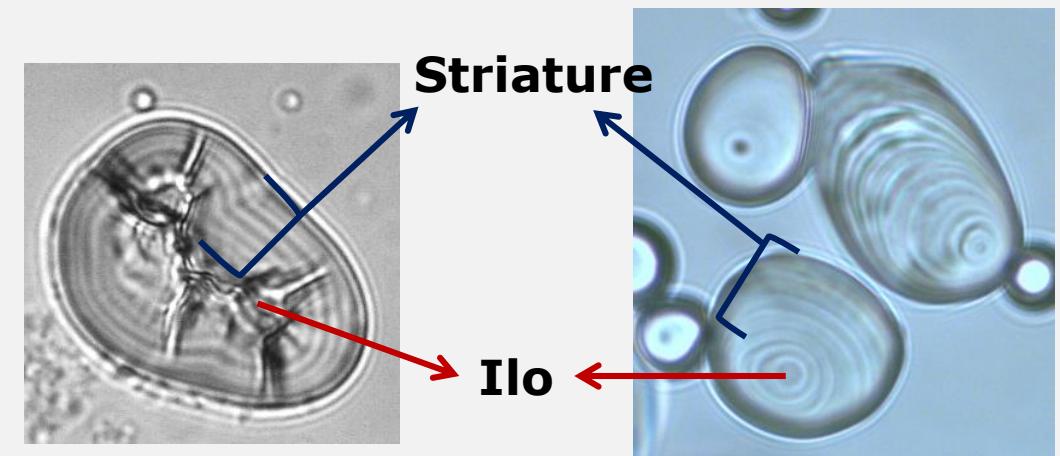
Questi organi non sono fotosintetici, ma accumulano amido grazie alla fotosintesi che è avvenuta nelle foglie.

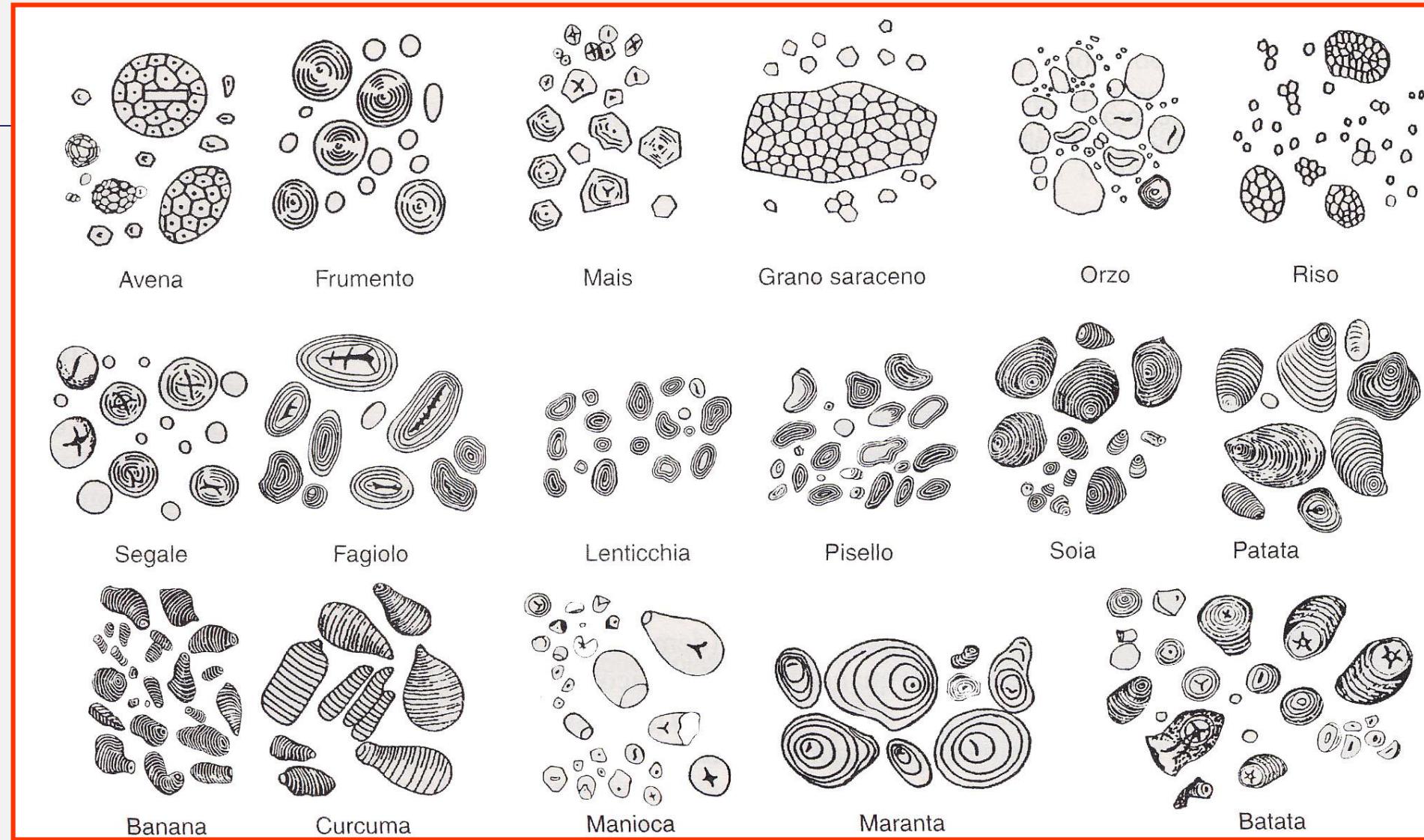
L'amido secondario viene immagazzinato sottoforma di granuli che sono diversi in specie differenti:



- viene deposto in *granuli* (semplici o composti)
- cristallizza attorno a una regione = **ILO**. Può essere centrale-eccentrico, puntiforme, lineare, stellato, ramificato
- cristallizza in modo ciclico = presenza di **STRIATURE**

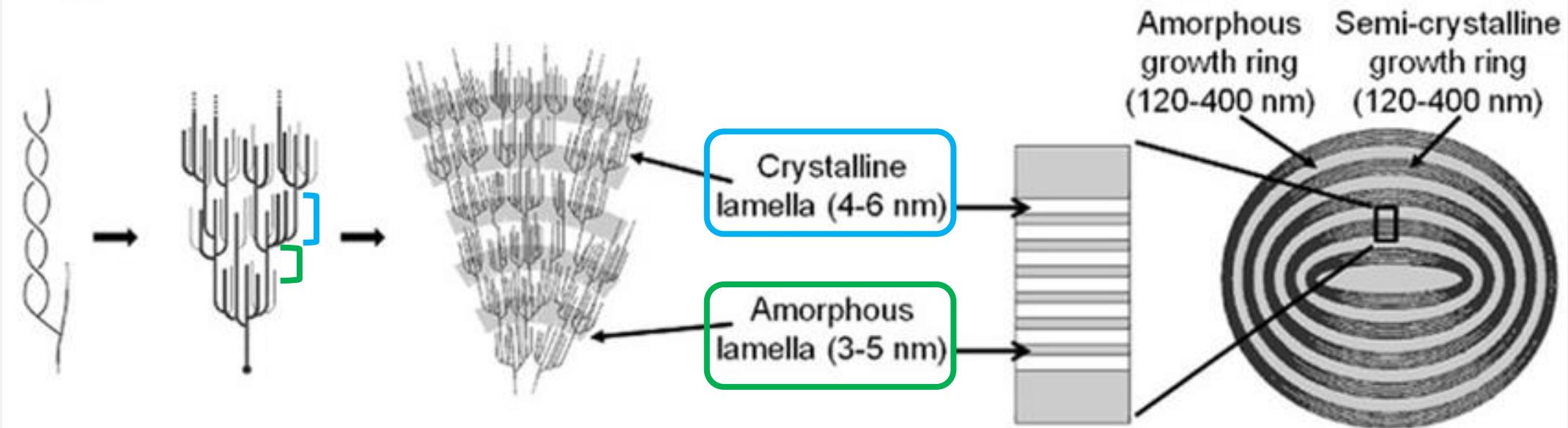
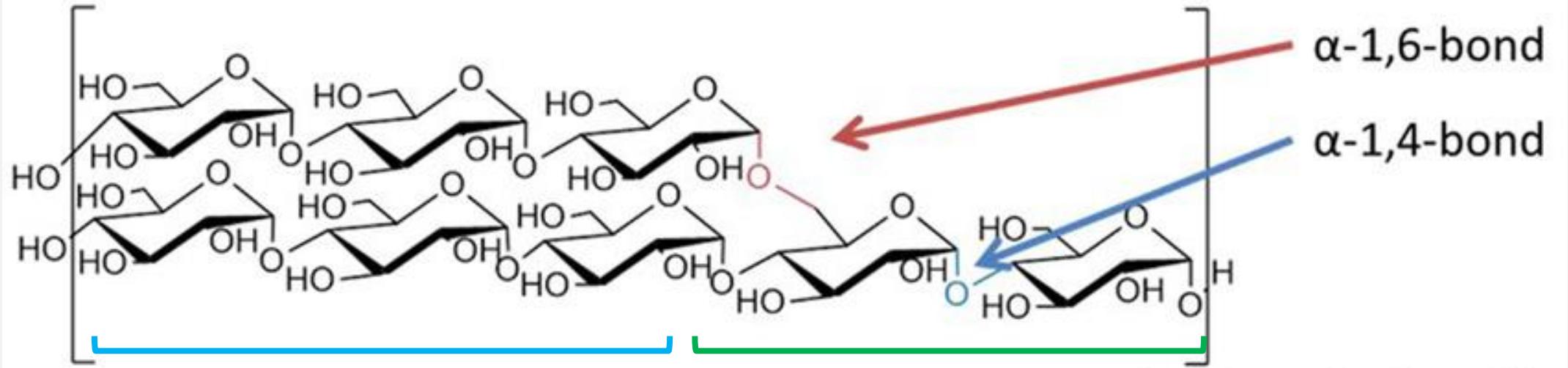
Forma, dimensioni, struttura dell'ilo ed evidenza delle striature rappresentano altrettante caratteristiche che permettono di identificare la specie da cui l'amido proviene (es. farine)



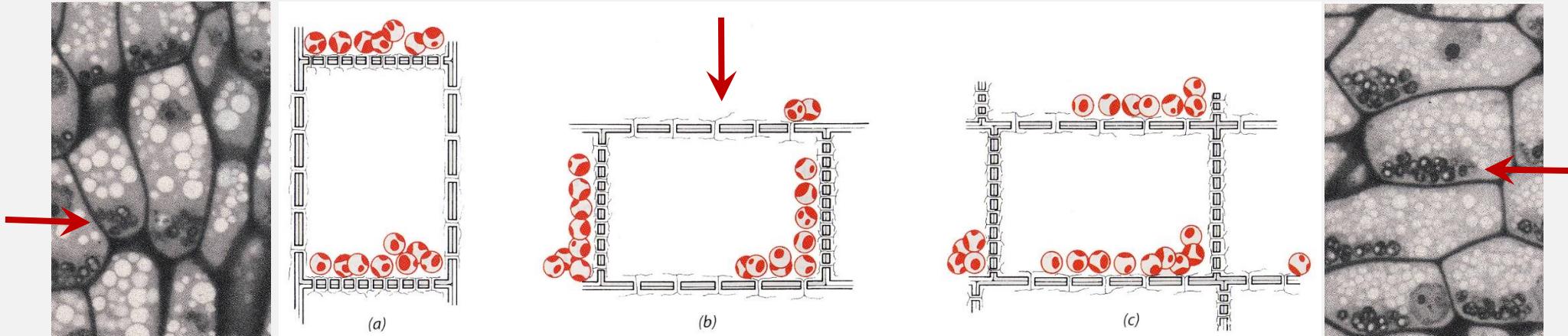
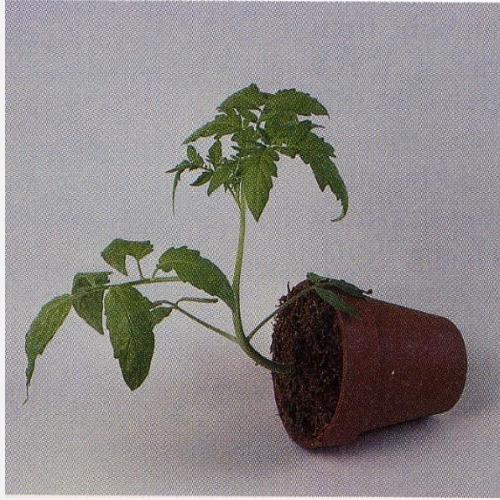
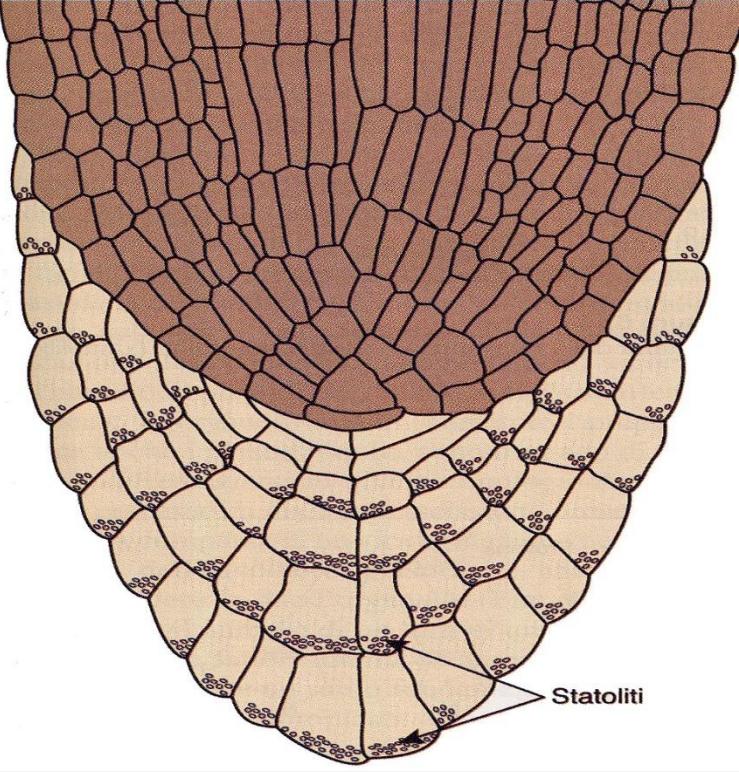


In alcuni amiloplasti (es. riso) l'amido viene deposto intorno a più *lli* portando alla formazione di un granulo composto.

Le striature dipendono da come si organizza l'amilopectina intorno all'ilo.



# Statoliti: percezione dello stimolo gravitropico.





## **Elaioplasti/Oleoplasti**

Sono ricchi di sostanze lipidiche che vengono deposte sottoforma di goccioline dette plastoglobuli.

ES: tappeto di antere di alcune specie

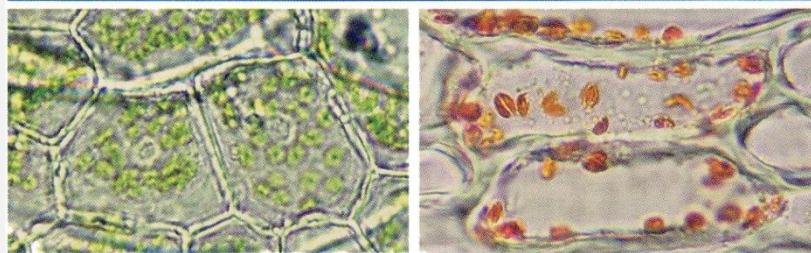
## **Proteoplasti:**

Sono poco frequenti e accumulano sostanze proteiche

Si possono trovare nel giovane sacco embrionale di alcune specie e nelle radici di alcune orchidee.

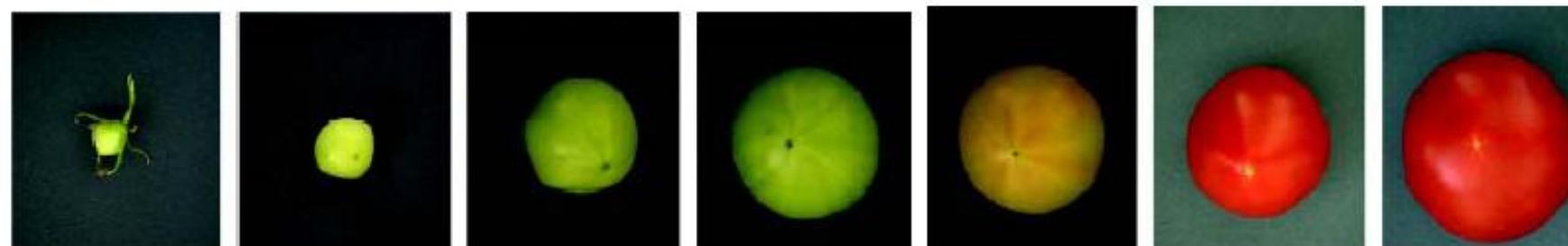


# Cromoplasti



Si formano solitamente da cloroplasti invecchiati in cui è degradata la clorofilla e scompare la componente delle membrane tilacoidali.

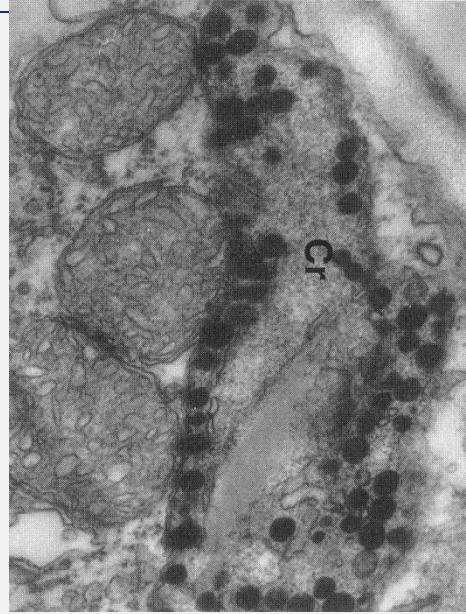
Sono plastidi pigmentati che perdono la clorofilla ma sintetizzano e accumulano carotenoidi che possono essere gli stessi del cloroplasto ( $\beta$ -carotene) o caratteristici dei cromoplasti (licopene,  $\delta$ -carotene).





Sono responsabili della colorazione gialla, arancio o rossa di:

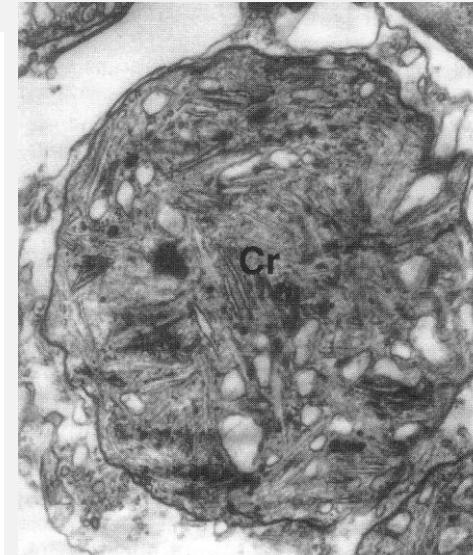
## Fiori



## Calendula



## Frutti





## Radici



Carota



Barbabietola

## Foglie invecchiate:

rappresentano uno stadio degenerativo irreversibile dei cloroplasti.

In essi non si ha sintesi *ex novo* di carotenoidi



**Liquidambar styraciflua**



Si differenziano solitamente da cloroplasti per degradazione della clorofilla e dell'intero apparato fotosintetico. Non sono perciò fotosintetizzanti

Lo stroma è occupato da diversi tipi di strutture contenenti CAROTENODI che possono avere forma rotondeggiante (pigmenti in soluzione lipidica) o irregolare (pigmenti sotto forma cristallina, es. carota)

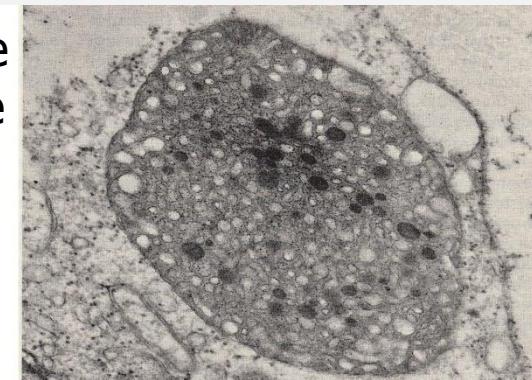


All'interno di essi avviene **sintesi e accumulo** di carotenoidi sottoforma di:

Presentano un metabolismo legato alla sintesi dei carotenoidi ed elevato contenuto lipidico

Hanno un basso contenuto di RNA e di proteine e basso numero di ribosomi. Derivano direttamente dai proplastidi, indirettamente dai leucoplasti (carota) o dalla degenerazione dei cloroplasti.

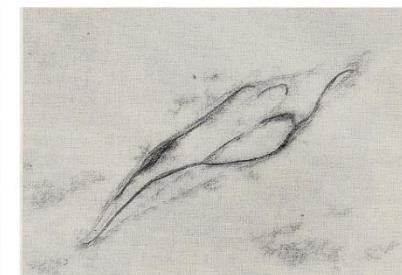
Gocciole lipidiche



Corpi filamentosi



Cristalli



# Hanno **funzione vessillare**



Impollinazione



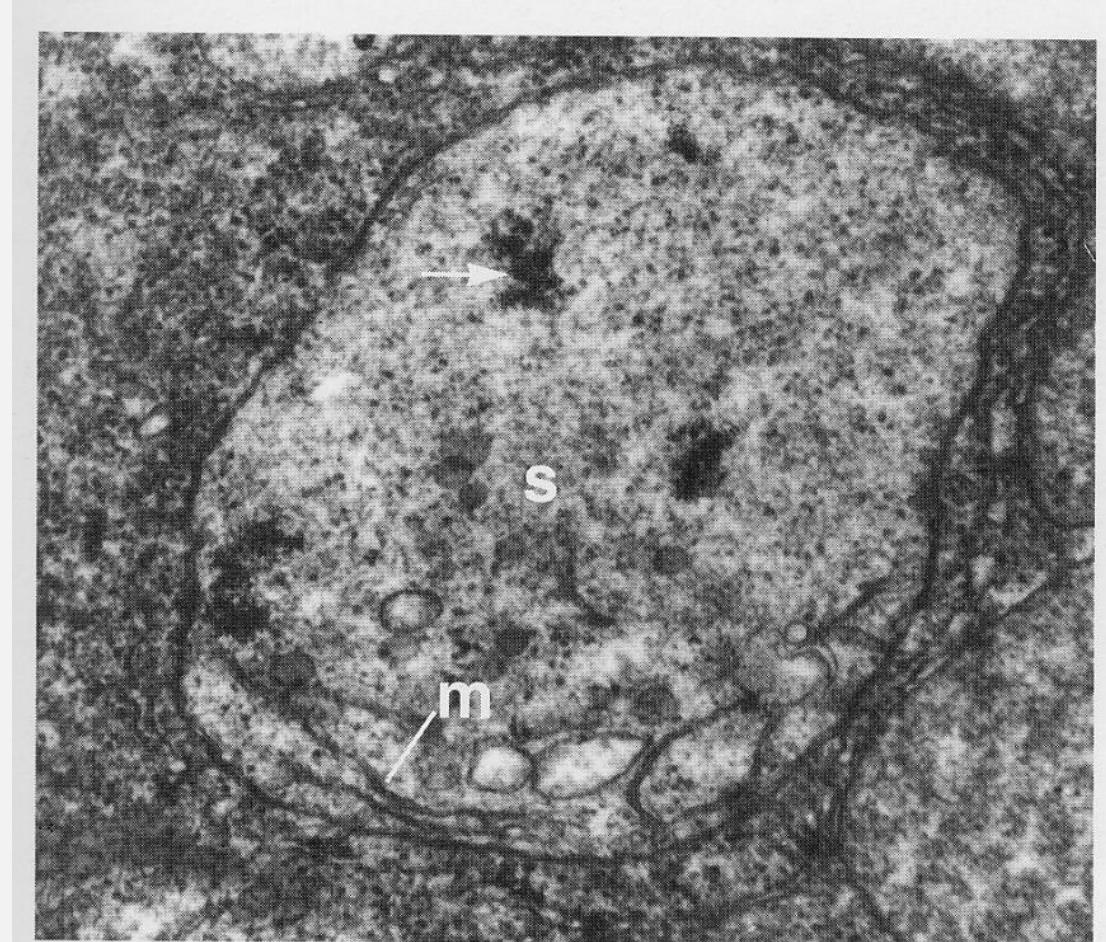
Disseminazione



# Proplastidi

I plastidi descritti derivano dai **proplastidi**, cioè plastidi non differenziati che solitamente si trovano nelle cellule meristematiche

In alternativa, possono formarsi per divisione dei plastidi differenziati esistenti, oppure per trasformazione di un tipo in un altro.



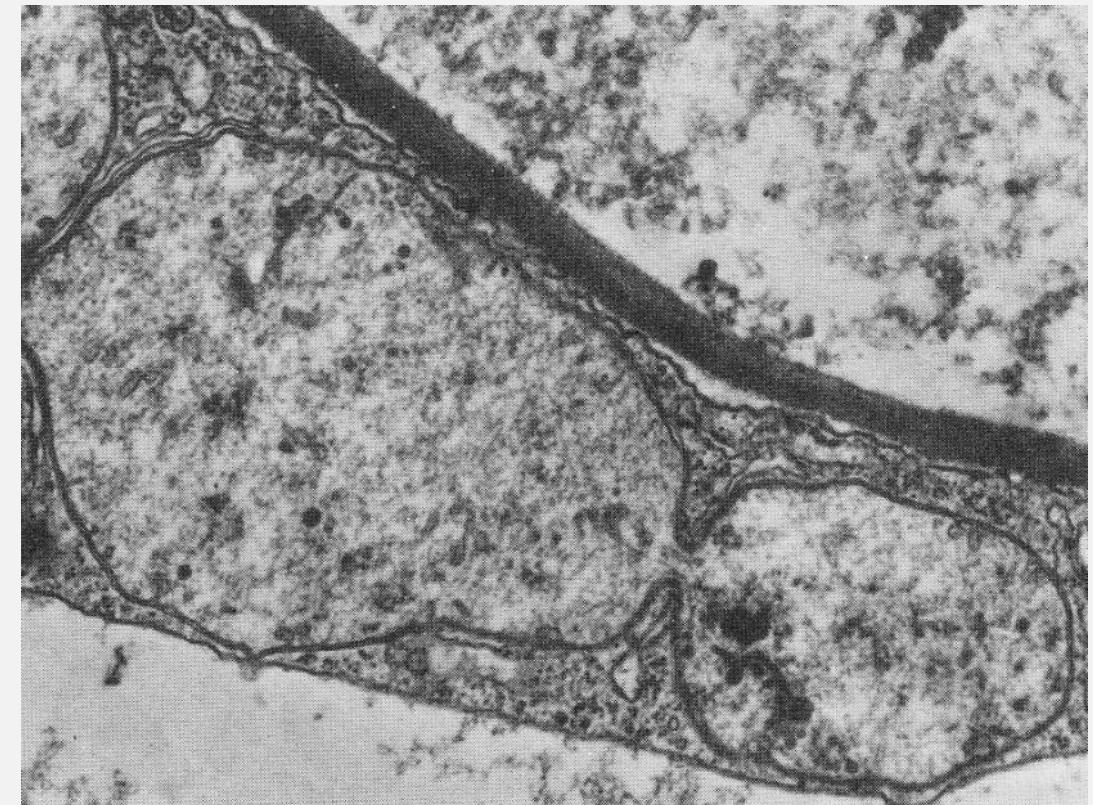
**Fig. 7.34.** Proplastido in cellula meristematica di fagiolo. Nello stroma (s), ancora privo di sistema tilacoidale, sono presenti solo rari profili membranali (m). Le masserelle scure (freccia) sono probabilmente costituite da fitoferritina, una sostanza talvolta presente in questo tipo di organello. (Foto N. Rascio).

I **proplastidi** hanno dimensioni (1-3  $\mu\text{m}$ ) solitamente inferiori rispetto ai **plastidi differenziati** (5-10  $\mu\text{m}$ ), forma ellissoide ed organizzazione interna molto semplice, con un sistema di membrane interne poco sviluppato .

Sono quasi sempre in attiva duplicazione attraverso un processo simile alla gemmazione.

Sono lo stadio giovanile del plastidio nelle cellule dei meristemi primari

- incolori o quasi
- piccole quantità di pigmento: protoclorofilla (verde pallido) legata a proteine
- sistema di membrane interno appena accennato: *protilacoidi*
- l'amido si forma da zuccheri esogeni ("amido secondario")
- DNA, ribosomi, doppia membrana esterna



Il differenziamento del proplastidio in una forma o nell'altra dipende da:

- fattori endogeni alla pianta, legati alla funzione che un determinato organo dovrà assolvere (genoma della cellula)
- fattori esogeni (o ambientali) come luce, temperatura, sali di Fe

ES: cellule epidermiche normali hanno plastidi rudimentali

cellule stomatiche hanno cloroplasti

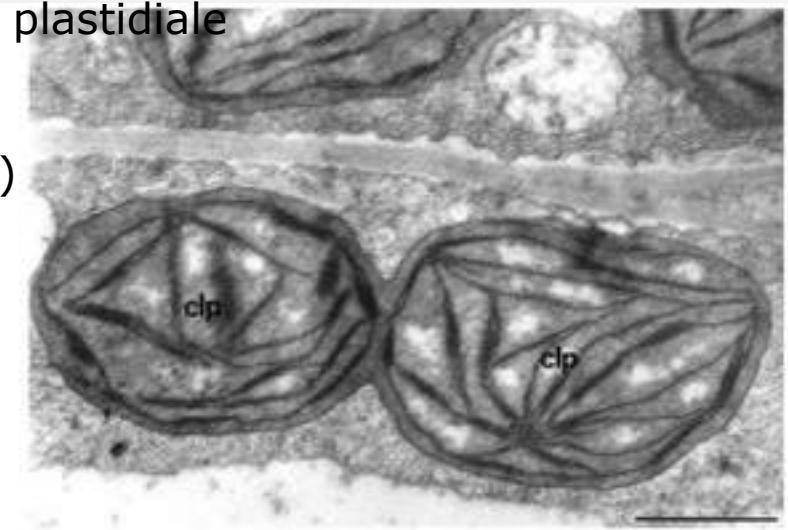
cellule dell'apice radicale hanno amiloplasti (talora alla luce, cloroplasti con sistema tilacoidale rudimentale)

Il differenziamento avviene sotto il doppio controllo del DNA nucleare e plastidiale

- Aumento del volume
- Vescicole e invaginazioni delle membrane interne
- Sintesi lipidica (membrane fosfolipidiche, da protoclorofilla a clorofilla)

**Se una pianta viene tenuta al buio i proplastidi si trasformano in Ezioplasti nei quali al posto della clorofilla si trova la protoclorofilla un precursore giallo della clorofilla.**

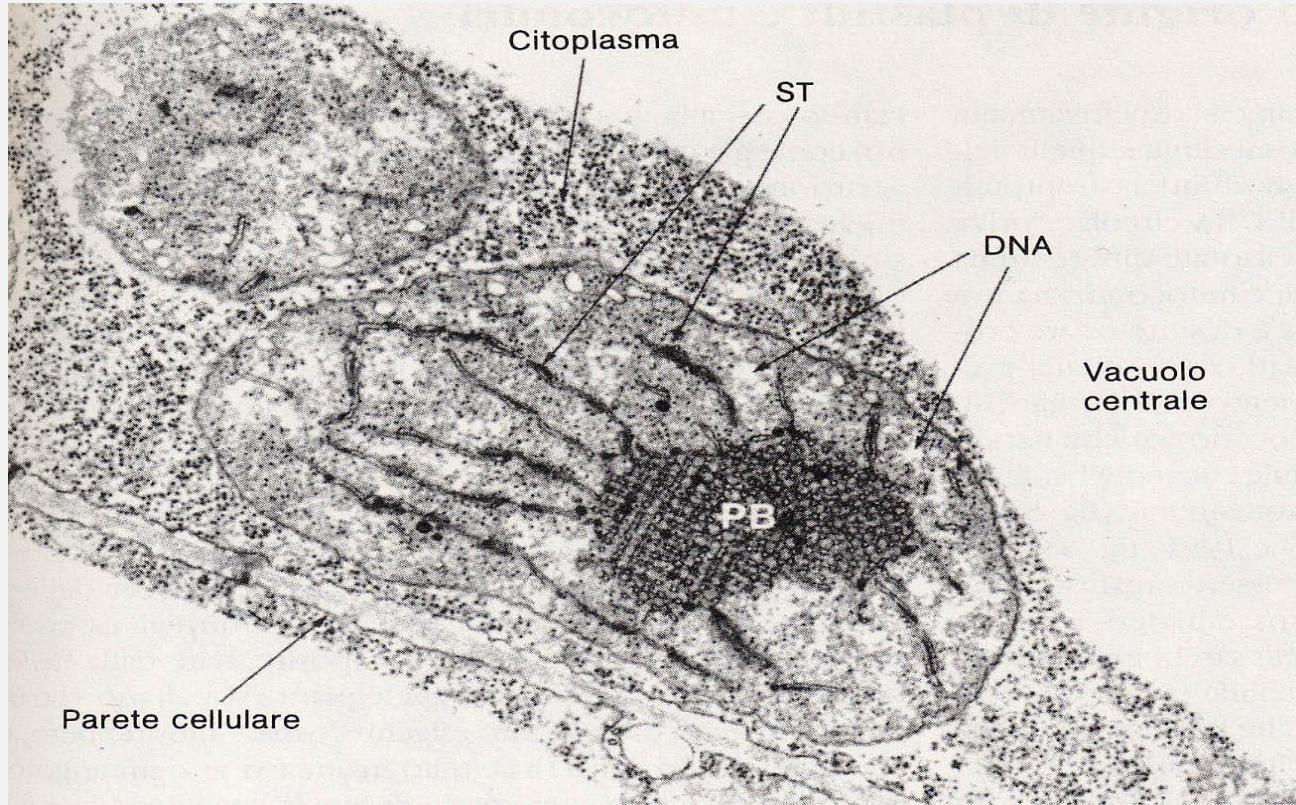
**Durante il differenziamento cellulare se le cellule sono esposte alla luce ciò induce la sintesi della clorofilla e lo sviluppo dei tilacoidi e dei grana originati dalla membrana interna.**



Giovane cloroplasto che si sta dividendo per scissione binaria in foglia di mais che si sta differenziando

# Ezioplasti

**Si formano dai proplastidi nel caso in cui la pianta si trovi a crescere al buio.**

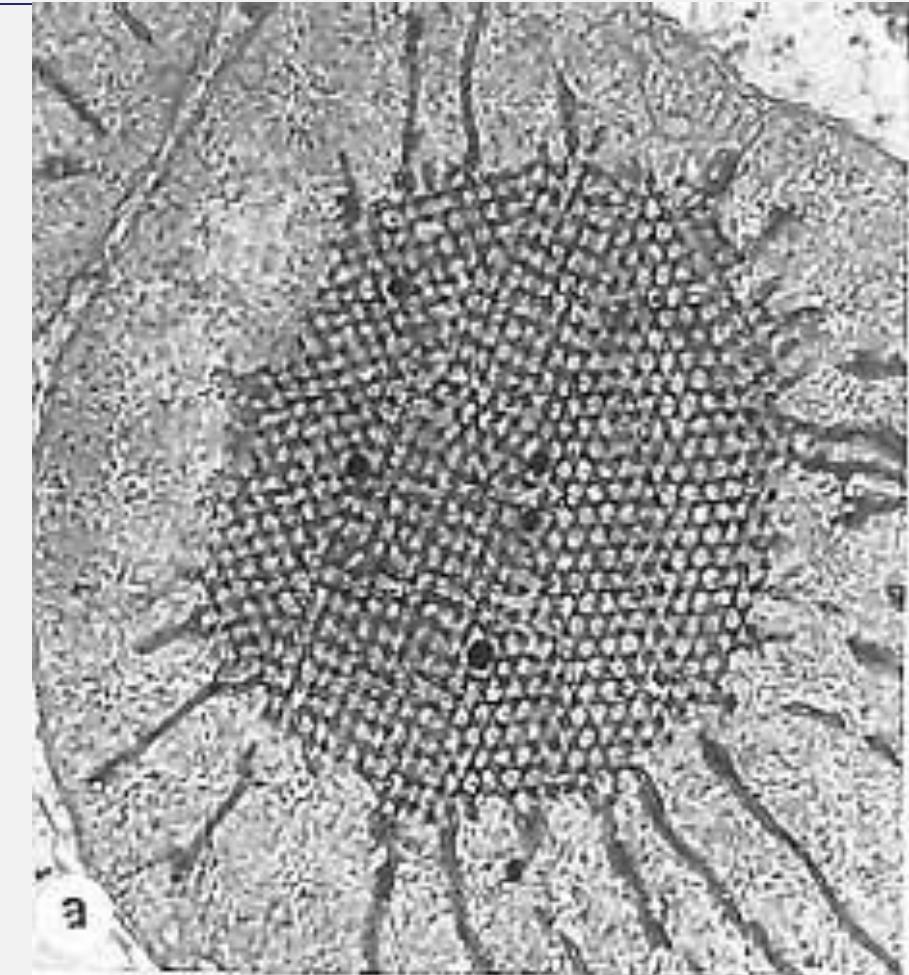
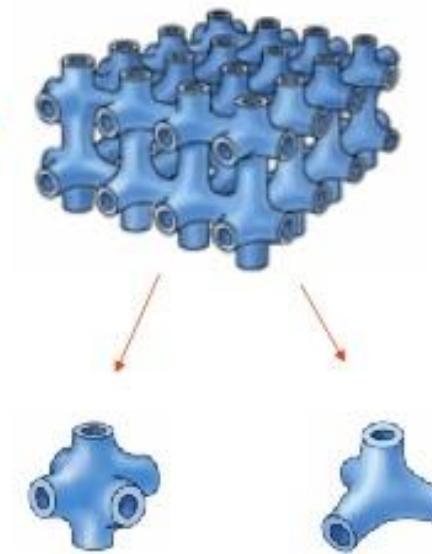
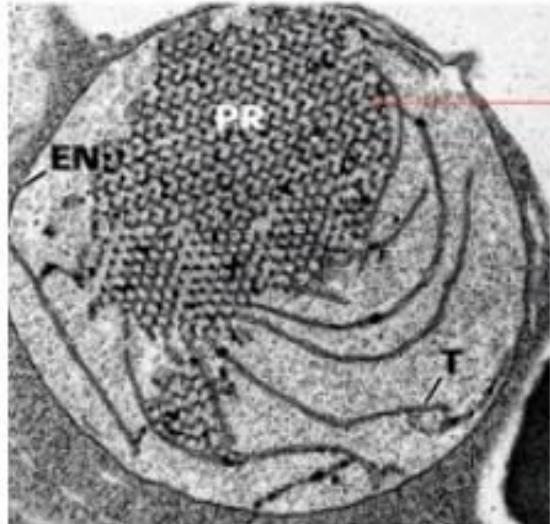


**Non si osserva il sistema di membrane tilacoidali organizzato in grana e tilacoidi intergranali.**

**Al posto della clorofilla è contenuto un precursore detto protoclorofilla di colore giallo e alcune proteine tilacoidali.**

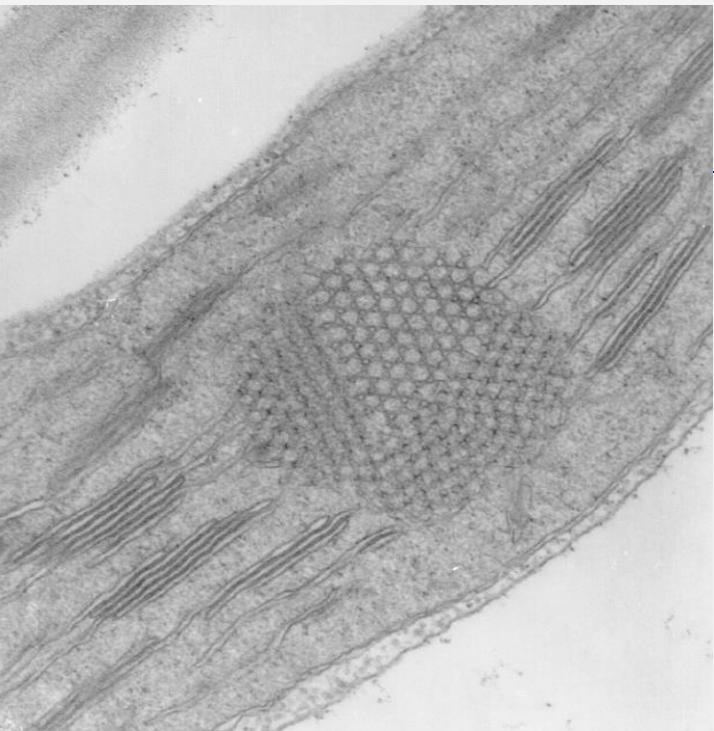
All'interno dell'ezioplasto si forma una struttura paracristallina detta **corpo prolamellare**

Il corpo prolamellare è costituito dai lipidi che costituiscono le membrane interne, ed è povero invece delle proteine di membrana.



**Esso sembra costituito da tubuli membranosi interconnessi.**

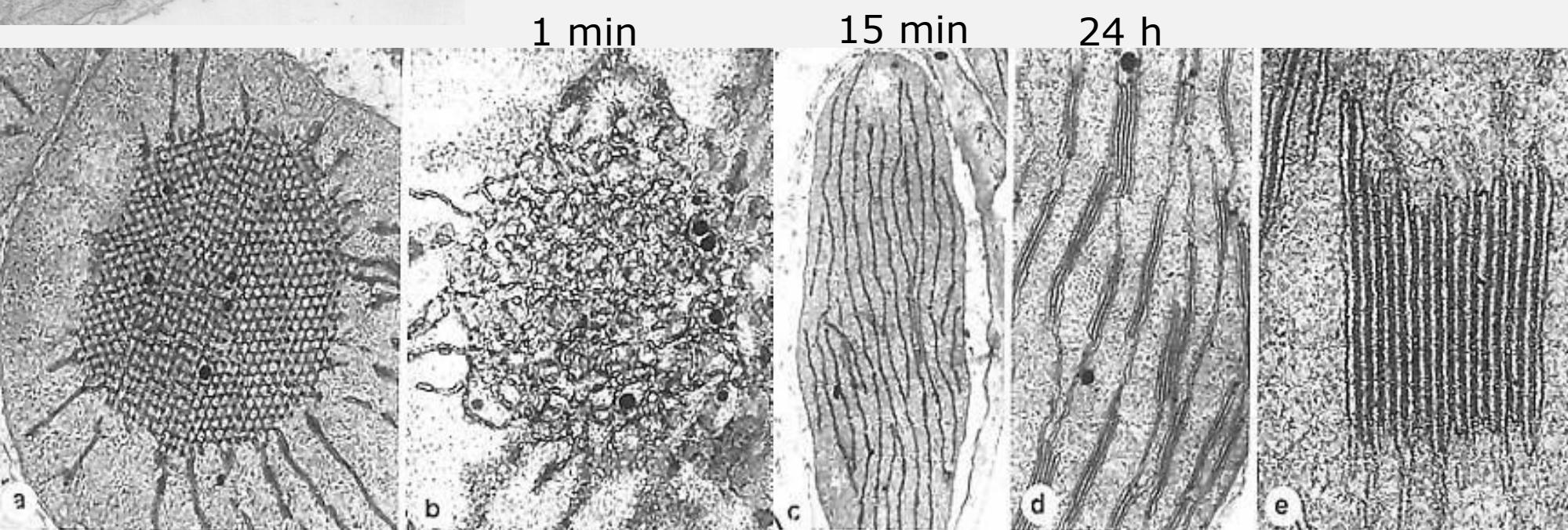
**Si origina da endomembrane dei proplastidi dette protilacoidi e dalla sintesi di nuovi tubuli.**



# Transizione

Si suppone che alla luce, da esso origini il sistema di tilacoidi del cloroplasto:

- si riduce il corpo prolamellare e si formano i tilacoidi
- la protoclorofilla si trasforma in clorofilla
- compaiono gli altri componenti dei fotosistemi.

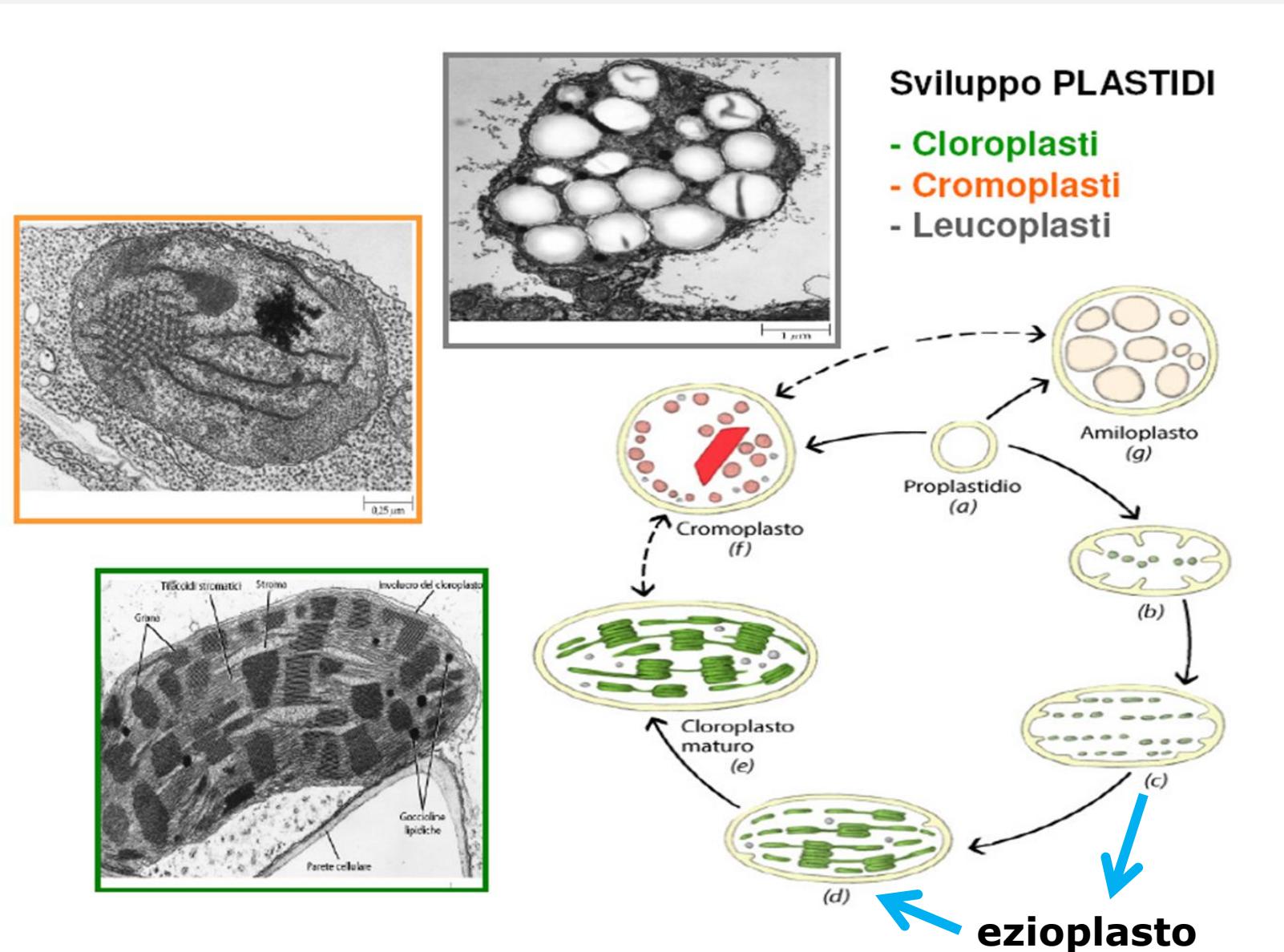


# I plastidi mostrano una notevole capacità di conversione

I cloroplasti possono trasformarsi in cromoplasti in particolari condizioni.

Se un tubero di patata o una carota sono esposti alla luce diventano verdi in quanto gli amiloplasti della patata e i cromoplasti della carota diventano cloroplasti, secondo un processo stimolato dalla luce.

Nelle piantine che, dopo la germinazione dei semi ipogei, raggiungono la superficie del suolo si ha la trasformazione dei leucoplasti in cloroplasti.



## Vie di conversione tra i plastidi

