

# Organuli cellulari

1)Reticolo endoplasmatico

Liscio

Rugoso

2)Ribosomi

3)Mitocondri

4)Apparato di Golgi

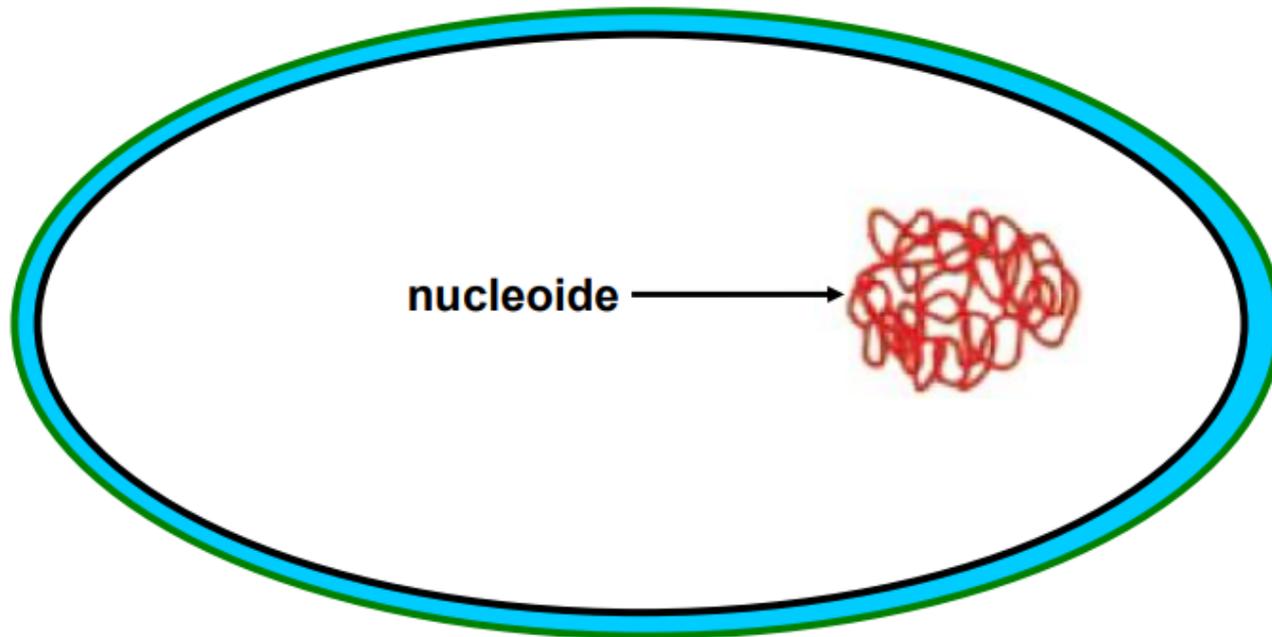
5)Vacuolo

6)Vescicole

7) Plastidi

I plastidi sono organelli semiautonomi, che somigliano a batteri. Infatti, come questi, contengono uno o più nucleoidi, regioni che contengono DNA. Il DNA plastidiale è molto simile a quello dei batteri, è circolare e non associato ad istoni. Sono presenti ribosomi, e anche questi come quelli dei batteri, sono 70S e non 80S come quelli citoplasmatici.

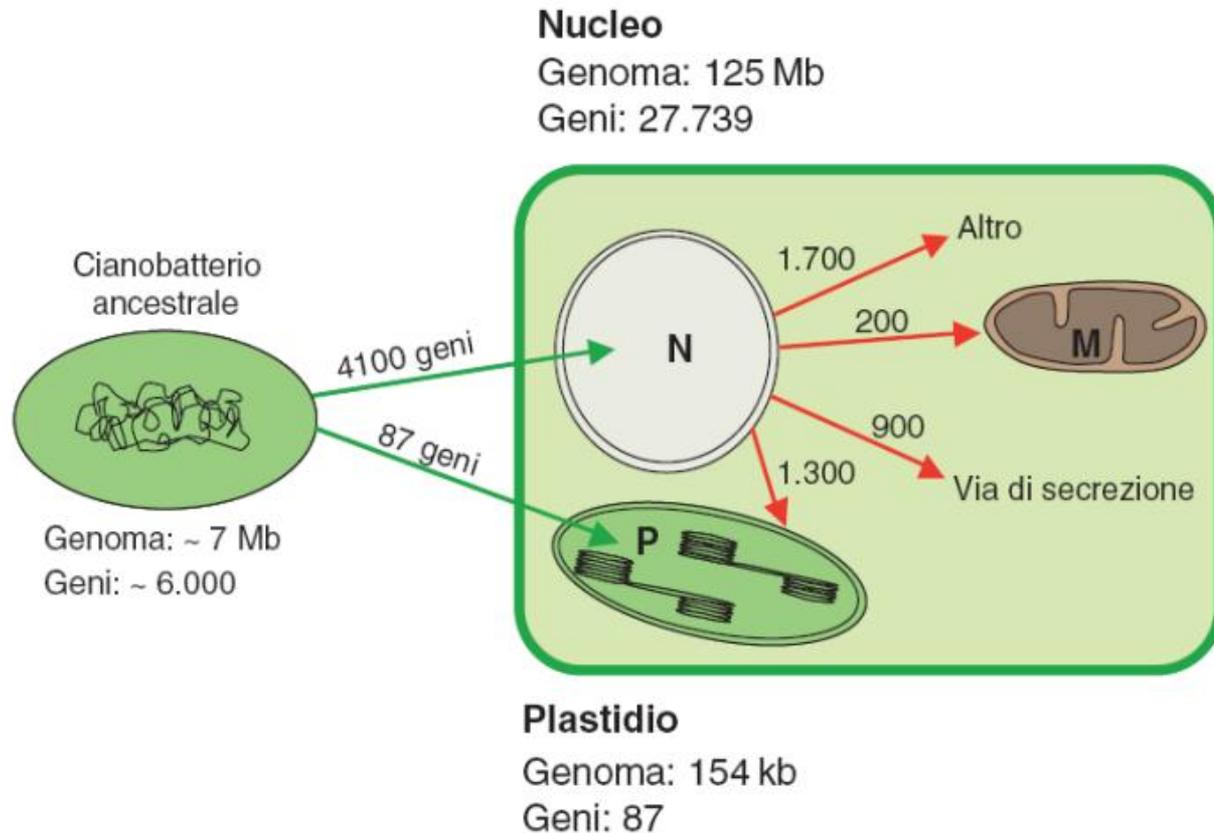
# IL DNA PLASTIDIALE (PLASTOMA)



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 nucleoide stesso, la replicazione e la trascrizione. I nucleoidi hanno un diametro di 0,2  $\mu\text{m}$  e contengono circa 10 molecole di DNA plastidiale.

---

# Da dove deriva il DNA dei plastidi?



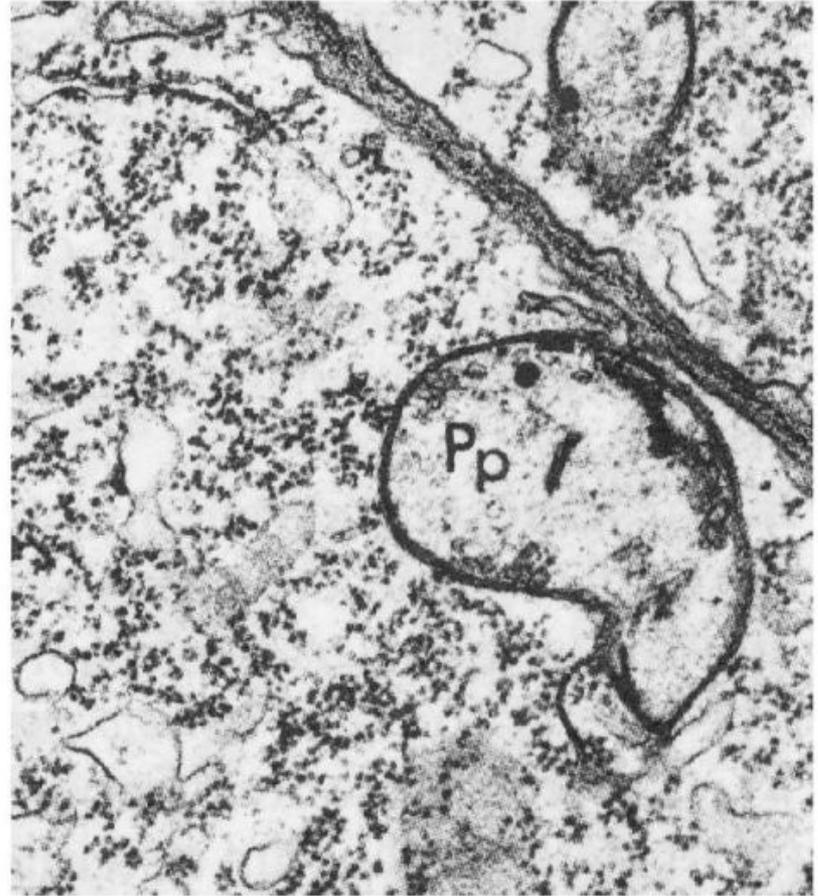
**Figura 3.8**

**Evoluzione del genoma plastidiale.** I plastidi derivano da un evento di endosimbiosi con un cianobatterio ancestrale filogeneticamente vicino a cianobatteri moderni (ne sono riportati indicativamente la dimensione del genoma e il numero di geni). Le frecce verdi indicano l'origine cianobatterica degli 87 geni plastidiali e di più di 4000 geni nucleari di Arabidopsis. Le frecce rosse indicano la presunta localizzazione intracellulare delle proteine codificate dai geni di origine cianobatterica. N: nucleo; P: plastidio; M: mitocondrio.

# I Plastidi

I Plastidi insieme alla parete cellulare ed al vacuolo sono gli organelli caratteristici delle cellule vegetali. Sono coinvolti in processi peculiari dei vegetali come fotosintesi ed accumulo.

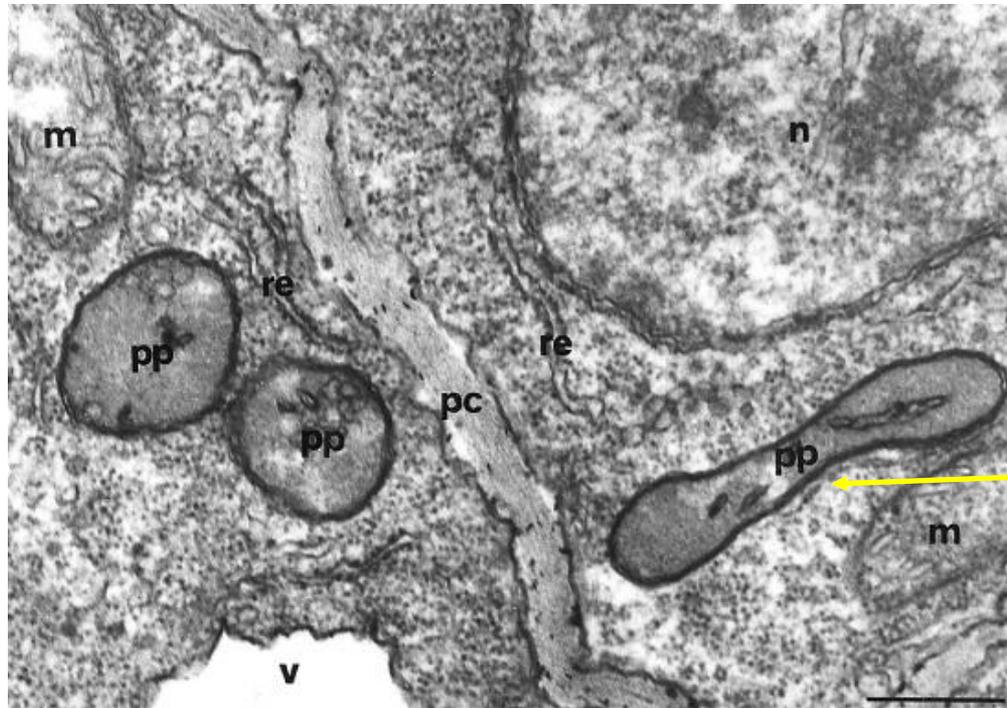
Hanno origine da **proplastidi** (plastidi indifferenziati).



**Figura 6.1**

Micrografia al microscopio elettronico di un proplastidio (Pp) (da M.C. Ledbetter e K.R. Porter, 1970, per gentile concessione della Springer Science and Business Media).

# PROPLASTIDIO

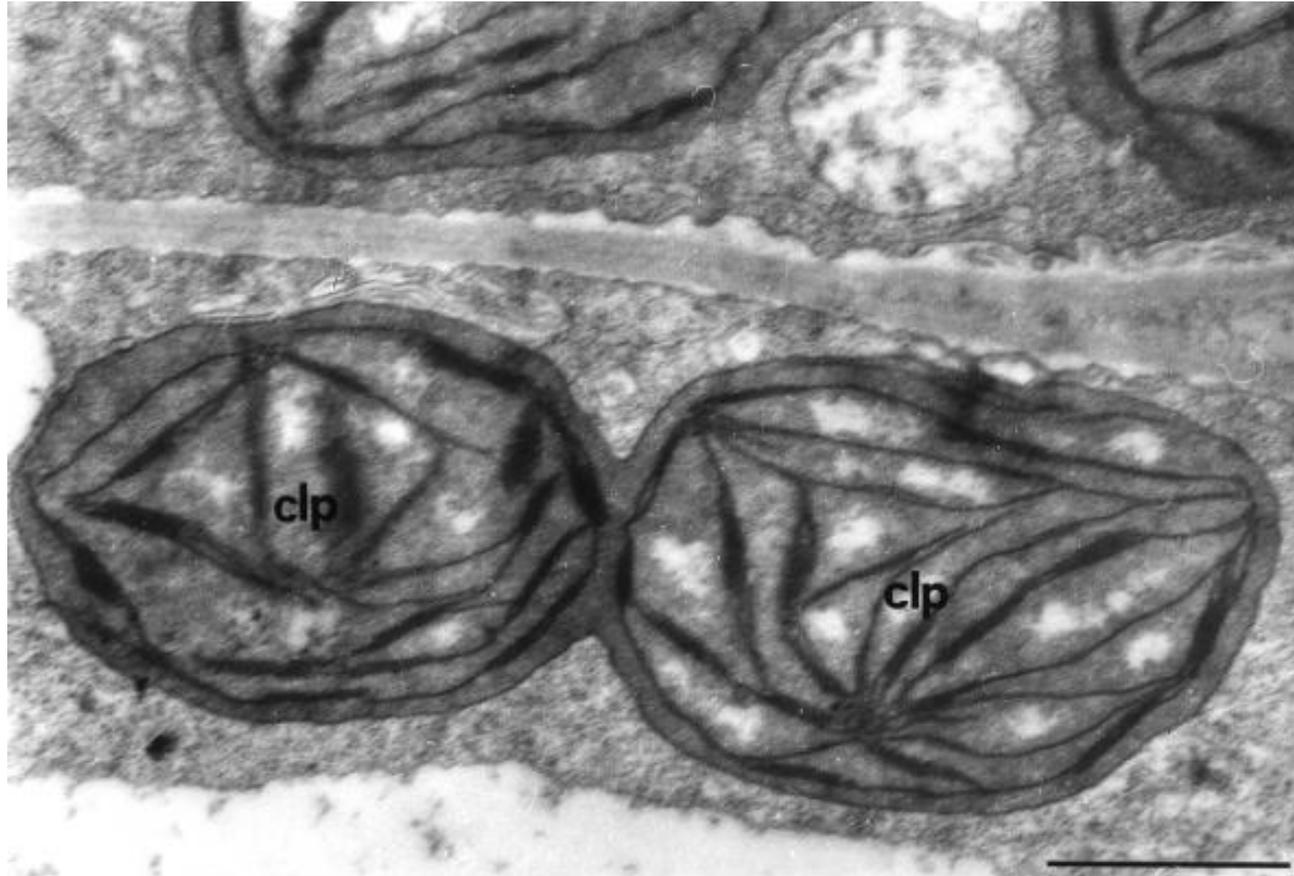


Proplastidi in una cellula meristematica di giovane foglia di mais

Prima di ogni divisione cellulare si ha la duplicazione dei proplastidi attraverso un meccanismo di scissione binaria, simile alla divisione delle cellule batteriche.

Nelle cellule meristematiche, in attiva divisione cellulare, la scissione dei proplastidi avviene di pari passo con la divisione della cellula.

## Divisione plastidiale



Giovane cloroplasto che sta dividendosi per scissione in una cellula della foglia di mais

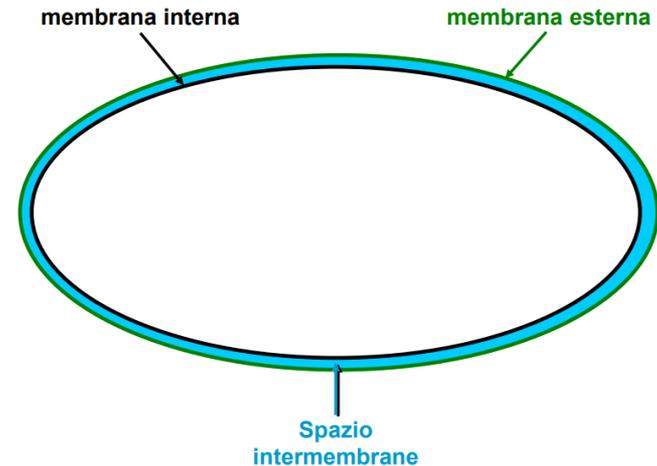
La divisione dei proplastidi è seguita da una fase di **crescita** dell'organello, fino alle dimensioni necessarie per la successiva divisione.

Durante la fase di crescita si ha anche la **replicazione del DNA**.

I plastidi sono costituiti da un involucro fatto da 2 membrane bistratificate, la **membrana interna** e la **membrana esterna**. Le membrane delimitano uno spazio interno detto **STROMA** o **MATRICE** e contiene vari metaboliti, intermedi di reazioni, 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.

### L'INVOLUCRO DEI PLASTIDI



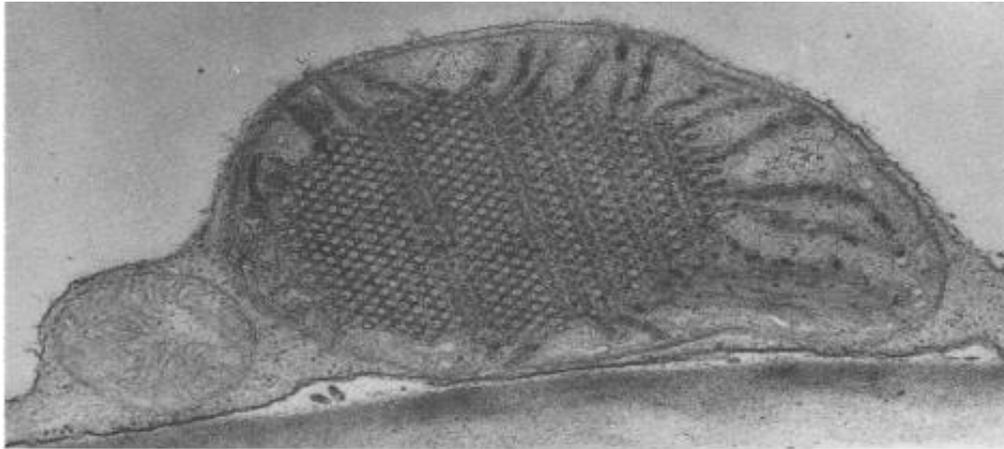
Le membrane plastidiali contengono acidi grassi con un elevato grado di insaturazione (tanti doppi legami).

L'unico fosfolipide è il fosfatidilglicerolo che nella membrana esterna è sostituito dalla fosfatidilcolina.

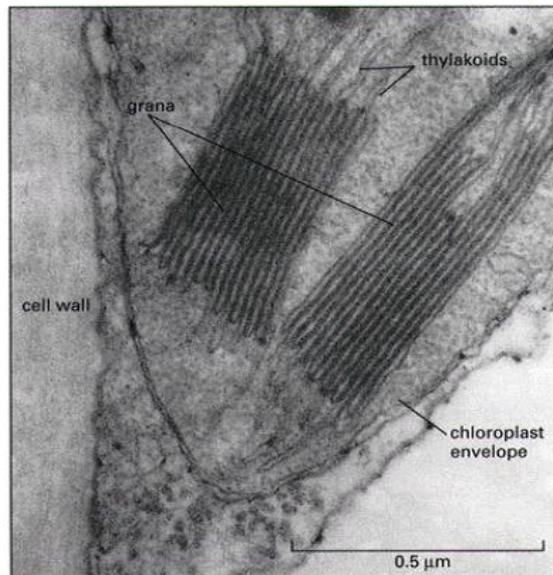
Ogni plastidio ha anche un sistema di membrane interne, dette **TILACOIDI**.

Il grado di sviluppo ed organizzazione dei tilacoidi varia nei diversi tipi di plastidi.

# Ezioplasto



**Fig. 4.34 •** In una pianta tenuta al buio i proplastidi non si differenziano in cloroplasti, ma in ezioplasti (abbreviazione per «plastidi eziolati»). Si chiama eziolamento il tipico aspetto delle piante cresciute al buio; v. cap. 15). La foto mostra un ezioplasto visto al microscopio elettronico (a sinistra appare anche un mitocondrio). Caratteristica degli ezioplasti è una struttura interna formata da tubuli disposti regolarmente che viene chiamata corpo prolamellare. Se si illumina la pianta il corpo prolamellare si disgrega e l'ezioplasto si trasforma in cloroplasto. Nella foto questo processo di disgregazione appare già iniziato: in alto a destra si vedono infatti dei piccoli tilacoidi che si distaccano dal corpo prolamellare. (Foto, per gentile concessione prof. Giovanna Marziani).

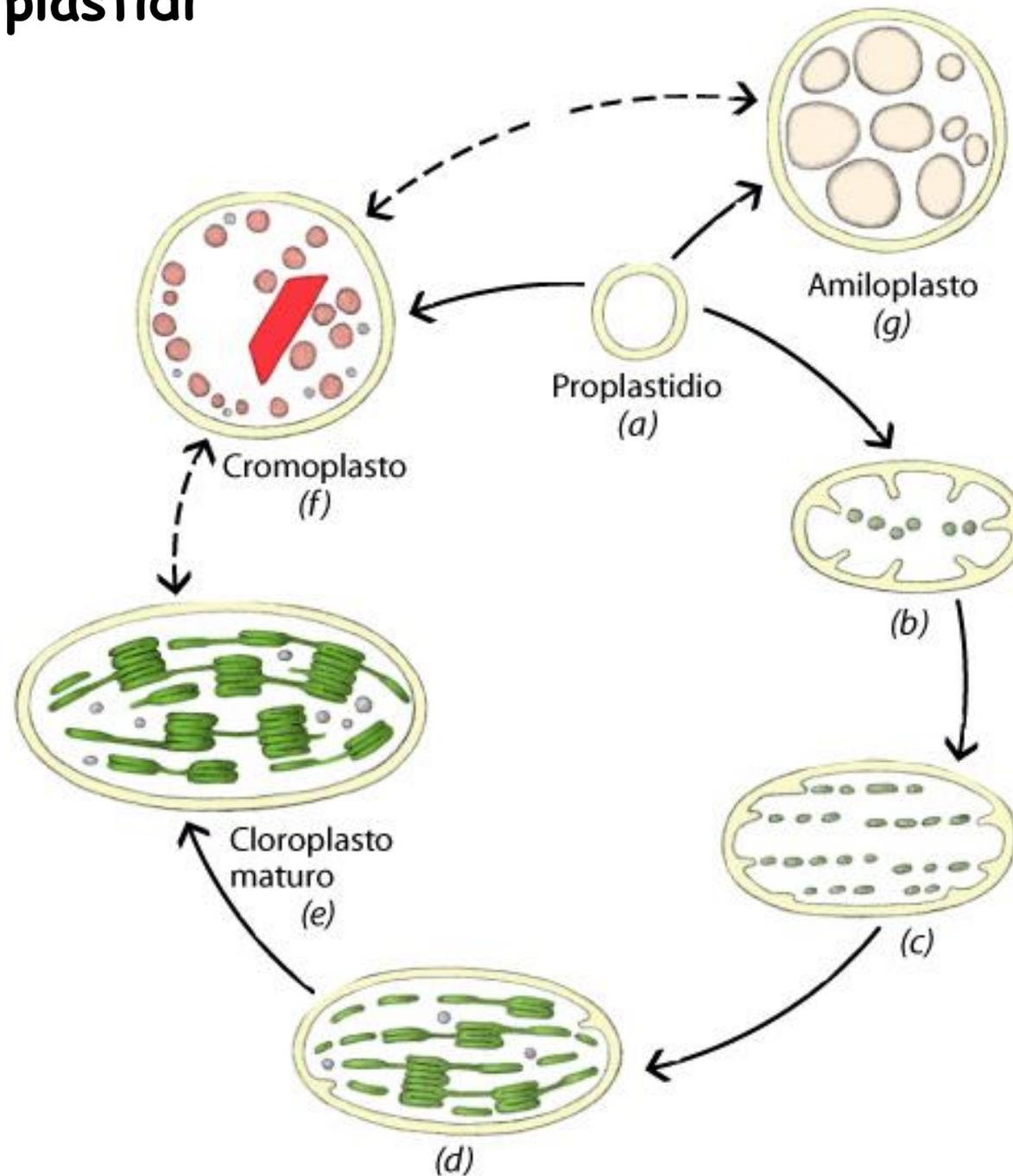


(C)

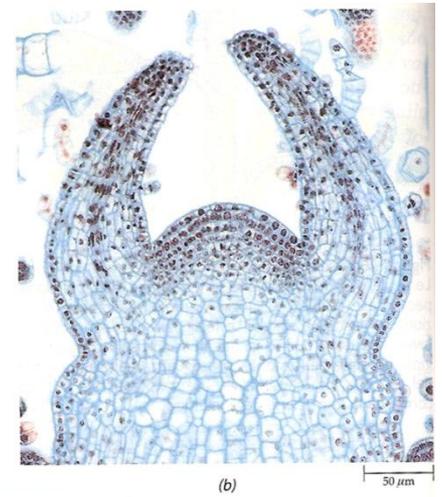
From The Art of MBoC<sup>3</sup> © 1995 Garland Publishing, Inc.

# Cloroplasto

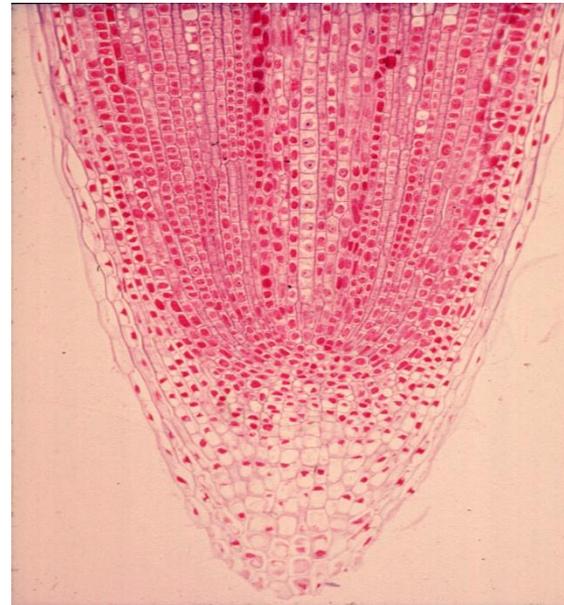
# Genesi dei plastidi



Da una cellula del meristema apicale del germoglio, ad es., si potrà differenziare una cellula fotosintetica con 100 e più cloroplasti.



Da una cellula del meristema apicale radicale si potrà differenziare una cellula parenchimatosa con un numero variabile di amiloplasti.



# Tipi di plastidi

**Cloroplasti:** svolgono la fotosintesi

**Cromoplasti:** contengono grandi quantità di pigmenti lipidici; si trovano nei fiori, nelle foglie e nei frutti

**Ezioplasti:** si formano nei tessuti destinati a divenire fotosintetici ma che crescono in assenza di luce

**Gerontoplasti:** fase finale del differenziamento dei plastidi

**Leucoplasti:** termine descrittivo, indica i plastidi incolore e vengono classificati in base alle sostanze prodotte e/o accumulate

## Leucoplasti:

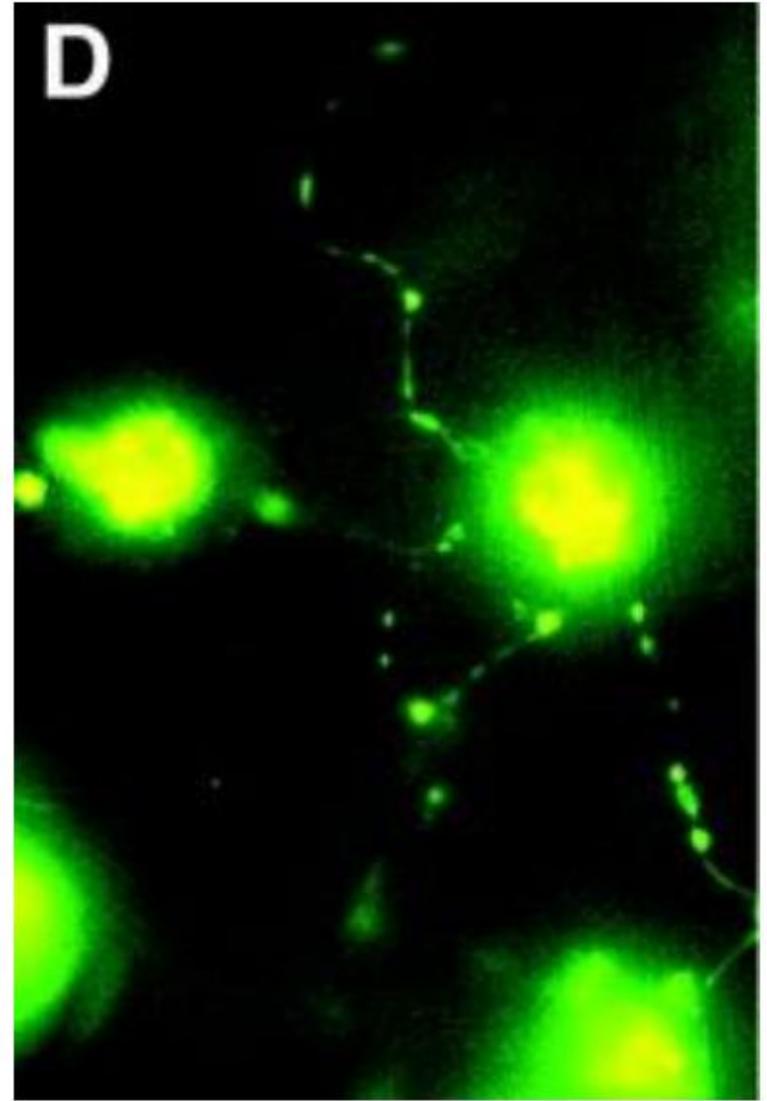
**ELAIOPLASTI:** accumulano i **lipidi**, possono contenere gocce di olio

**PROTEOPLASTI:** accumulano **proteine**; le inclusioni sono chiamate corpi proteici e sono circondati da una membrana.

**Amiloplasti:** accumulano **amido**

## STROMULI

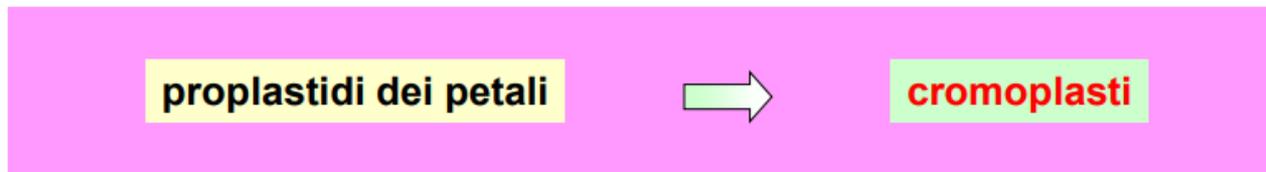
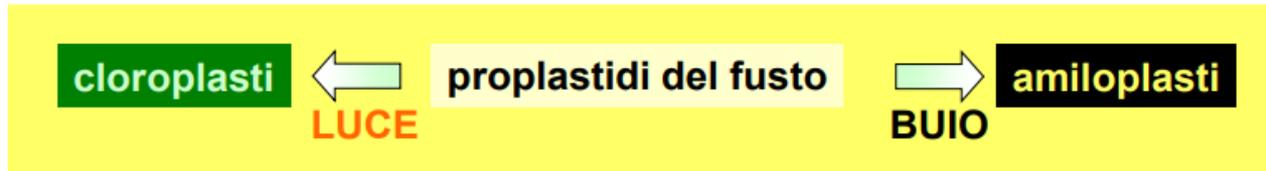
In alcuni tipi cellulari sono stati osservati dei tubuli contenenti stroma, che partono dalla superficie di un plastidio e si collegano ad altri plastidi, sono detti STROMULI. La funzione è quella di permettere lo scambio di macromolecole e/o segnali con il citoplasma o altri organuli della cellula. Sono strutture altamente dinamiche che cambiano continuamente forma.





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

- **fattori ambientali** (ad es. luce)
- **fattori interni** (ad es. organo e tessuto cui la cellula appartiene)



**I plastidi maturi vengono classificati anche sulla base dei pigmenti che contengono.**

**Un pigmento è una molecola che assorbe luce selettivamente**

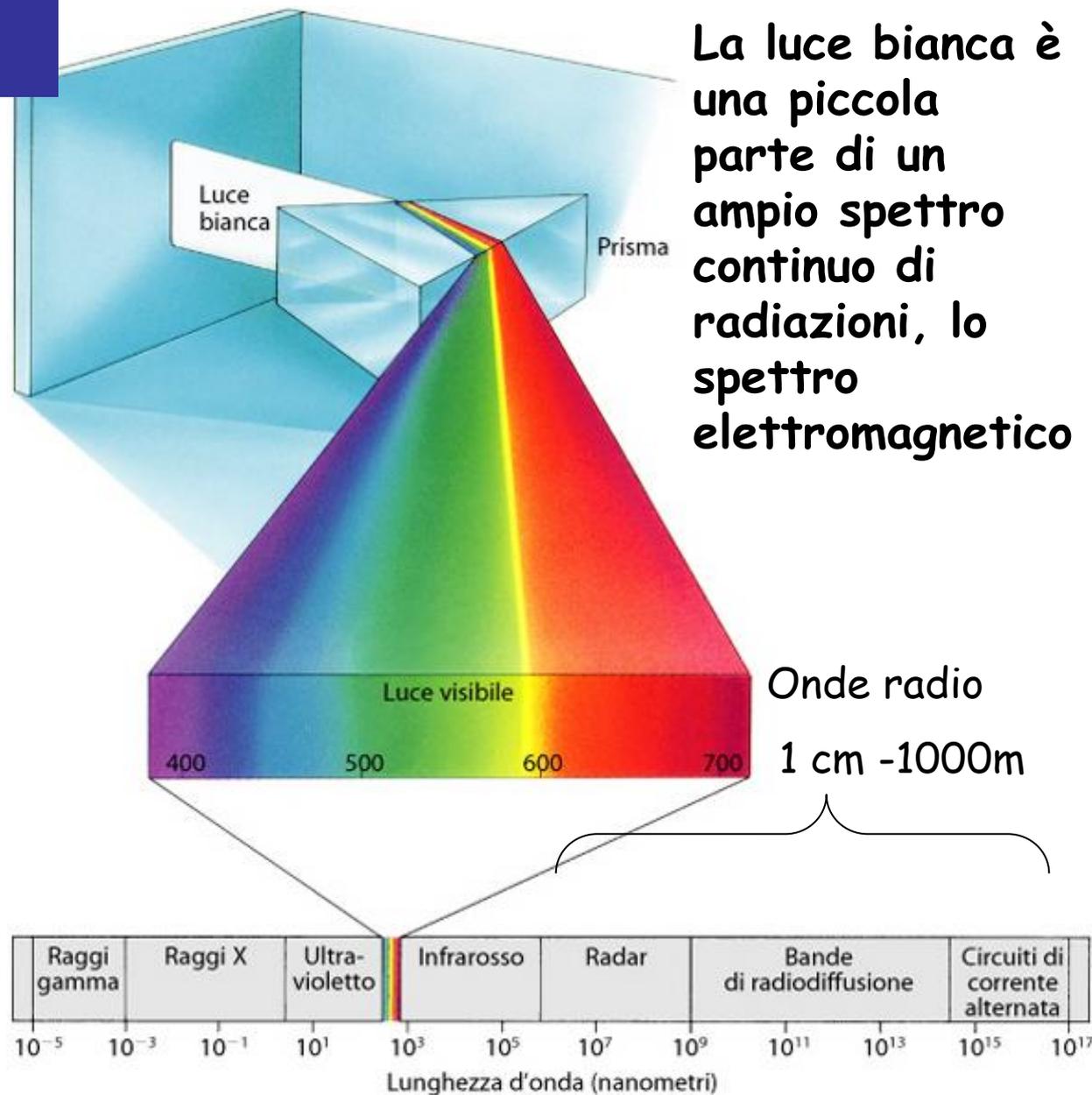
**Un pigmento ha il colore della luce che riflette e trasmette.**

**Es. la clorofilla conferisce il colore verde alle foglie perché assorbe luce nel VIOLETTO, AZZURRO e ROSSO, però riflette e trasmette la luce VERDE.**

# Luce

## Spettro elettromagnetico

Lo *spettro elettromagnetico* indica l'insieme di tutte le possibili frequenze delle radiazioni elettromagnetiche. Le radiazioni elettromagnetiche sono onde caratterizzate da una lunghezza d'onda e da una frequenza.



nm= 1 milionesimo di mm

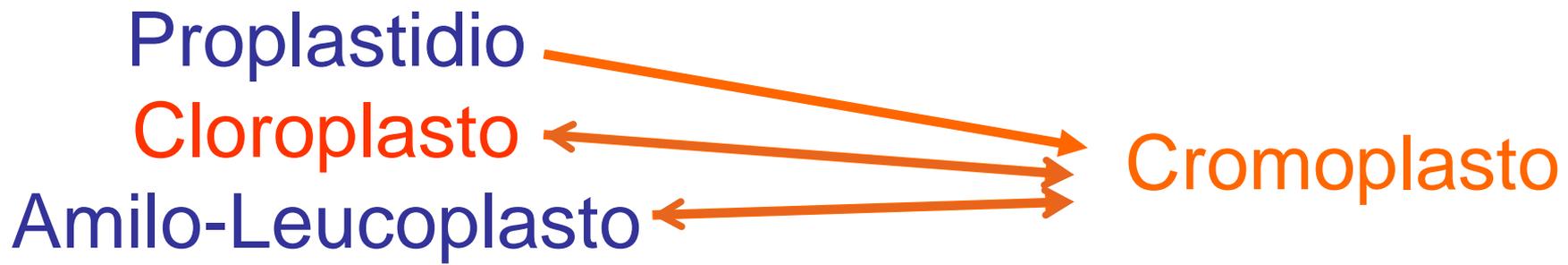
Visibile: fra 380 e 750 nm

# CROMOPLASTI

I cromoplasti sono plastidi provvisti di pigmenti. Sono di forma variabile, sono privi di clorofilla ma sintetizzano e accumulano pigmenti carotenoidi, questi ultimi sono per lo più sciolti in gocce di grasso (es. pomodori e peperoni maturi).

Conferiscono il colore giallo, arancione o rosso ai petali di alcuni fiori, alle foglie senescenti (in alternativa agli antociani).

Possono differenziarsi da cloroplasti preesistenti, che invecchiando perdono la clorofilla, degradano i tilacoidi e contemporaneamente accumulano carotenoidi (es. durante la maturazione dei frutti).



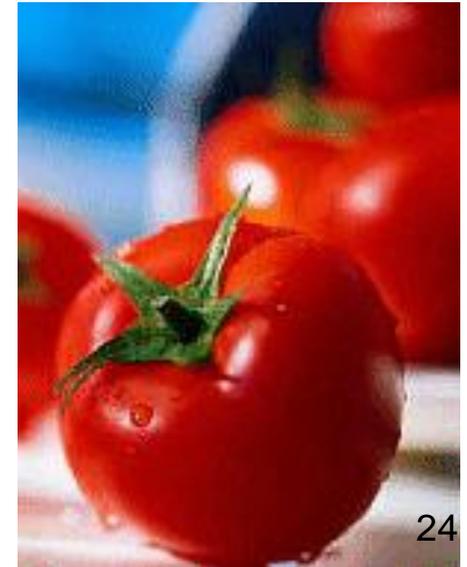
- Localizzazione: frutti, petali e parenchima di riserva della carota
- Stimoli: Ormonali, ambientali (temperatura, luce, stress)
- Differenziamento: organogenesi
- Funzione: vessillare
- Contenuto: pigmenti, accumulo di carotenoidi, proteine e lipidi,



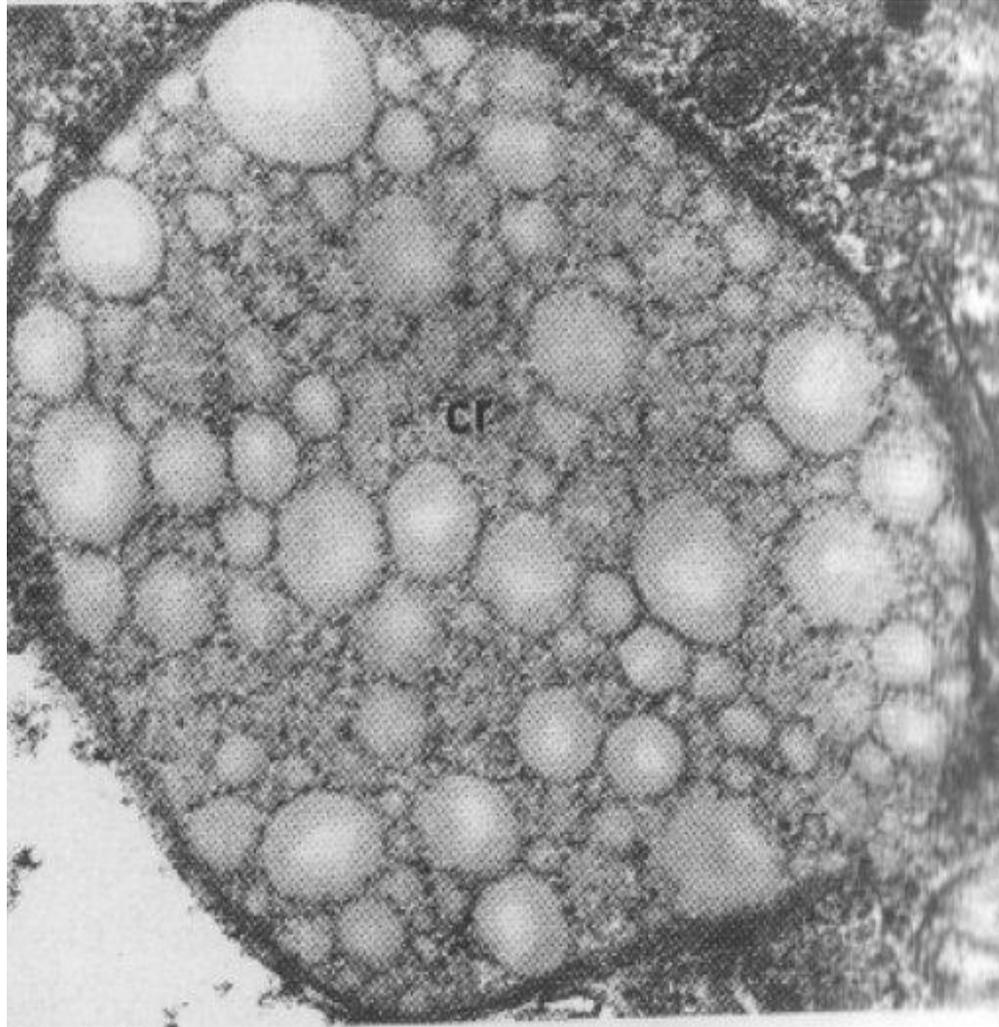
# In base alla morfologia dell'accumulo dei pigmenti, si classificano in:



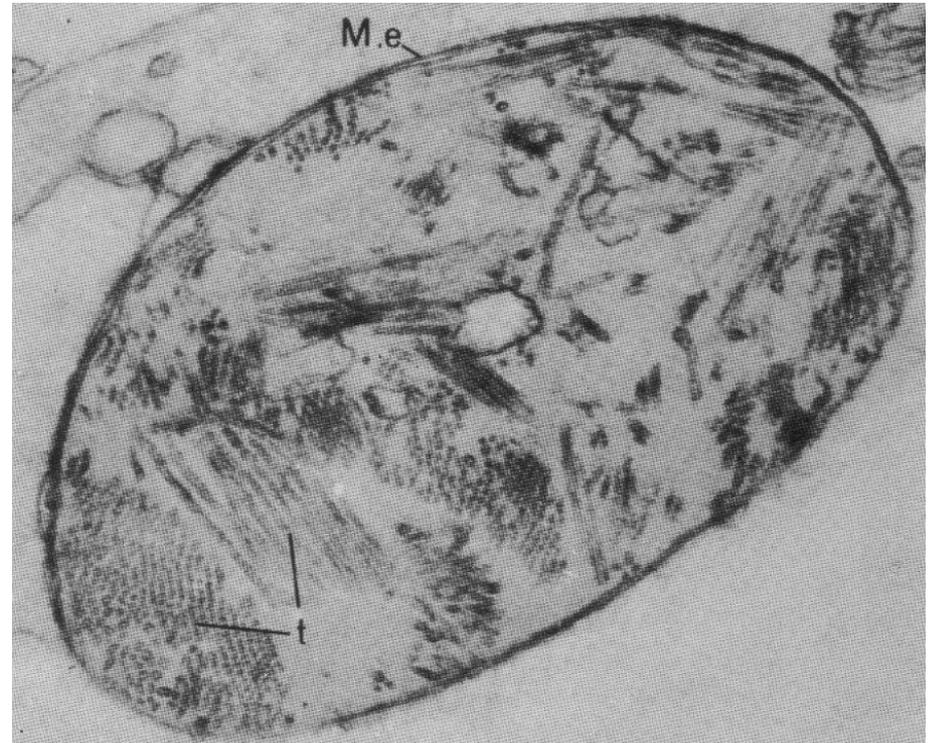
- Globulari
- Fibrillari
- Membranosi
- Cristallini



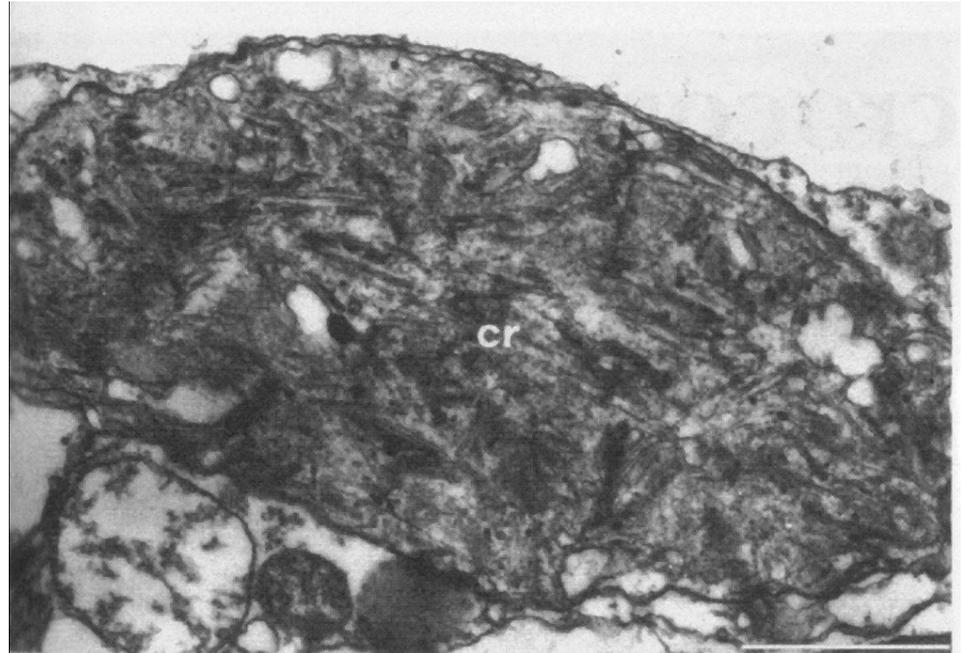
# Cromoplasto globulare



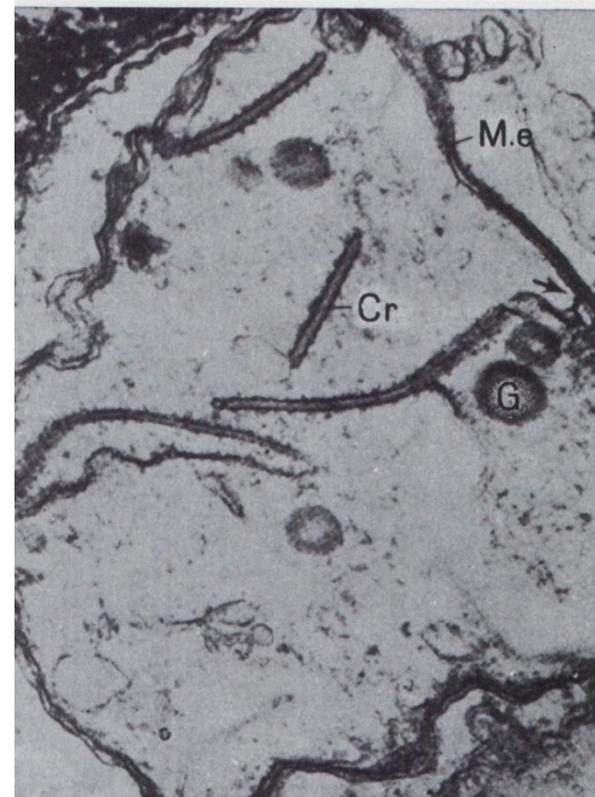
# Cromoplasto fibrillare



# Cromoplasto Membranoso

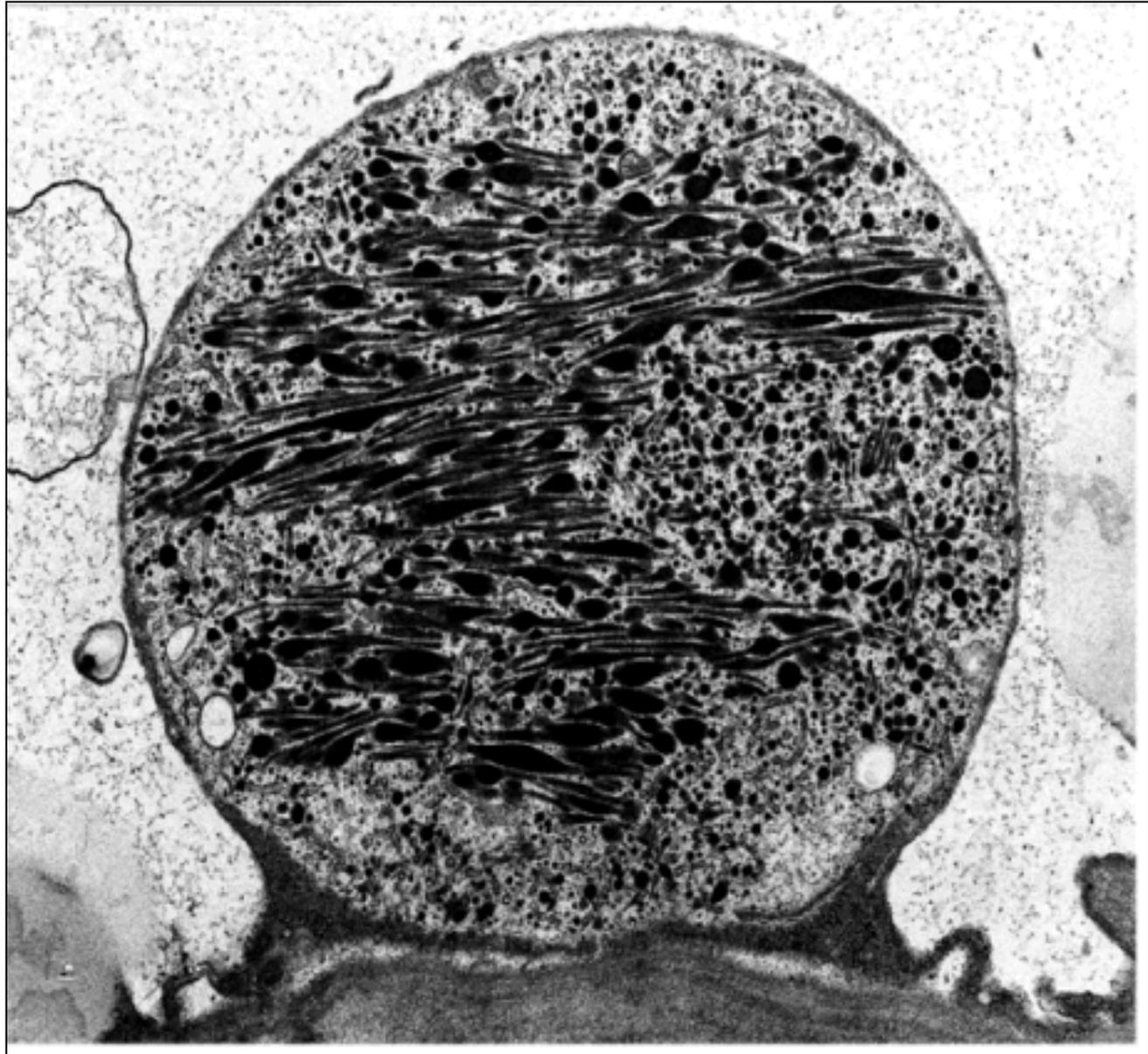


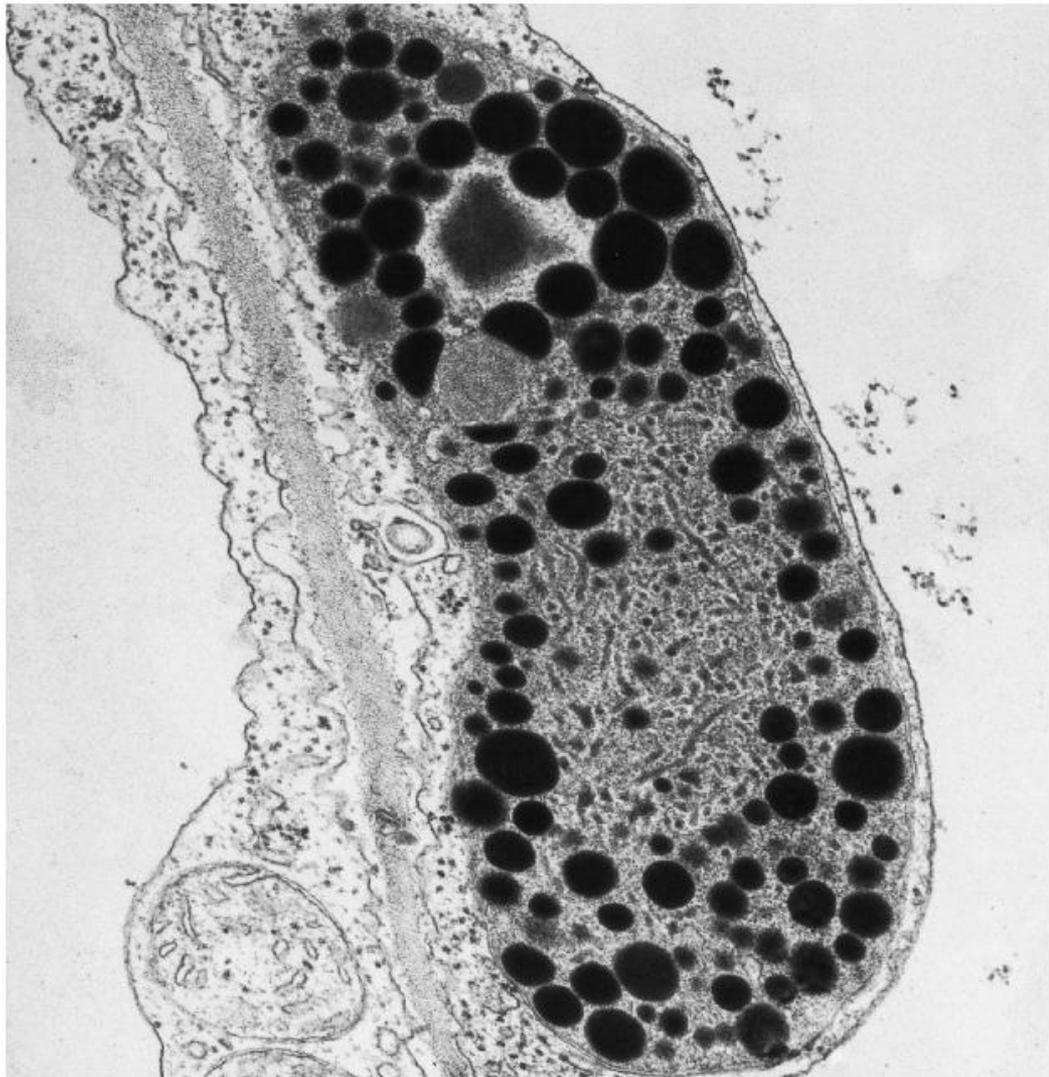
# Cromoplasto cristallino



# Immagine di Cromoplasto al TEM

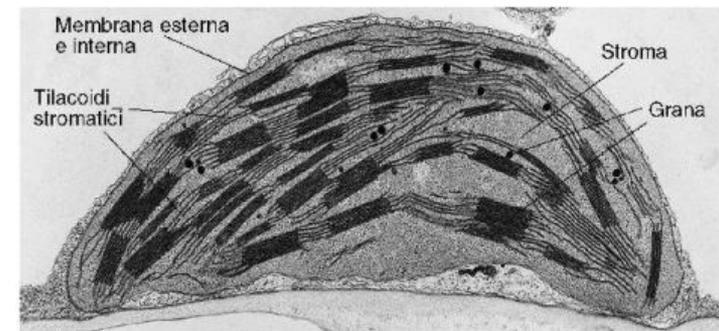
I corpi densi contengono carotenoidi



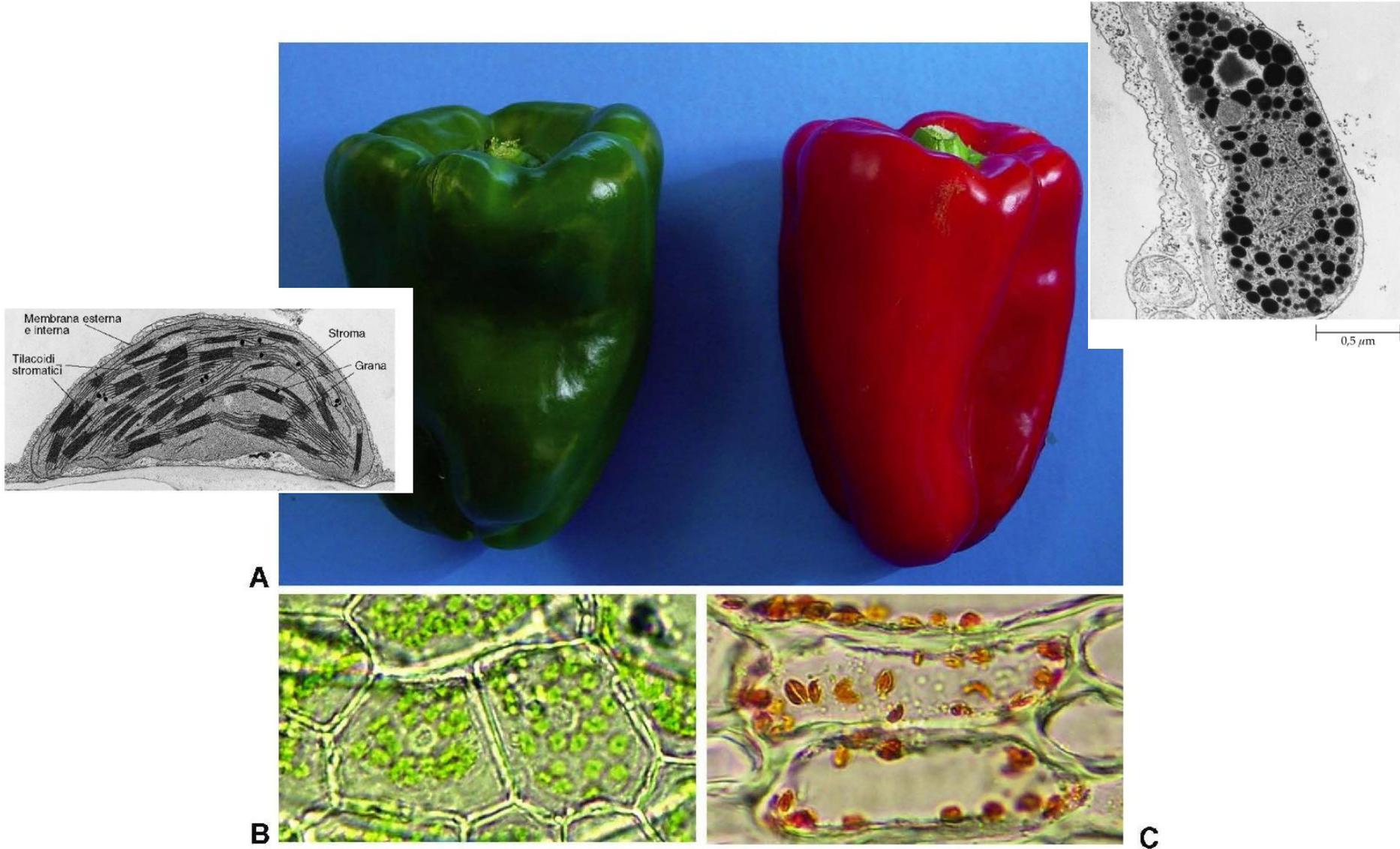


0,5  $\mu\text{m}$

Nei cromoplasti è presente un sistema esteso di membrane, non ci sono i tilacoidi, ed i pigmenti possono essere associati alle membrane o essere sotto forma di cristalli o di goccioline separate, i **plastoglobuli**.



cloroplasto



**Figura 6.8**

La maturazione del peperone (*Capsicum annuum*) (A) si accompagna alla conversione dei cloroplasti (B) in cromoplasti (C) (osservazione di A. Valletta e G. Pasqua).

# Trasformazione di un cloroplasto in cromoplasto in un petalo di ranuncolo

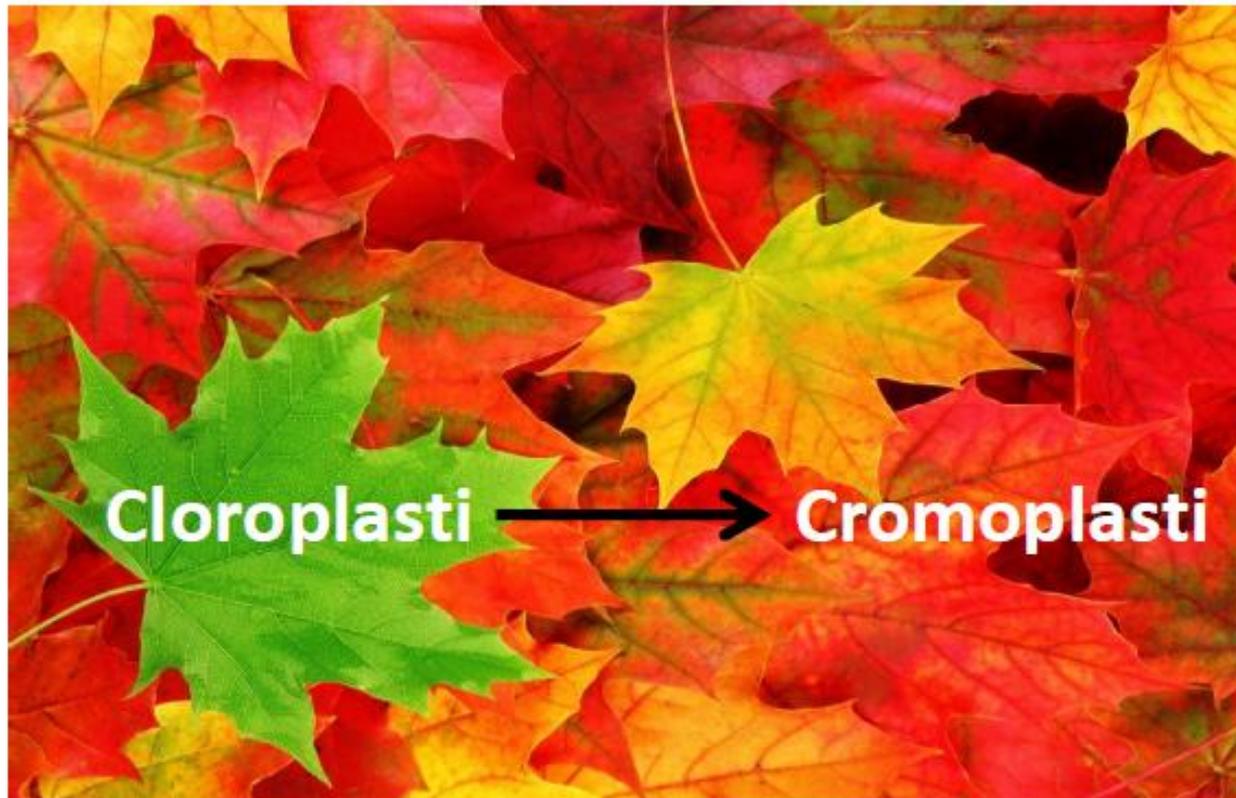


Sono ancora presenti tilacoidi dilatati e deformati

Si sono già formati dei grossi globuli densi agli elettroni

# SENESCENZA

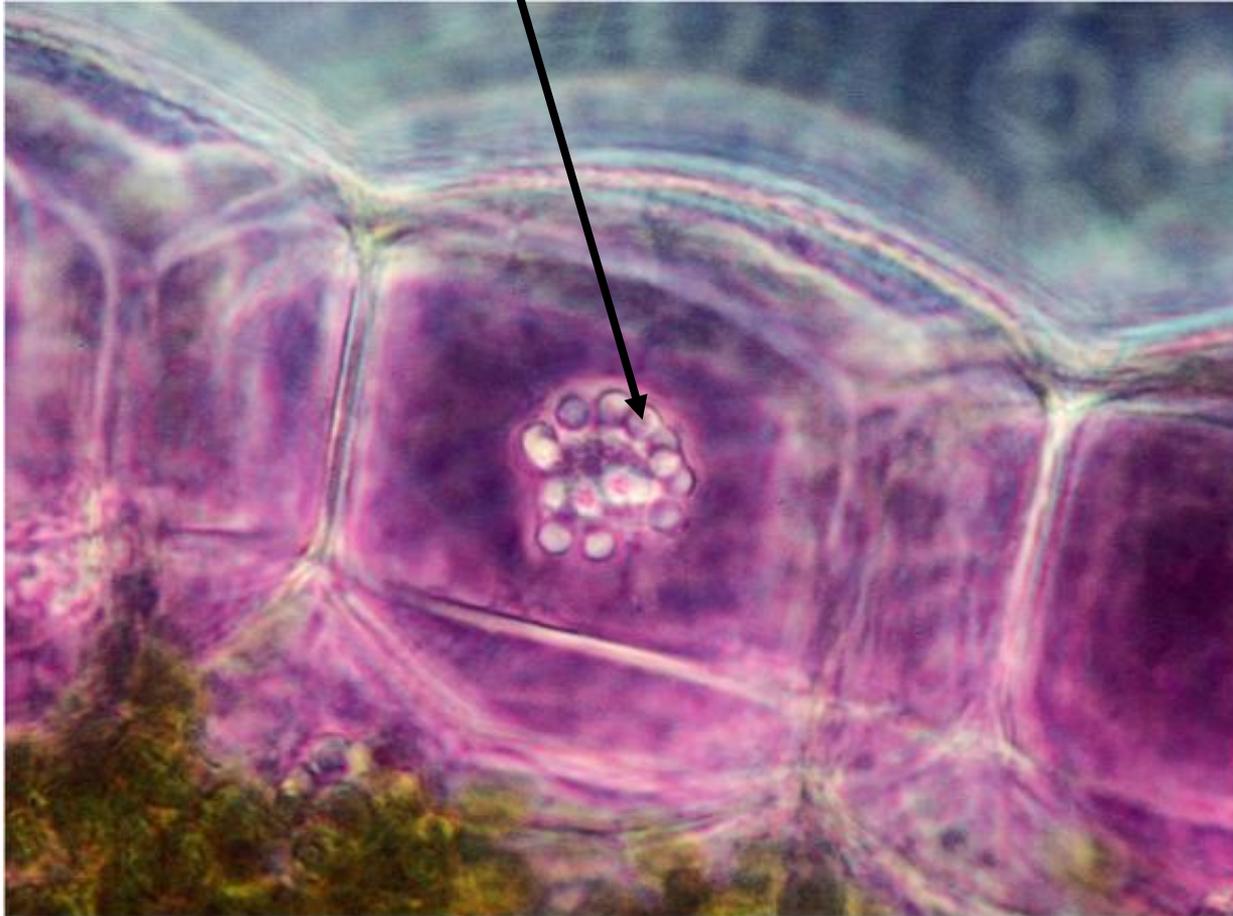
Le foglie autunnali perdono progressivamente il colore verde e ingialliscono, perché la clorofilla viene degradata e si accumulano i carotenoidi.



# Leucoplasti (plastidi incolori)

Possono essere specializzati per biosintesi particolari, come ad es. biosintesi di acidi grassi e metaboliti secondari come gli oli essenziali.

Leucoplasti intorno al nucleo



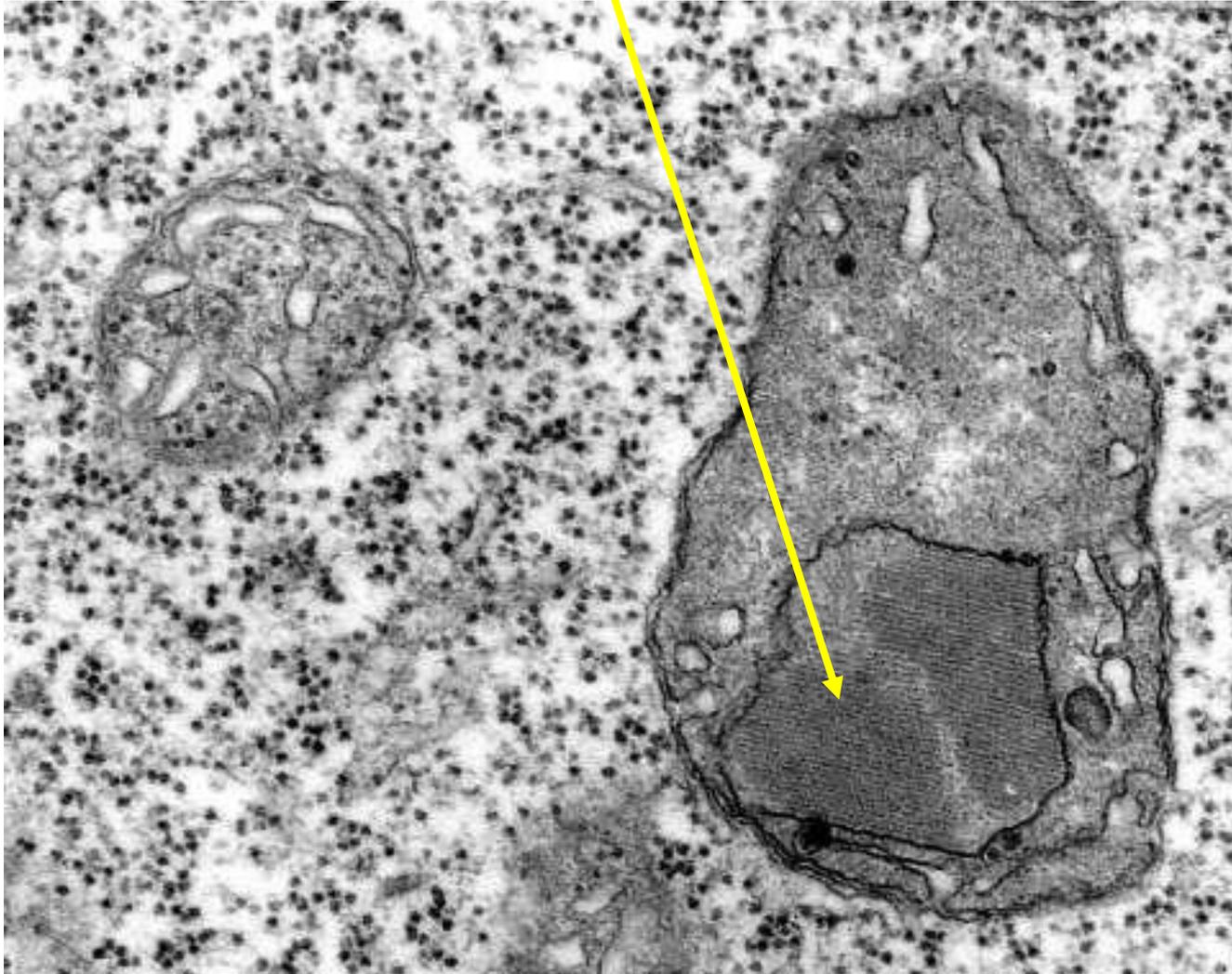
20  $\mu\text{m}$

La colorazione violacea è data da antociani, pigmenti, presenti nei vacuoli.

Leucoplasti (L) nel tricoma ghiandolare, in fase di attiva secrezione, di menta piperita.



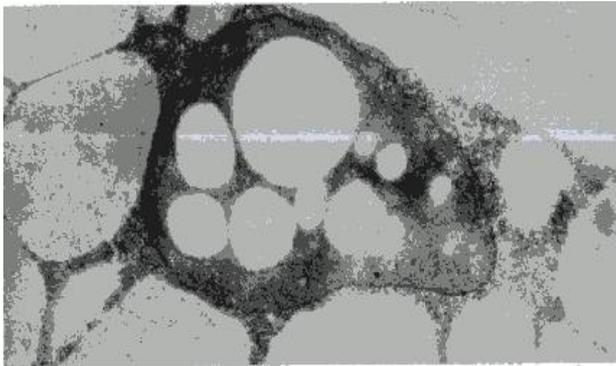
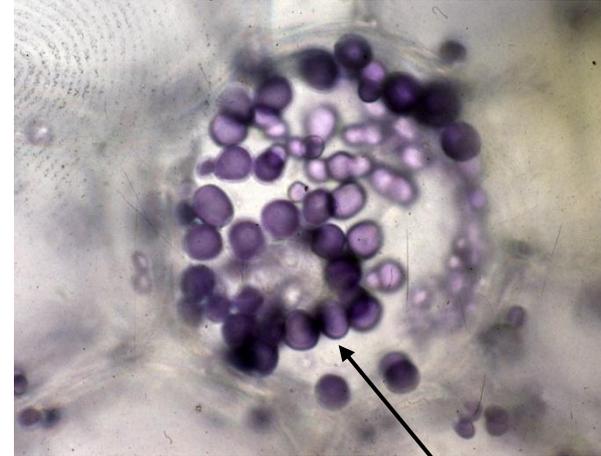
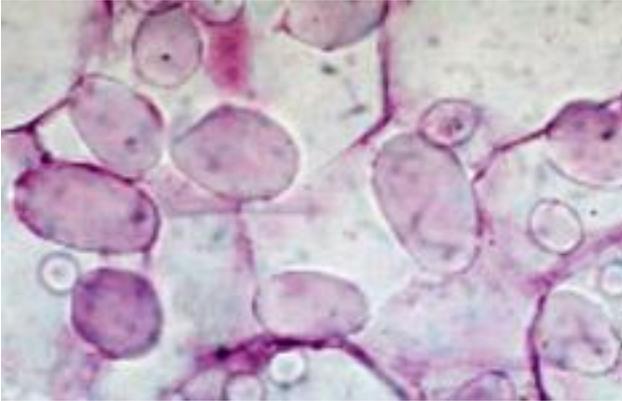
# Leucoplasto con incluso proteico



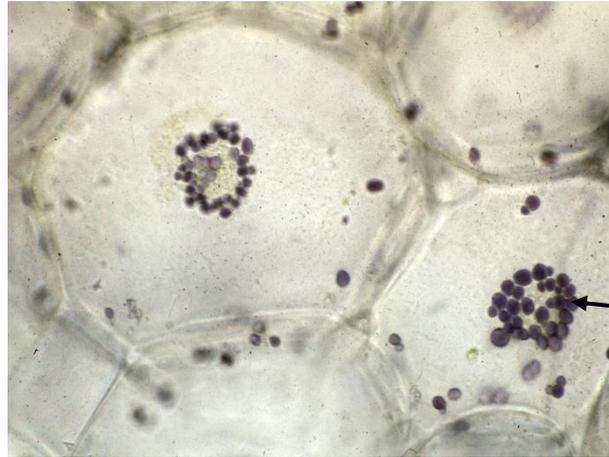
# GLI AMILOPLASTI

## ACCUMULO DI AMIDO

Amido in cellule parenchimatiche  
(tubero della patata)



amiloplasto



Granuli di  
amido in  
cellule del  
parenchima  
midollare di  
tabacco

# Amido = polimero dell' $\alpha$ -glucosio

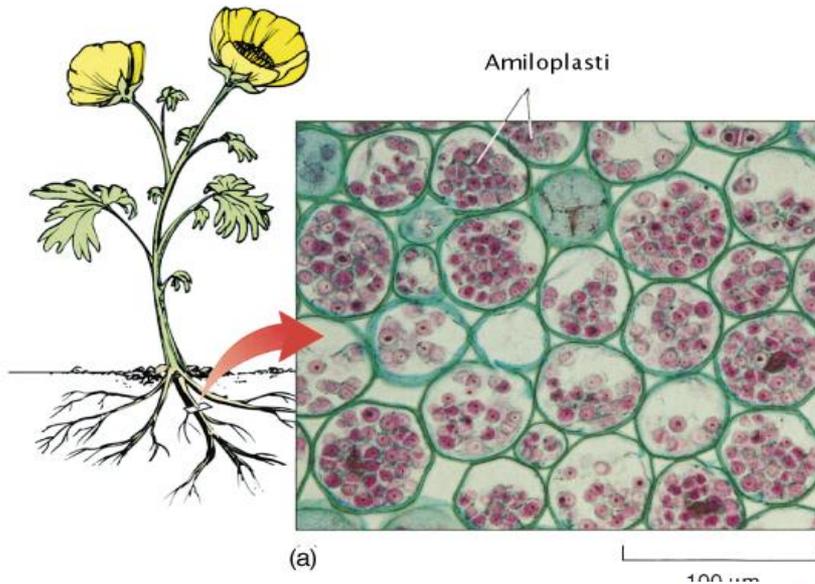
L'amido è composto da due polimeri: l'amilosio e l'amilopectina.

Sono entrambi polimeri di glucosio.

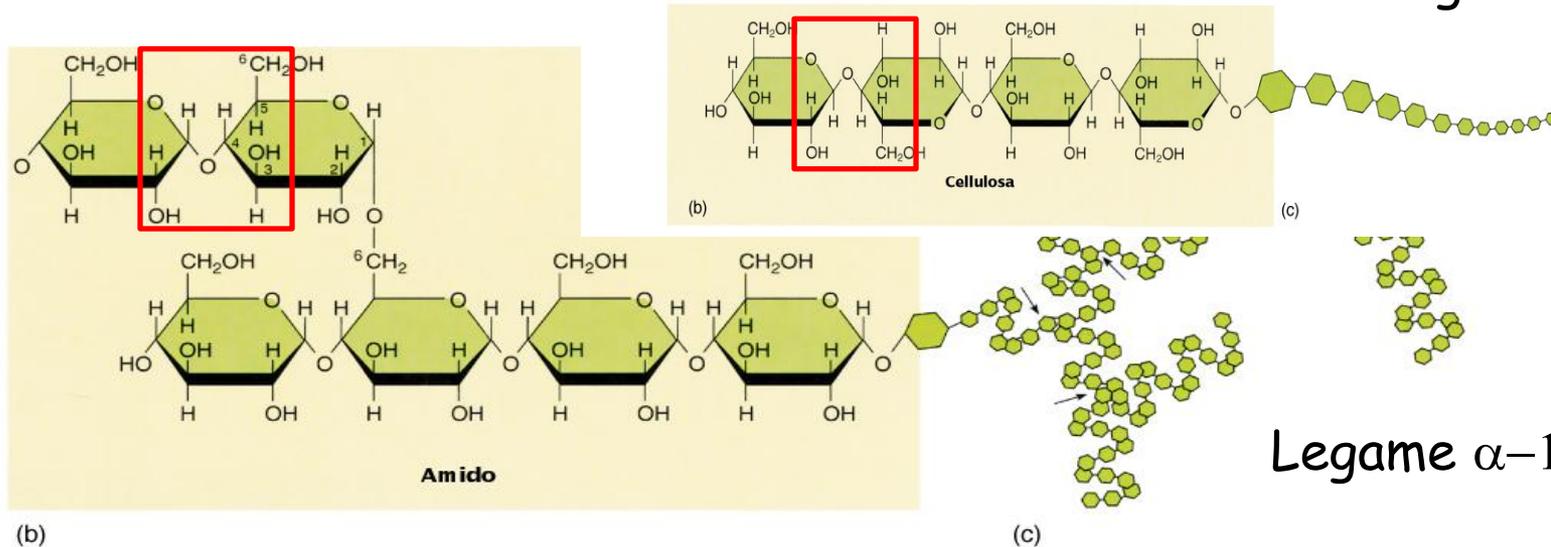
L'amilosio è un polimero lineare in cui le unità di glucosio sono legate tra di loro con legami glicosidici  $\alpha$  (1-4).

L'amilopectina è un polimero ramificato con catene di base simili all'amilosio e ogni 24-30 unità di glucosio si innestano delle catene laterali mediante legami  $\alpha$  (1-6).

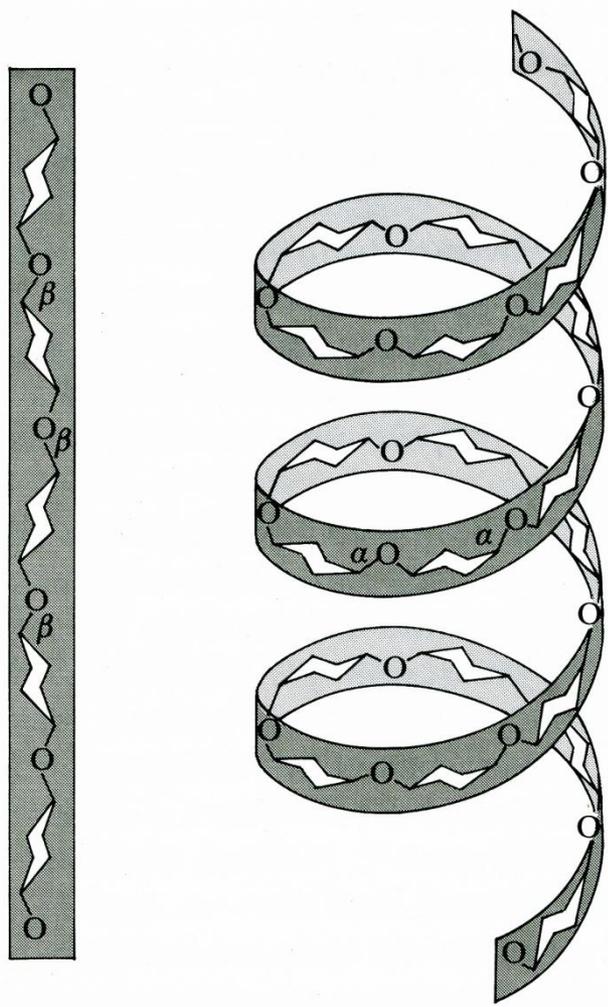
# Amido: polimero dell' $\alpha$ glucosio con legami $\alpha$ 1-4



■ **Figura 3-9 L'amido, un polisaccaride di riserva.** (a) L'amido (*colorato di rosso*) viene accumulato in speciali organuli, detti amiloplasti, visibili in queste cellule di una radice di ranuncolo. (b) L'amido è composto da monomeri di  $\alpha$ -glucosio uniti da legami glicosidici. Nei punti di ramificazione si ha un legame tra il carbonio 6 del glucosio della catena principale ed il carbonio 1 del glucosio della catena di diramazione. (c) L'amido ha catene altamente ramificate. Nella rappresentazione schematica le frecce indicano i punti di ramificazione. Lo schema è semplificato perché nella realtà ciascuna catena ha una forma a spirale o elica resa stabile da legami a idrogeno tra le subunità di glucosio. (a, Ed Reschke)

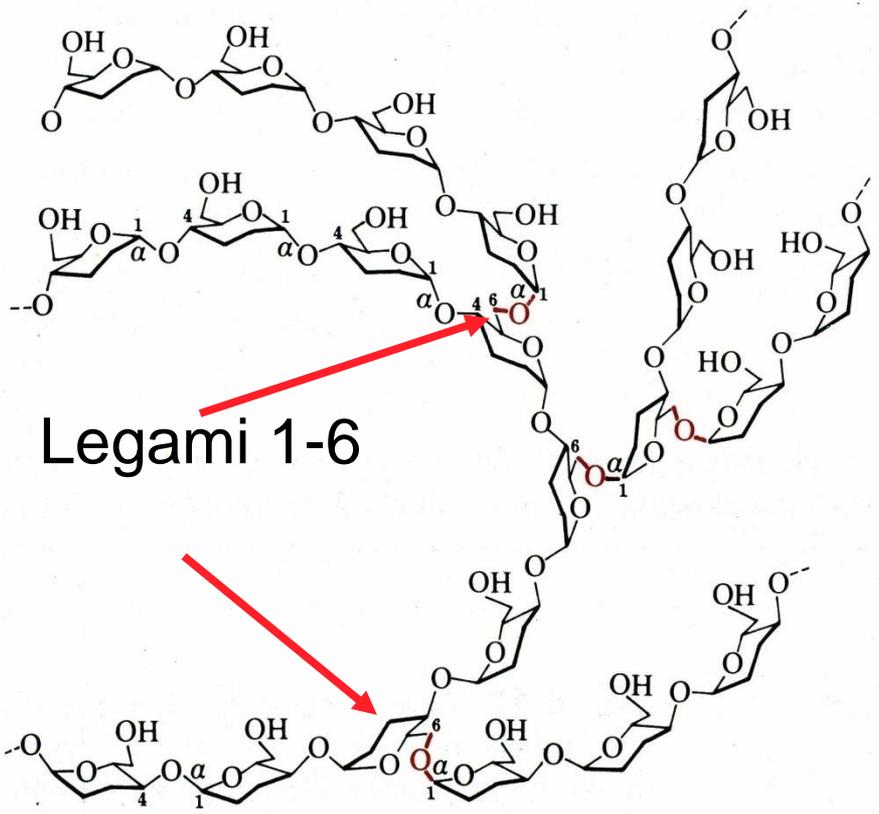


**Cellulosa    Amiloso (elicoidale)    Amilopectina (ramificata)**



cellulosa

amido (amilosio)



**FIG. 4.55** • Un tratto della molecola dell'amilopectina. I legami 1,6 tra le molecole di  $\alpha$ -glucosio sono indicati in rosso.  
(Da Dickerson e Geis «Chimica, materia e universo», Zanichelli).

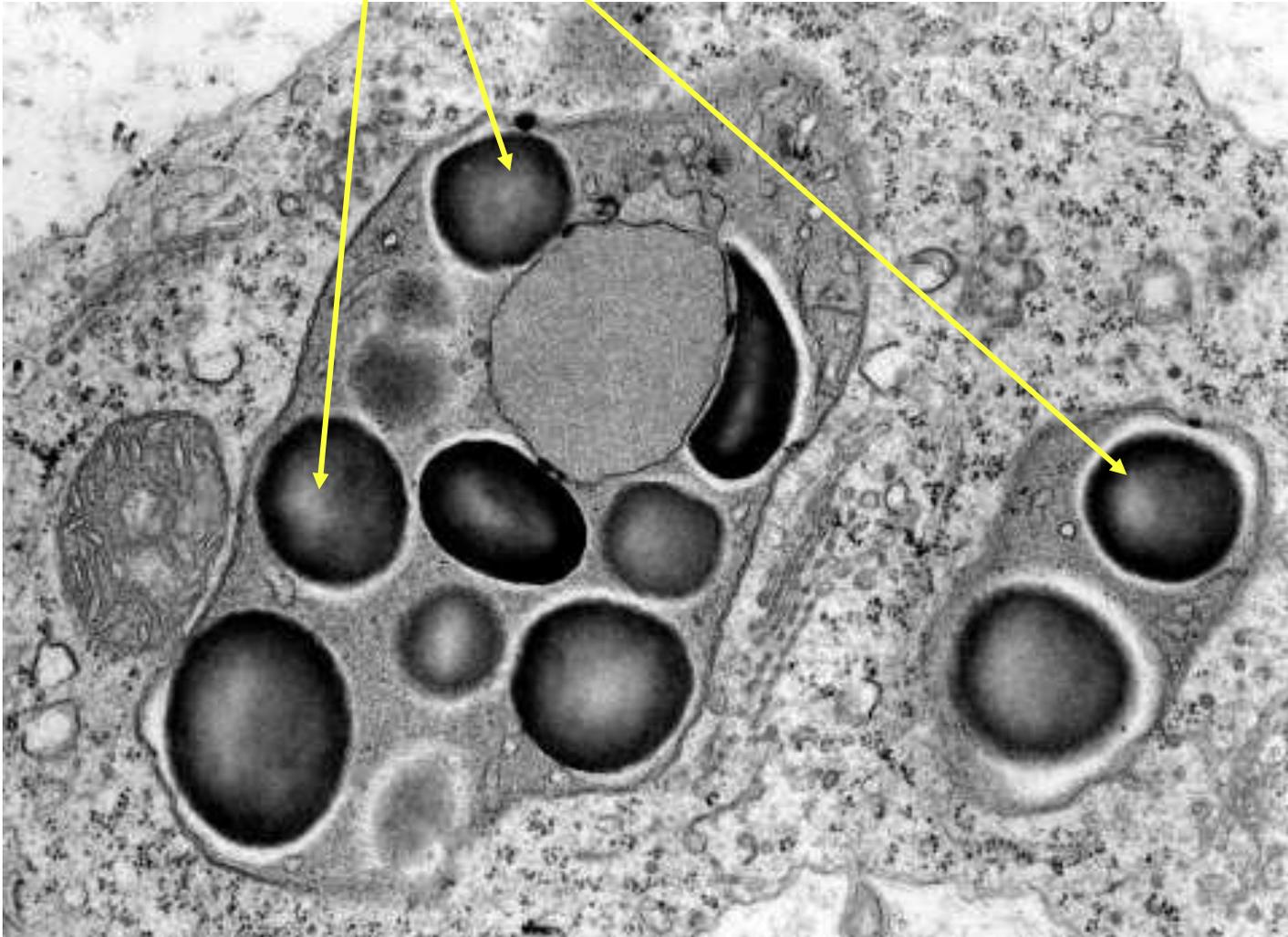
Le percentuali dei due polimeri variano a seconda dell'organismo vegetale:

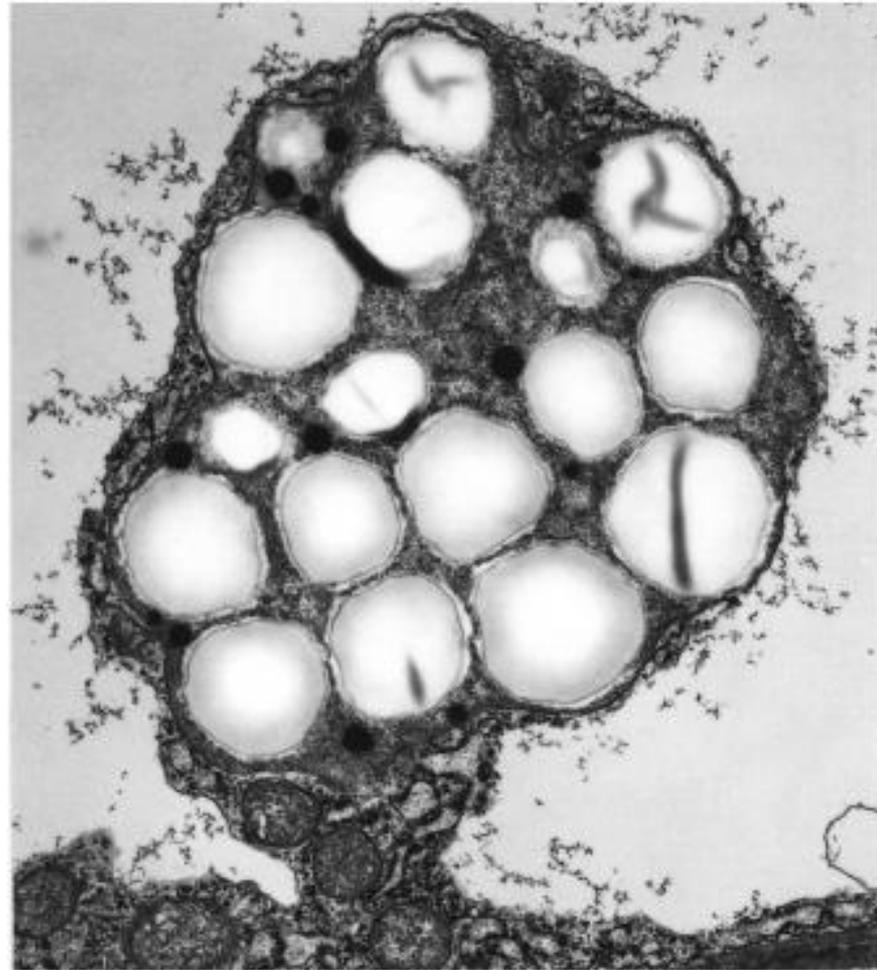
maggiore concentrazione di AMILOPECTINA causa la maggiore tendenza a trattenere acqua e quindi il rigonfiamento delle cellule.

Es. **patata 78% di amilopectina**

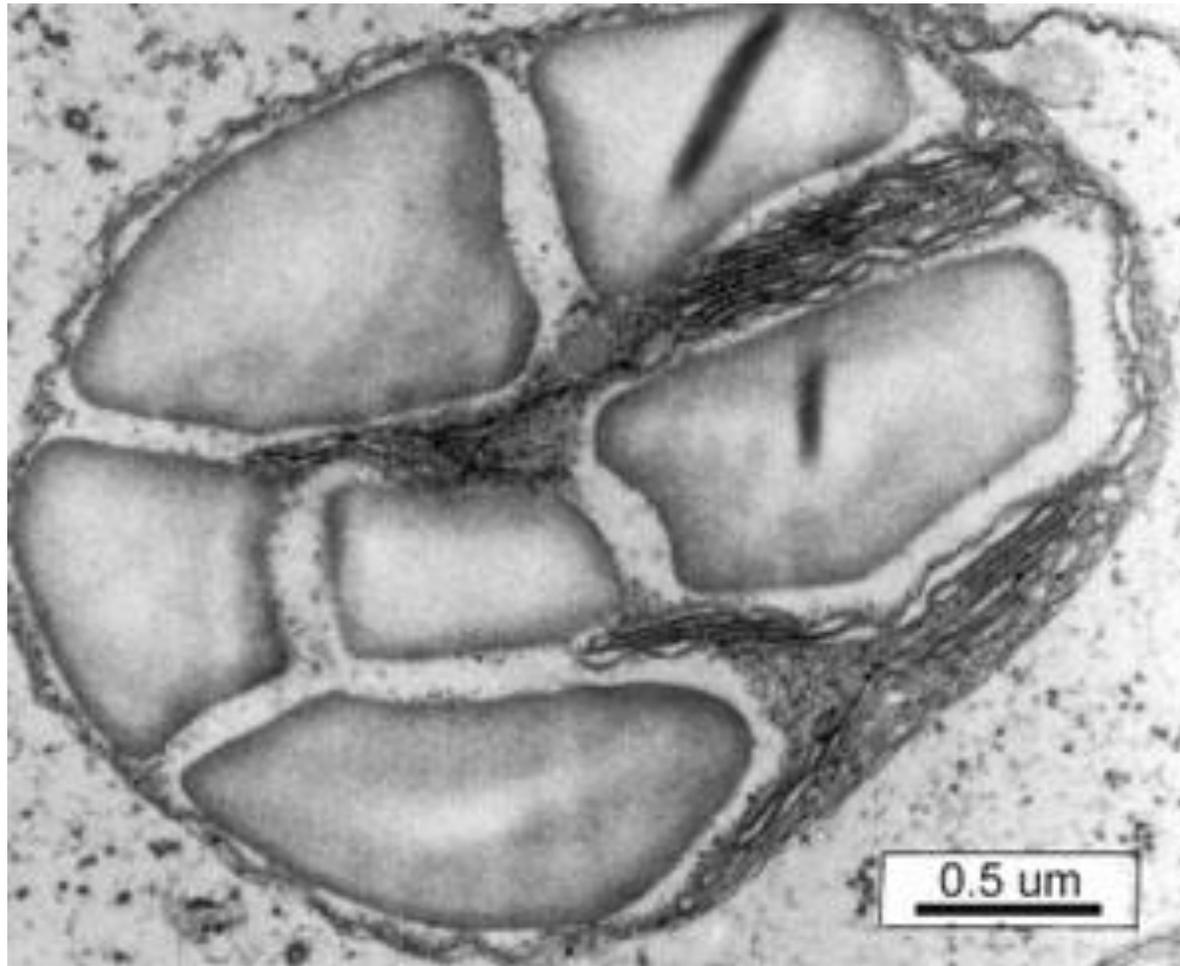
Nei cloroplasti viene sintetizzato una piccola quantità di amido questo è detto **amido primario**, l'amido accumulato negli amiloplasti è **l'amido secondario**.

## Granuli di amido negli amiloplasti

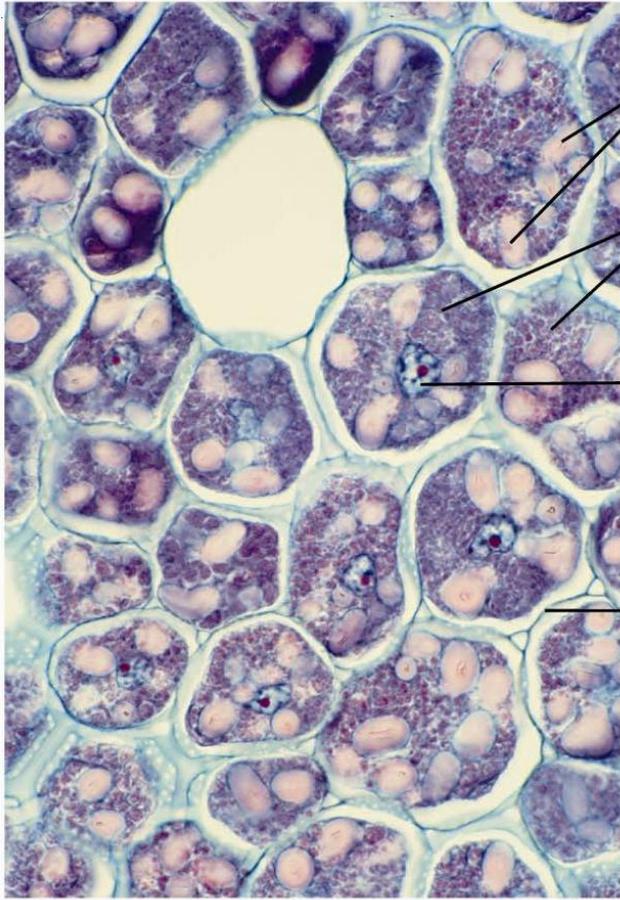




1 μm



Gli amiloplasti si possono trovare nelle radici, tuberi, rizomi, parenchima midollare del fusto



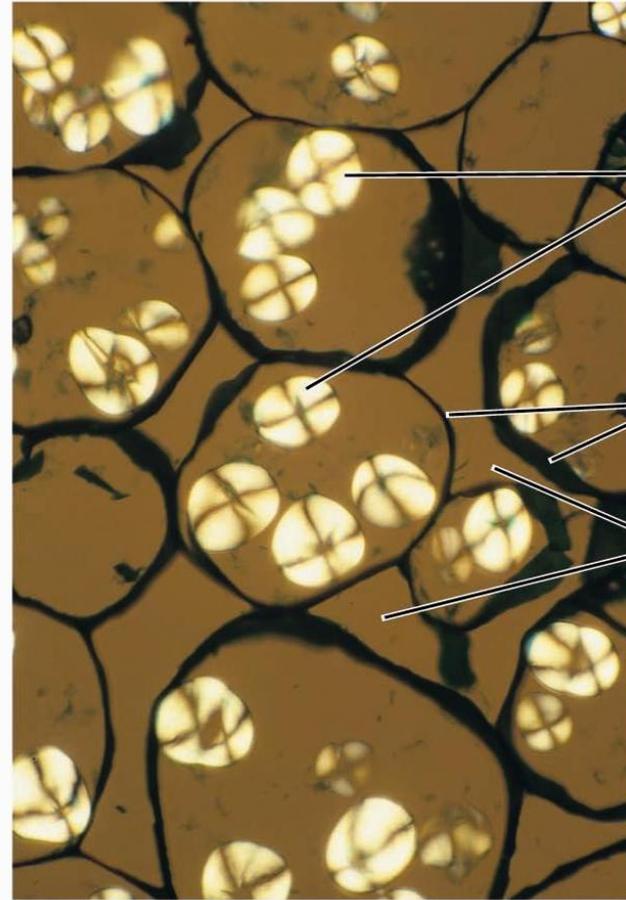
Granuli d'amido

Corpi proteici

Nucleo (blu)  
con nucleolo  
(rosso)

Parete cellulare

(a)

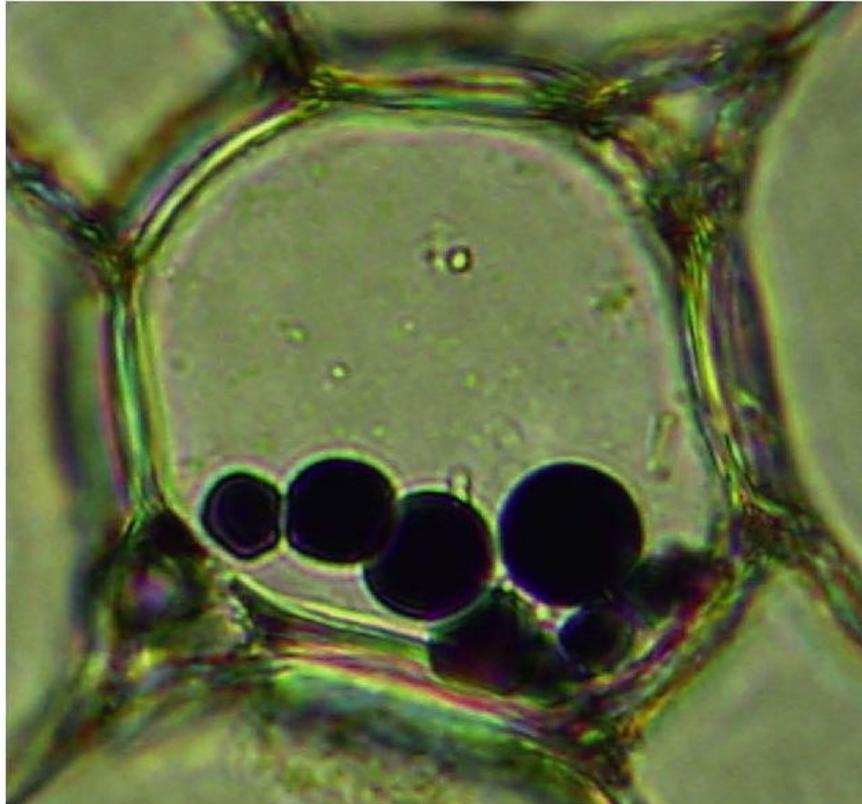


Granuli d'amido

Pareti cellulari

Spazio  
intercellulare

(b)



**Figura 6.9**

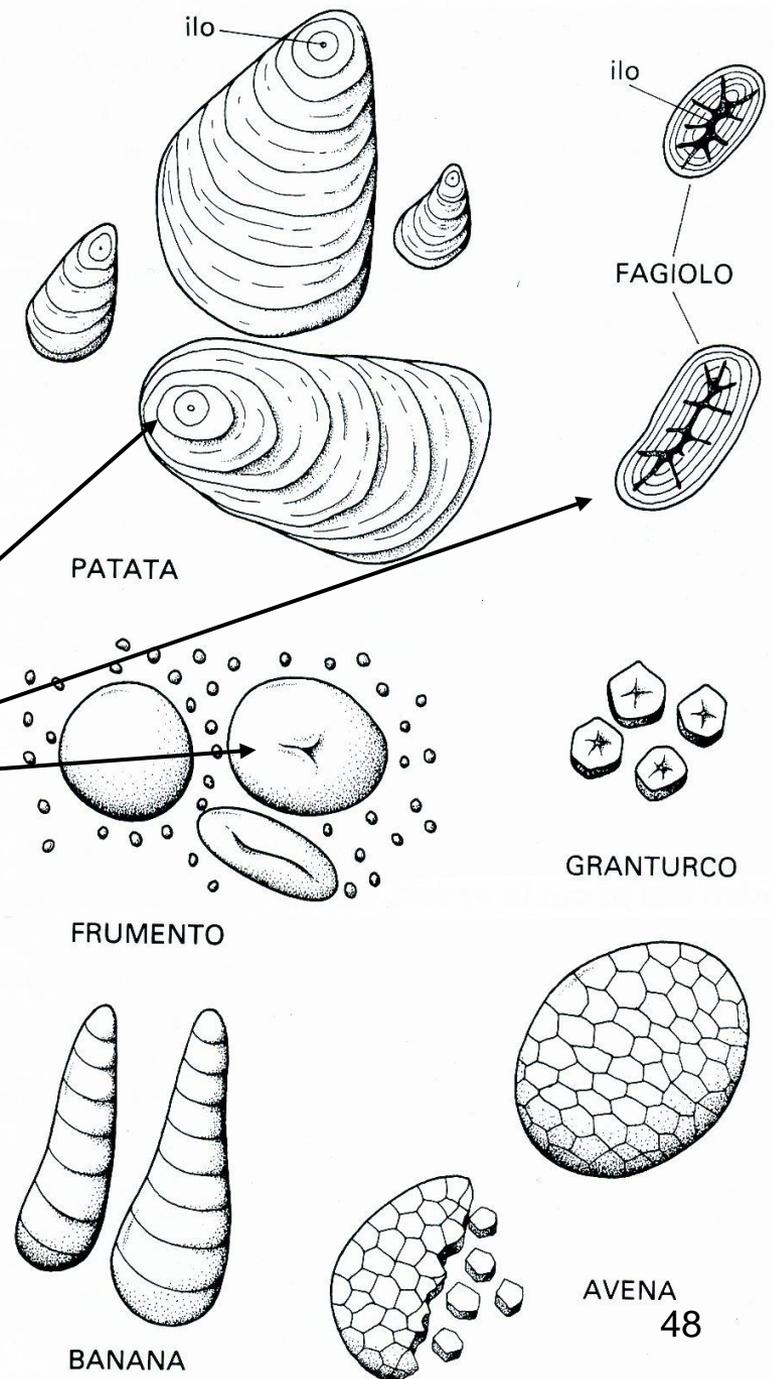
Cellula del parenchima midollare del fusto di ricino (*Ricinus communis*) in cui sono evidenti degli amiloplasti, colorati in azzurro-viola con iodo-ioduro (osservazione di A. Valletta e G. Pasqua).

# Granuli d'amido

Incluso solido, si accumula sotto forma di grossi granuli di forma varia (sferica, ovoidale, poliedrica, lenticolare, a bastoncino con dimensioni che variano da 1 a 170  $\mu\text{m}$ )

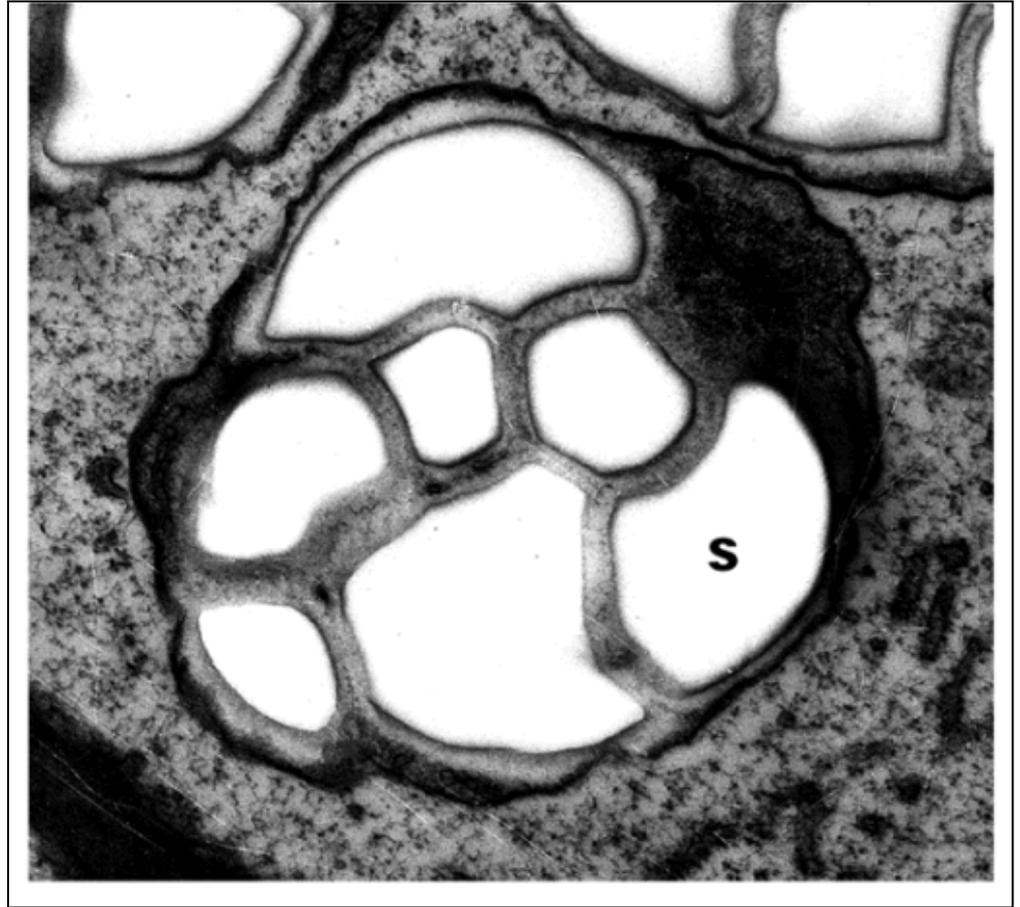
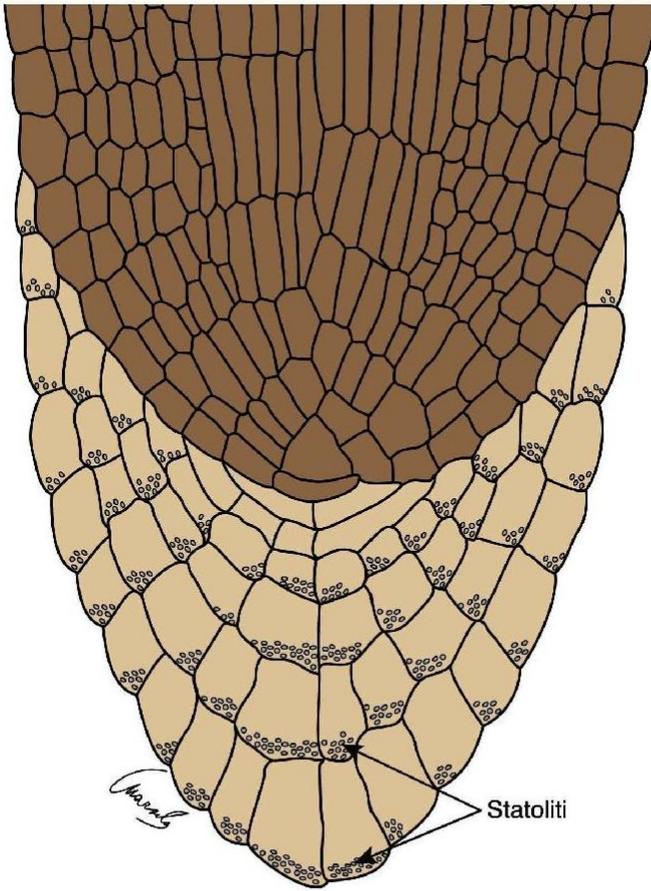
L'ILO è il punto di aggregazione dell'amido

La forma del granulo ha significato tassonomico



Quindi

I granuli di amido secondario vengono depositi all'interno degli amiloplasti a partire da un **centro proteico detto ILO** attorno al quale l'amido viene depositato in strati concentrici. Hanno una forma diversa a seconda delle varie piante e possono essere semplici o composti e vengono per questo motivo anche utilizzati nel riconoscimento delle sofisticazioni alimentari delle farine.



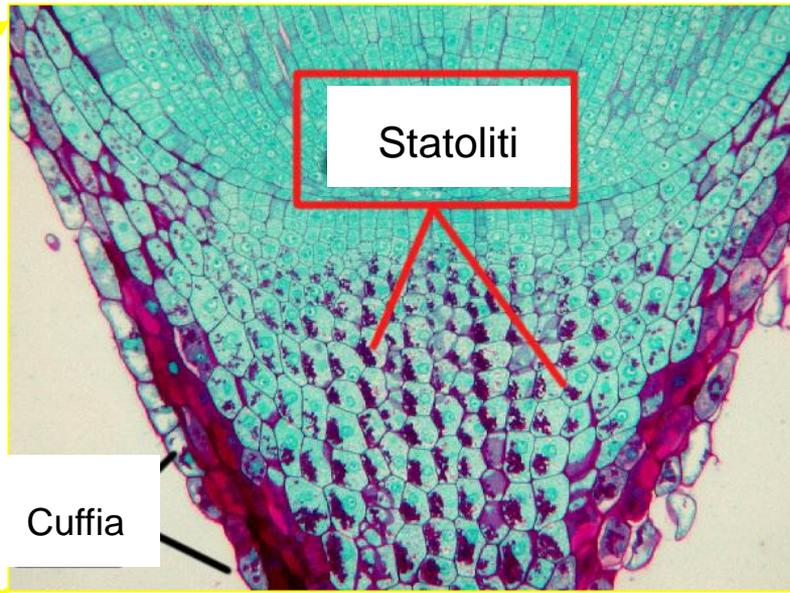
**Figura 6.11**  
Statoliti (freccce) nella cuffia di un apice radicale.

Granuli di amido in una cellula della cuffia radicale dove funzionano da **statoliti** per la percezione della gravità

# Cuffia radiale

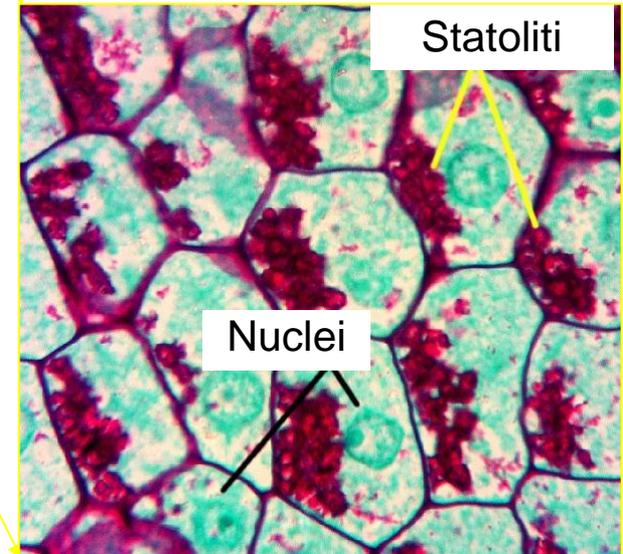


Cuffia



Statoliti

Cuffia



Statoliti

Nuclei

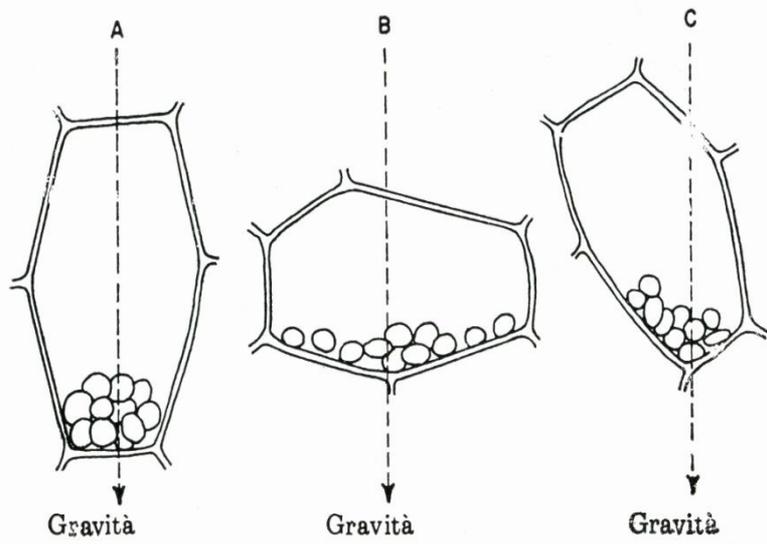
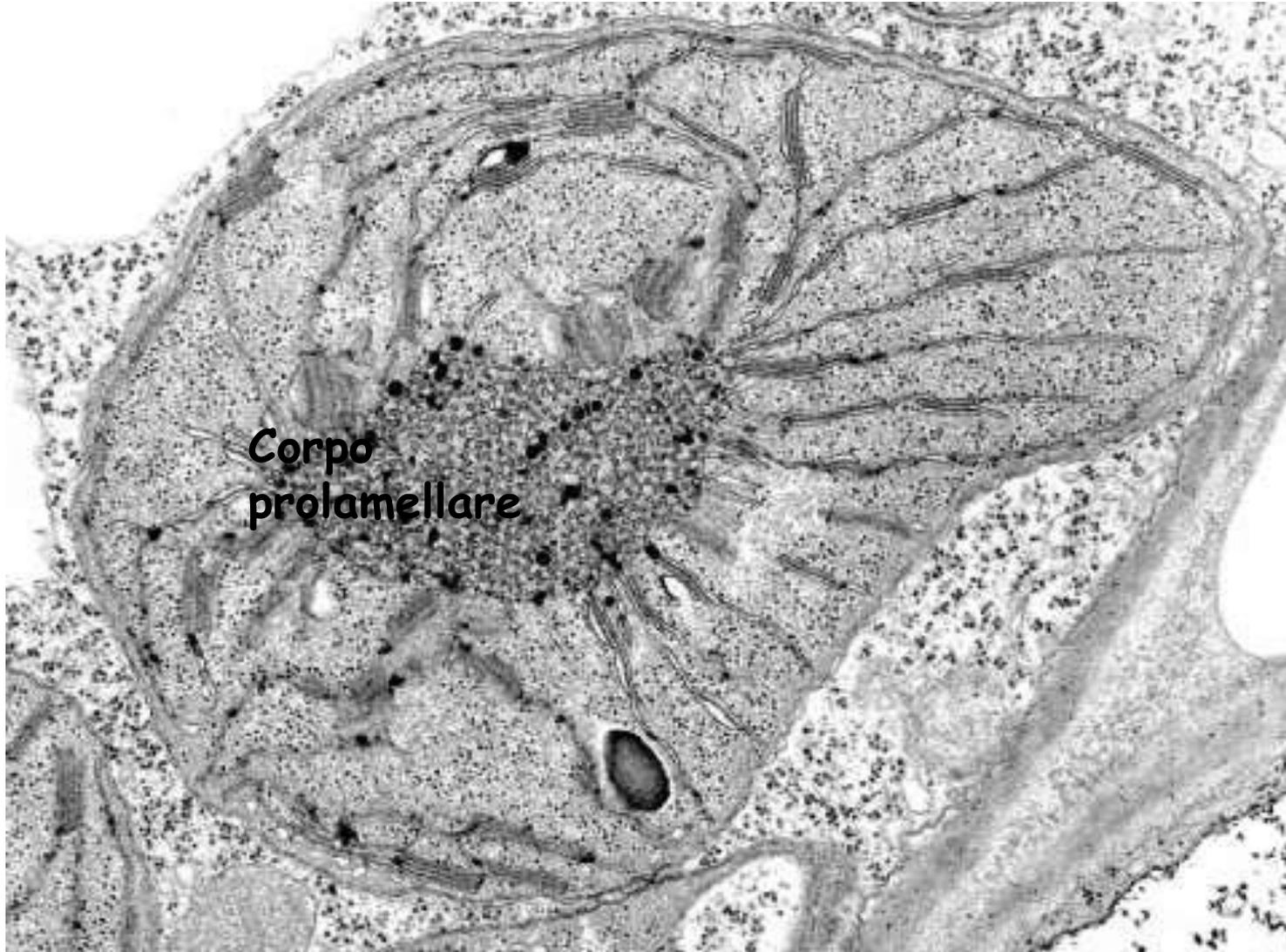


Fig. 2.6 - Schema mostrante come gli statoliti si spostano nella cellula, in seguito al cambiamento della direzione dello stimolo di gravità (da WAREING).



# Ezioplasto



**Gli ezioplasti sono plastidi con corpi prolamellari. In seguito ad esposizione alla luce i corpi prolamellari si trasformano in tilacoidi e l'ezioplasto in cloroplasto**

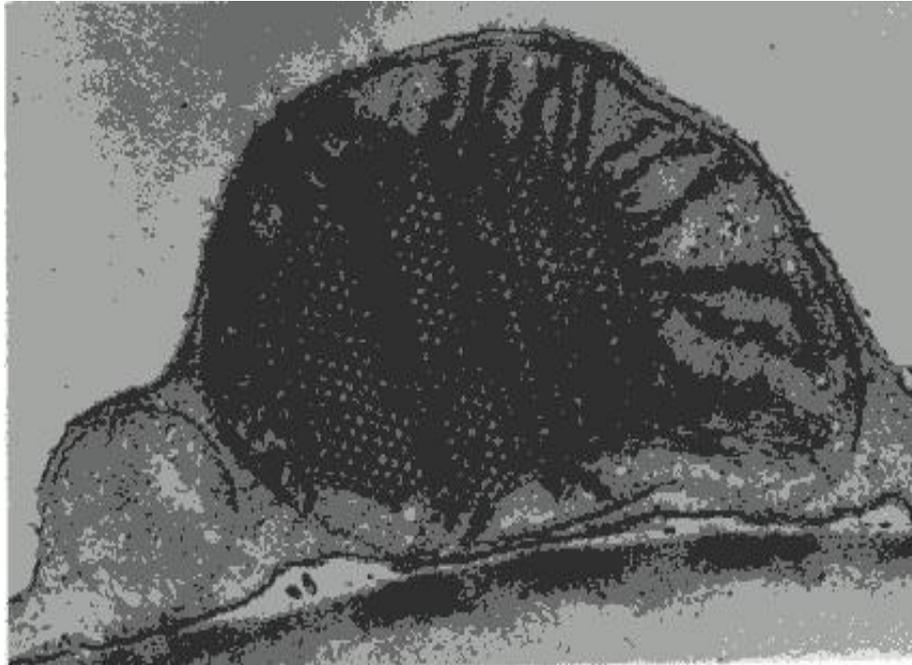


Immagine al TEM di un ezioplasto in divisione in una foglia eziolata di una piantina di fagiolo

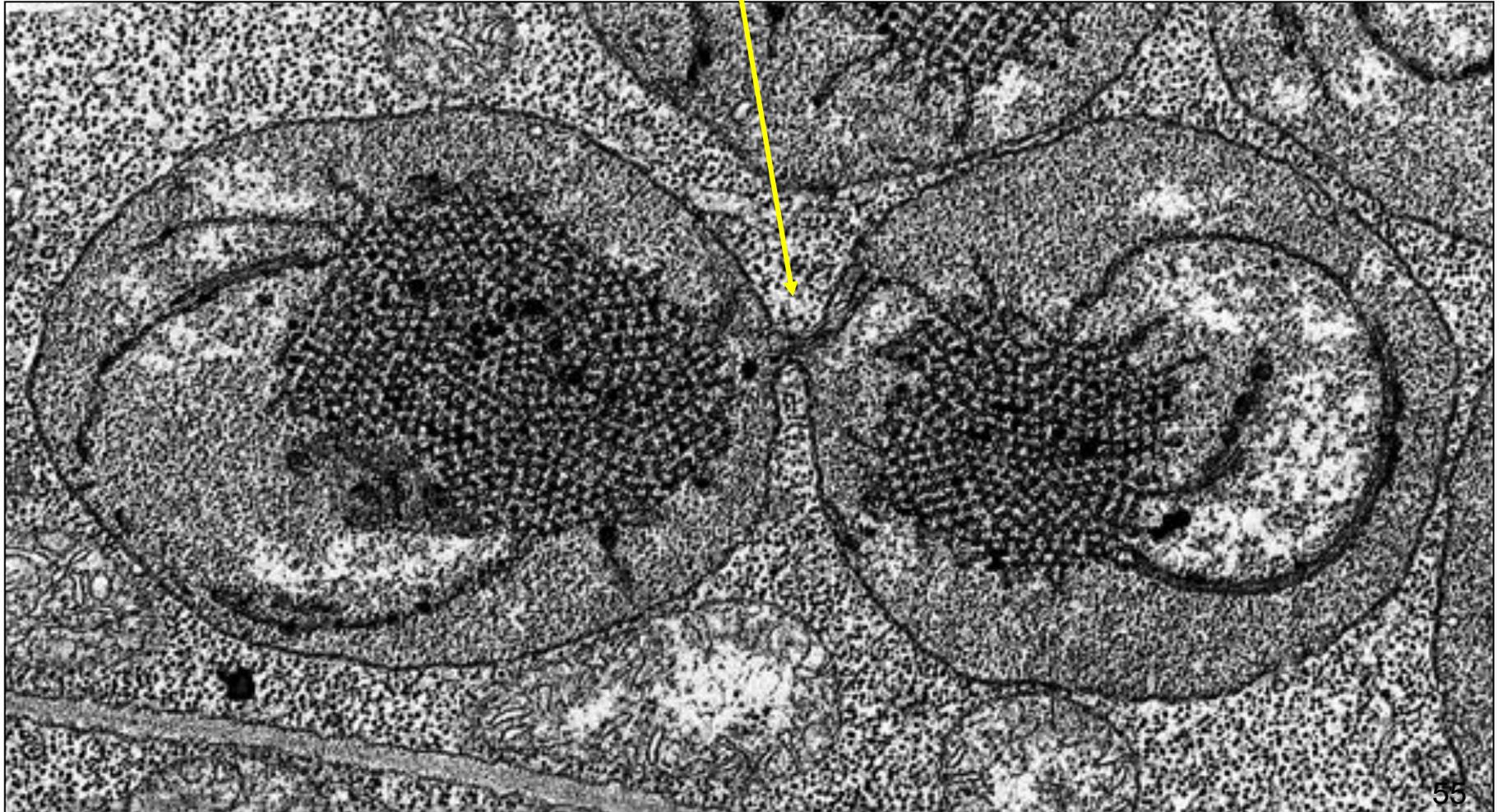
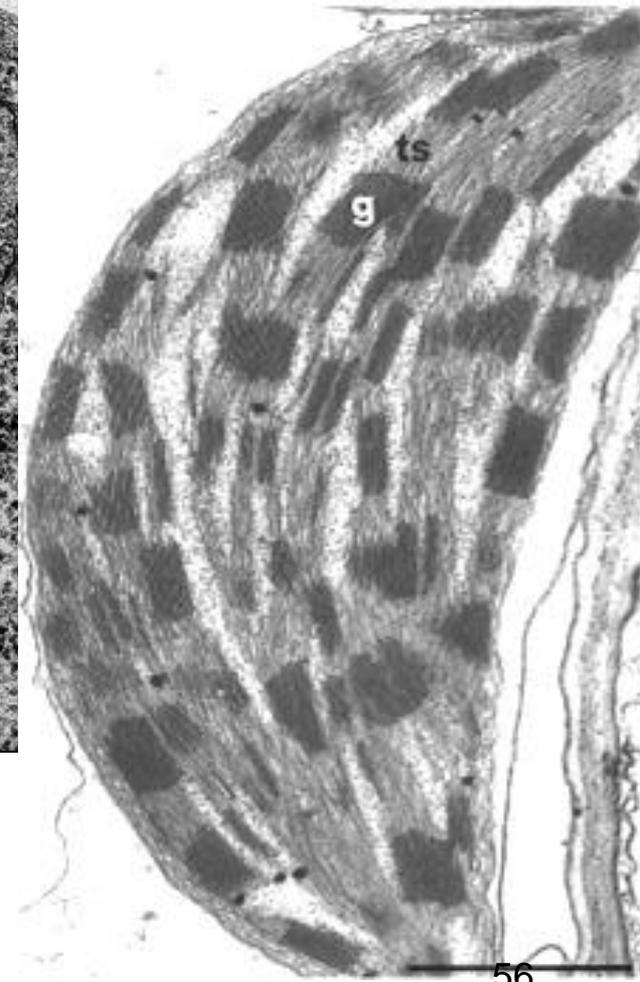
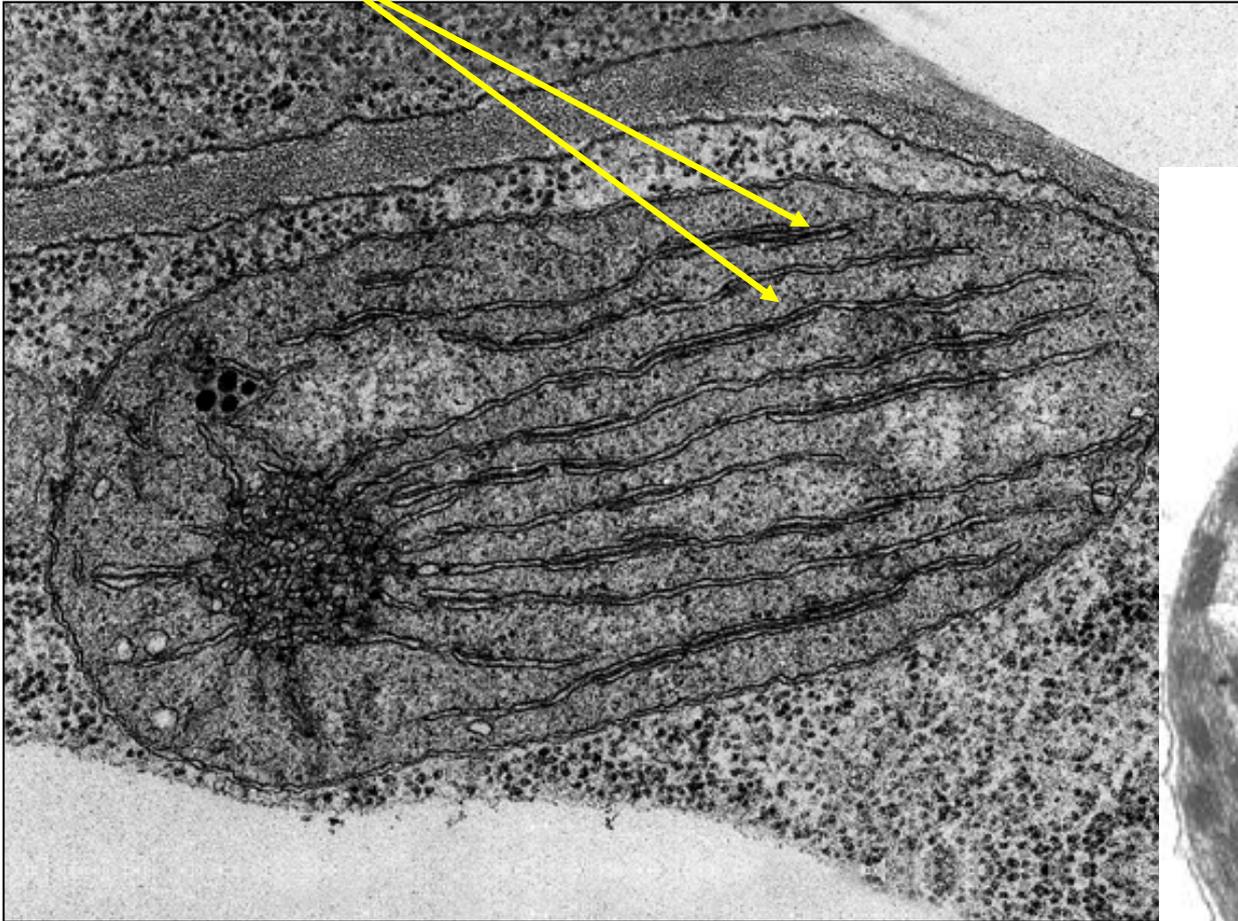


Immagine al TEM di una cellula di foglia di pisello che illustra le prime fasi di sviluppo dei grana dei tilacoidi in un ezioplasto che sta inverdendo





# CLOROPLASTO

Plastidio specializzato per il processo fotosintetico è provvisto di:

- ❖ Doppia membrana, membrana esterna ed interna
- ❖ Stroma
- ❖ Complesso sistema di membrane stromatiche

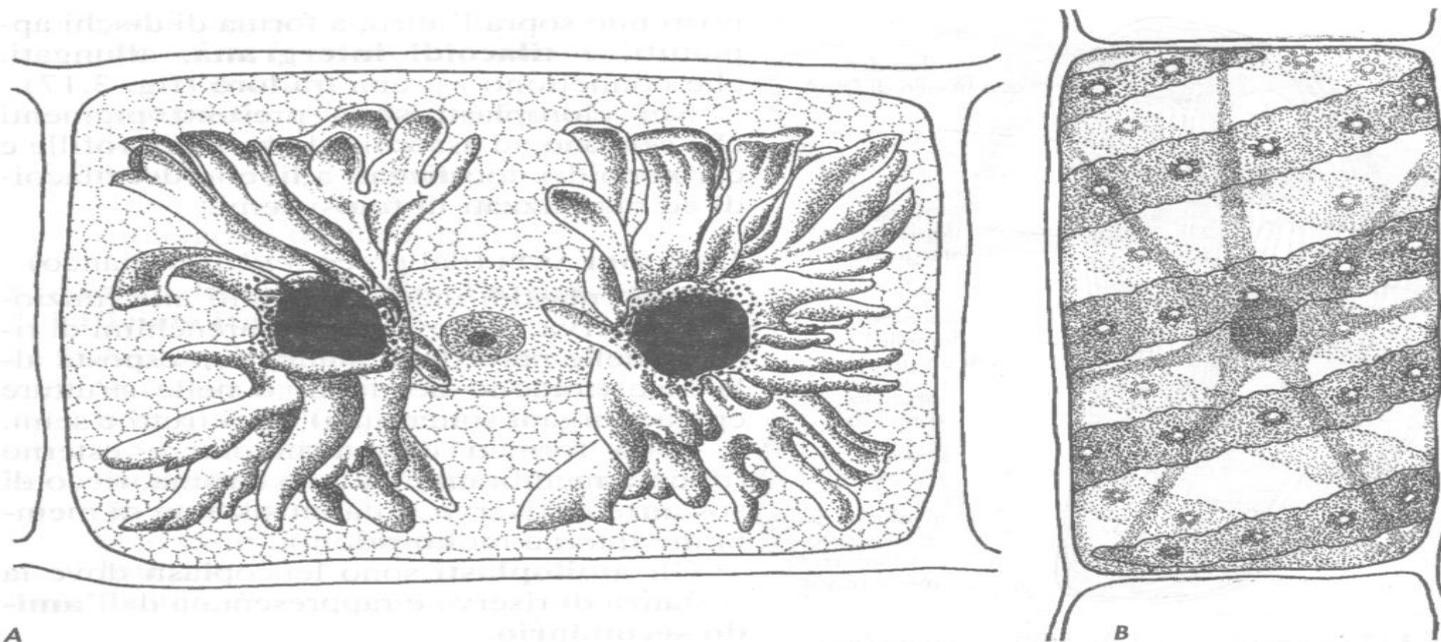
Le dimensioni sono di circa 5-10  $\mu\text{m}$  con forma ovoidale

# I Cloroplasti

- Si trovano nelle cellule vegetali **fotosintetizzanti**
- Hanno pigmenti che conferiscono il colore verde, **clorofille**, in grado di assorbire la luce di 680 nm e 700 nm, **essenziale ma non sufficiente per la fotosintesi**, e pigmenti accessori giallo-arancio, **carotenoidi**, che assorbono luce di altre lunghezze d'onda
- Possono essere da 1 (alga) a più di 100 nelle cellule delle foglie
- Sono più grandi dei mitocondri.

I **cloroplasti** sono di solito localizzati nelle cellule dei tessuti esposti alla luce (es. foglie, fusti erbacei, giovani rami, giovani boccioli di fiori, gemme etc).

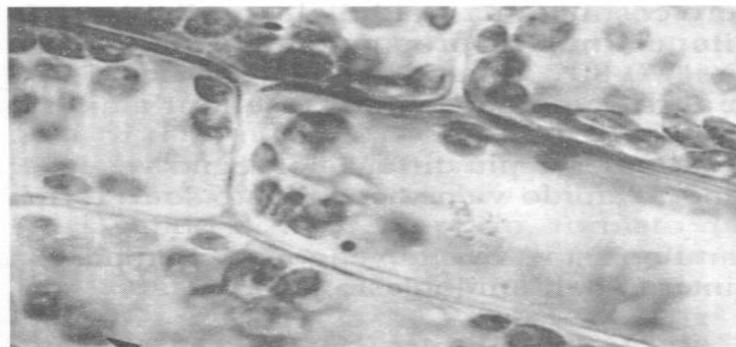
La forma dei cloroplasti può variare molto e soprattutto nelle alghe si possono avere forme assai variabili (es a nastro, ellissoidali).



A

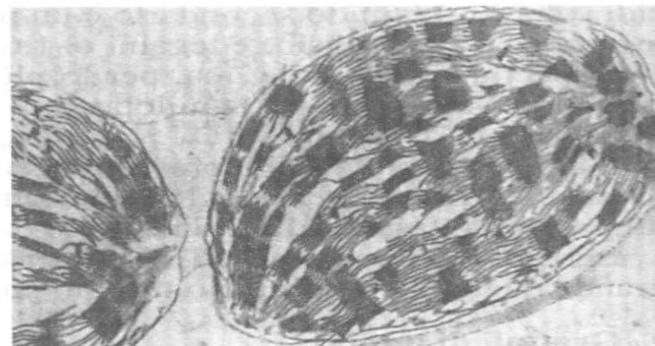
B

**Fig. 3.15** - Diverse forme di cloroplasti nelle Alghe: frastagliato in *Zygnema* (A), nastriforme o avvolto a spirale in *Spirogyra* (B).



A

cl



B

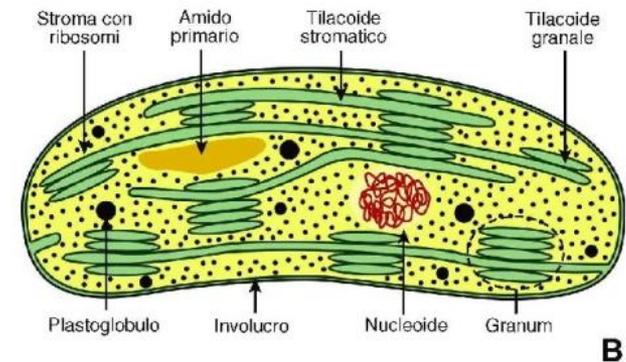
mi

**Fig. 3.16** - Cloroplasti al microscopio ottico (A), e al microscopio elettronico, dove è visibile il sistema interno di membrane interne (B) (cl = cloroplasto; mi = membrane interne) (da C. LONGO, *Biologia vegetale*, UTET).

# Stroma

- La membrana interna delimita lo **stroma**
- Lo stroma è attraversato da un complesso sistema di tilacoidi.

Sede del DNA, ribosomi 70S e di enzimi necessari per i vari processi metabolici quali, fotosintesi, biosintesi di carotenoidi e degli acidi grassi.



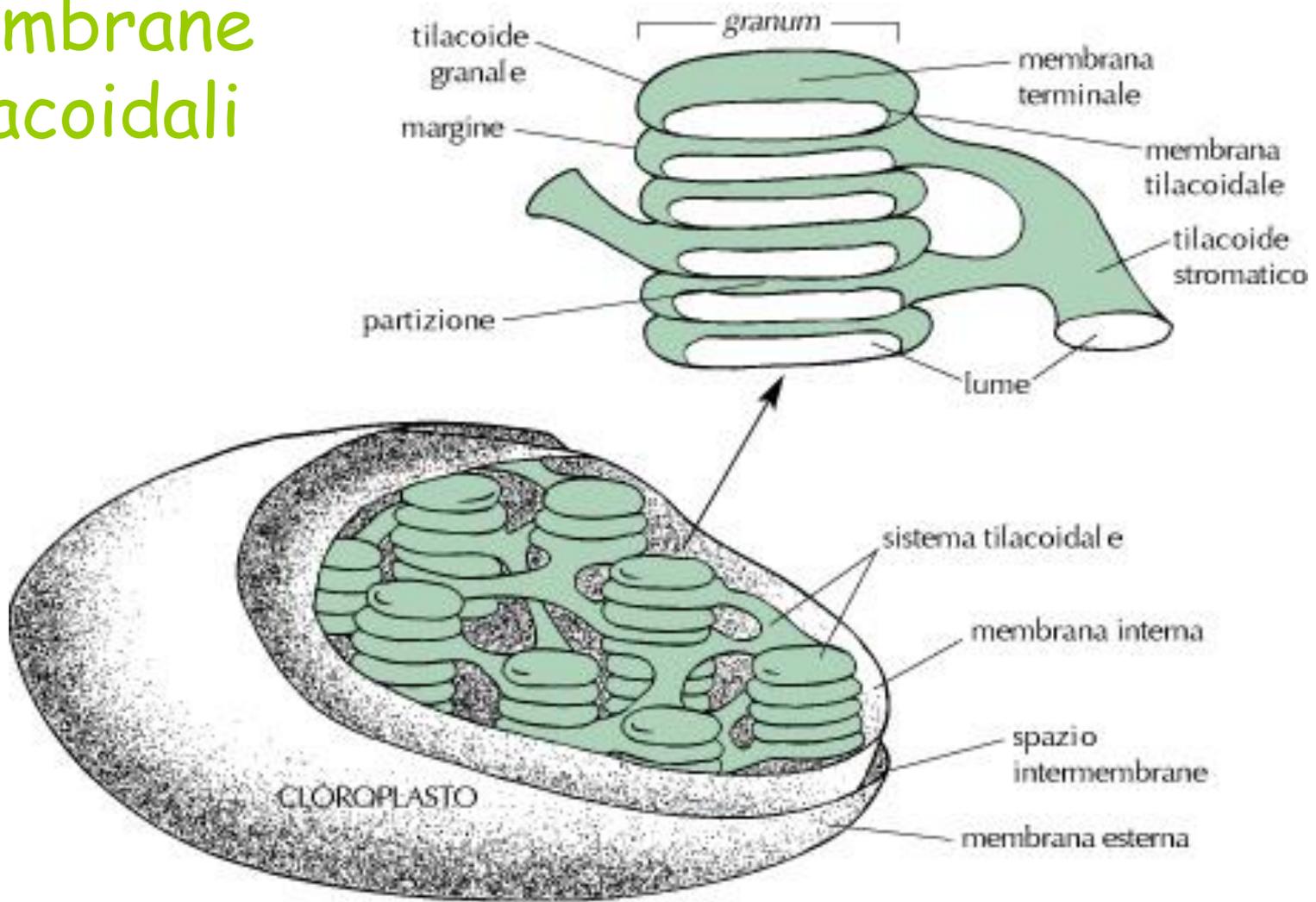
**Figura 6.4**

Ultrastruttura del cloroplasto: A) cloroplasto visto al microscopio elettronico (foto di W.P. Wergin, da E.H. Newcomb); B) sezione schematica di un cloroplasto (disegno di A. Valletta).

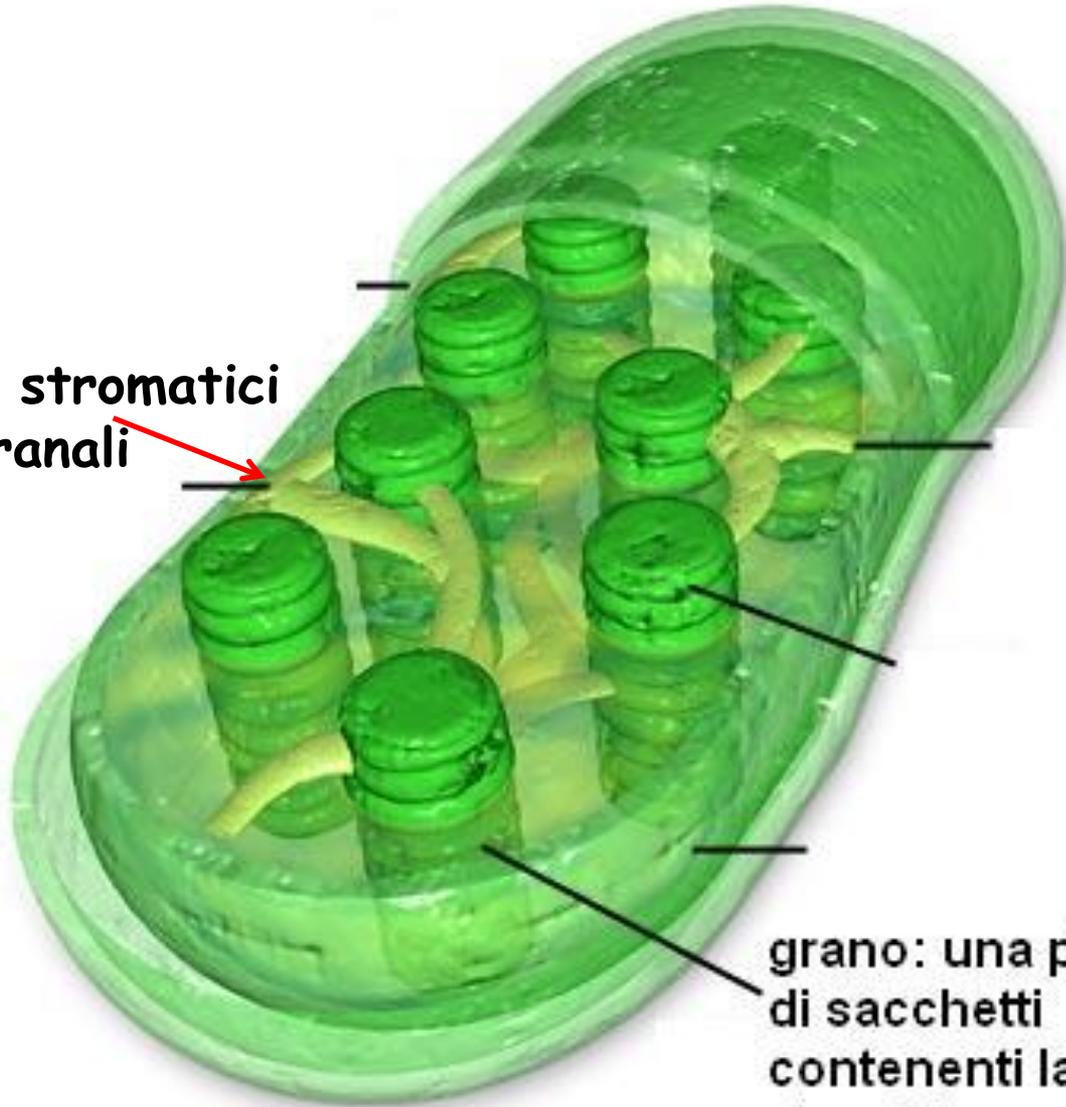
Nello stroma si possono accumulare granuli d'amido (amido primario)

- **I tilacoidi** si possono disporre in grana ed intergrana nello stroma del cloroplasto. I grana (granum al singolare) hanno la forma di dischi impilati e sono collegati tra di loro da tilacoidi stromatici o intergranali.
- Le membrane dei tilacoidi che racchiudono lo **spazio tilacoidale**, contengono la clorofilla e gli altri pigmenti necessari per il processo fotosintetico.

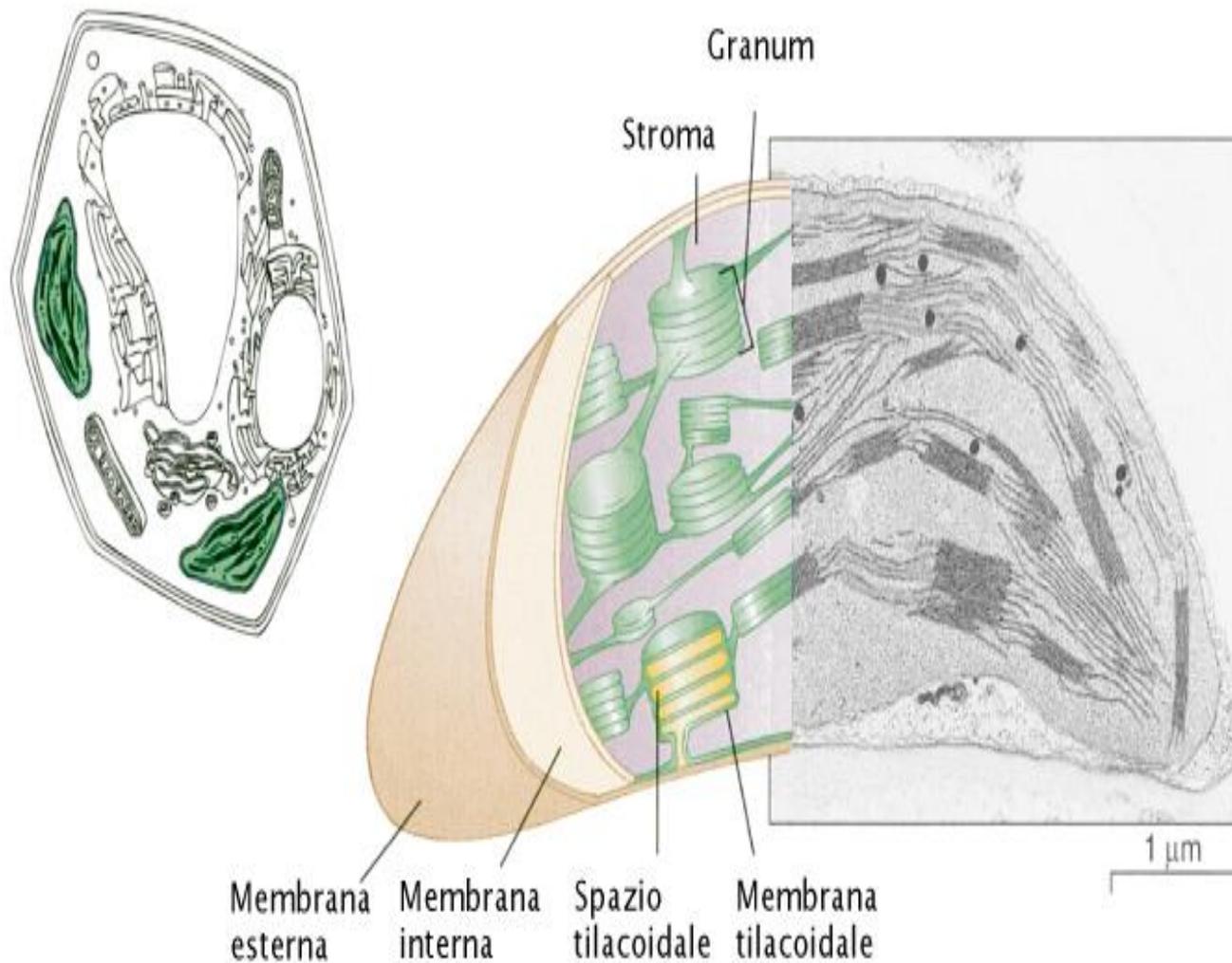
# Membrane tilacoidali



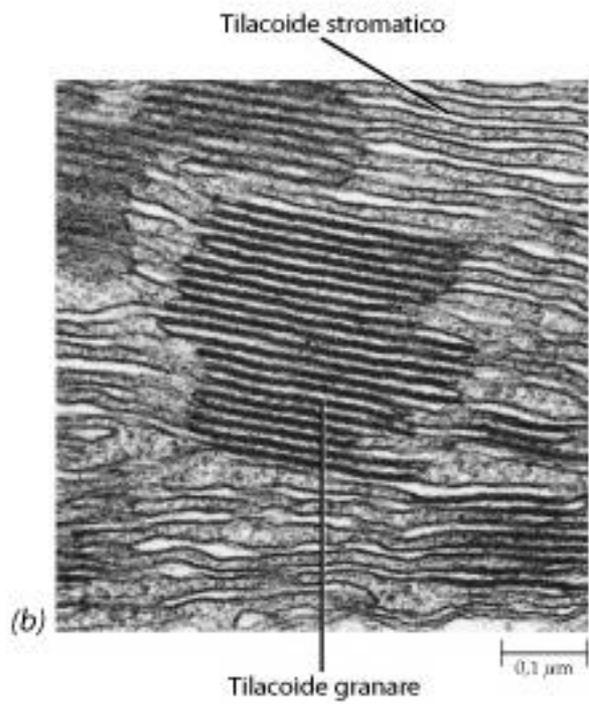
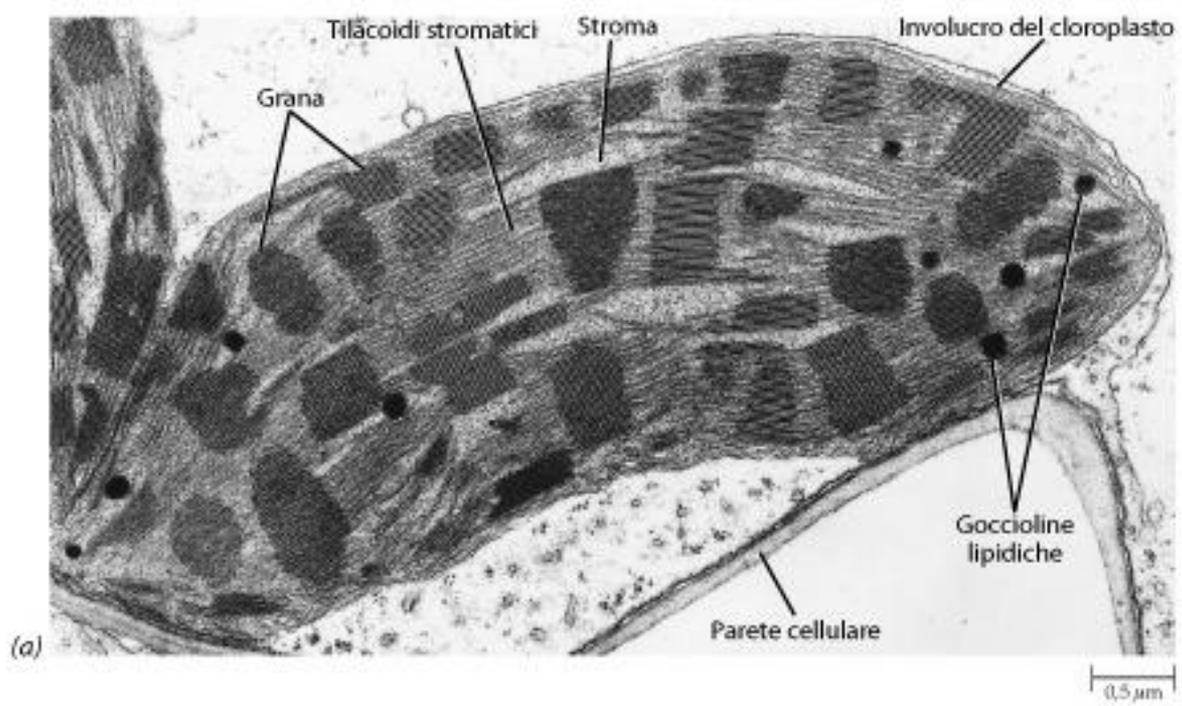
**Tilacoidi stromatici  
o intergranali**

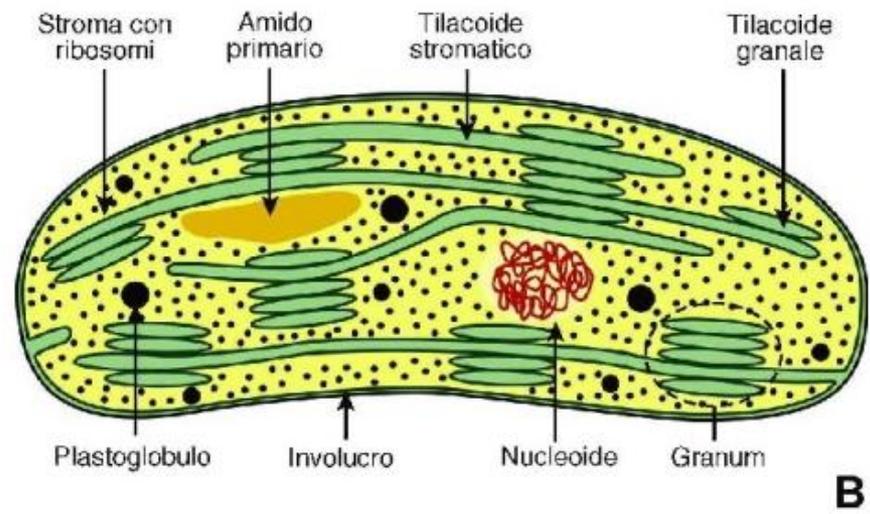
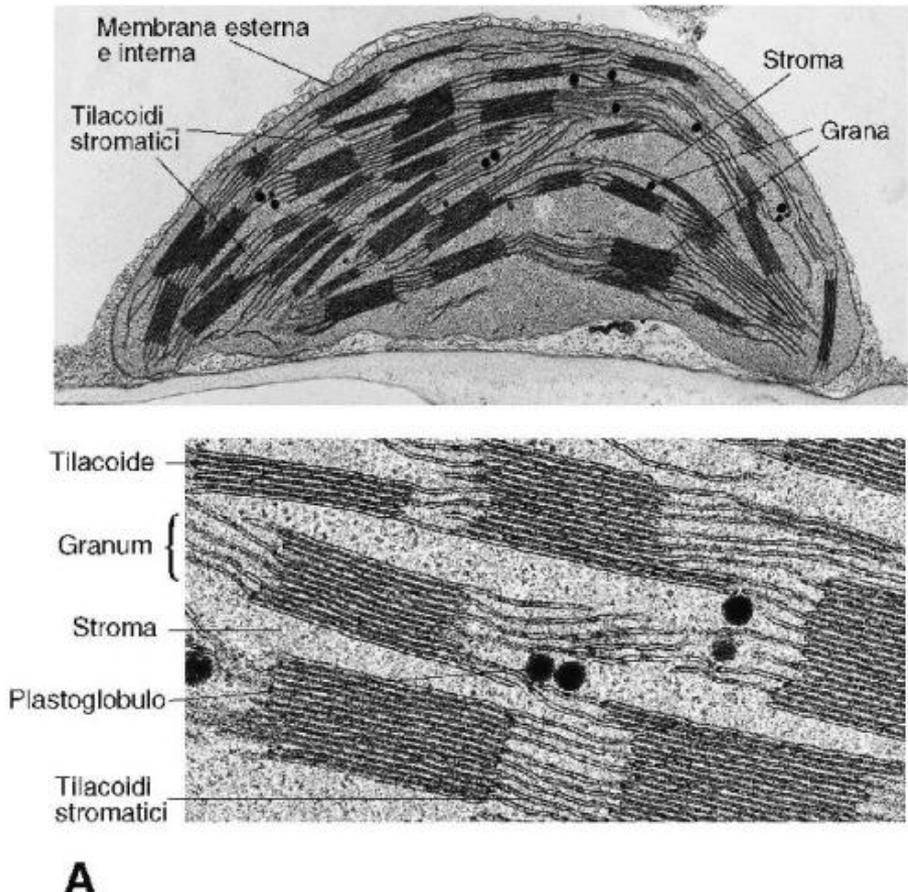


**grano: una pila  
di sacchetti  
contenenti la  
clorofilla**



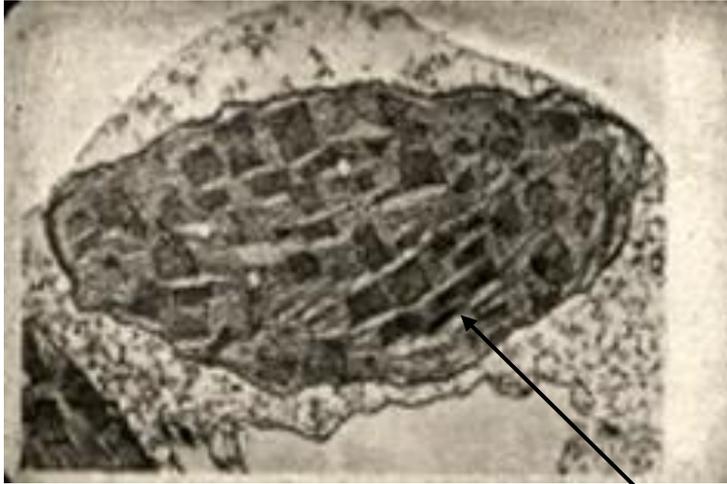
■ **Figura 4-20 Il cloroplasto, organulo della fotosintesi.** L'immagine MET mostra parte di un cloroplasto di una cellula di foglia di granoturco. La clorofilla e gli altri pigmenti fotosintetici si trovano nelle membrane tilacoidali. Il granum di un cloroplasto è stato sezionato per mostrare lo spazio tilacoidale. La membrana interna del cloroplasto può essere o non essere collegata direttamente alla membrana tilacoidale. (E.H.Newcomb e W.P. Wergin/Biological Photo Service).





**Figura 6.4**  
 Ultrastruttura del cloroplasto: A) cloroplasto visto al microscopio elettronico (foto di W.P. Wergin, da E.H. Newcomb); B) sezione schematica di un cloroplasto (disegno di A. Valletta).

# Cloroplasti visti al microscopio elettronico



**Granum**

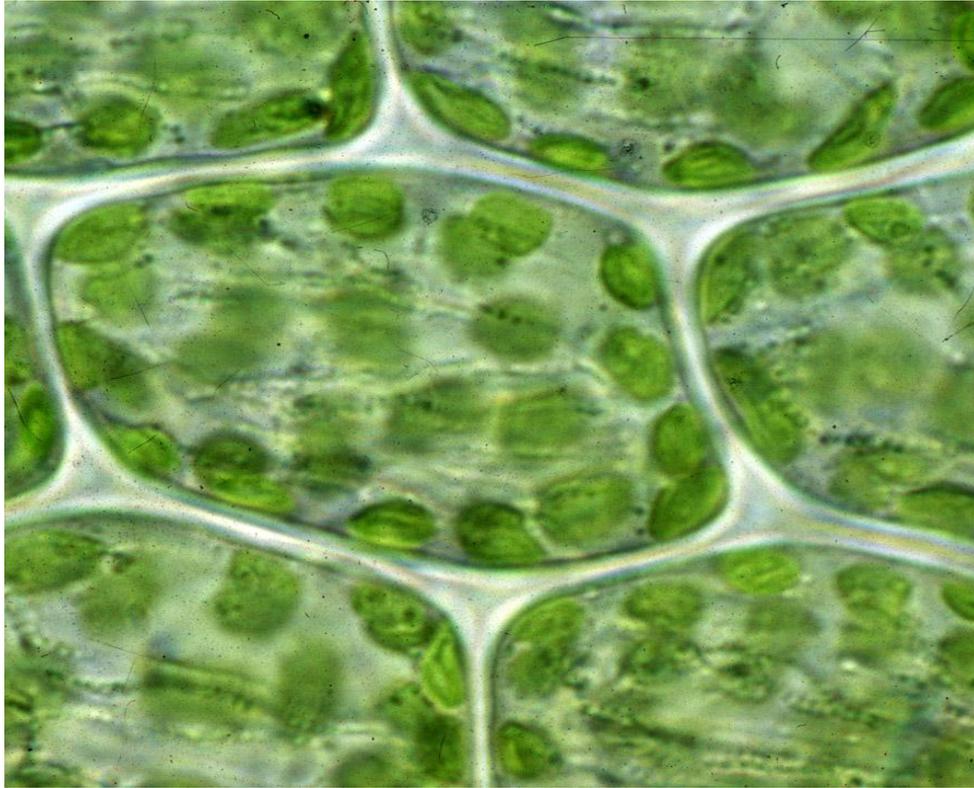
**Amido**



fotosintesi ha luogo in un organello chiamato cloroplasto presente nelle cellule di tutte le piante superiori e della maggior parte delle alghe. Questa micrografia elettronica eseguita da Peter Hepler della Harvard University mostra frammenti di

tre cloroplasti. La fotosintesi avviene dentro le membrane scure disposte in lunghi strati paralleli. La formazione triangolare che appare a destra, è un granulo di amido prodotto dalla fotosintesi; il cloroplasto in alto a sinistra ne contiene due.

**Per svolgere al meglio il processo fotosintetico i cloroplasti si dispongono, in genere, con la superficie più ampia parallela alla membrana cellulare. Tuttavia, all'interno della cellula, sotto l'influenza della luce, possono riorientarsi.**



# Ontogenesi del cloroplasto

- Da un proplastidio
- Da un leucoplasto
- Da un cloroplasto preesistente
- Da un ezioplasto posto alla luce
- Da un cromoplasto

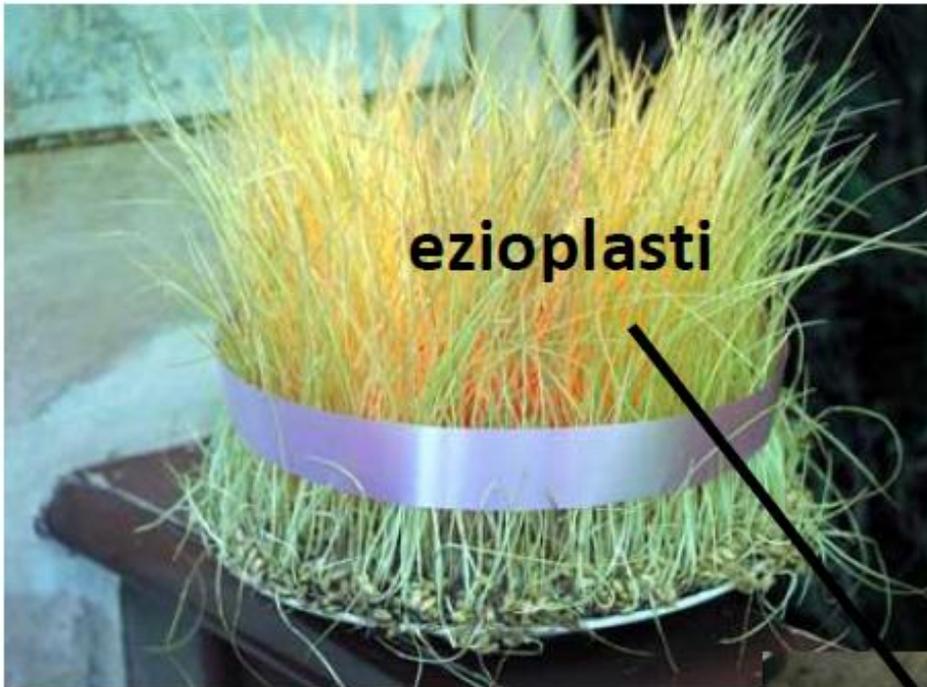
# Luce e differenziamento del cloroplasto

Fattore ambientale più importante per il differenziamento dei cloroplasti.

Agisce sull'espressione genica nucleare e plastidiale.

Il precursore della clorofilla, la protoclorofillide viene convertita in clorofilla grazie ad un enzima attivato dalla luce.

Il ruolo della luce risulta evidente quando un germoglio tenuto al buio viene illuminato. Al buio dai proplastidi si differenziano gli Ezioplasti. Una esposizione alla luce attiva il differenziamento dei cloroplasti e il germoglio diventa verde.



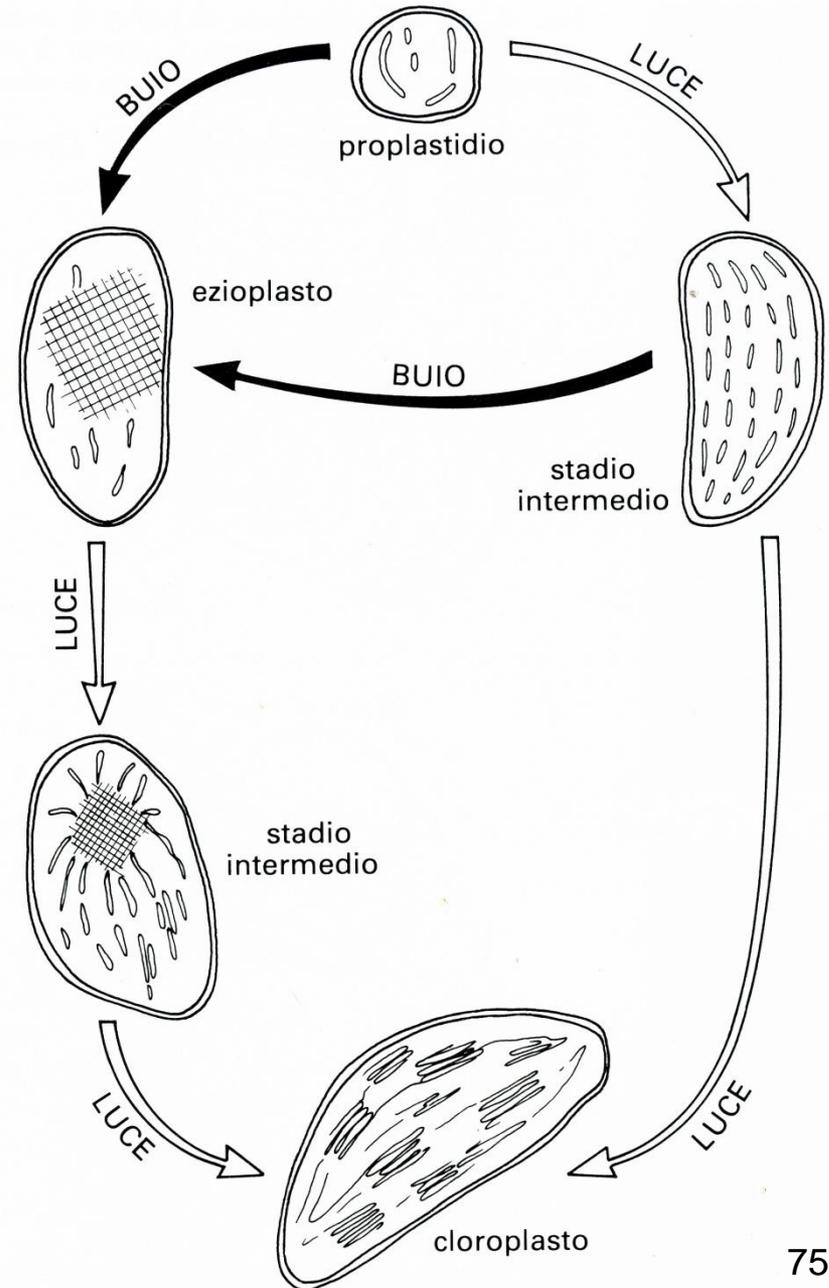
## EZIOPLASTI

Quando i tessuti destinati a divenire fotosintetici crescono in assenza di luce, i proplastidi non riescono ad evolvere in cloroplasti, allora restano in uno stadio immaturo e privo di clorofilla. Questi si chiamano ezioplasti e le piante vengono definite **eziolate**.

Quando piante eziolate vengono esposte alla luce del sole, gli ezioplasti evolvono in cloroplasti e sviluppano la clorofilla.

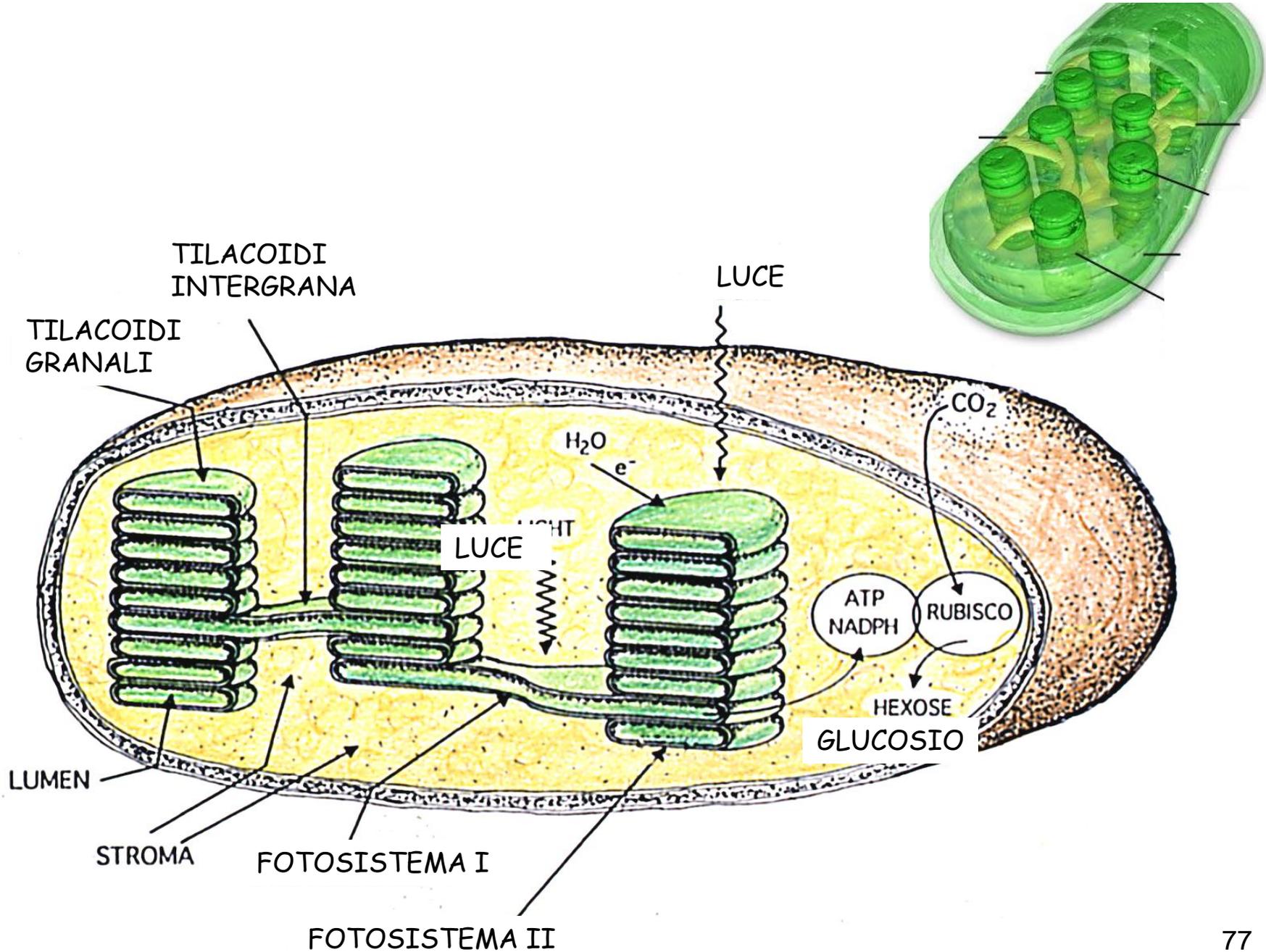


# Interconversione plastidiale ruolo di buio/luce



**Sulle membrane dei tilacoidi sono disposti i pigmenti, le clorofille ed i pigmenti carotenoidi (di natura liposolubile), responsabili della cattura della luce che avvia il via al processo fotosintetico (fase luminosa).**

**Nello stroma, invece, sono localizzati gli enzimi che prendono parte alle reazioni della fase oscura della fotosintesi.**



Nelle membrane tilacoidali sono presenti due principali Fotosistemi, detti **FOTOSISTEMI I e II**

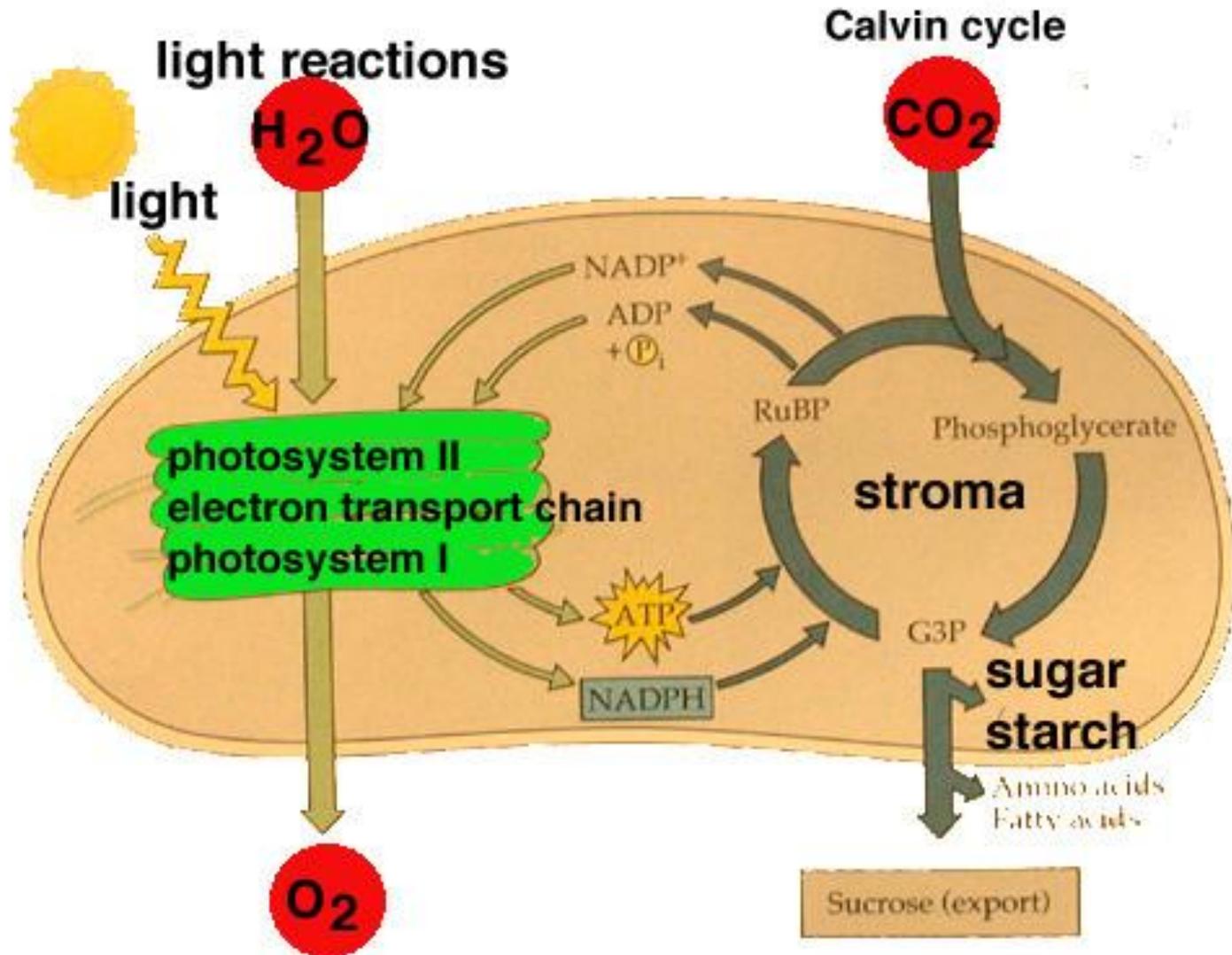
Cosa sono ???

Complessi di **natura proteica** associati ai **pigmenti fotosintetici**, questi ultimi possono essere essenziali, clorofilla a, o accessori quali clorofille (b,c) e carotenoidi o altri pigmenti nelle alghe.

La **clorofilla a** è il pigmento essenziale della cellula vegetale eucariote fotosintetizzante e dei cianobatteri. Nelle alghe possono esserci diversi pigmenti fotosintetici.

# A che servono I FOTOSISTEMI???

I fotosistemi catturano l'energia luminosa



## 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 sono originati i plastidi ed i mitocondri.

**TEORIA ENDOSIMBIONTICA** Questa teoria ipotizza che i plastidi ed i mitocondri possano essersi evoluti da procarioti fagocitati da cellule “eucariotiche”.

# Teoria endosimbiontica

- E' dell'inizio del '900 e fu ripresa alla fine degli anni 60 è basata sull'osservazione che mitocondri e cloroplasti posseggono DNA proprio e simile a quello dei batteri, ribosomi 70S sensibili agli stessi antibiotici (es. streptomicina) che interferiscono con i ribosomi dei procarioti.

Oggi è largamente accettata.

Questa teoria ipotizza che cloroplasti e mitocondri derivino da cellule procariote, inglobate all'interno di cellule "eucariote".

Studi filogenetici effettuati negli ultimi anni sul DNA batterico e su quello dei mitocondri e dei cloroplasti hanno consolidato questa teoria.

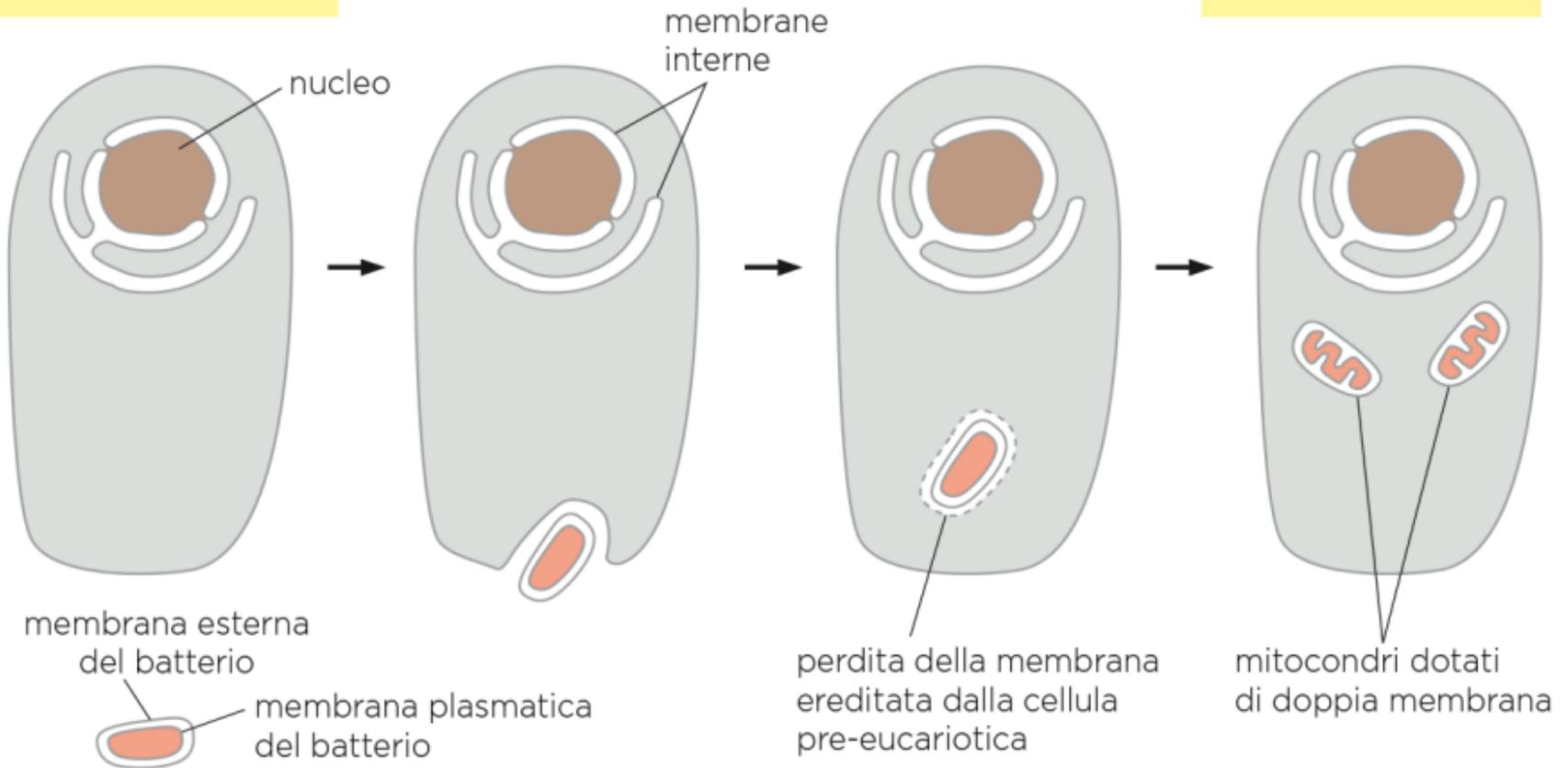
L'evento endosimbiontico all'origine dei mitocondri sembra avvenuto per primo.

Dato che tutte le cellule eucariote hanno i mitocondri e solo alcune anche i cloroplasti.

Inoltre si ritiene che sia avvenuto una sola volta nel corso dell'evoluzione.

**Un batterio aerobo deve essere stato fagocitato da un primitivo eucariote fagotrofo.**

cellula pre-eucariotica  
anaerobica



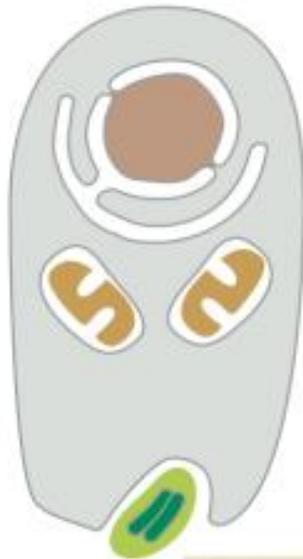
batterio aerobico

I mitocondri deriverebbero da una simbiosi di un batterio aerobio con una primitiva cellula eucariotica anaerobia. **Parte del genoma batterico** sarebbe stato successivamente **trasferito** nel genoma nucleare.

L'origine del cloroplasto sarebbe dovuta ad un evento successivo di fagocitosi da parte di un “eucariote”, con già i mitocondri, di un cianobatterio (batterio fotoautotrofo)

Anche qui si ipotizza che il cianobatterio ancestrale sia stato fagocitato da un eucariote fagotrofo. Il cianobatterio inglobato non è stato digerito, o perchè uscito dal vacuolo, e nel citoplasma è riuscito a moltiplicarsi, o perchè l'organismo eterotrofo non è stato più in grado di digerirlo.

cellula eucariotica  
ancestrale

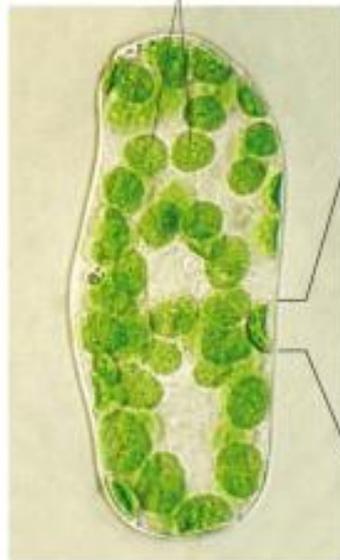


cellula eucariotica  
capace  
di fotosintesi



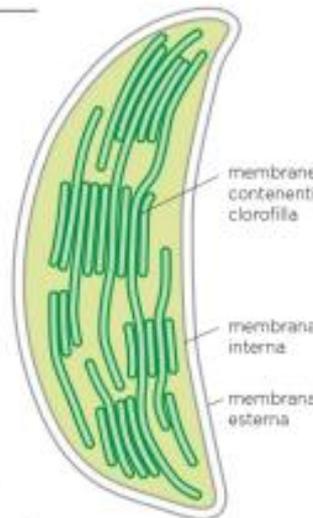
batterio  
fotosintetico

cloroplasti



(A)

10  $\mu$ m



(B)

cloroplasti

# TEORIA ENDOSIMBIONTICA

