Organuli cellulari

1)Reticolo endoplasmatico
- Liscio
- Rugoso

2)Ribosomi

3)Mitocondri

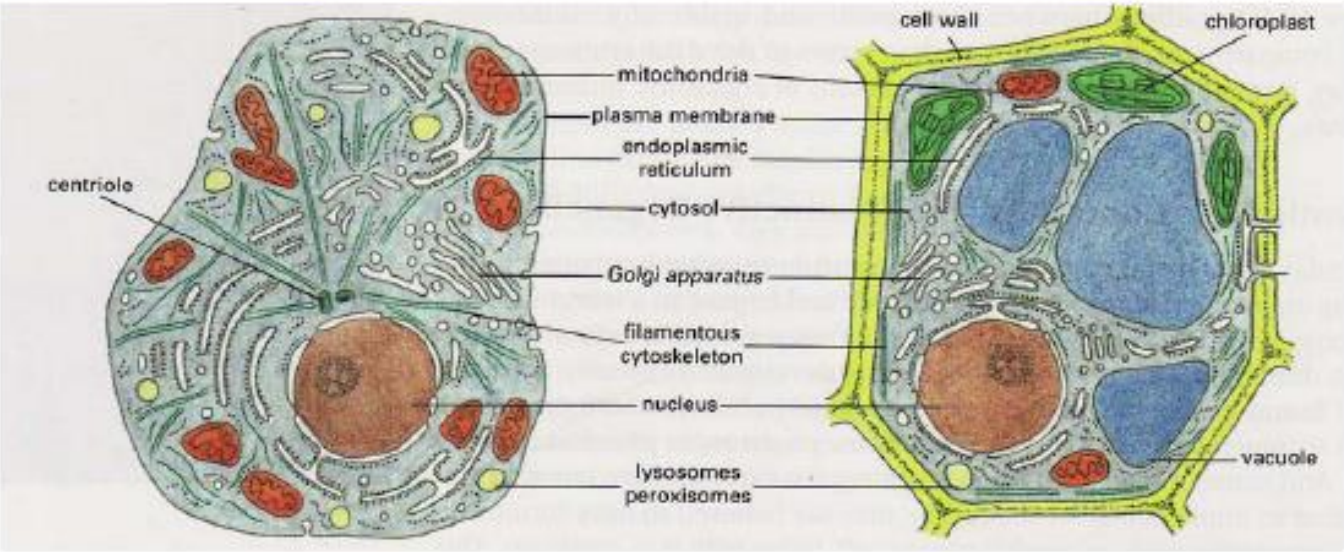
4)Apparato di Golgi

5)Vacuolo

6)Vescicole

7) Plastidi

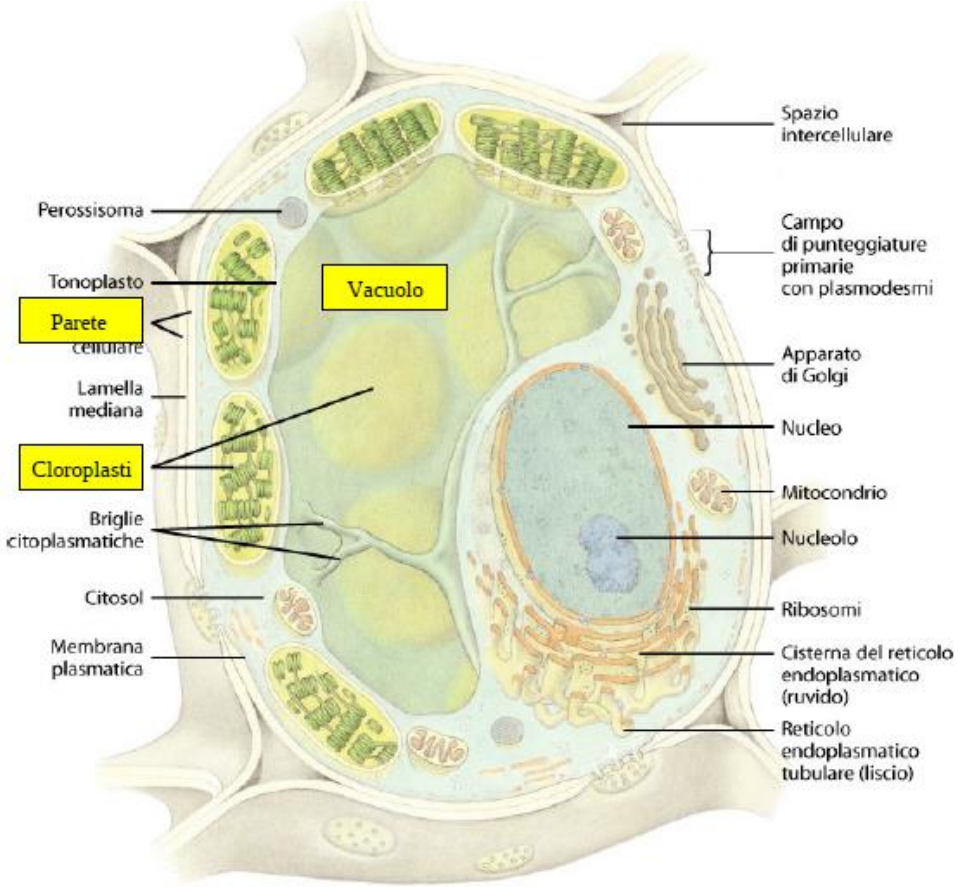
Le cellule delle piante sono di solito molto più grandi delle cellule degli animali. Ciò è dovuto soprattutto alla presenza dei vacuoli.



10-20 μm **30-100 μm**

I vacuoli

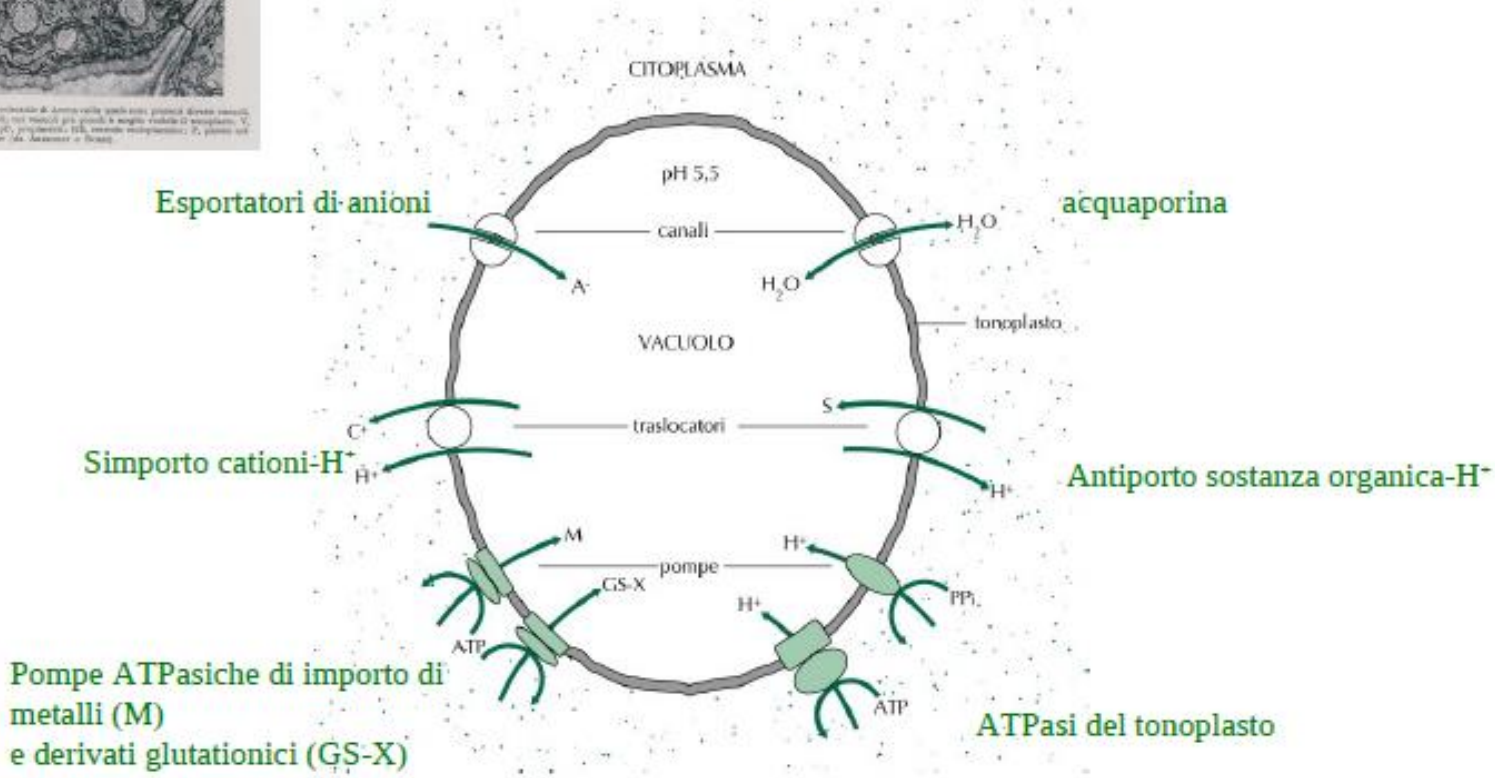
- Strutture tipiche delle cellule vegetali e di alcuni protisti unicellulari
- Sono vescicole delimitate da una membrana (Tonoplasto)
- Si formano da vescicole del Golgi e per fusione di micro-vacuoli.
- Svolgono funzioni simili ai lisosomi delle cellule animali. Degradano macromolecole e riciclano i componenti singoli.



Può occupare fino all'80% del volume di una cellula differenziata.

Tonoplasto:

- membrana semipermeabile
- spessore 7-10 nm
- regolazione scambi tra vacuolo-citoplasma
- diverse proteine (es. acquaporine) a secondo del tipo di vacuolo



Proteine del tonoplasto

La presenza di acquaporine diverse nel tonoplasto caratterizza vacuoli con funzione diversa, es. le acquaporine γ –TIP (Tonoplast Intrinsic Proteins) sono tipiche dei vacuoli litici.

Il tonoplasto è una membrana biologica lipoproteica. Ha un alto contenuto in steroli e fosfoglicolipidi. I lipidi del tonoplasto hanno un ruolo importante nella regolazione dell'attività enzimatica, e nella trasduzione del segnale.

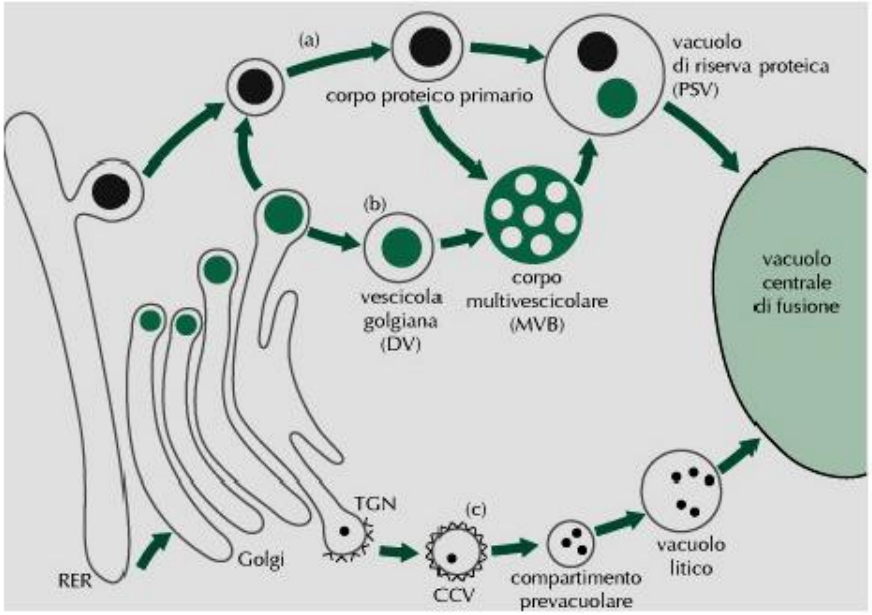
Sul tonoplasto sono presenti numerose proteine tra cui canali, pompe o carriers implicate nel trasporto, in entrata o in uscita dal vacuolo, di diverse molecole e composti.

Il TONOPLASTO è una membrana ASIMMETRICA: la superficie rivolta verso l'esterno è più ricca di proteine intra membrana rispetto al lato rivolto verso l'interno.

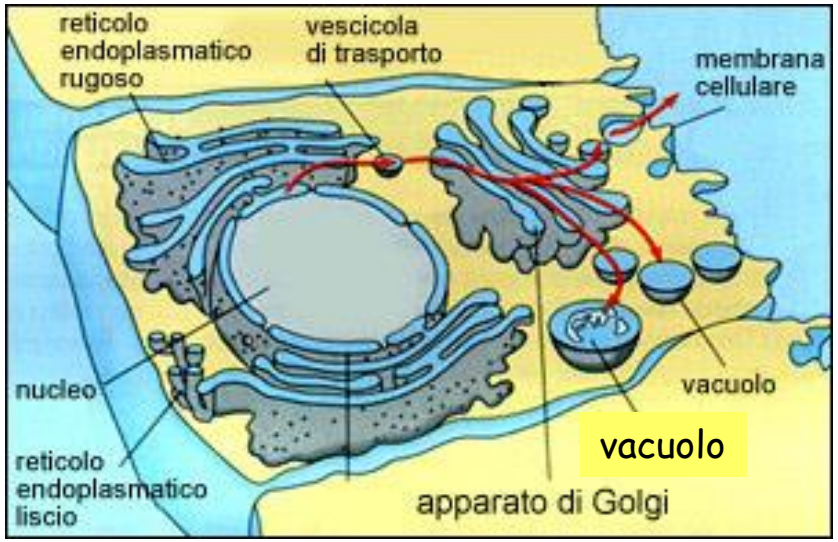
Da dove si forma il vacuolo?

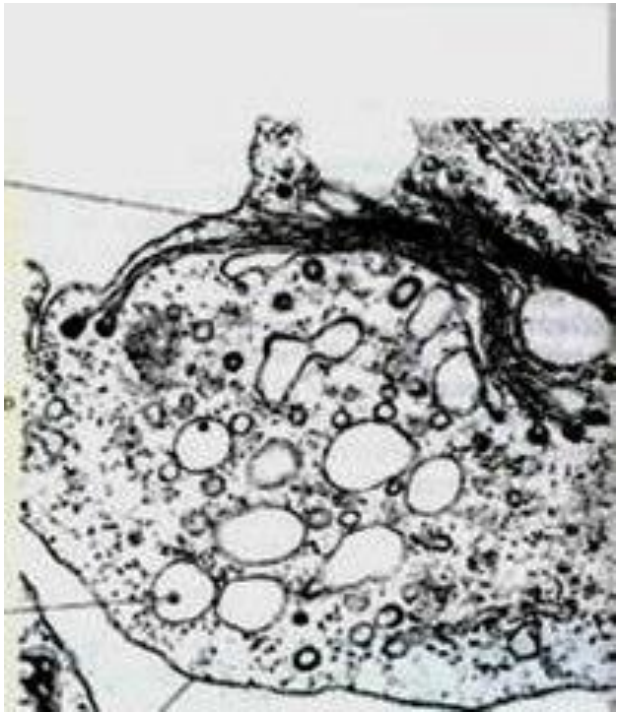
Dal reticolo endoplasmatico e dall'apparato del Golgi

Il vacuolo è considerato la componente del sistema di endomembrane cellulari più voluminoso ed evidente.
Esso rappresenta, nelle cellule differenziate, lo stadio finale di un **processo di coalescenza** di vescicole ed accrescimento del sistema di endomembrane.



Dal Golgi si originano una serie di vescicole che vengono denominate **provacuoli** e che permettono il trasporto di proteine.





I provacuoli possono evolvere in vacuoli con la confluenza di ulteriori vescicole oppure fondersi con un vacuolo preesistente.

Tuttavia, la biogenesi del vacuolo non è ancora chiara.

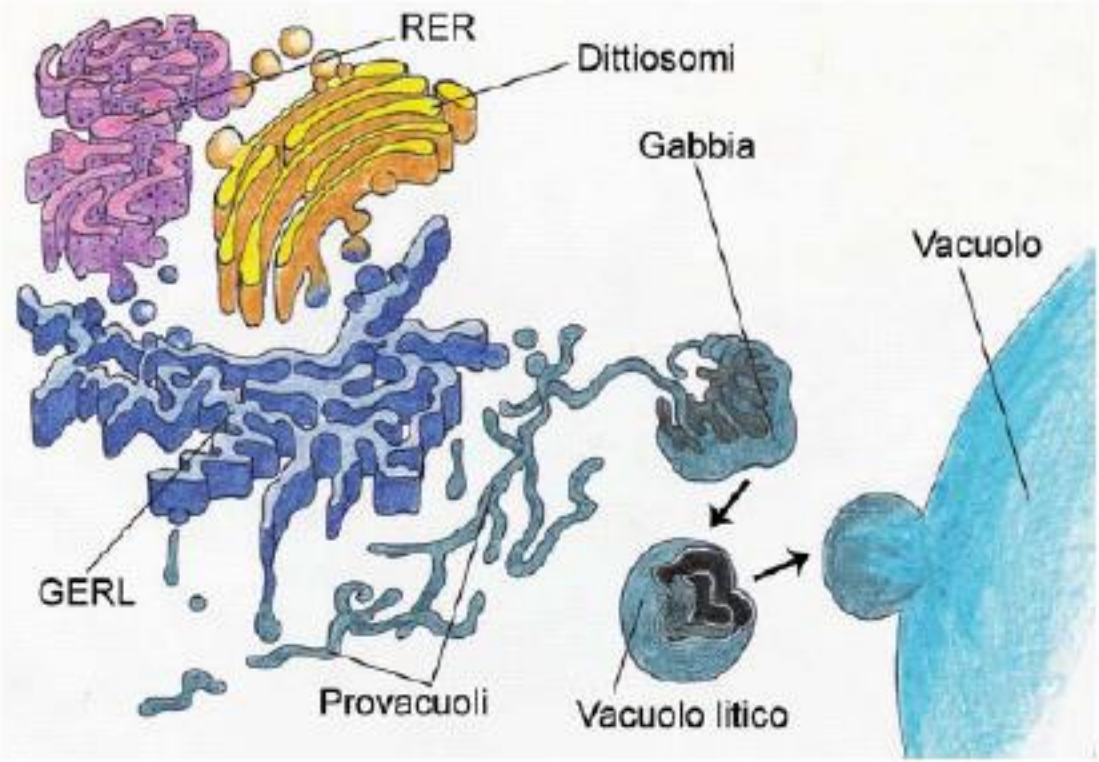
L'ipotesi GERL (Golgi, reticolo endoplasmatico e lisosoma) è la più accreditata.
Quindi, secondo tale ipotesi un sistema di membrane tubulari, provenienti dall'ER e associate alla faccia trans del Golgi si fonderebbero per dare origine ai vacuoli.

Ma non si possono escludere modelli alternativi.

Ad esempio l'origine autofagica che coinvolgerebbe il RE

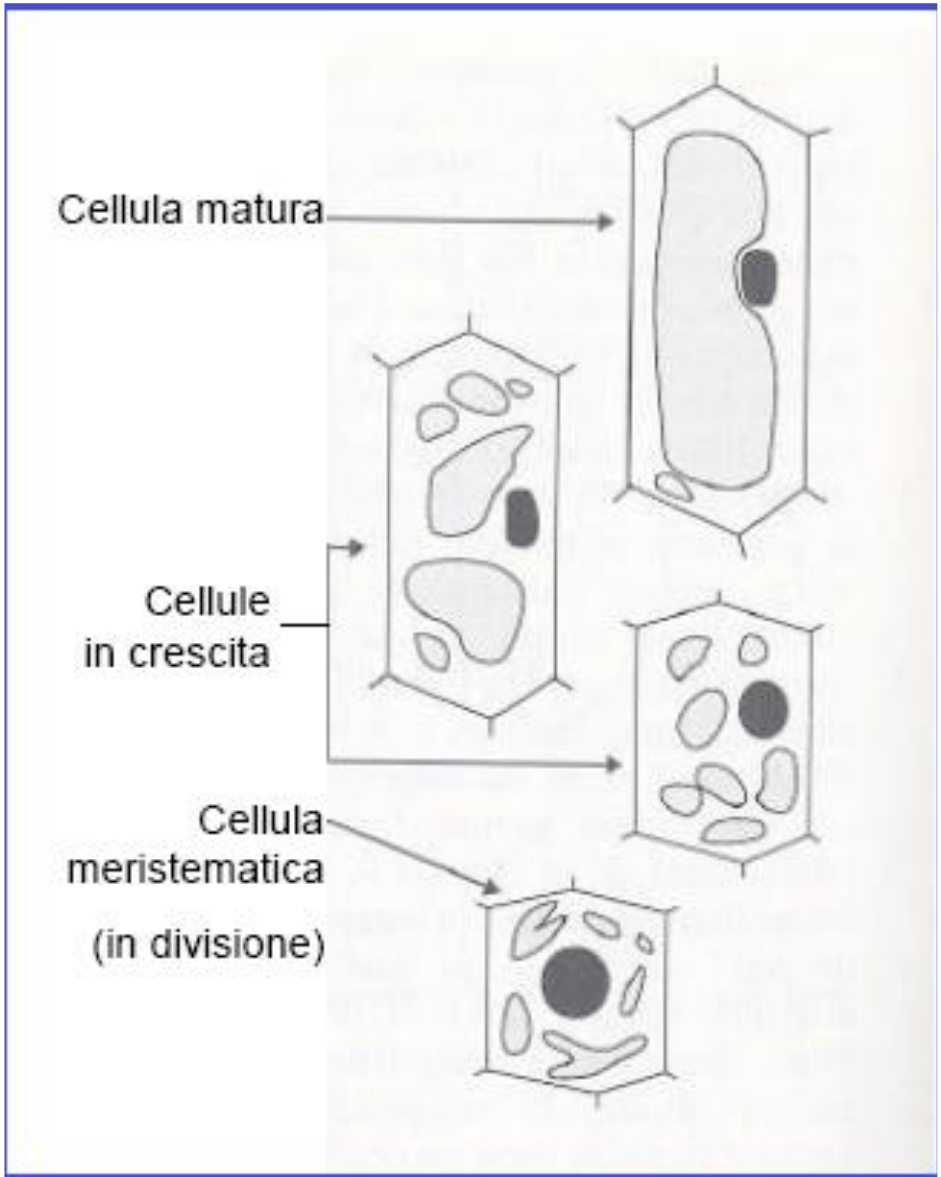
L'autofagia permette la degradazione e il riciclo dei componenti del citoplasma.

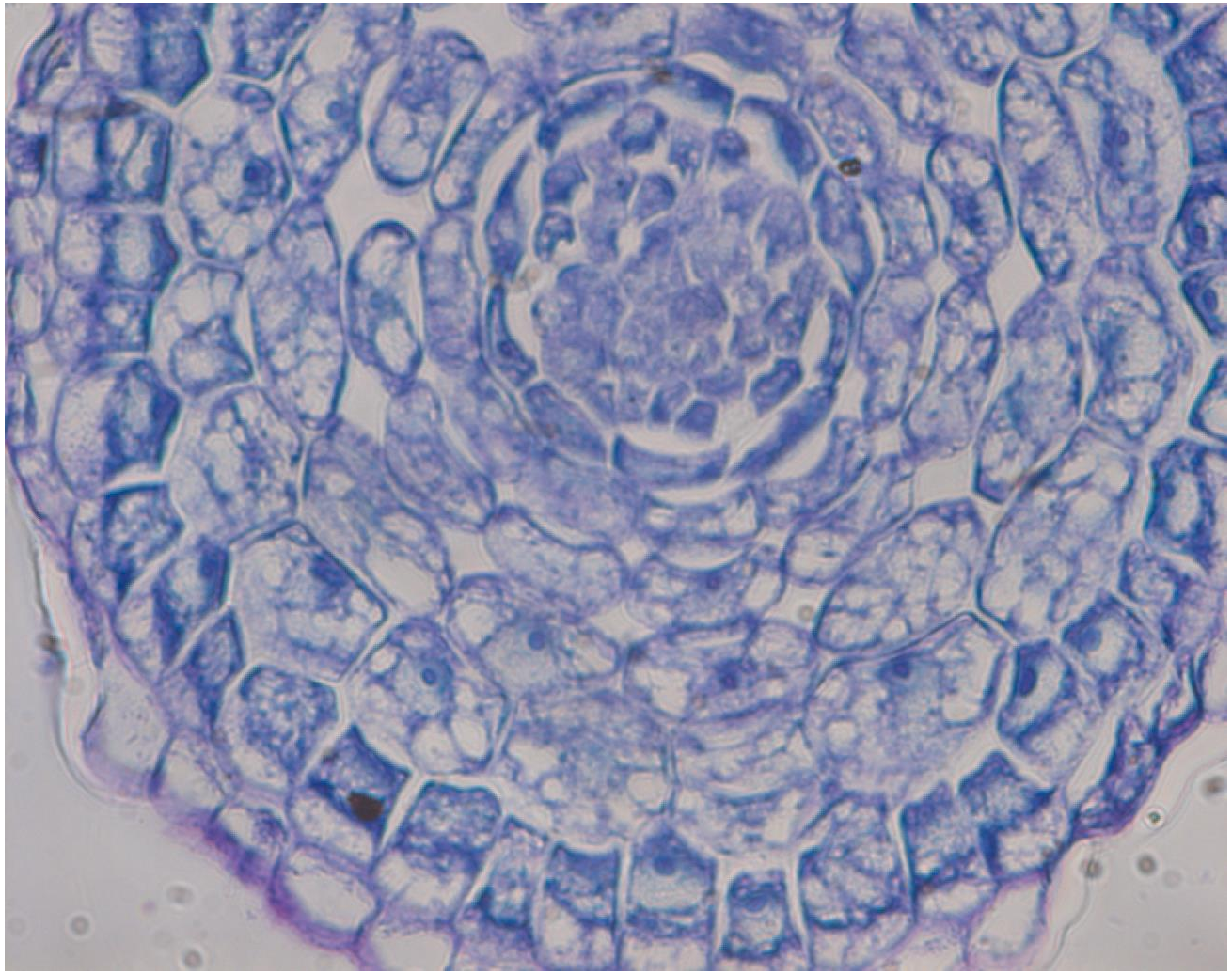
L'azione di enzimi idrolitici determina la degradazione sia del citoplasma che delle membrane interne, si ha così la formazione di una struttura sferica (VACUOLO AUTOFAGICO) delimitata dal tonoplasto



Botanica Generle e Diversità Vegetale - Pasqua et al., Piccin, 2019

Fusione di microvacuoli durante la crescita e il differenziamento cellulare portano alla formazione di un grosso vacuolo centrale.





Numerosi microvacuoli in cellule meristematiche di radici di tabacco

Immagine di G. Falasca – Sapienza Università di Roma

Cellula differenziata con grande vacuolo

I vacuoli hanno parecchi ruoli metabolici oltre alla crescita:

- RISERVA (ioni, zuccheri, polisaccaridi, aa);
- DIGESTIONE (idrolasi acide);
- Ph (riserva di ioni e protoni);
- DIFESA DA PATOGENI MICROBICI E DA ERBIVORI;
- SEQUESTRO DI COMPOSTI TOSSICI;
- PIGMENTAZIONE

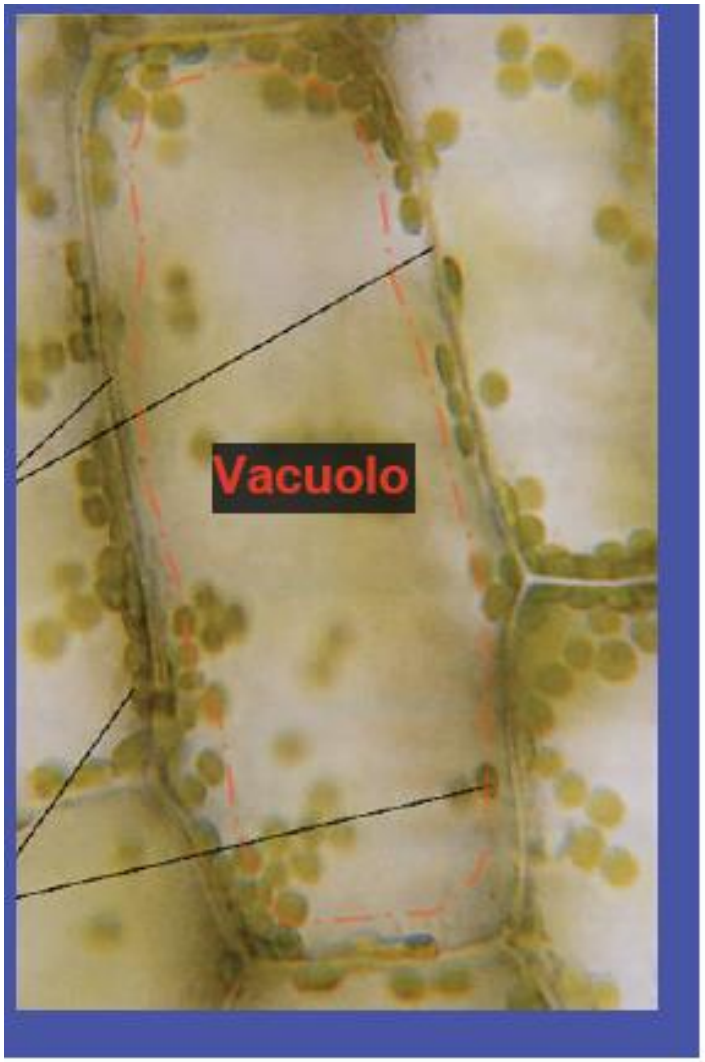
La soluzione acquosa contenuta nel vacuolo è detta **succo vacuolare**.

Cosa contiene il succo vacuolare?

Acqua
Ioni inorganici quali Ca^{++} , K^{+}, Na^{+}, HPO_4
Zuccheri, AA , acidi organici
Sostanze ad elevata concentrazione
(cristalli di Ossalato di Ca^{++})

Composti del metabolismo primario
Composti del metabolismo secondario

Generalmente il pH va da molto acido (frutto degli agrumi) fino a valori maggior di 7 (nei vacuoli a funzione di riserva).



Specializzazione dei vacuoli

Epidermide dei petali
(es. antociani)

Cellule guardia degli stomi
(diversi stati turgore)

Epidermide fogliare
(es. glucosidi cianogenetici
in *Sinapis*
cumarine in *Melilotus*)

Parenchima midollare
(es. saccarosio in canna da zucchero)

Parenchima
(es. saccarosio in barbabietola da zucchero
Sinigrina nel rafano
Inulina nelle Composite)

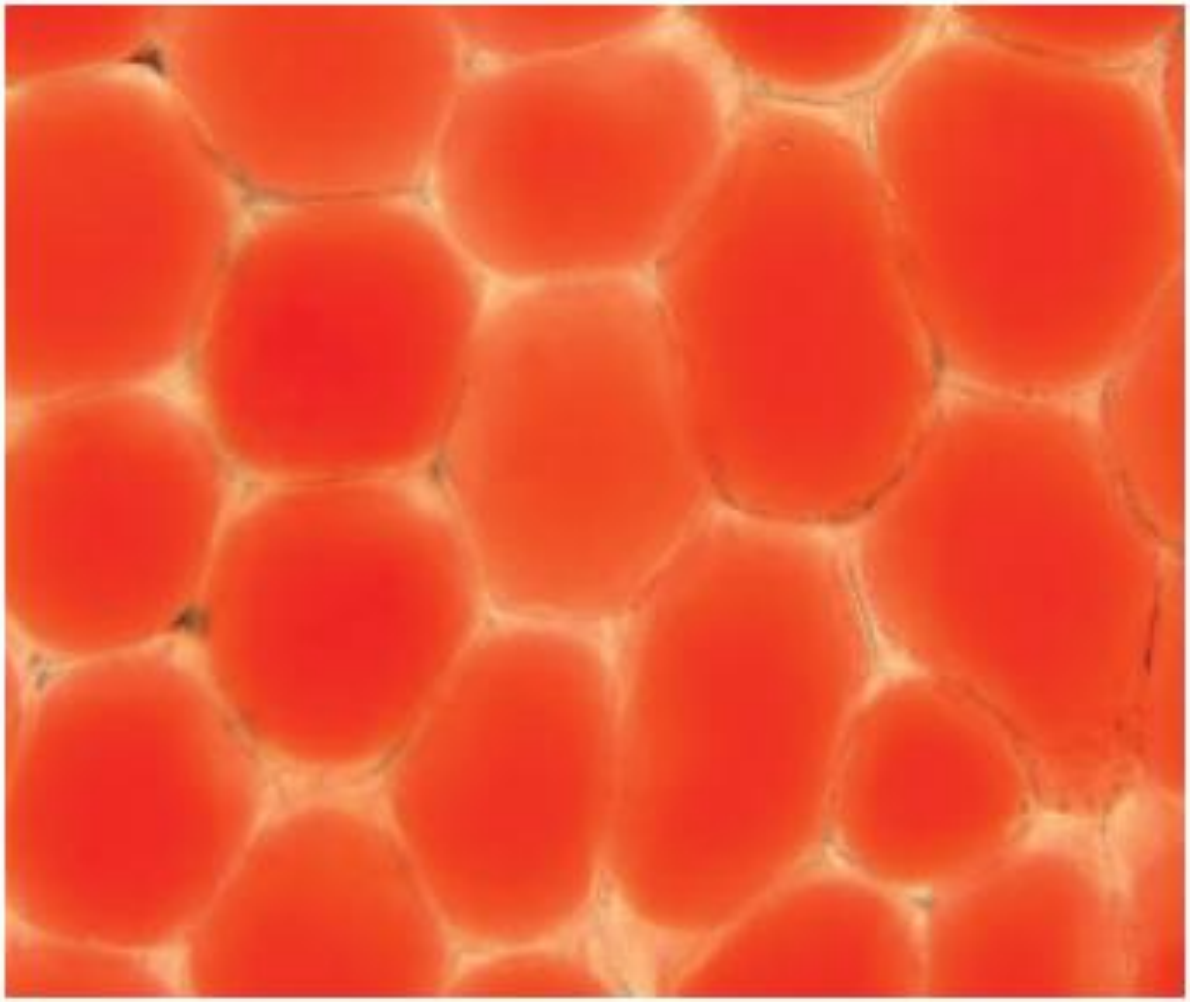
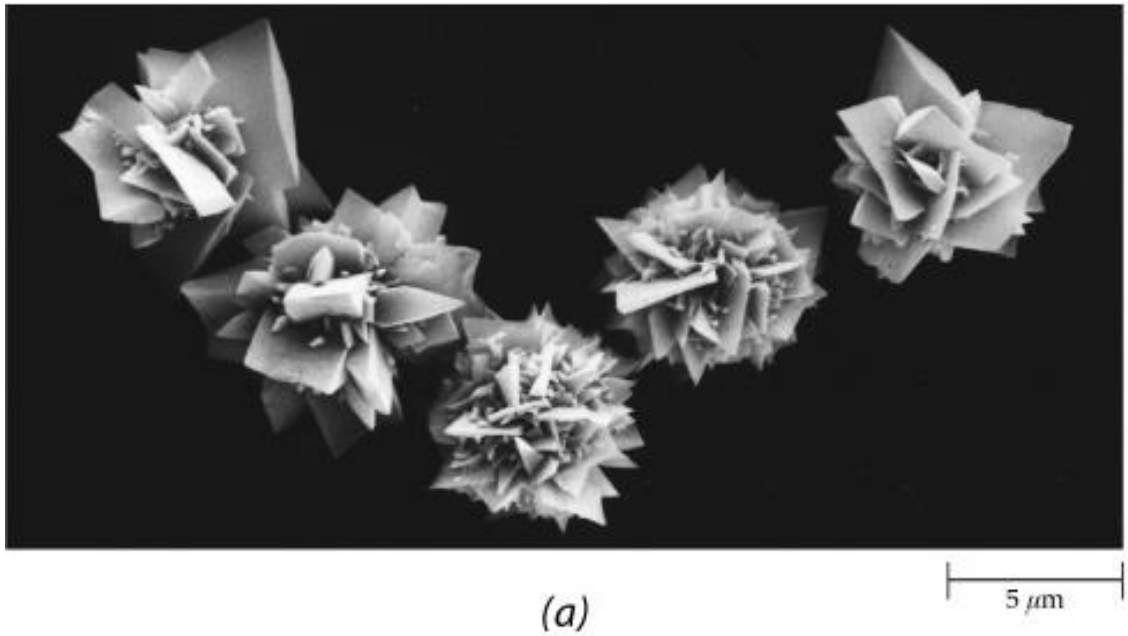
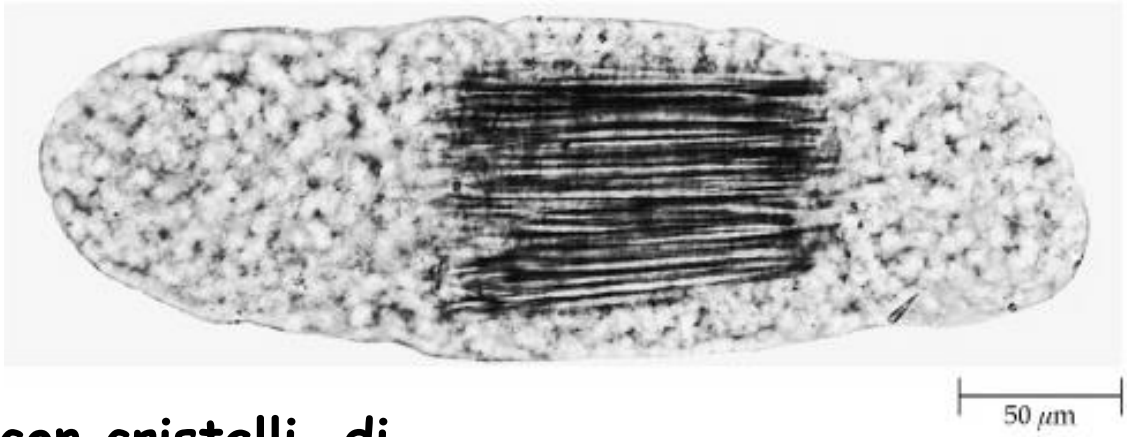


Figura 3.16 I vacuoli centrali di queste cellule dei petali contengono pigmenti che li rendono visibili. L'area chiara fra ogni ovale pigmentato contiene gli spazi intercellulari, le pareti, i nuclei e tutto ciò che nel protoplasma è esterno al vacuolo (× 300).

Immagine da JD Mauseth "Fontamenti di Biologia delle piante"



Druse



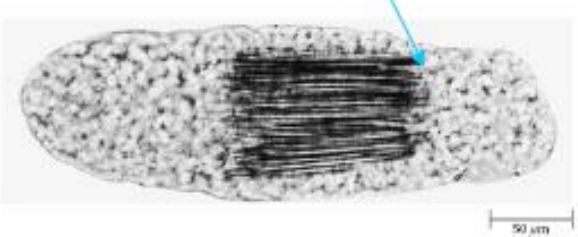
Rafidi

Vacuoli con cristalli di ossalati di calcio

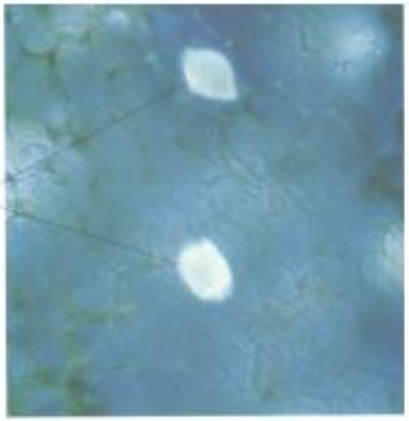
Immagine da PH Raven "Biologia delle piante"

RAFIDI (generalmente nelle monocotiledoni ma anche in qualche dicotiledone)

fasci di "aghetti"

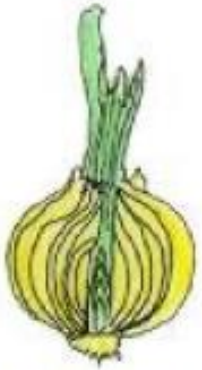


Cellula di una foglia di *Sansevieria*

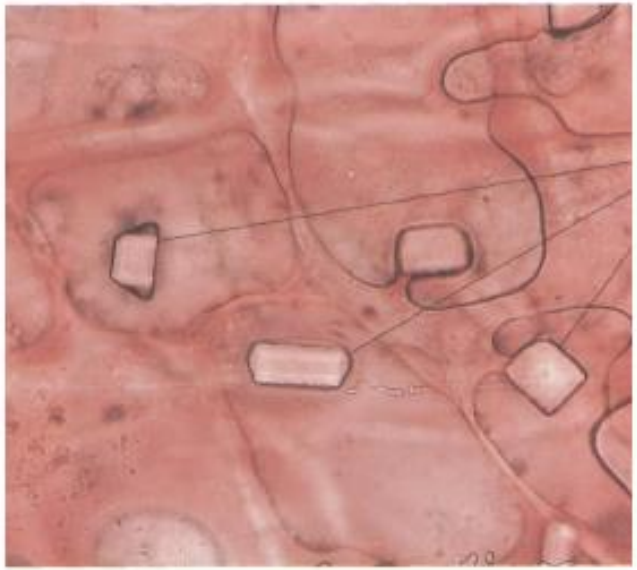


(c) STILOIDI (nelle monocotiledoni)

"prismi"



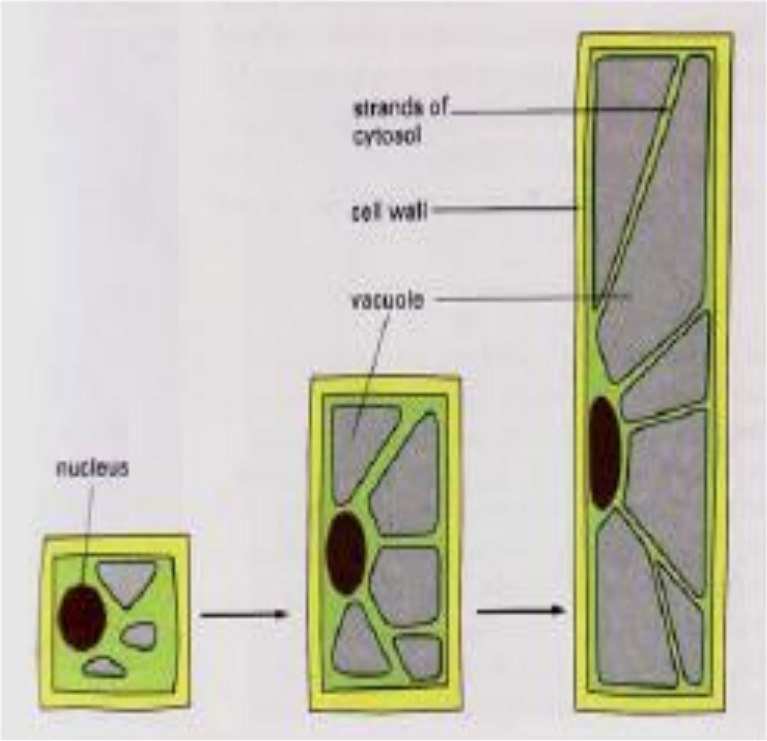
Nei catafilli esterni del bulbo di cipolla (Liliaceae)

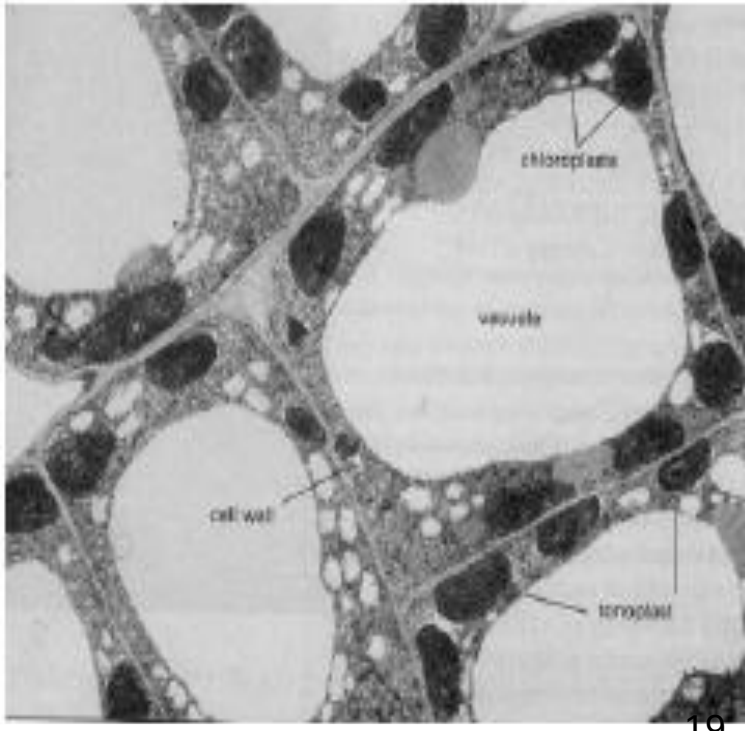


59

60 **Stiloidi nei catafilli esterni del bulbo di cipolla** (*Allium cepa*, fam. Liliaceae).

Le piante utilizzano i vacuoli per aumentare le dimensioni cellulari e quindi accrescersi. La crescita per accumulo di acqua nelle cellule è un sistema molto economico per aumentare le dimensioni.





Il contenuto del vacuolo, acqua e sali, permette al vacuolo di accrescersi rapidamente e, di conseguenza, far aumentare di dimensioni l'intera cellula.

Mentre la cellula animale si accresce mediante la sintesi dell'intero protoplasma, quella vegetale cresce per distensione dovuta all'aumento di acqua nel vacuolo.

FUNZIONE: aumento rapporto S/V

DIVISIONE CELLULARE

DISTENSIONE CELLULARE

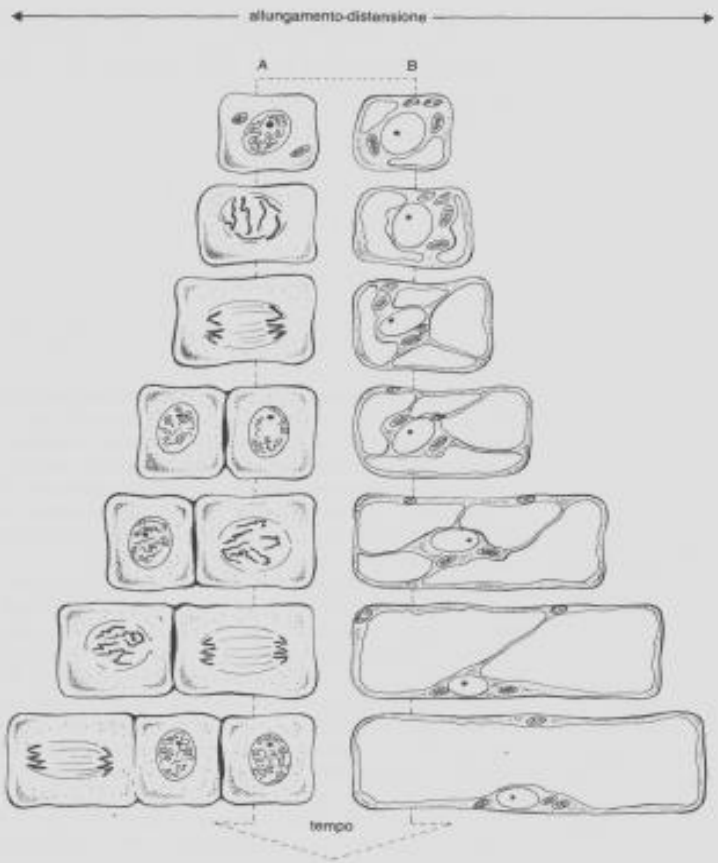


FIG. 13.1 • Raffigurazione schematica delle due modalità attraverso le quali si accrescono le cellule vegetali: A, accrescimento per divisione; B, accrescimento per distensione.

Quindi le piante……

UTILIZZANO I VACUOLI PER OTTENERE CELLULE DI GRANDI DIMENSIONI CON UN BASSO DISPENDIO DI ENERGIA

L'espansione della cellula viene guidata dall'azione combinata dei processi di entrata di acqua, mediante il processo osmotico, all'interno dei vacuoli e la capacità di estensibilità della parete cellulare.

Ruolo del vacuolo nel mantenimento del turgore cellulare

Il vacuolo insieme alla parete determina il raggiungimento di un equilibrio necessario alla cellula vegetale per svolgere le proprie funzioni al meglio.

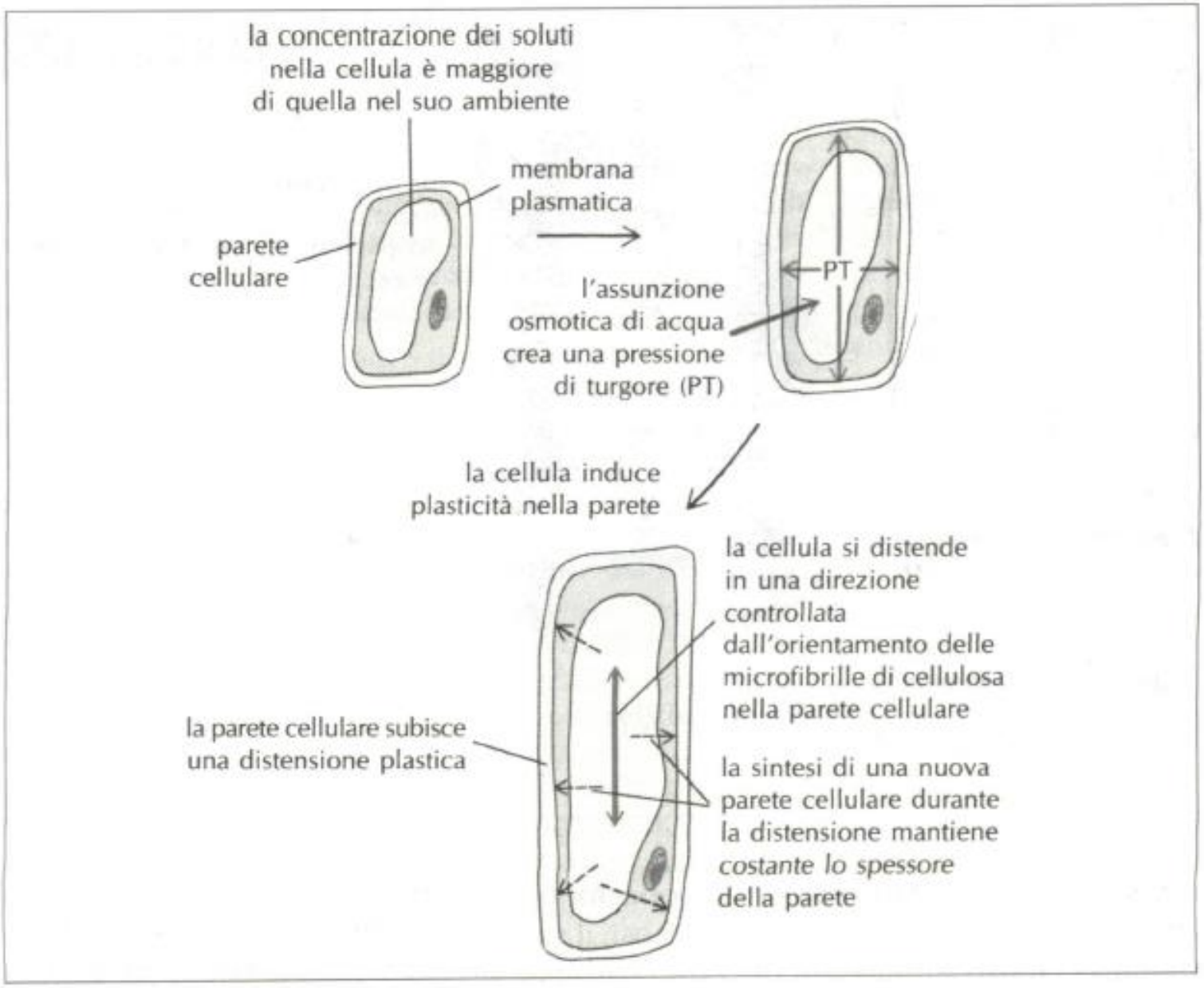
Questa situazione di equilibrio è detta

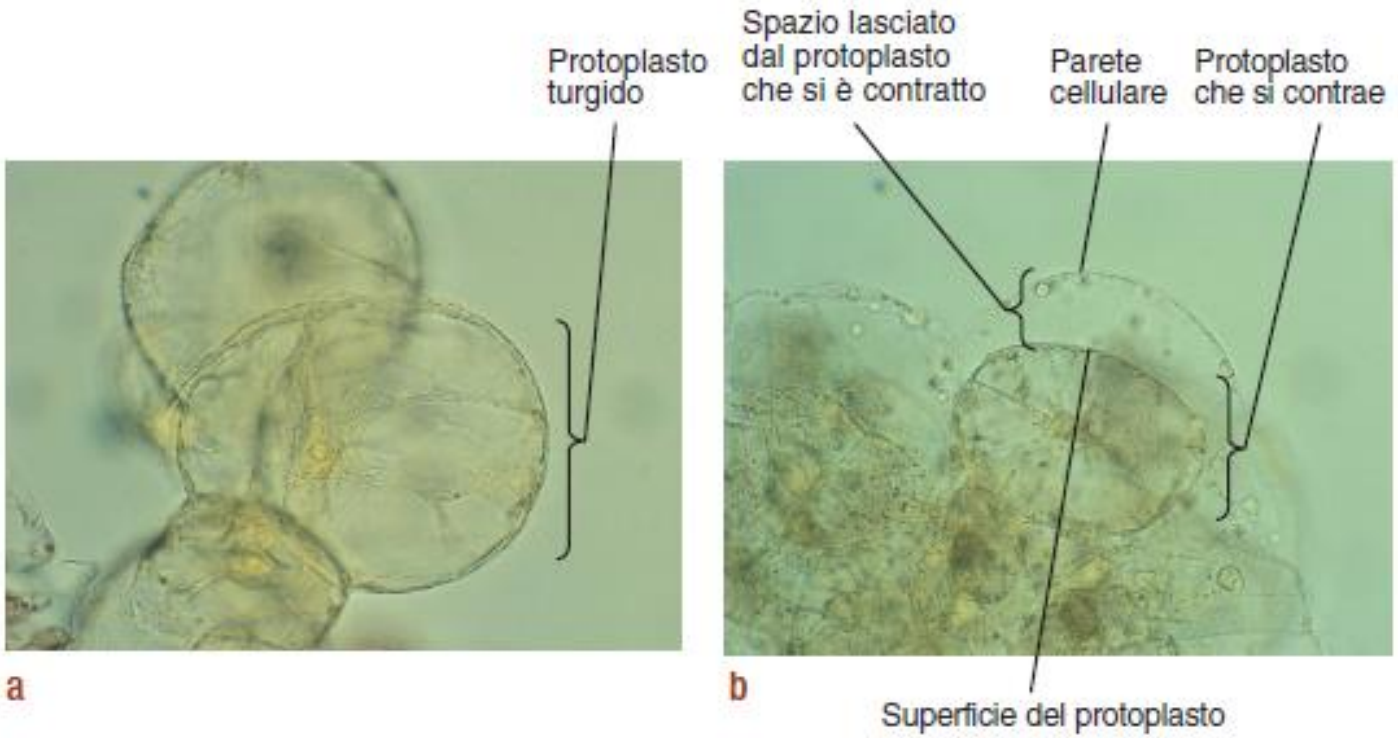
turgore cellulare.

La presenza di soluti all'interno del tonoplasto fa si che molta acqua entri nel vacuolo, attraversando il tonoplasto, per osmosi.

Il turgore si raggiunge perchè il vacuolo esercita una pressione contro la parete cellulare, detta pressione di turgore. La parete a sua volta esercita una pressione di uguale intensità ma di segno opposto, pressione di parete, rispetto alla pressione di turgore.

NELLA DISTENSIONE:



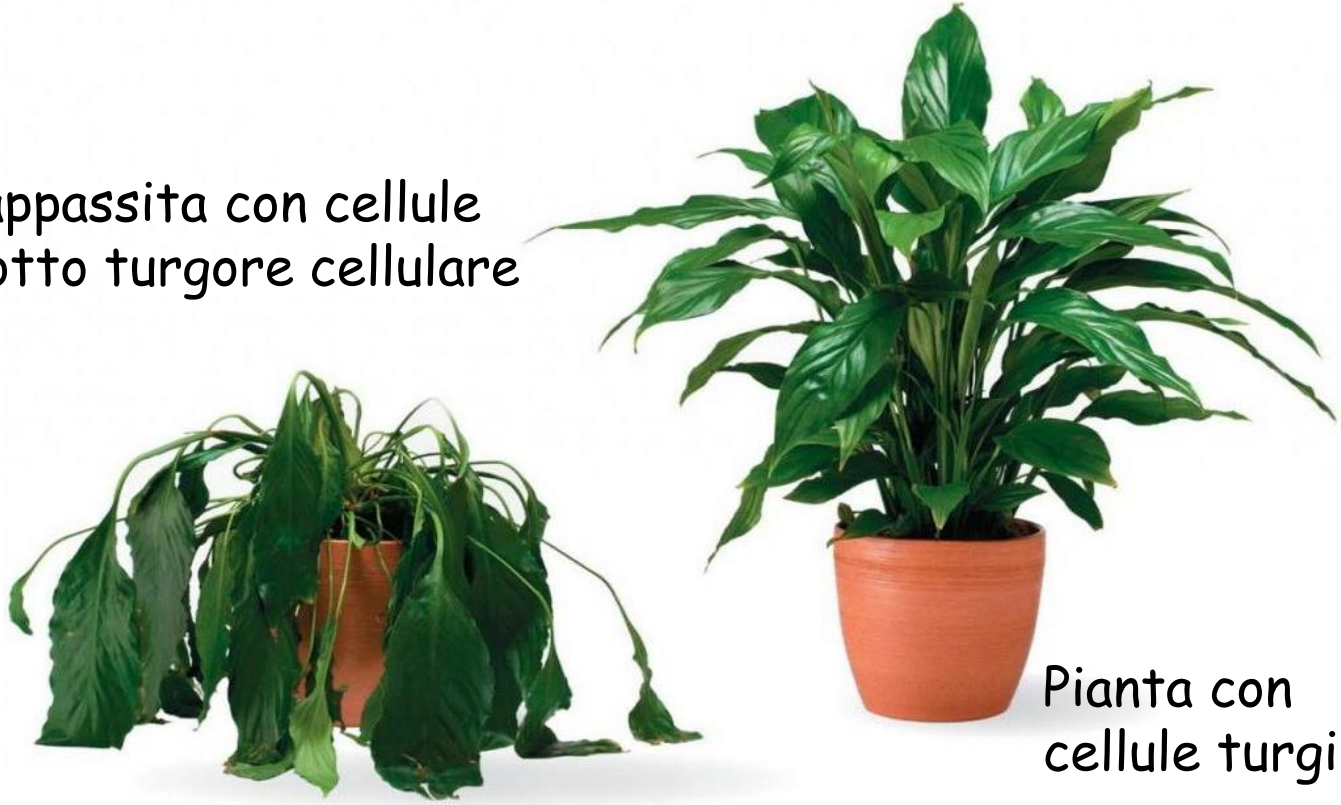


a, membrana cellulare attaccata alla parete.

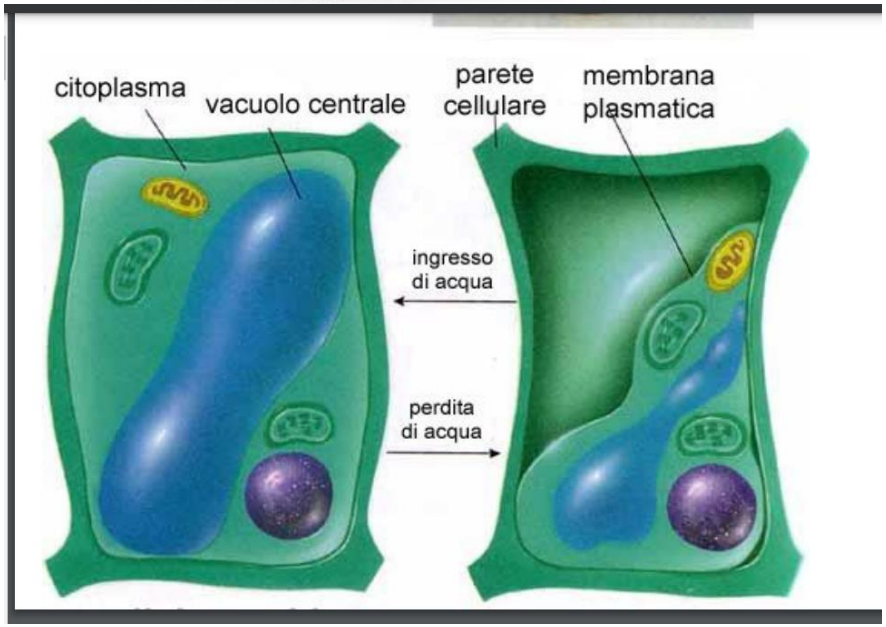
b, membrana cellulare staccata dalla parete.

Immagine da JD Mauseth "Fontamenti di Biologia delle piante"

Pianta appassita con cellule con ridotto turgore cellulare



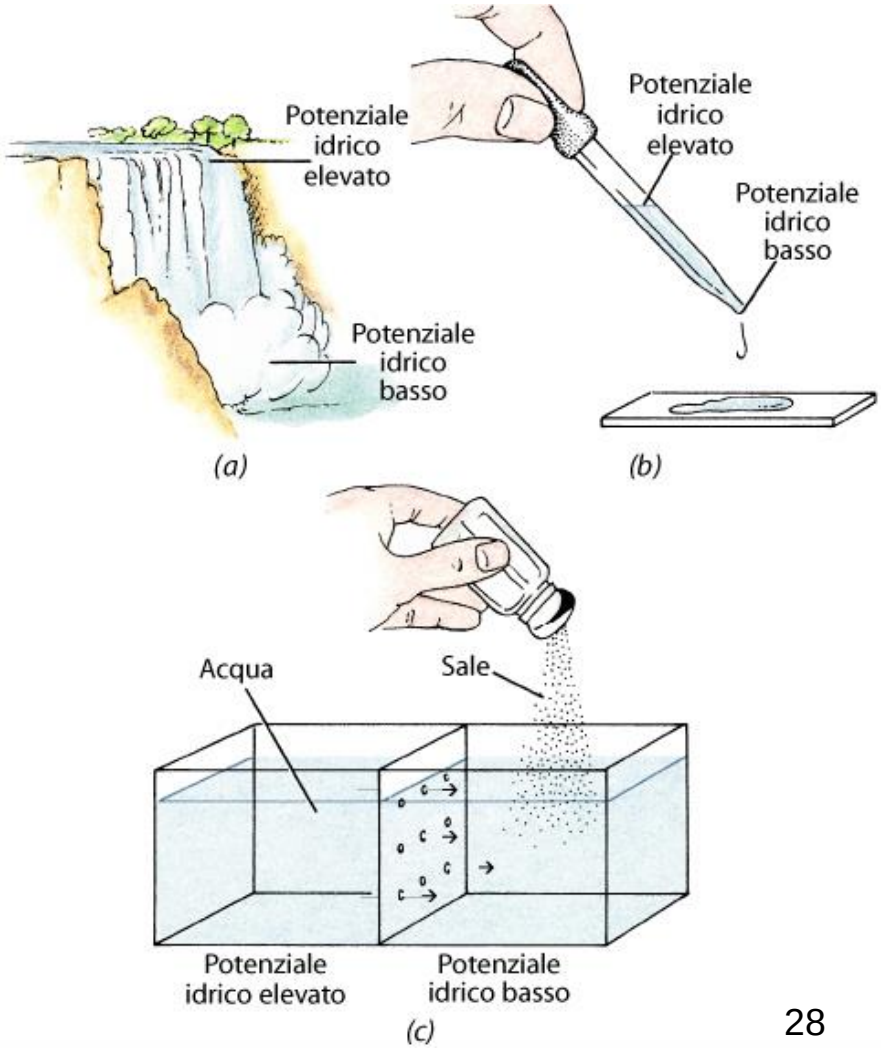
Pianta con cellule turgide



Il movimento dell'acqua è regolato dal potenziale idrico.

Il potenziale idrico è l'energia potenziale dell'acqua

- L'acqua si muove da zone a potenziale idrico più elevato a zone a potenziale idrico più basso.



Il potenziale idrico determina il movimento dell'acqua anche nelle cellule vegetali.

Nelle soluzioni il **potenziale idrico** è determinato dalla concentrazione delle particelle disciolte nell'acqua (soluti).

- Le molecole di acqua si spostano da zone a più bassa concentrazione di soluti (potenziale idrico più alto) a zone a più alta concentrazione di soluti (potenziale idrico più basso)
- La **diffusione** è la dispersione di sostanze mediante movimento dei loro ioni e delle loro molecole per renderne uniforme la concentrazione.

L’osmosi è uno speciale caso di diffusione

- Una membrana che permette il passaggio di **certe** molecole, ma blocca il passaggio di altre si dice **SELETTIVAMENTE PERMEABILE** **(una membrana che permette il passaggio di tutte le molecole e composti è detta permeabile)**

L’**ACQUA**, L’**OSSIGENO**, **L’ANIDRIDE CARBONICA** E POCHE ALTRE **PICCOLE** MOLECOLE **DIFFONDONO** LIBERAMENTE ATTRAVERSO LA MEMBRANA PLASMATICA

La diffusione richiede un ripido gradiente di concentrazione, come lo mantiene la cellula?

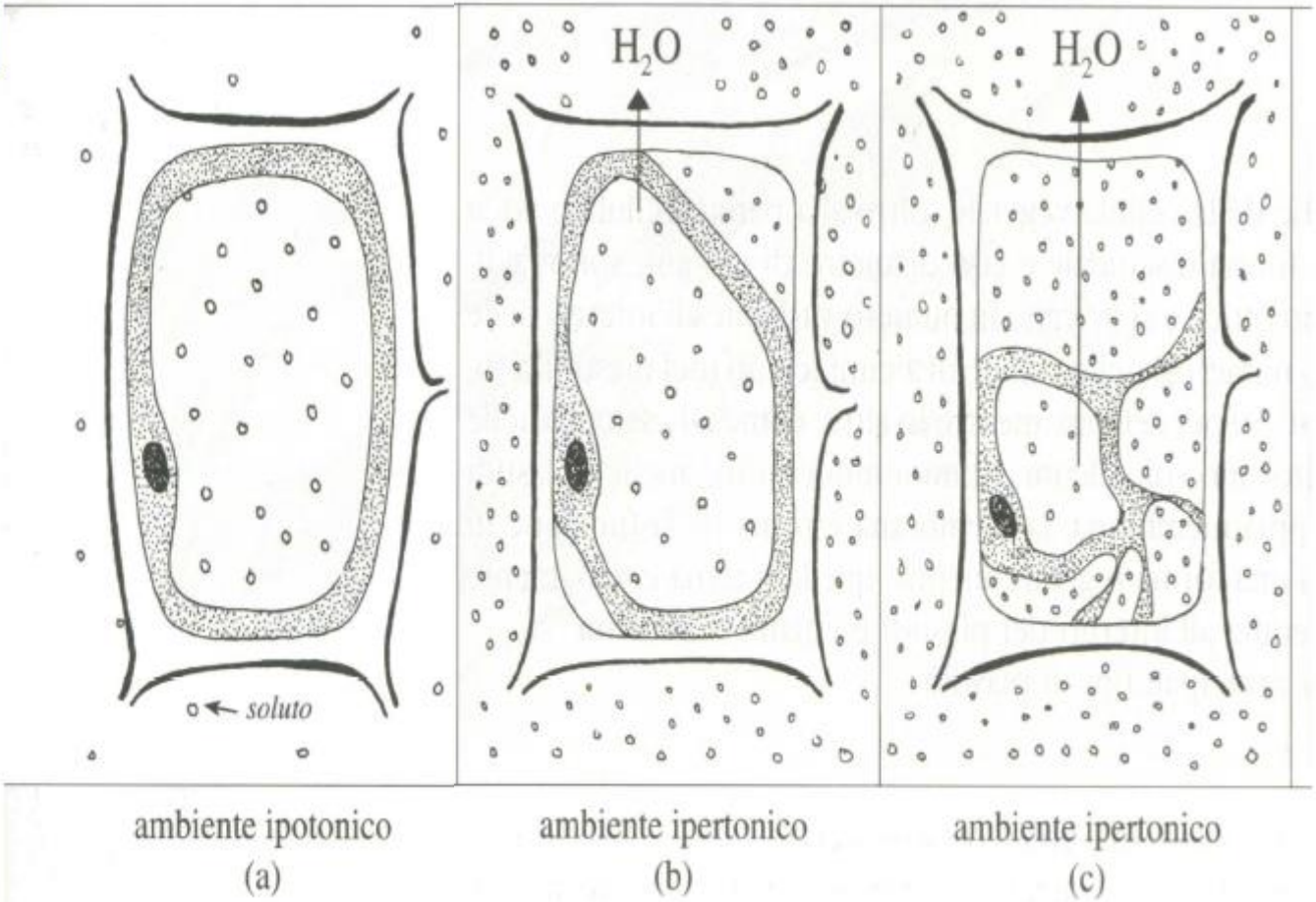
Attraverso il suo metabolismo.

• Due soluzioni (acquose) con uguale numero di particelle disciolte per unità di volume (concentrazione) sono dette **ISOTONICHE**

- Una soluzione che contiene meno soluto rispetto ad un’altra è detta **IPOTONICA**

- Una soluzione che contiene più soluto rispetto all’altra è detta **IPERTONICA**

- Organismi unicellulari che vivono in acqua salata sono generalmente isotonici rispetto all’ambiente.
- Organismi unicellulari che mancano di parete e vivono in acqua dolce (es. Euglena) sono ipertonici rispetto all’ambiente esterno, quindi si gonfiano d’acqua, che però viene espulsa attraverso **vacuoli contrattili**,
- E gli altri?? Sono ipertonici e non hanno vacuoli contrattili, ma per fortuna c’è la **parete cellulare**!!!!!

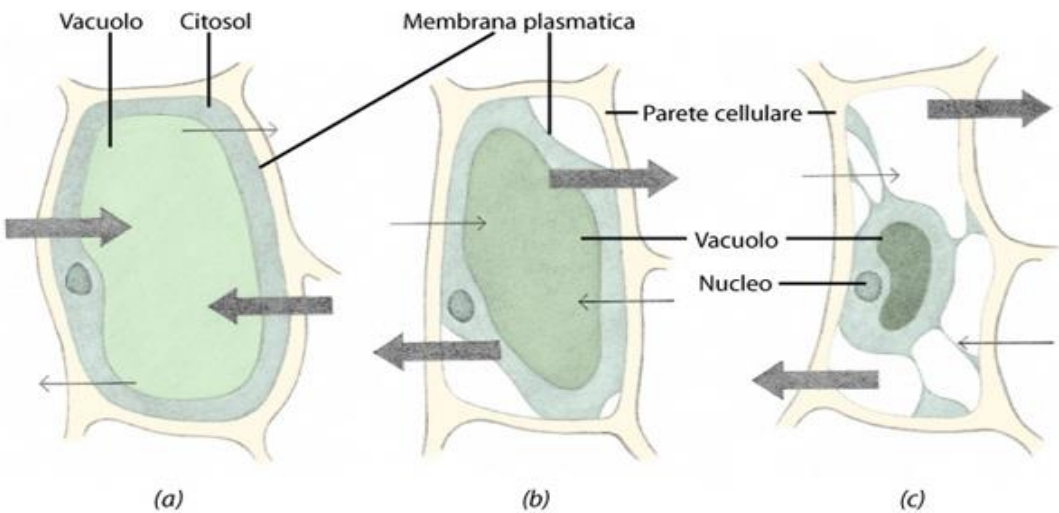


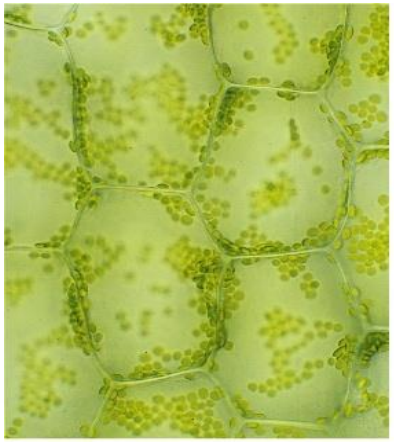
Turgore in cellule con pareti

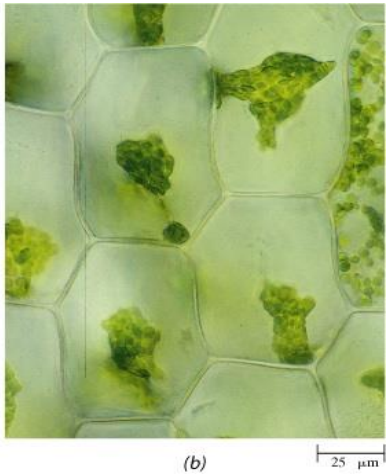
Il turgore nella maggior parte delle cellule vegetali viene mantenuto perchè, in genere le cellule vivono in ambienti ipotonici.

Se tessuti, composti da cellule turgide venissero immersi in una soluzione ipertonica, l'acqua uscirebbe dalla cellula, sempre per osmosi. Di conseguenza la cellula si raggrinzirebbe, la membrana plasmatica si staccherebbe dalla parete e l'intera cellula andrebbe incontro a morte.

Questo processo è detto **plasmolisi**.

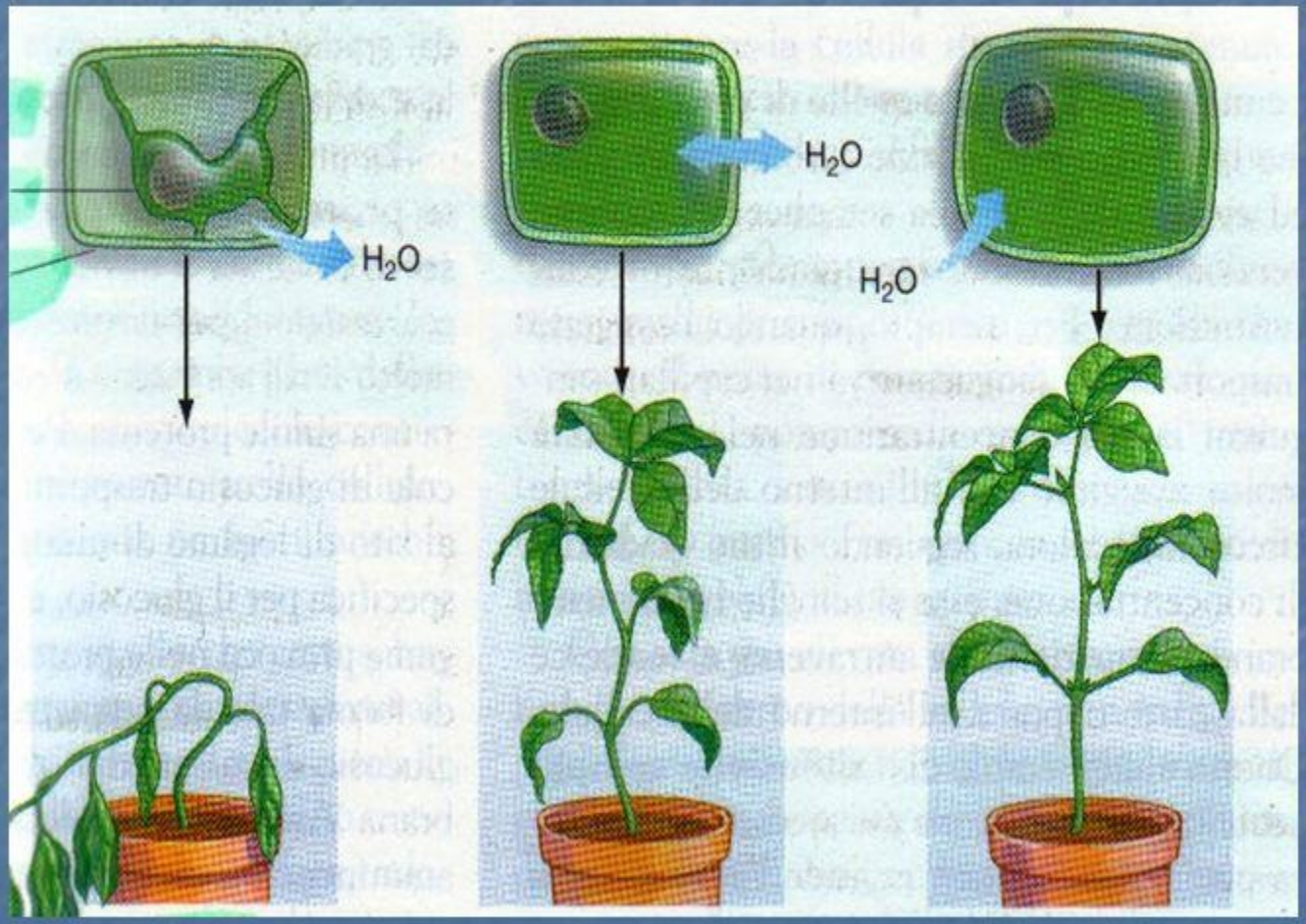






La plasmolisi può essere revertita

Le piante avvizzite riprendono il loro turgore quando vengono annaffiate

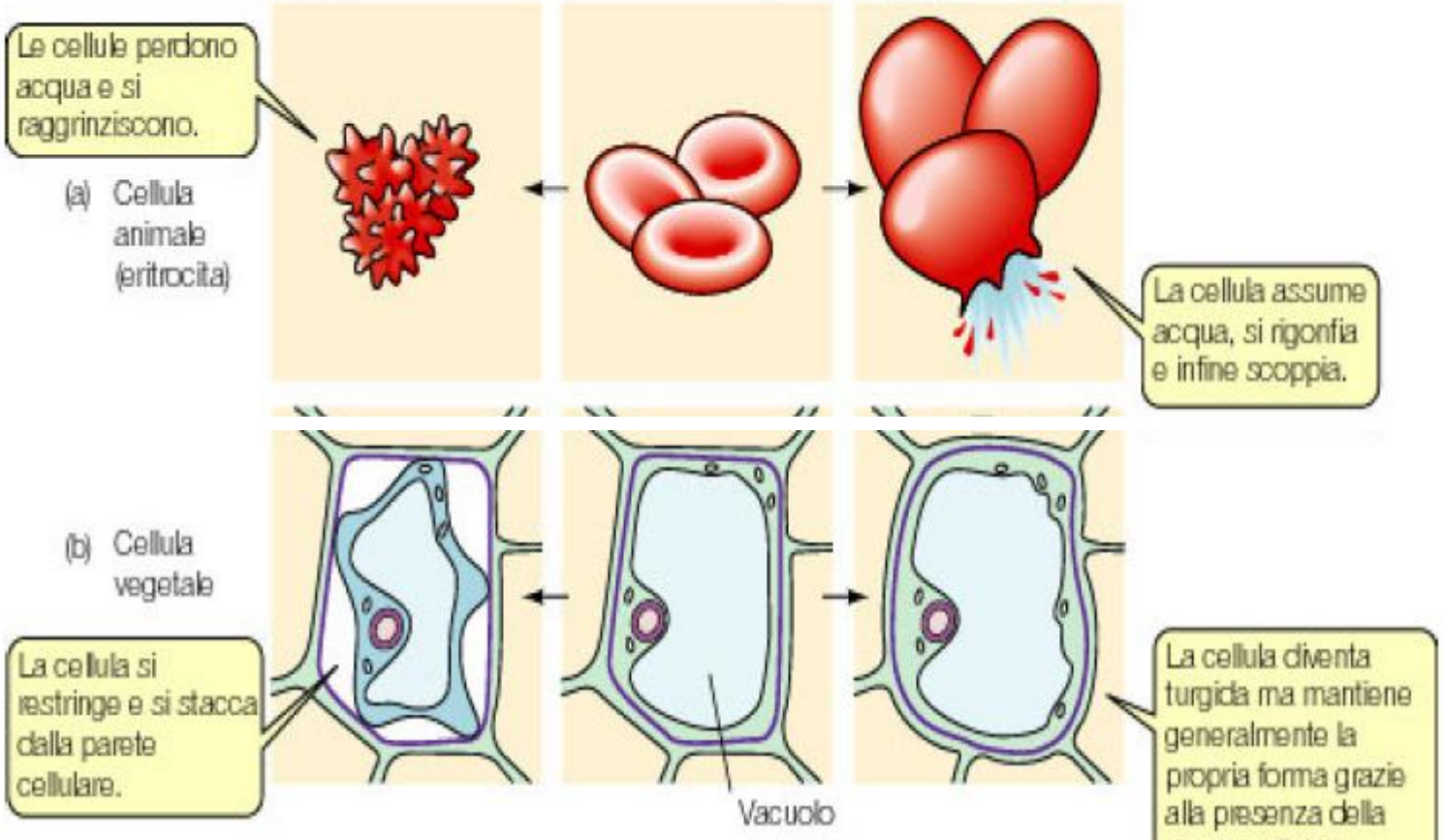


Le cellule
Vegetali vivono
bene in soluzione
ipotonica

Soluzione ipertonica

Soluzione isotonica

Soluzione ipotonica



turgore

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.

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.**

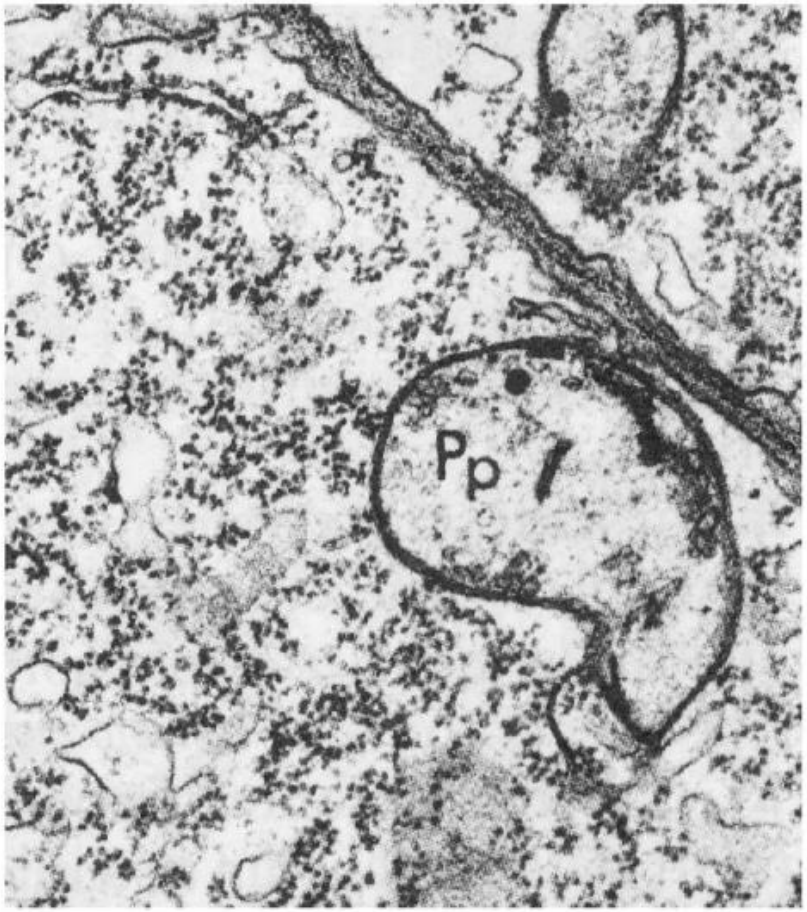
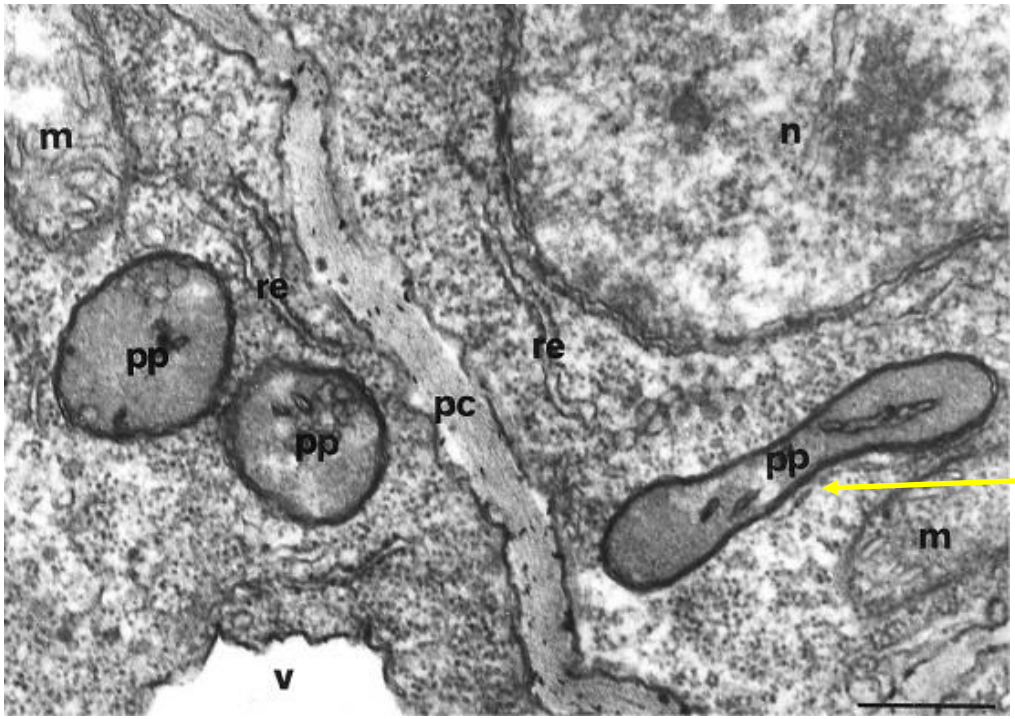


Figura 6.1
Micrografia al microscopio elettronico di un proplastidio (Pp) (da M.C. Ledbetter e K.R. Porter, 1970, per gentile concessione della Springer Science and Business Media).

PROPLASTIDIO

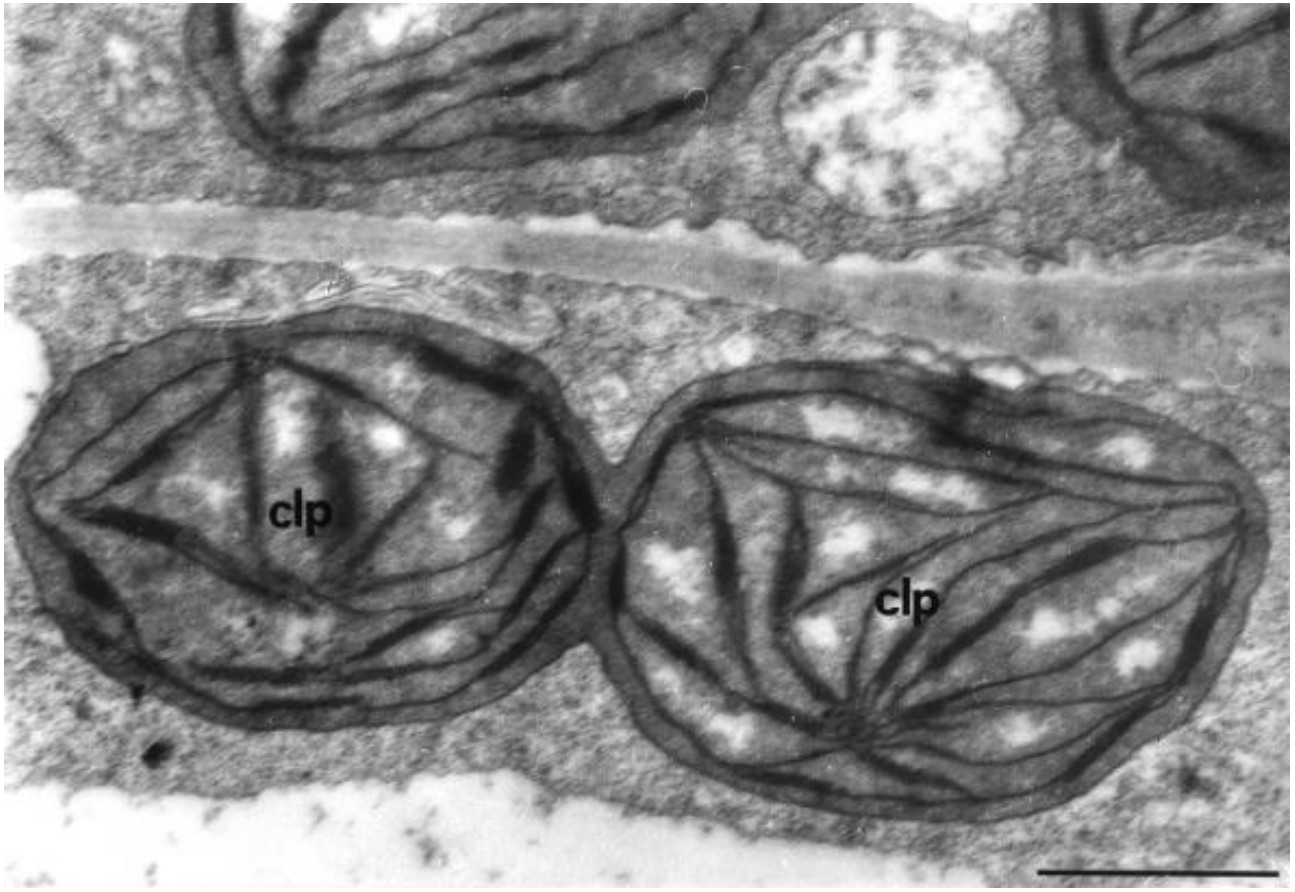


In duplicazione

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 **due membrane bistratificate la MEMBRANE 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.

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

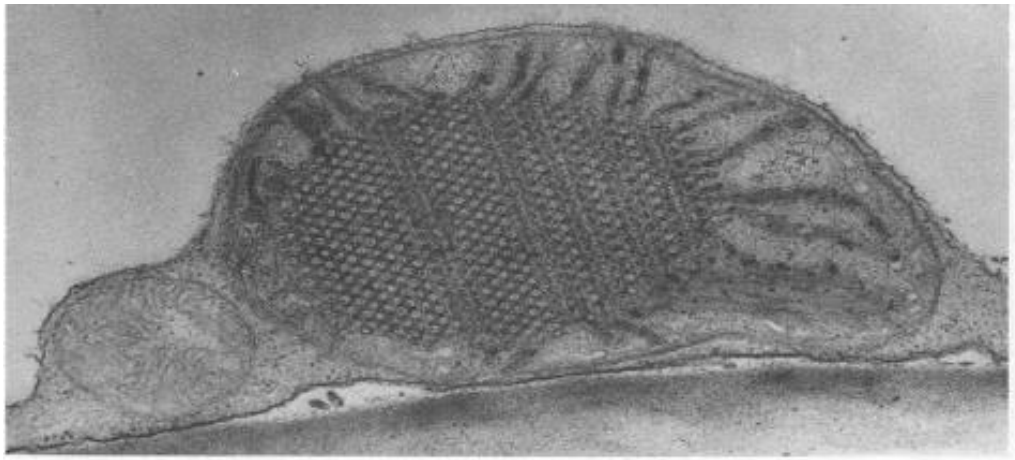
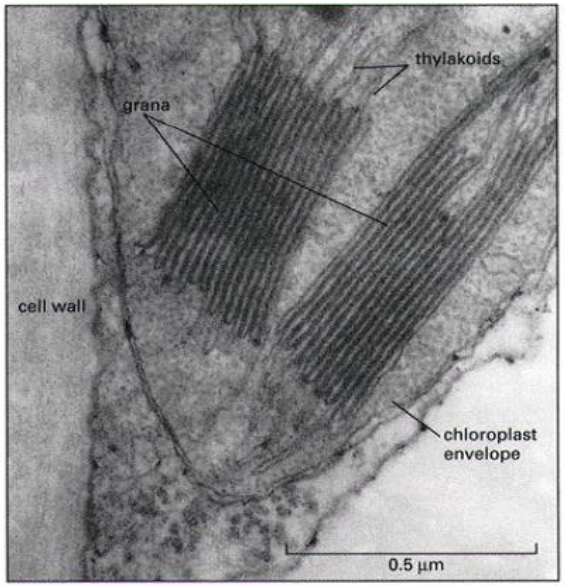


Fig. 4.34 • In una pianta tenuta al buio i proplastidi non si differenziano in cloroplasti, ma in ezioplasti (abbreviazione per «plastidi eziolati». Si chiama eziolamento il tipico aspetto delle piante cresciute al buio; v. cap. 15). La foto mostra un ezioplasto visto al microscopio elettronico (a sinistra 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).

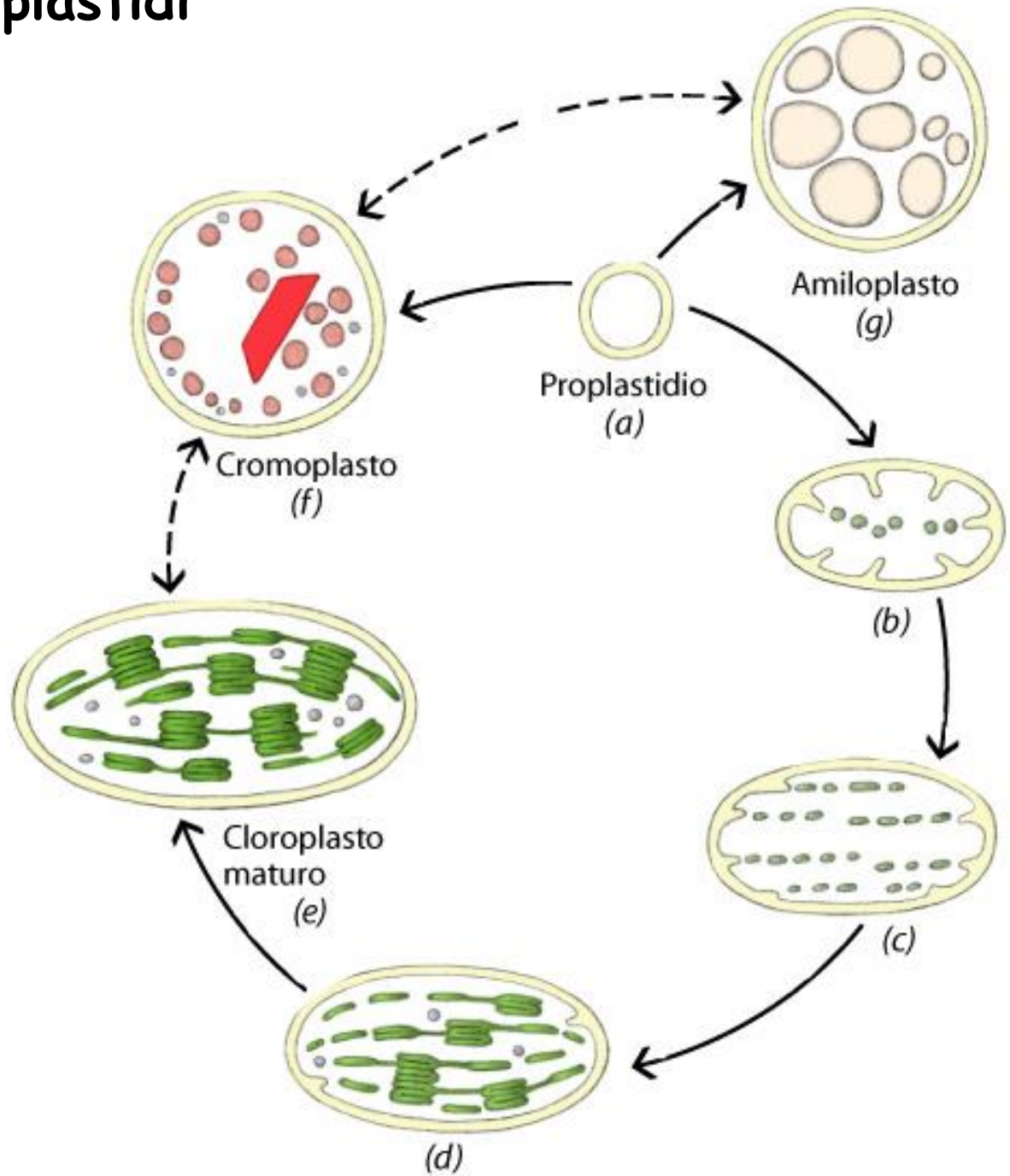
Cloroplasto



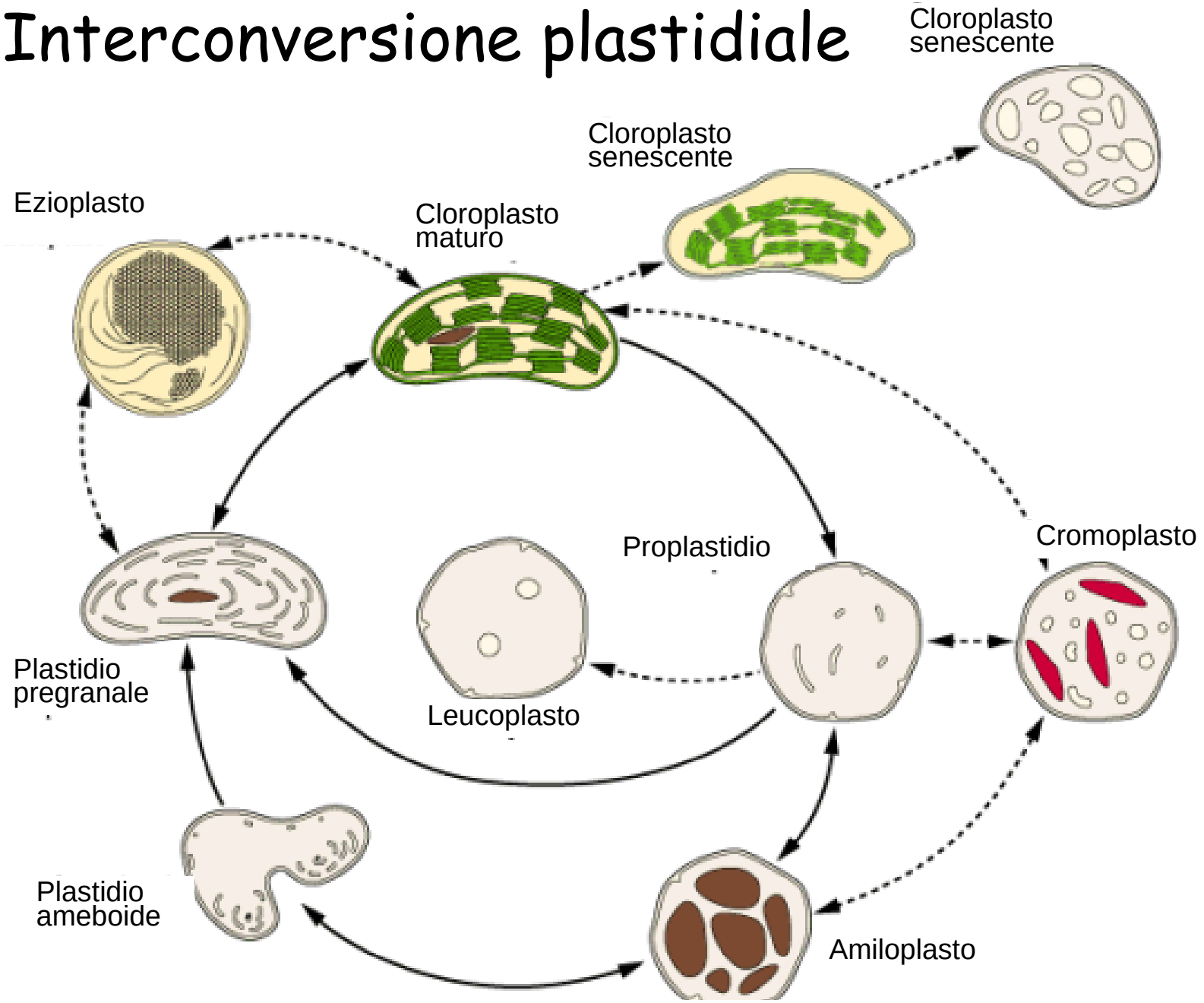
(C)

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

Genesi dei plastidi

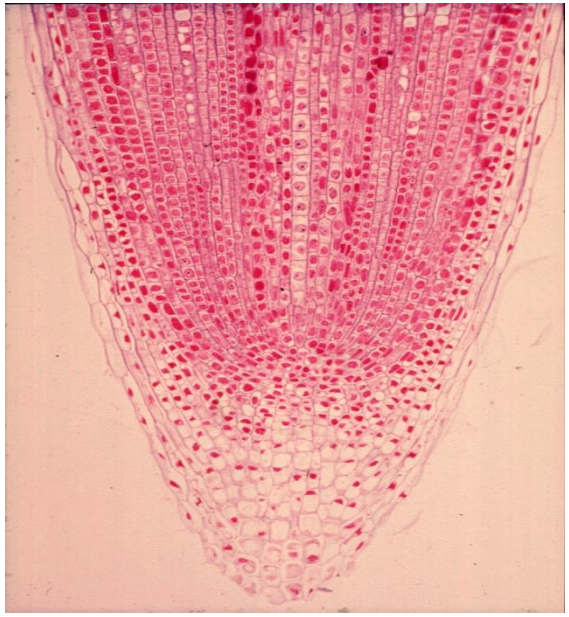


Interconversione plastidiale



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 parenchimatica 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 incolori e vengono classificati in base alle sostanze prodotte e/o accumulate

Leucoplasti:

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

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

Amiloplasti: accumulano **amido**

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.

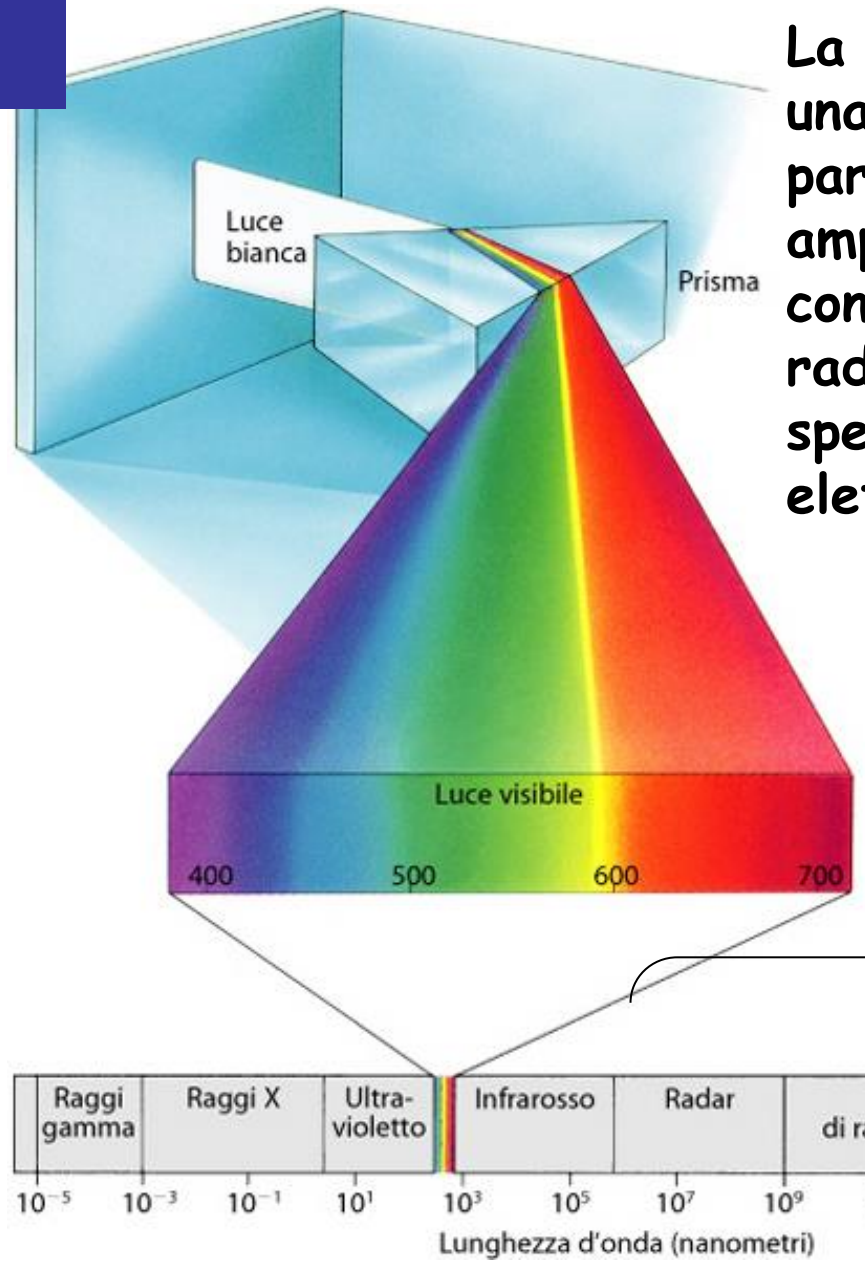
Es. la clorofilla conferisce il colore verde alle foglie perché assorbe luce nel VIOLETTO, AZZURRO e ROSSO, però riflette e trasmette la luce VERDE.

Luce

Spettro elettromagentico

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.

La luce bianca è una piccola parte di un ampio spettro continuo di radiazioni, lo spettro elettromagnetico



Onde radio

1 cm -1000m

nm= 1 millionesimo 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).

Proplastidio

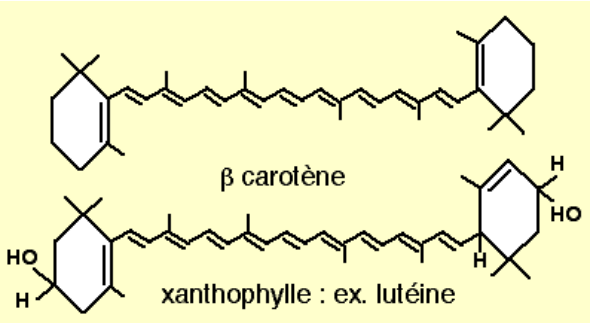
Cloroplasto

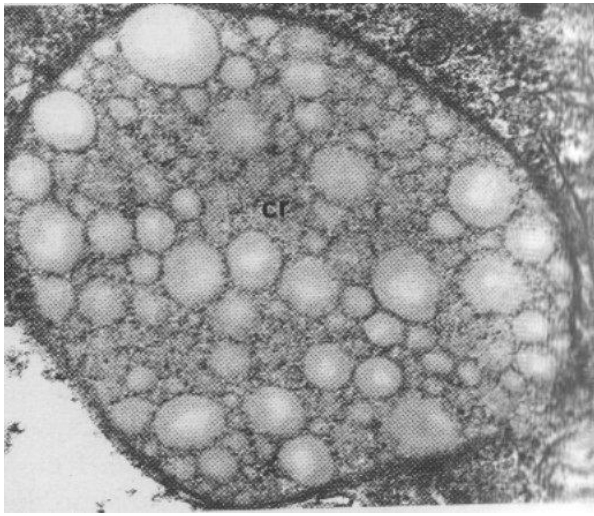
Amilo-Leucoplasto

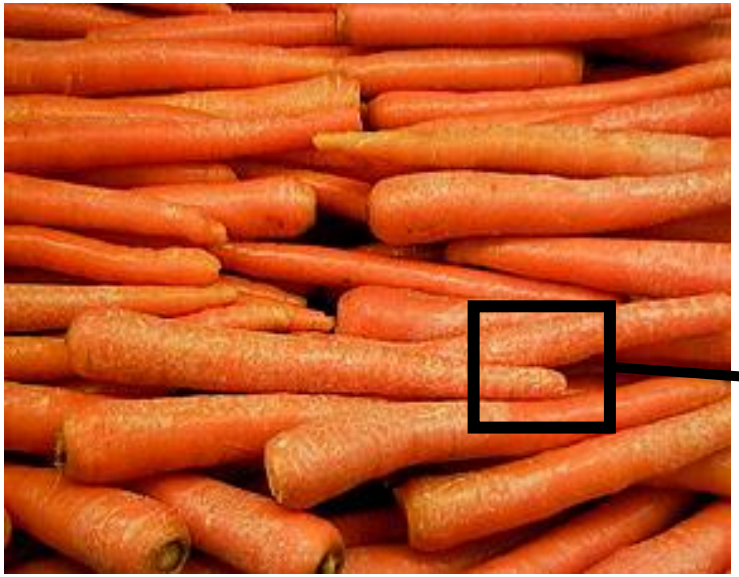
Cromoplasto

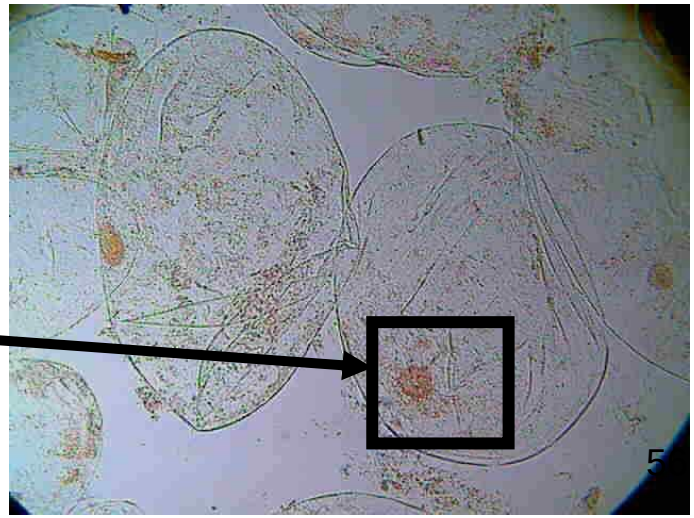
- Localizzazione: frutti, petali e parenchima di riserva della carota
- Stimoli: Ormonali, ambientali (temperatura, luce, stress)
- Differenziamento: organogenesi
- Funzione: vessillare
- Contenuto: pigmenti, accumulo di carotenoidi, proteine e lipidi,

Cromoplasto





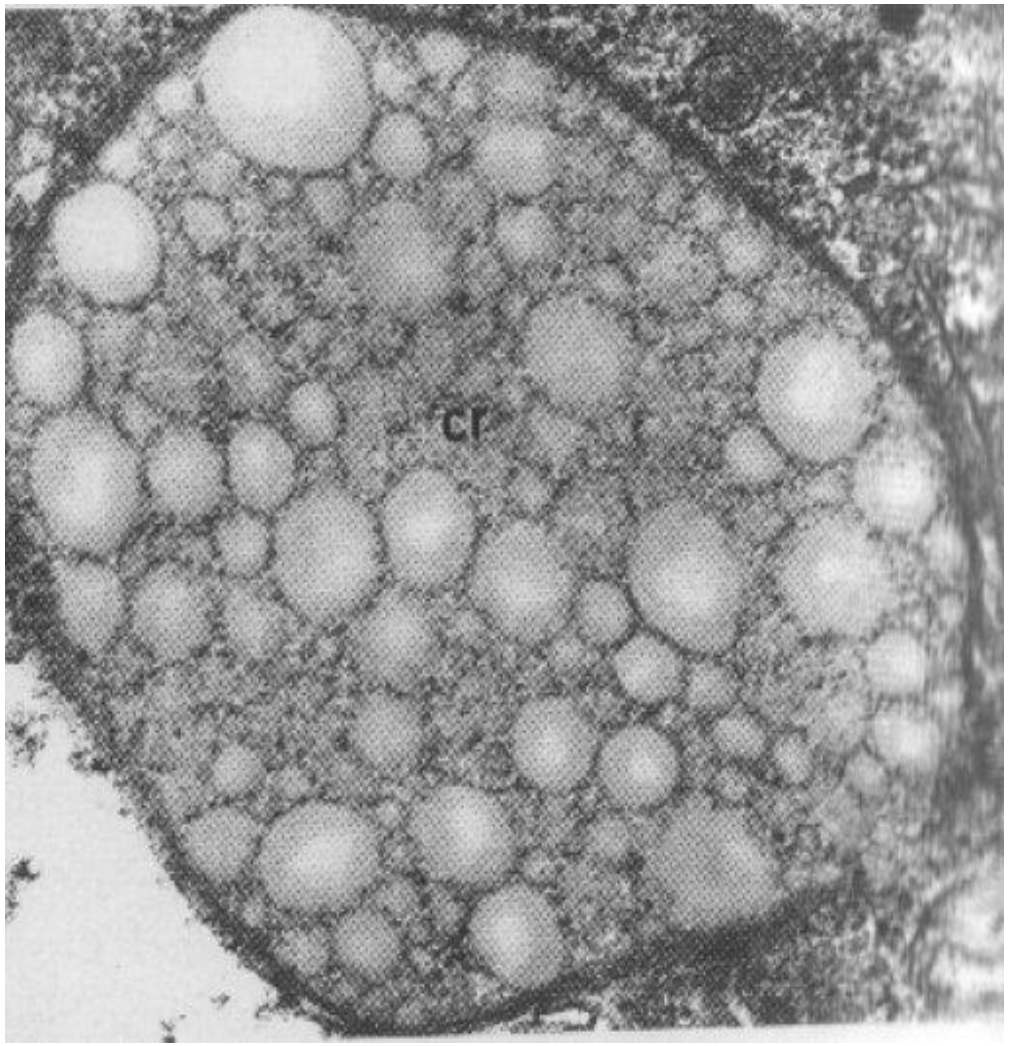




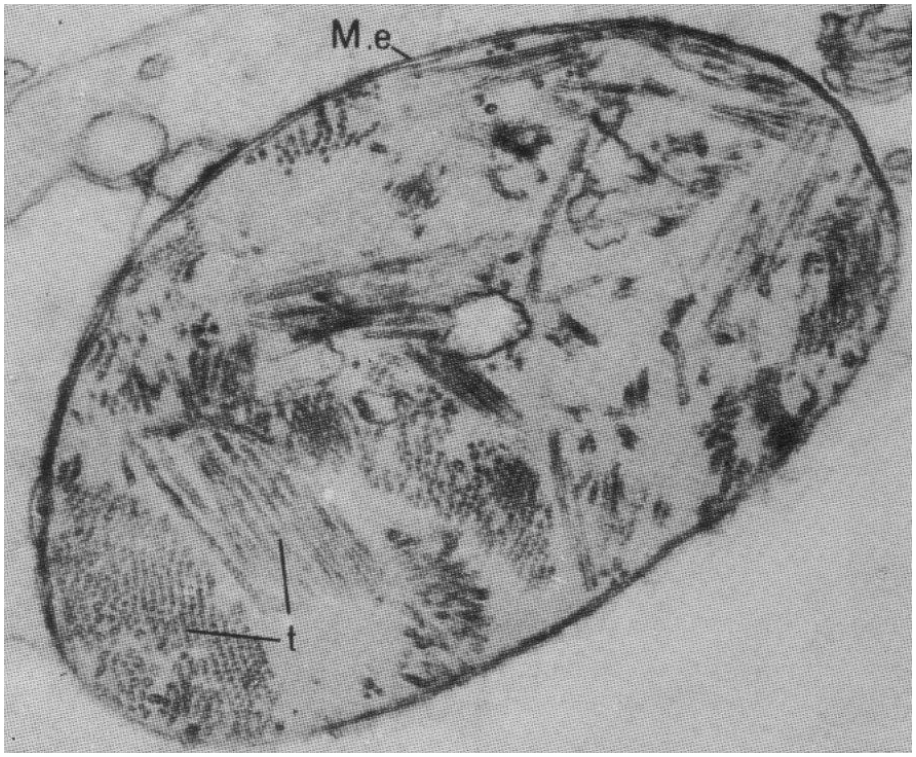
In base alla morfologia dell'accumulo dei pigmenti, si classificano in:

- Globulari
- Fibrillari
- Membranosi
- Cristallini

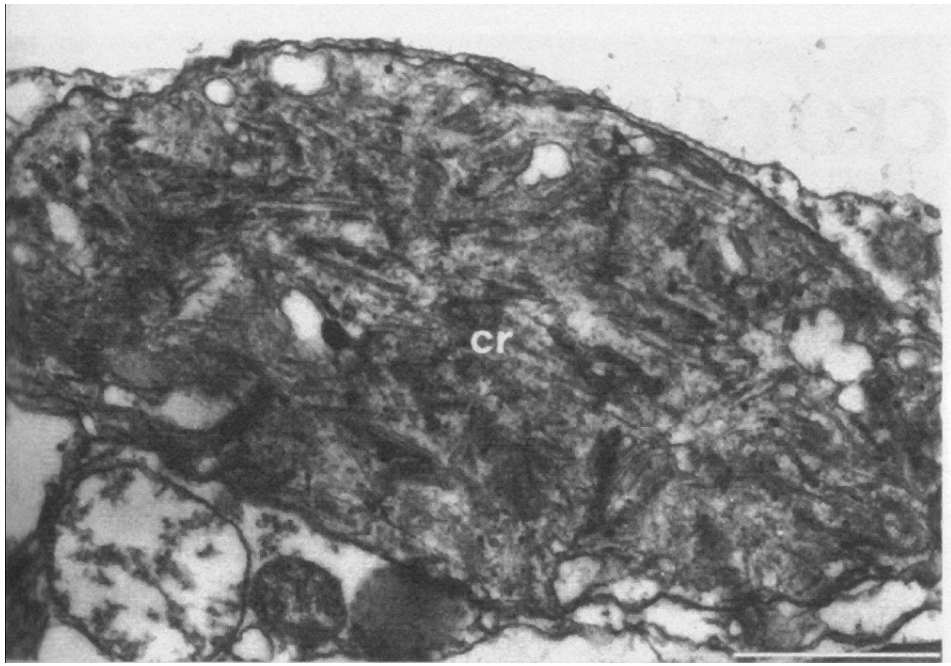
Cromoplasto globulare



Cromoplasto fibrillare



Cromoplasto Membranoso



Cromoplasto cristallino

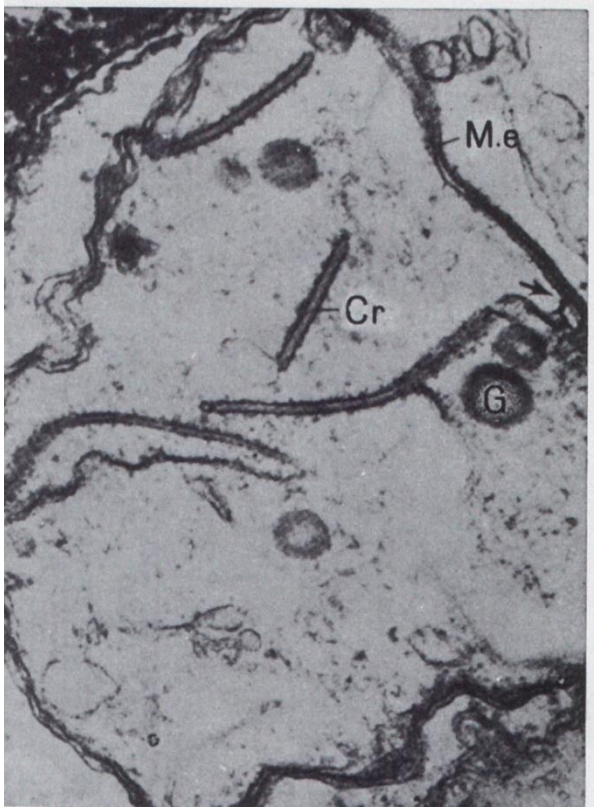
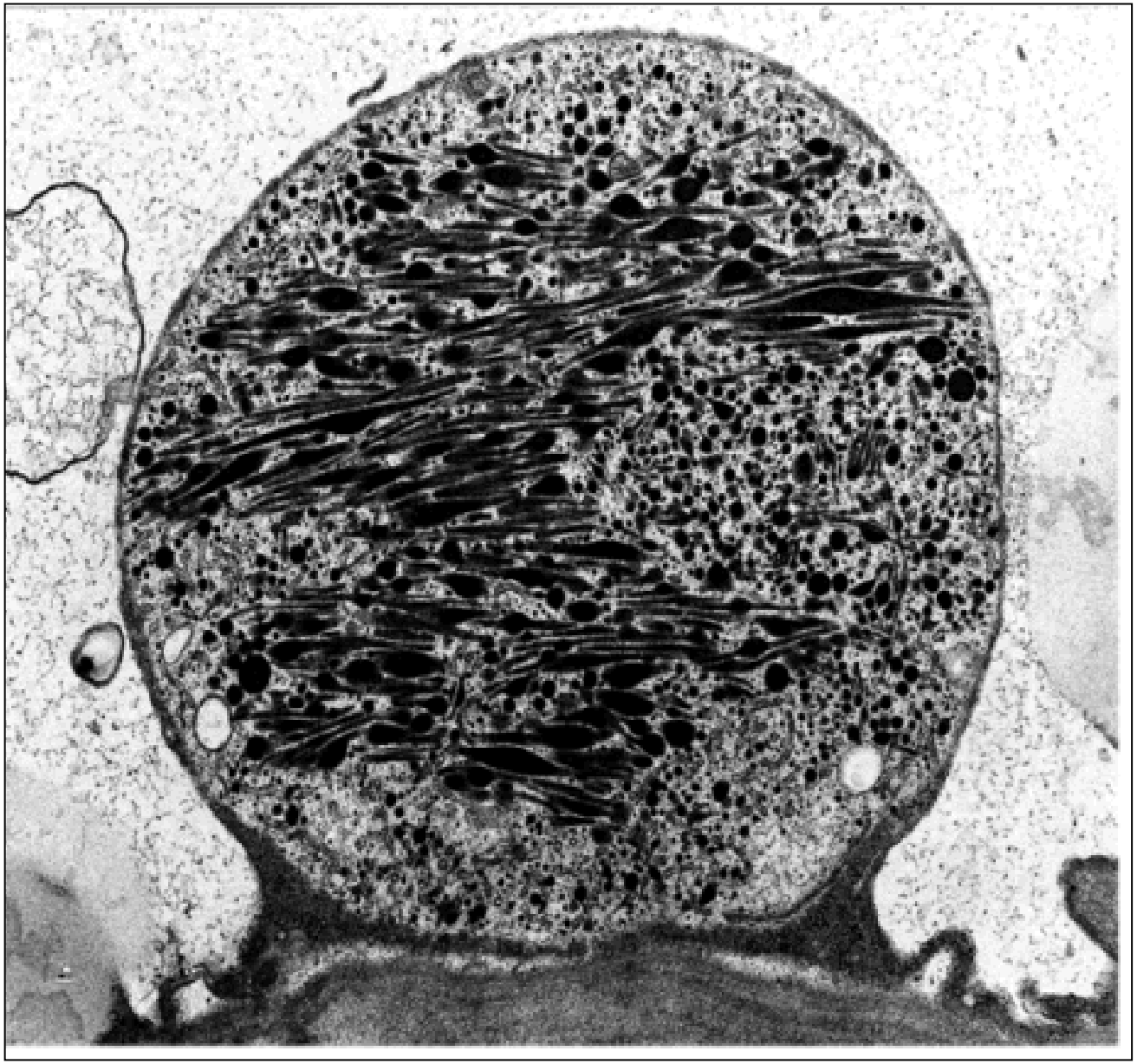


Immagine di Cromoplasto al TEM
I corpi densi contengono carotenoidi



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 incolori e vengono classificati in base alle sostanze prodotte e/o accumulate

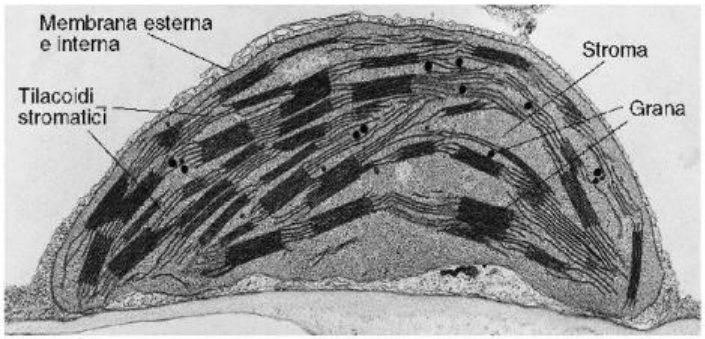
Leucoplasti:

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

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

Amiloplasti: accumulano **amido**

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

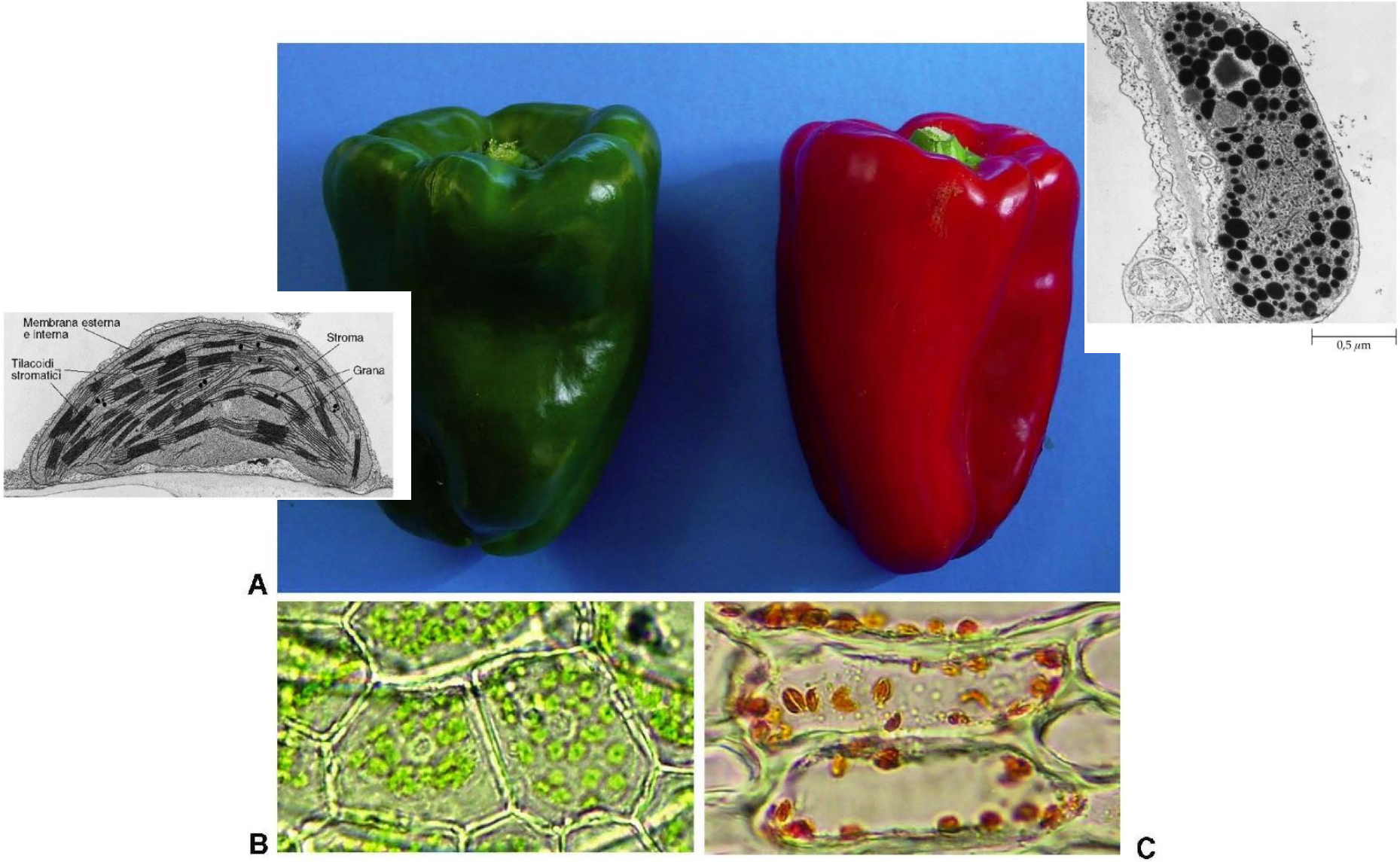


Figura 6.8

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

Immagine da Pasqua et al., Botanica Generale e Diversità vegetale - Piccin

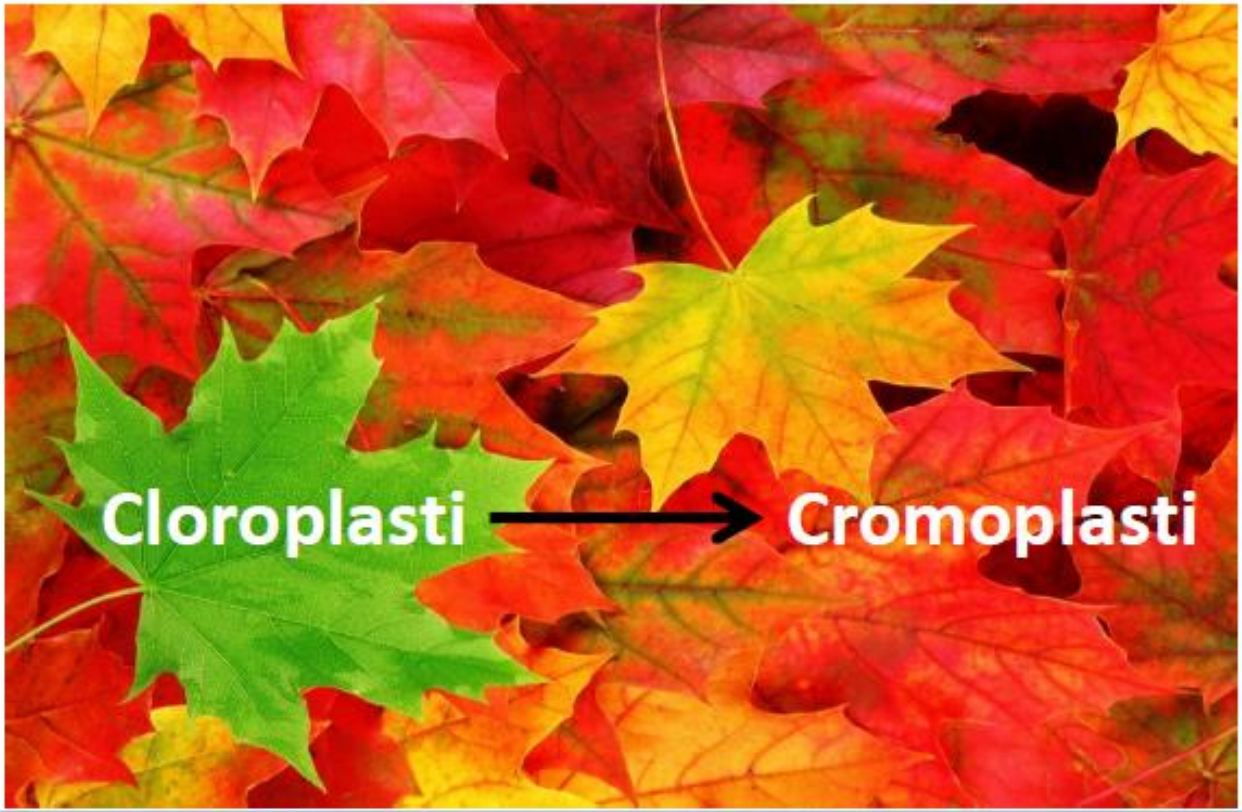
Trasformazione di un cloroplasto in cromoplasto in un petalo di ranuncolo

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.



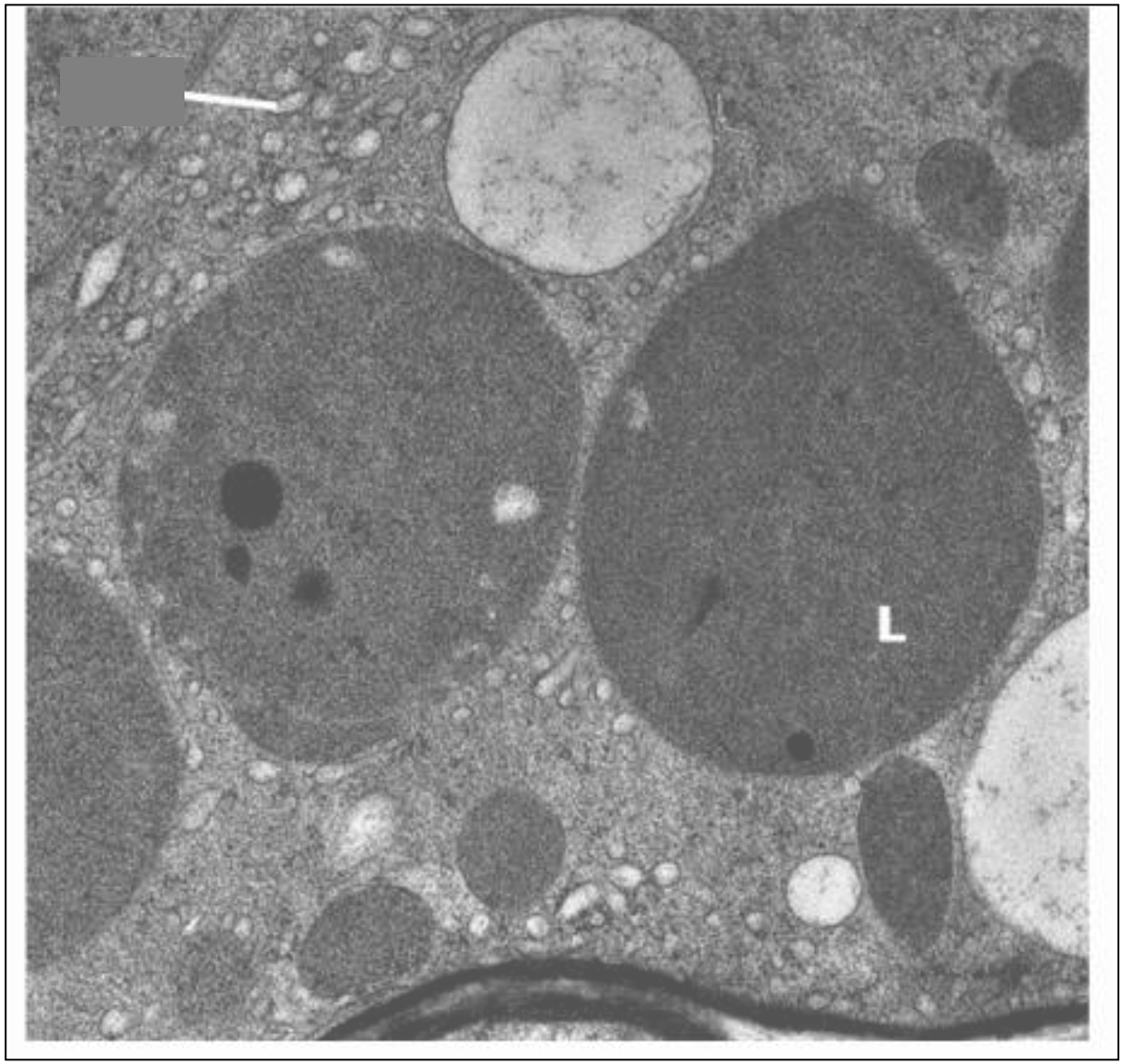
Leucoplasti (plastidi incolori)

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

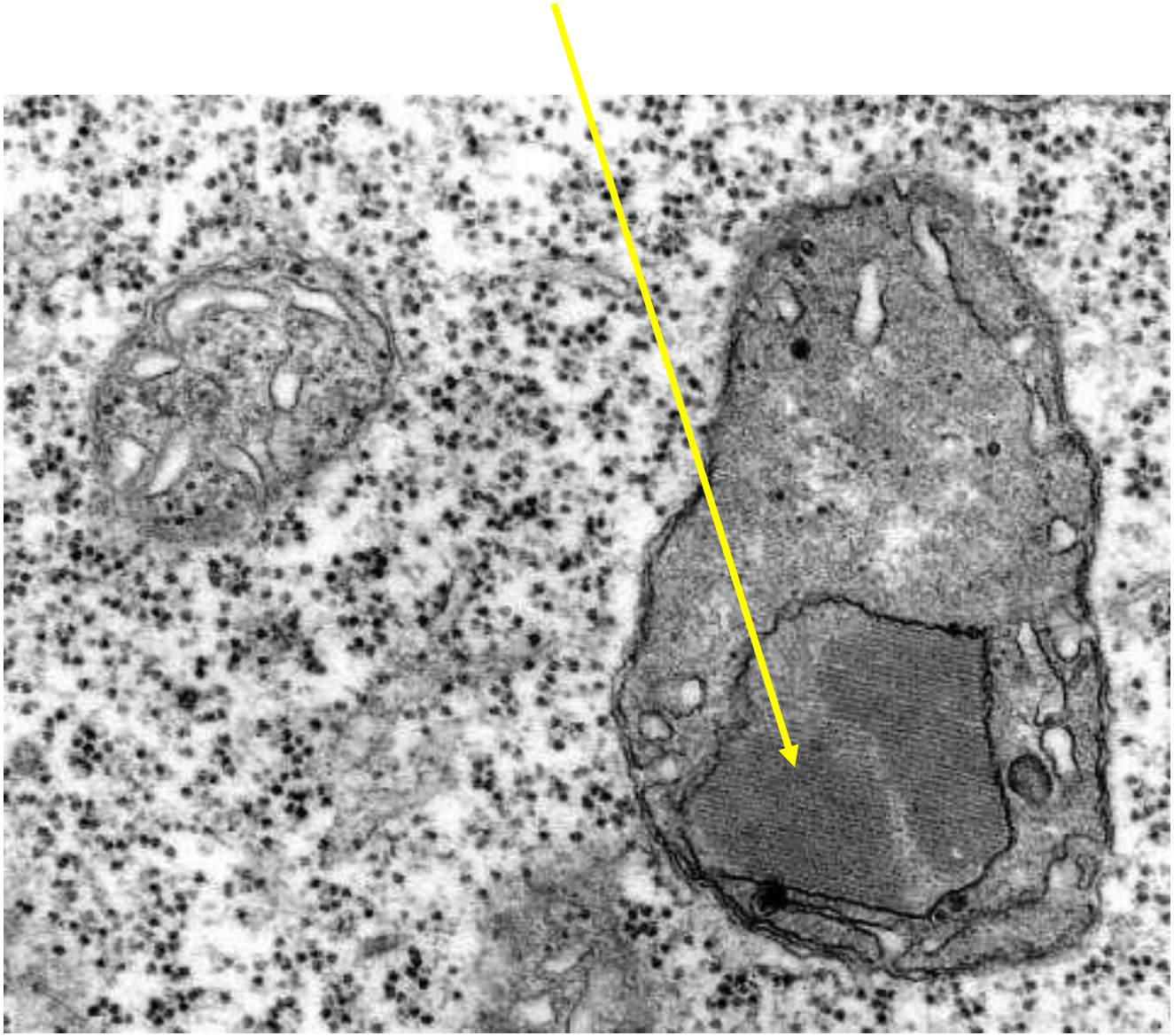
Leucoplasti intorno al nucleo

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

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



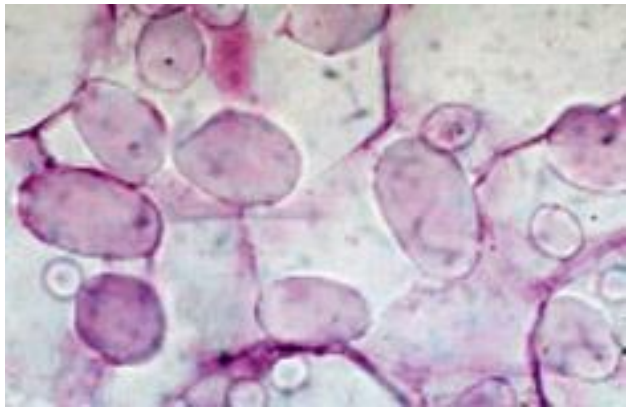
Leucoplasto con incluso proteico

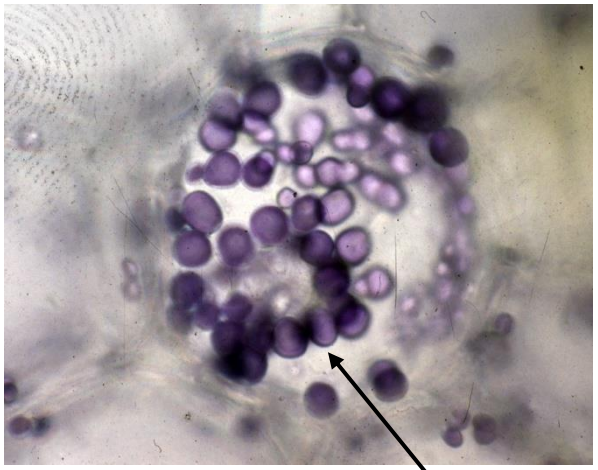


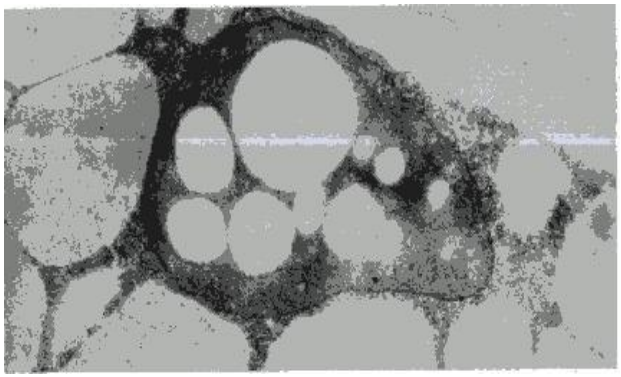
GLI AMILOPLASTI

ACCUMULO DI AMIDO

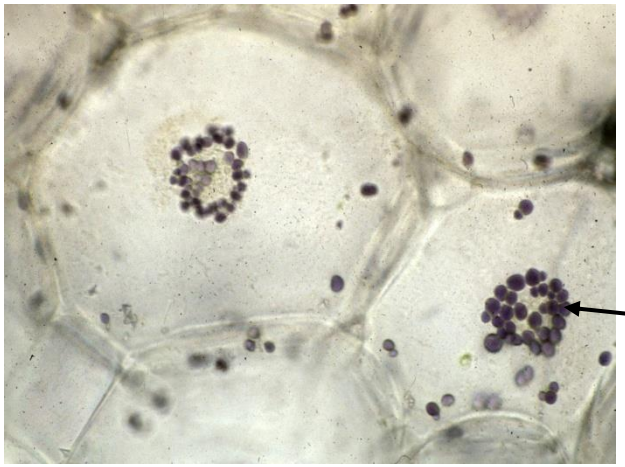
Amido in cellule parenchimatiche (tubero della patata)







amiloplasto



Granuli di amido in cellule del parenchima midollare di tabacco

Amido = polimero dell' α-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 α (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 α (1-6).

Amido: polimero dell'α glucosio con legami α 1-4

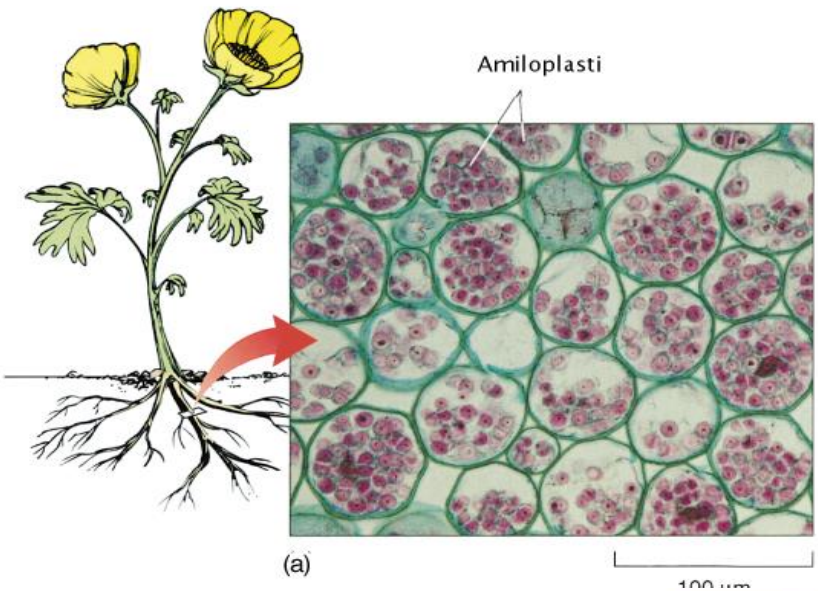
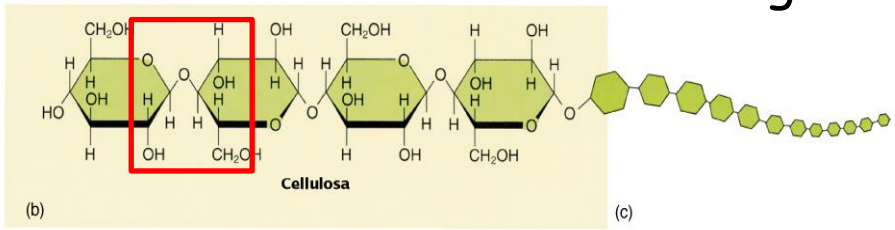
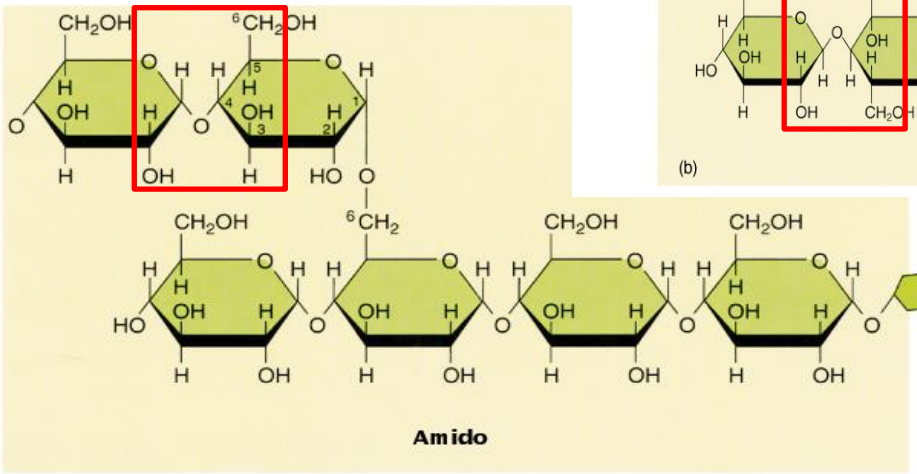
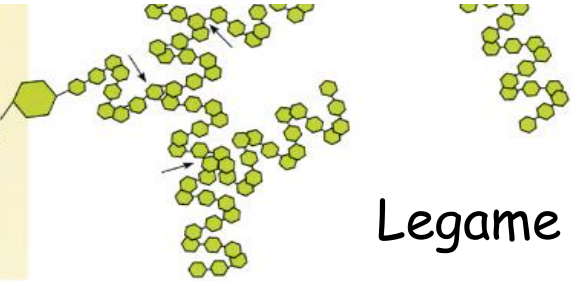


Figura 3–9 L'amido, un polisaccaride di riserva. (a) L'amido (*colorato di rosso*) viene accumulato in speciali organuli, detti amiloplasti, visibili in queste cellule di una radice di ranuncolo. (b) L'amido è composto da monomeri di α-glucosio uniti da legami glicosidici. Nei punti di ramificazione 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)*

Legame β–1–4

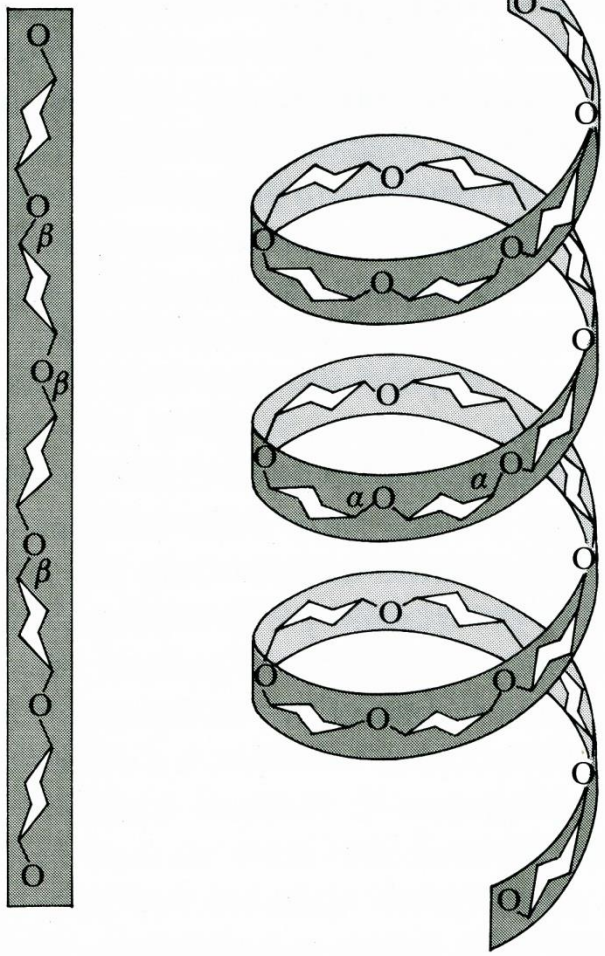






Legame α–1–4

Cellulosa Amilosio (elicoidale) Amilopectina (ramificata)



cellulosa amido (amilosio)

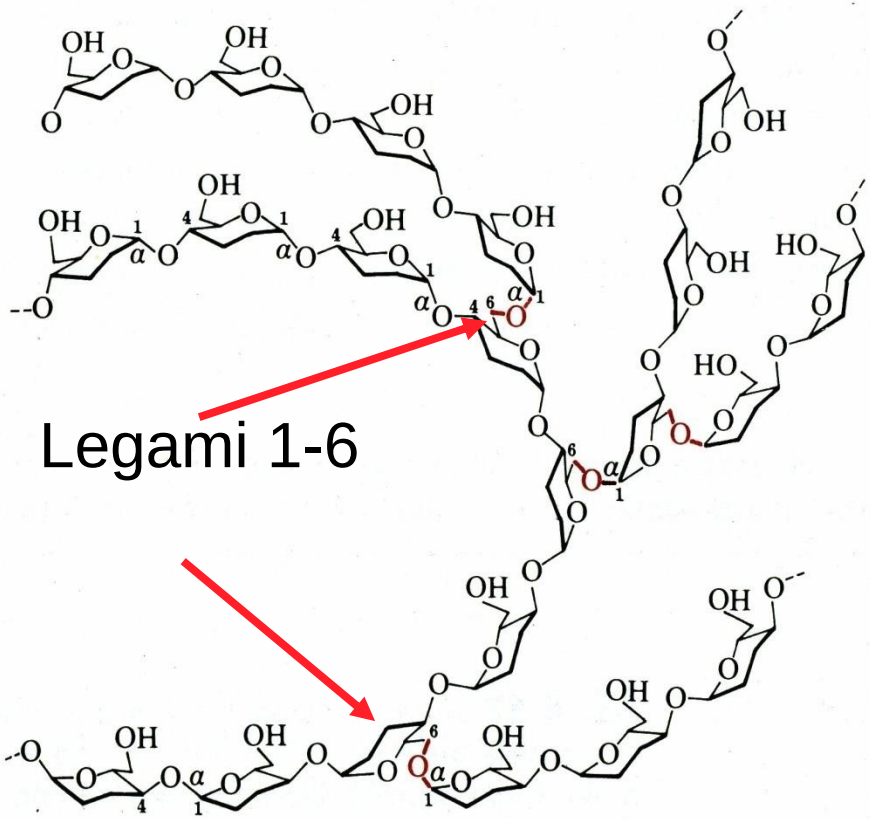


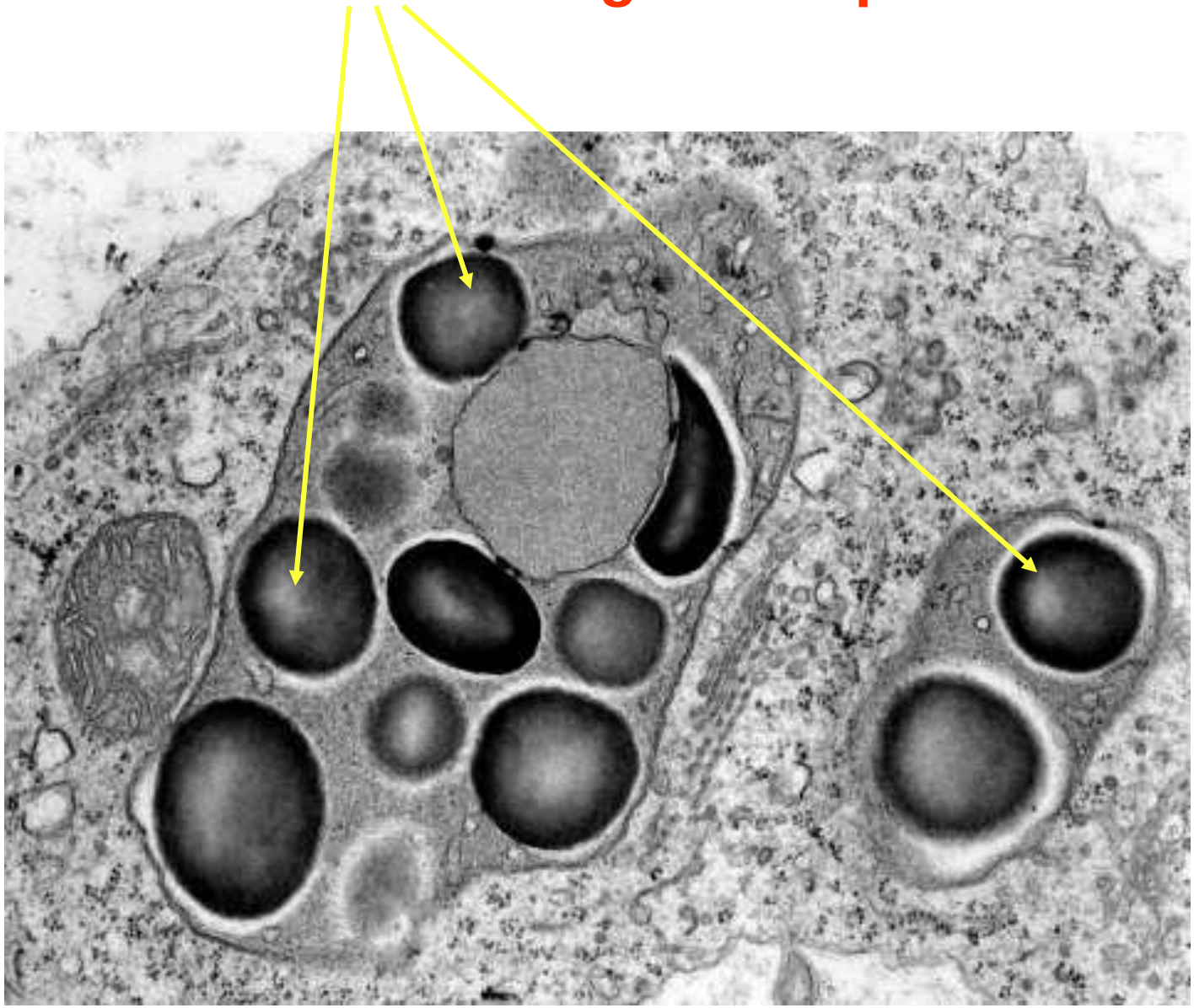
Fig. 4.55 • Un tratto della molecola dell'amilopectina. I legami 1,6 tra le molecole di α-glucosio sono indicati in rosso.
(Da Dickerson e Geis «Chimica, materia e universo», Zanichelli).

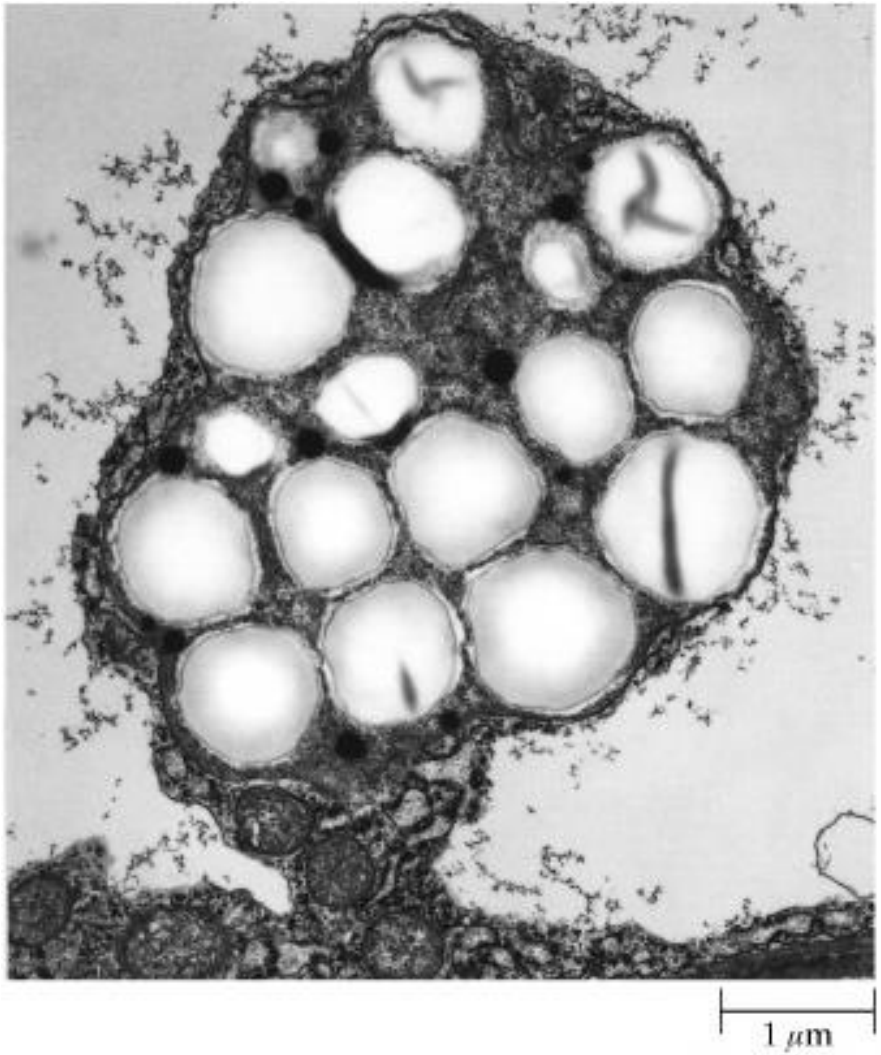
Le percentuali dei due polimeri variano a seconda dell'organismo vegetale:

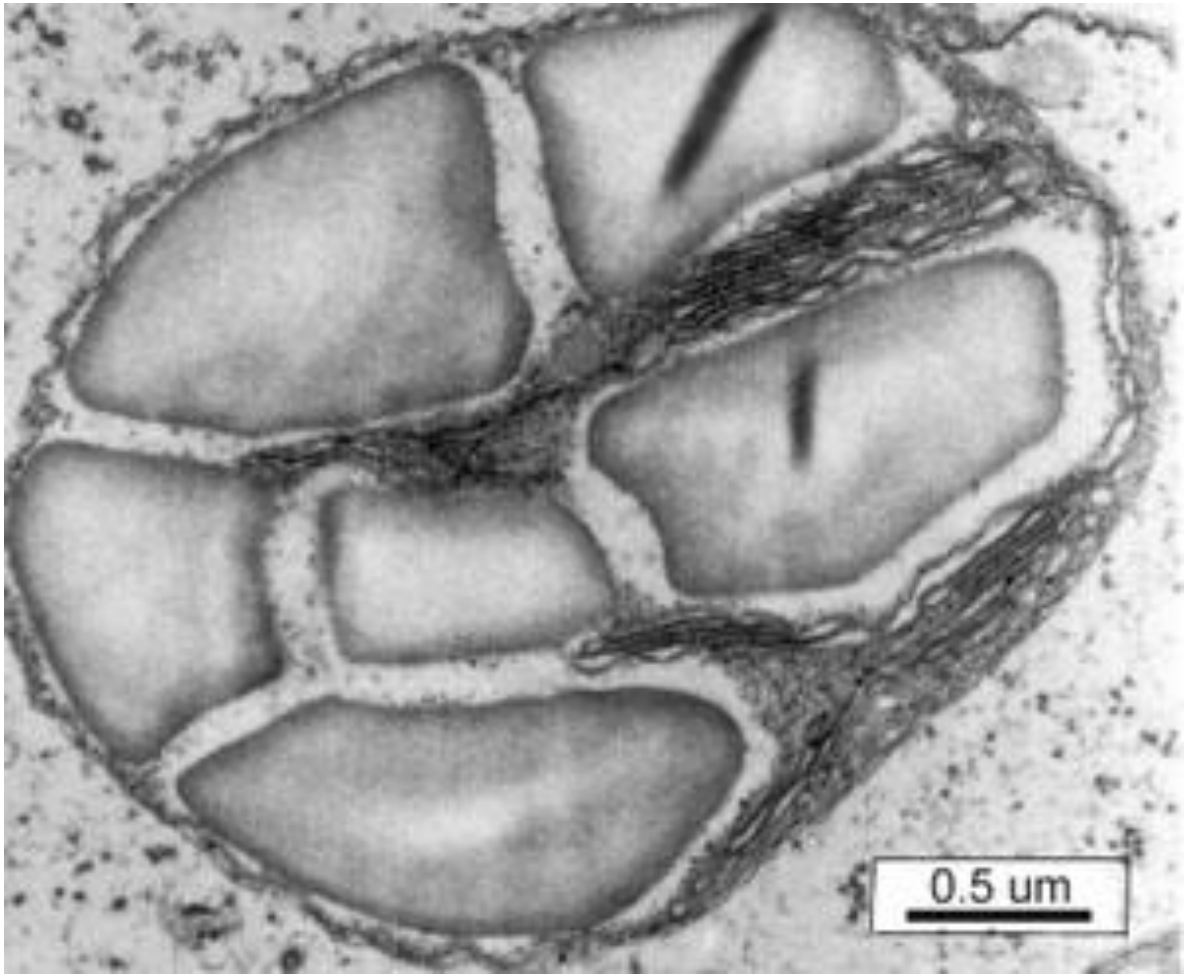
maggiore concentrazione di AMILOPECTINA causa la maggiore tendenza a trattenere acqua e quindi il rigonfiamento delle cellule.
Es. patata 78% di amilopectina

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

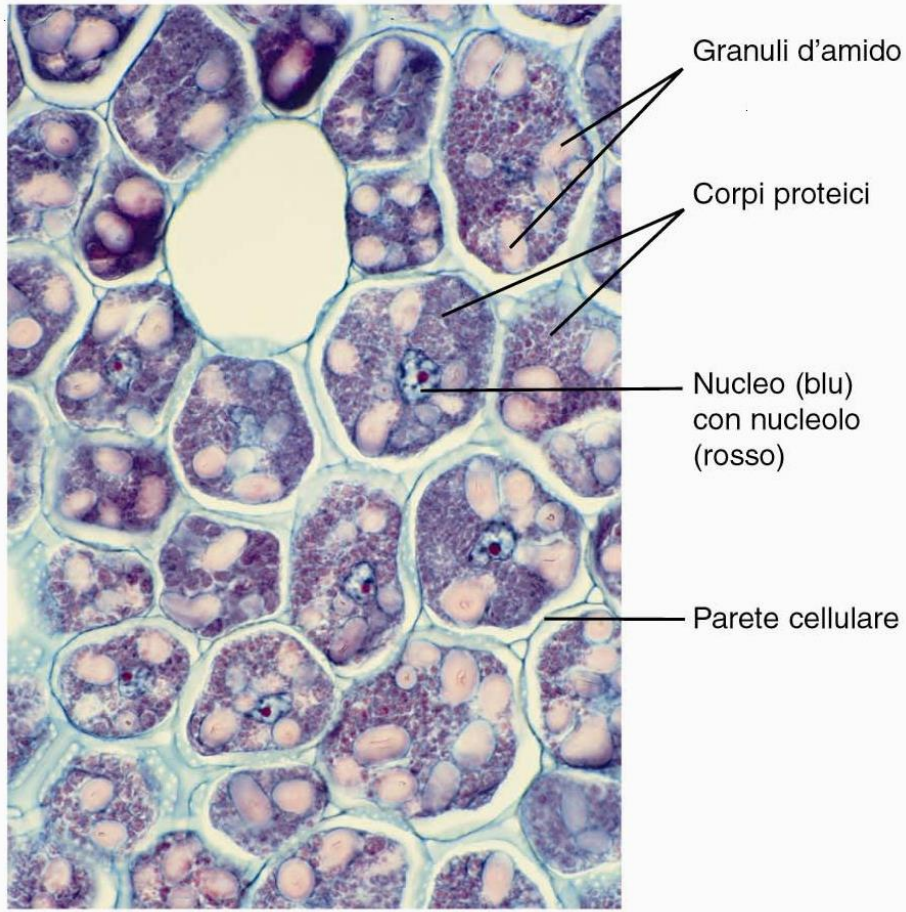
Granuli di amido negli amiloplasti



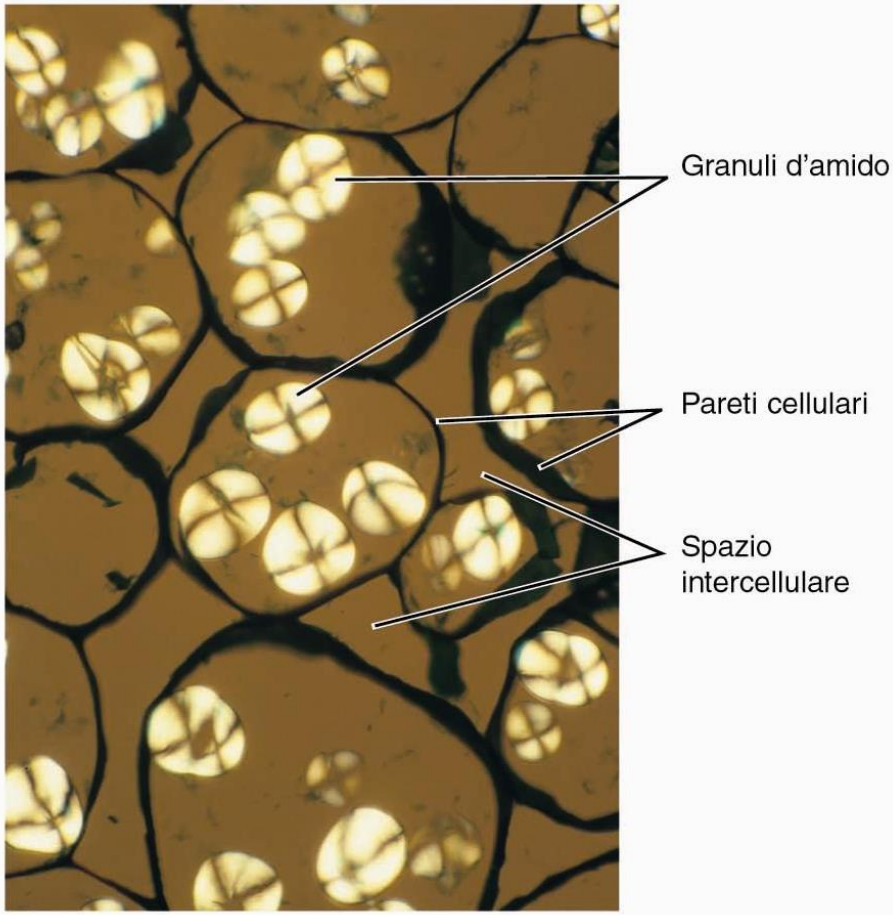

1 μm



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)

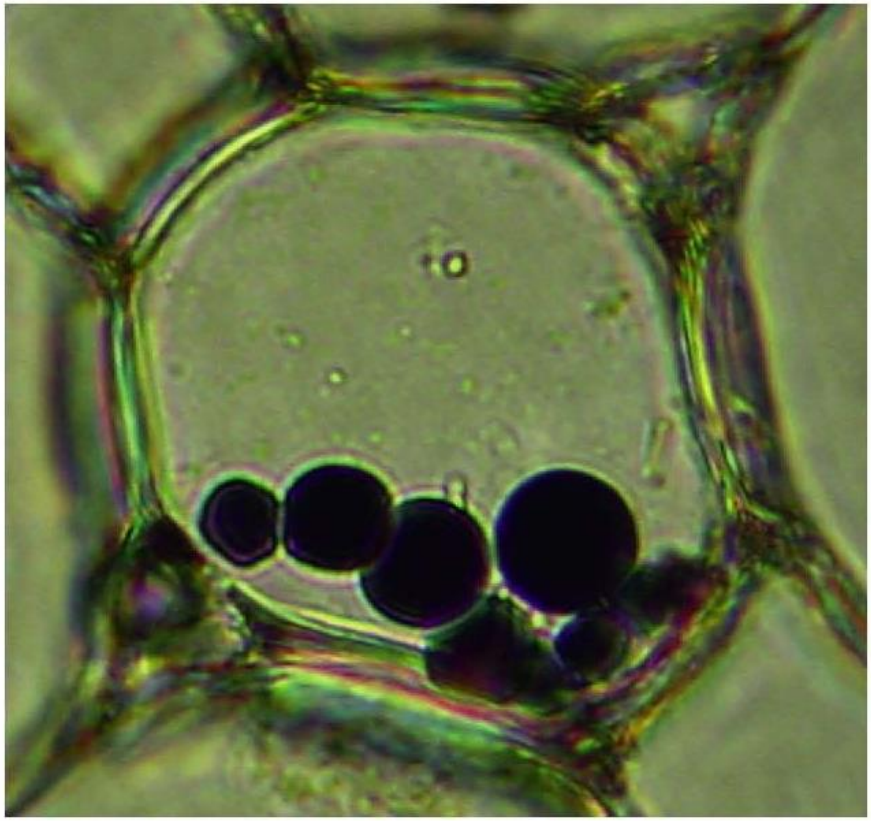


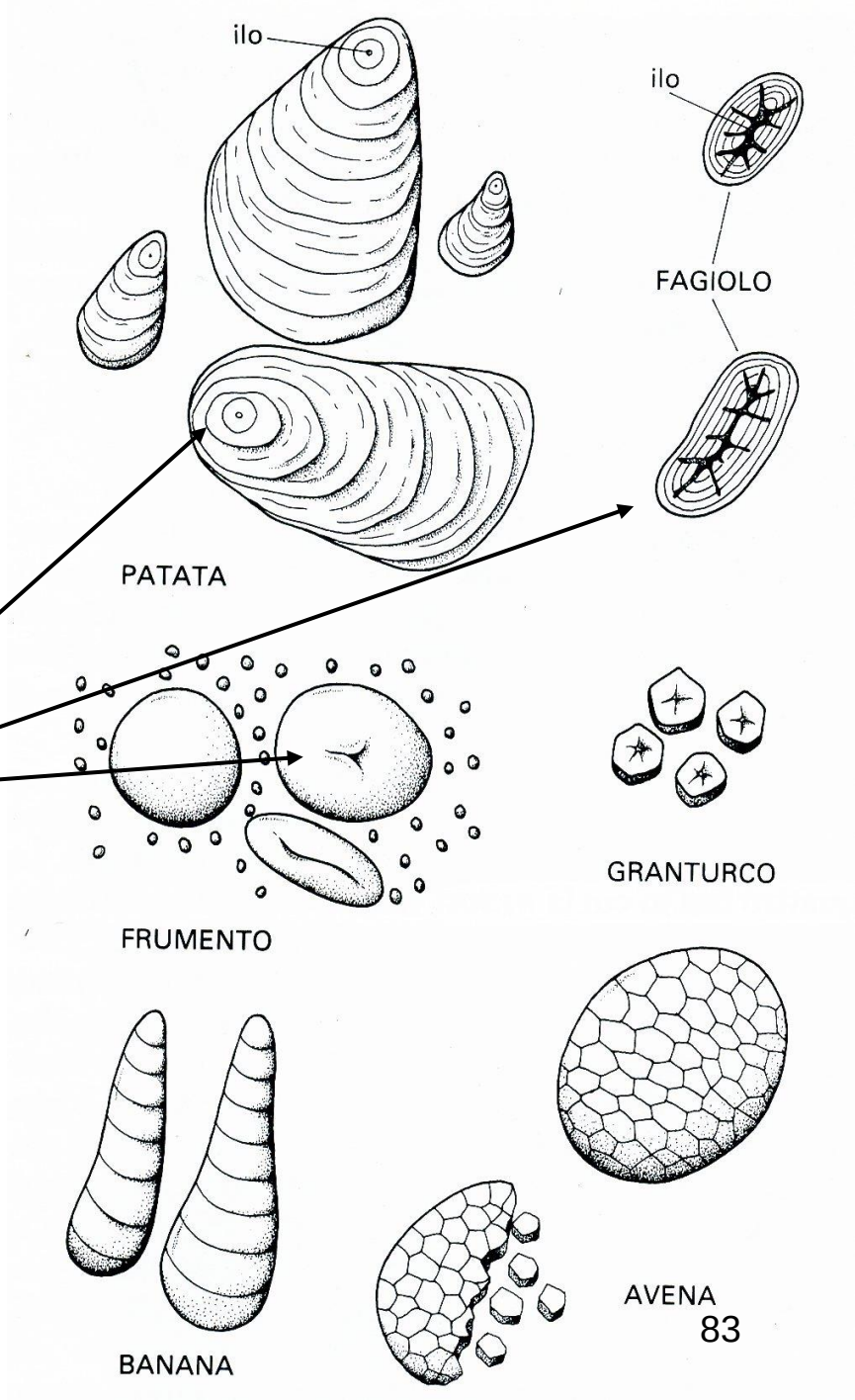
Figura 6.9

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 μm)

L 'ILO è il punto di aggregazione dell' amido



La forma del granulo ha significato tassonomico

Quindi

I granuli di amido secondario vengono deposti all'interno degli amiloplasti a partire da un **centro proteico detto ILO** attorno al quale l'amido viene deposto 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.

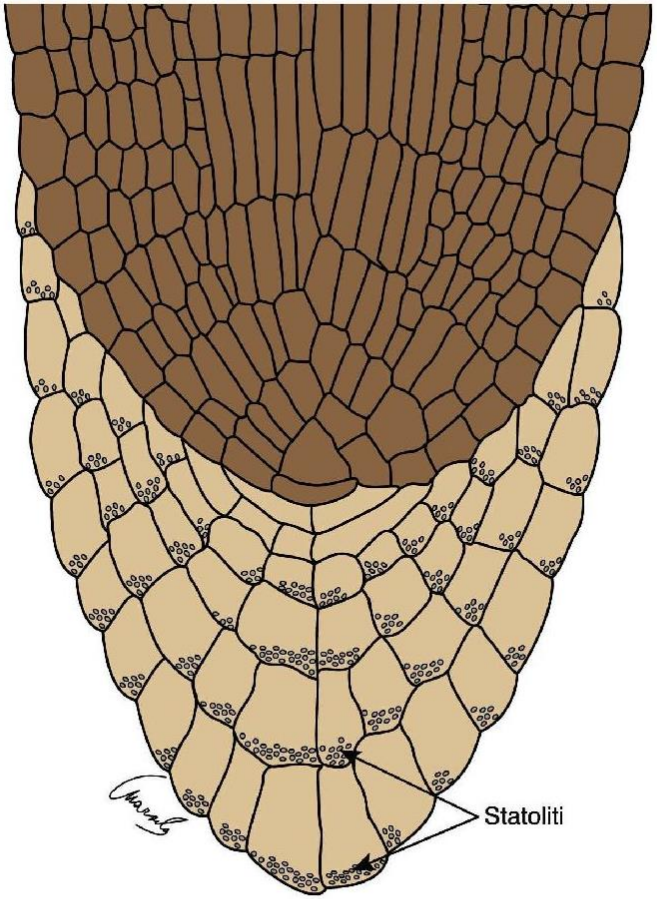
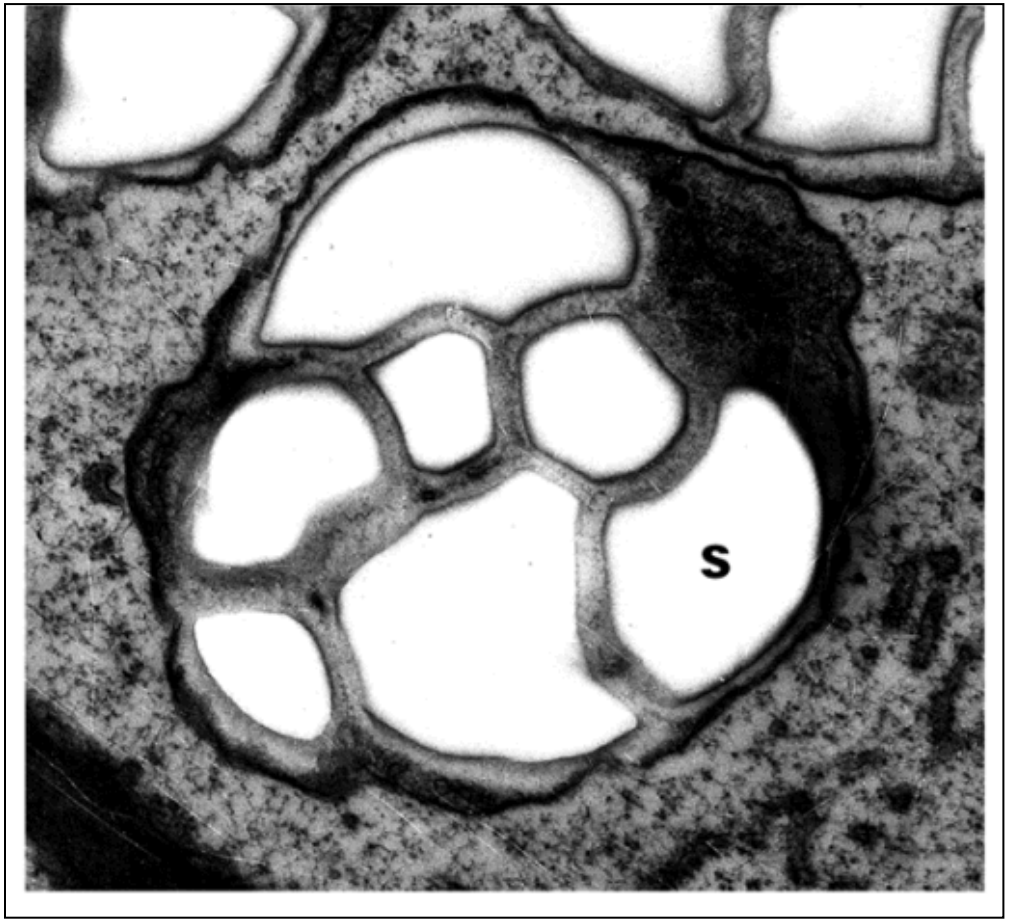
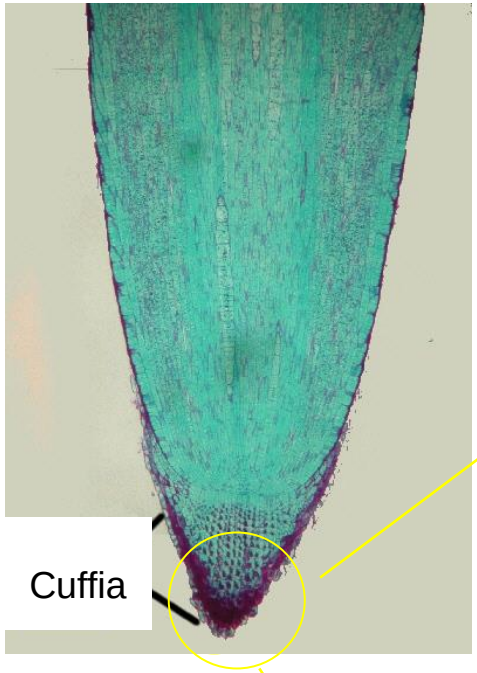


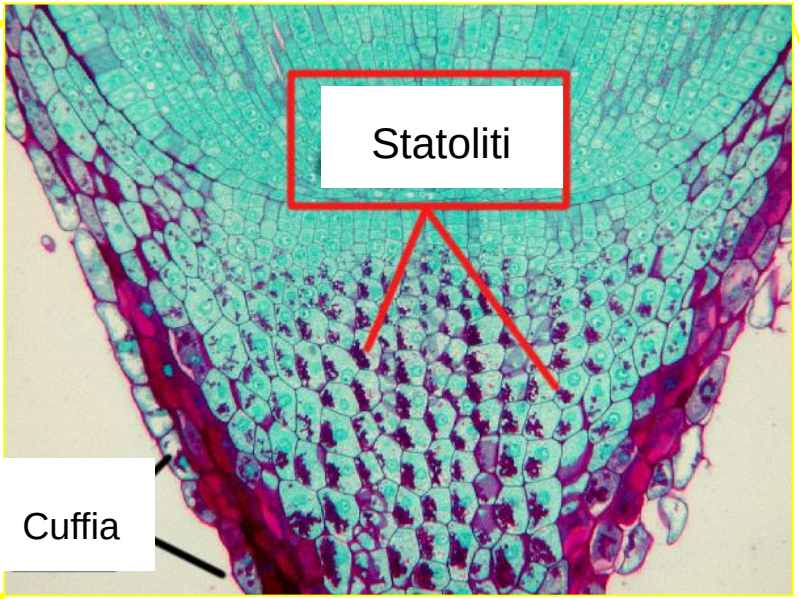
Figura 6.11
Statoliti (frecce) nella cuffia di un apice radicale.

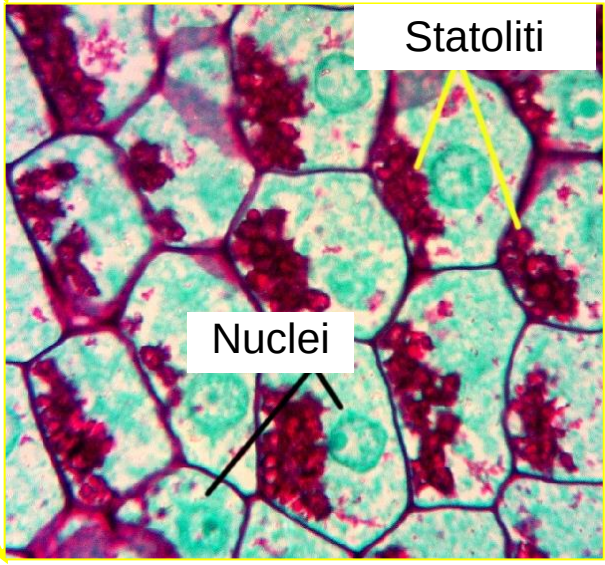


Granuli di amido in una cellula della cuffia radicale dove funzionano da **statoliti** per la percezione della gravità

Cuffia radicale







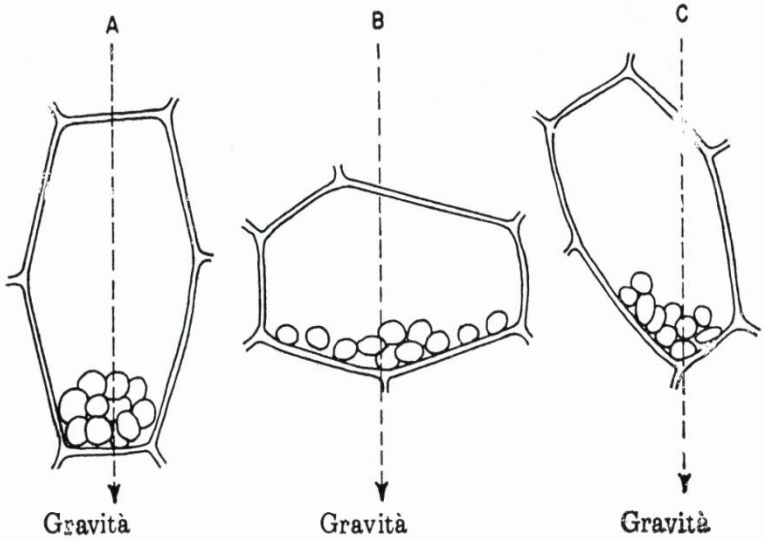
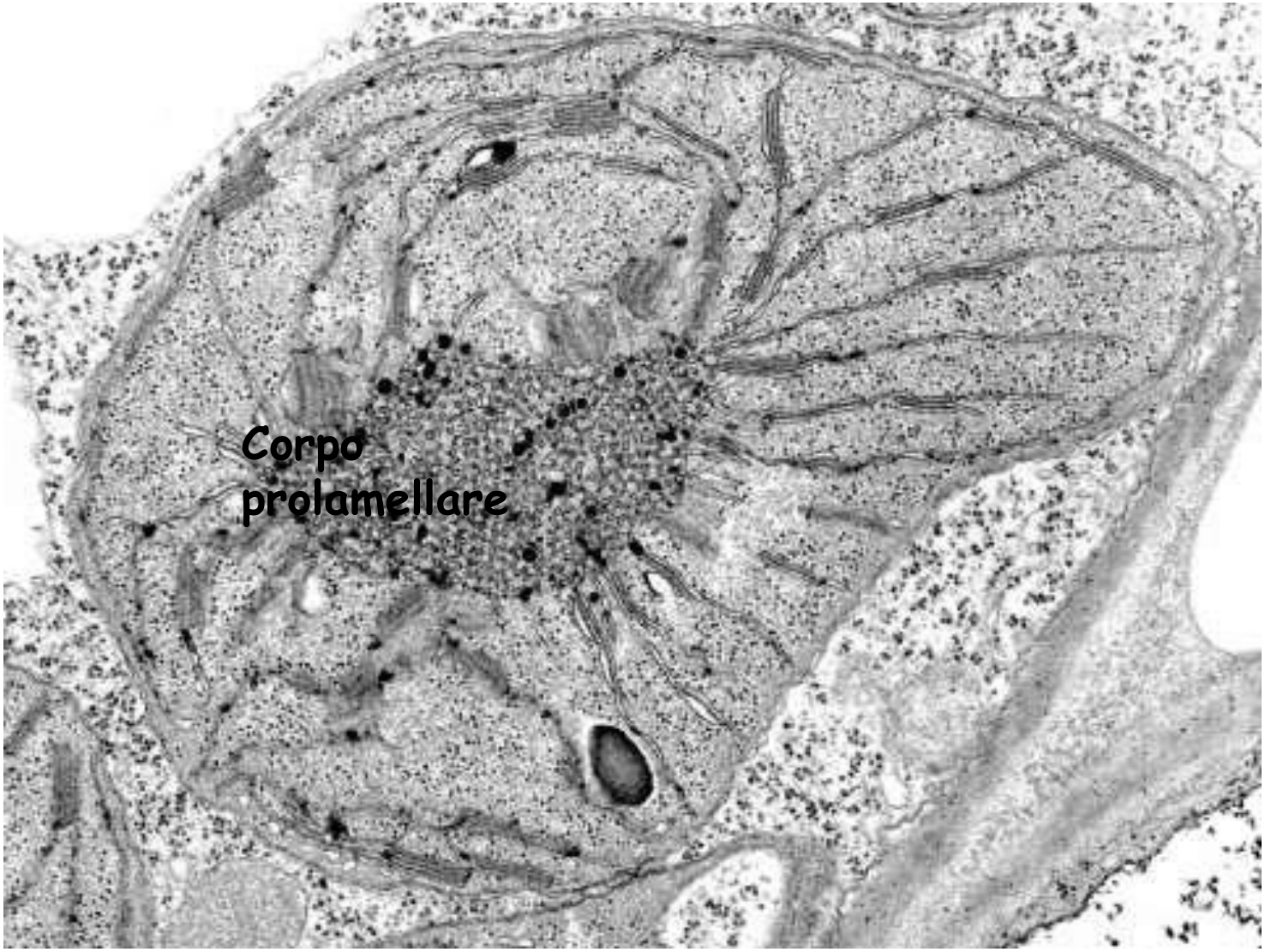


Fig. 2.6 – Schema mostrante come gli statoliti si spostano nella cellula, in seguito al cambiament della direzione dello stimolo di gravità (da WAREING).

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

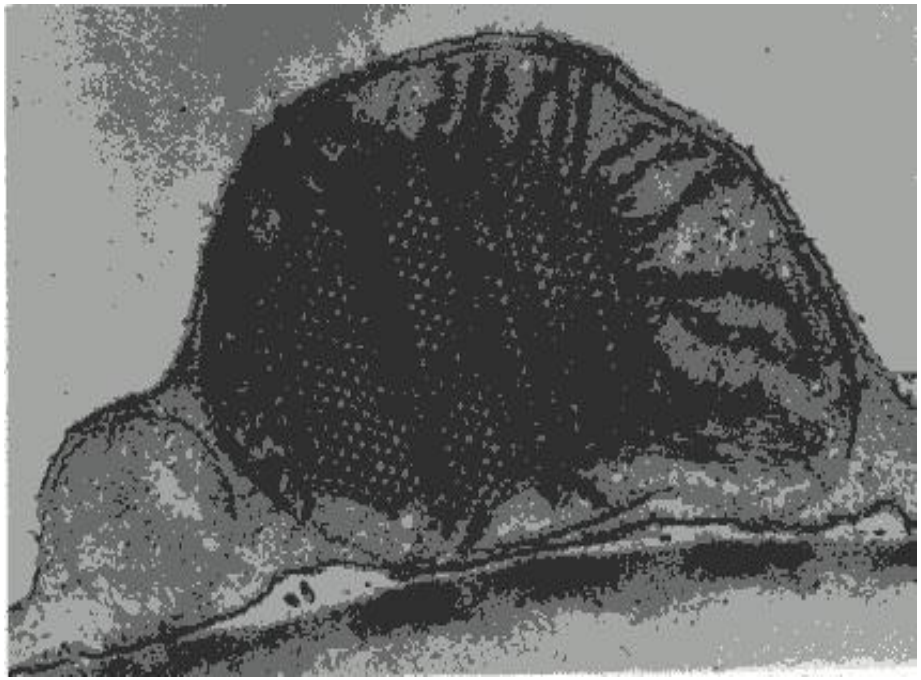


Immagine al TEM di un ezioplasto in divisione in una foglia eziolata di una piantina di fagiolo

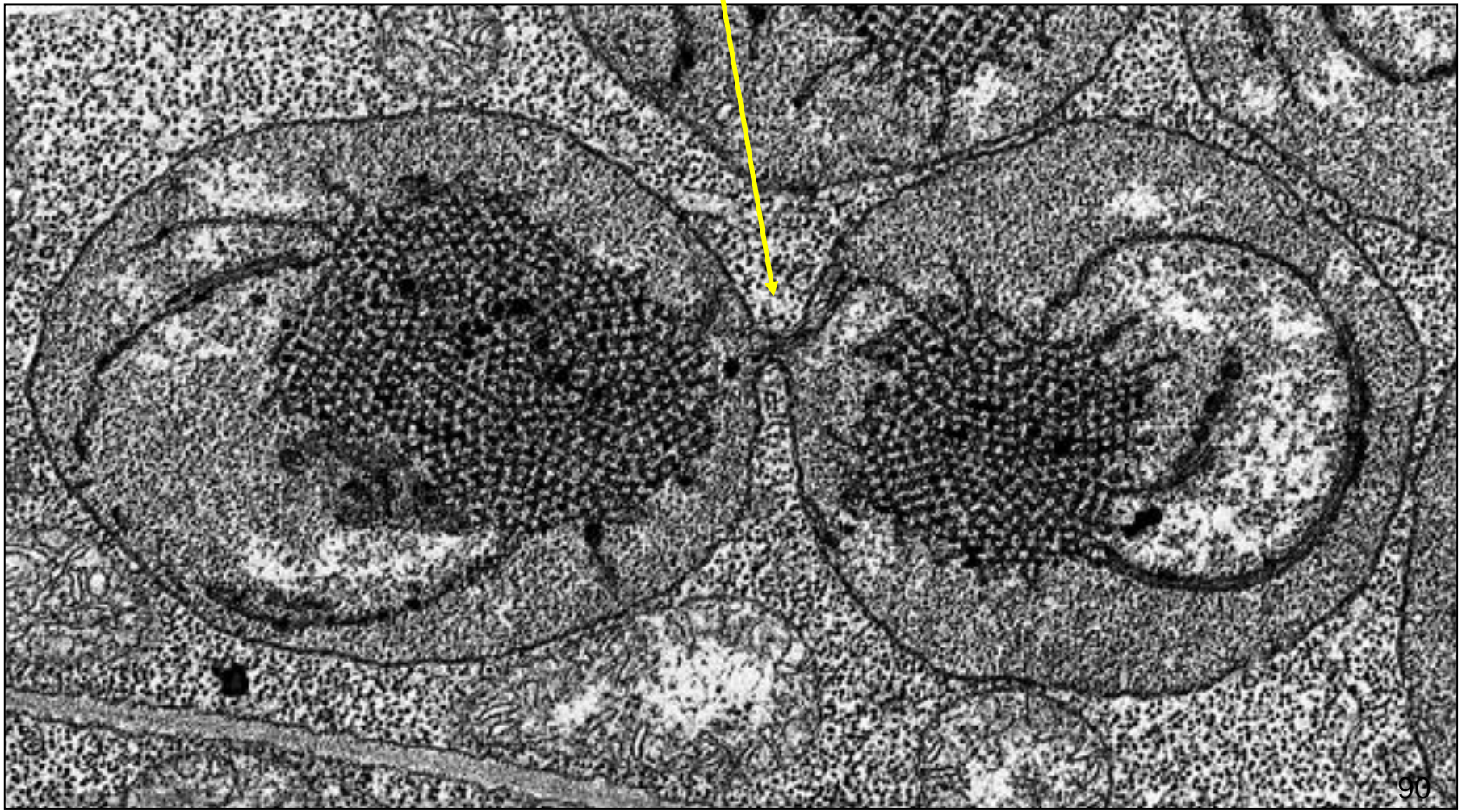
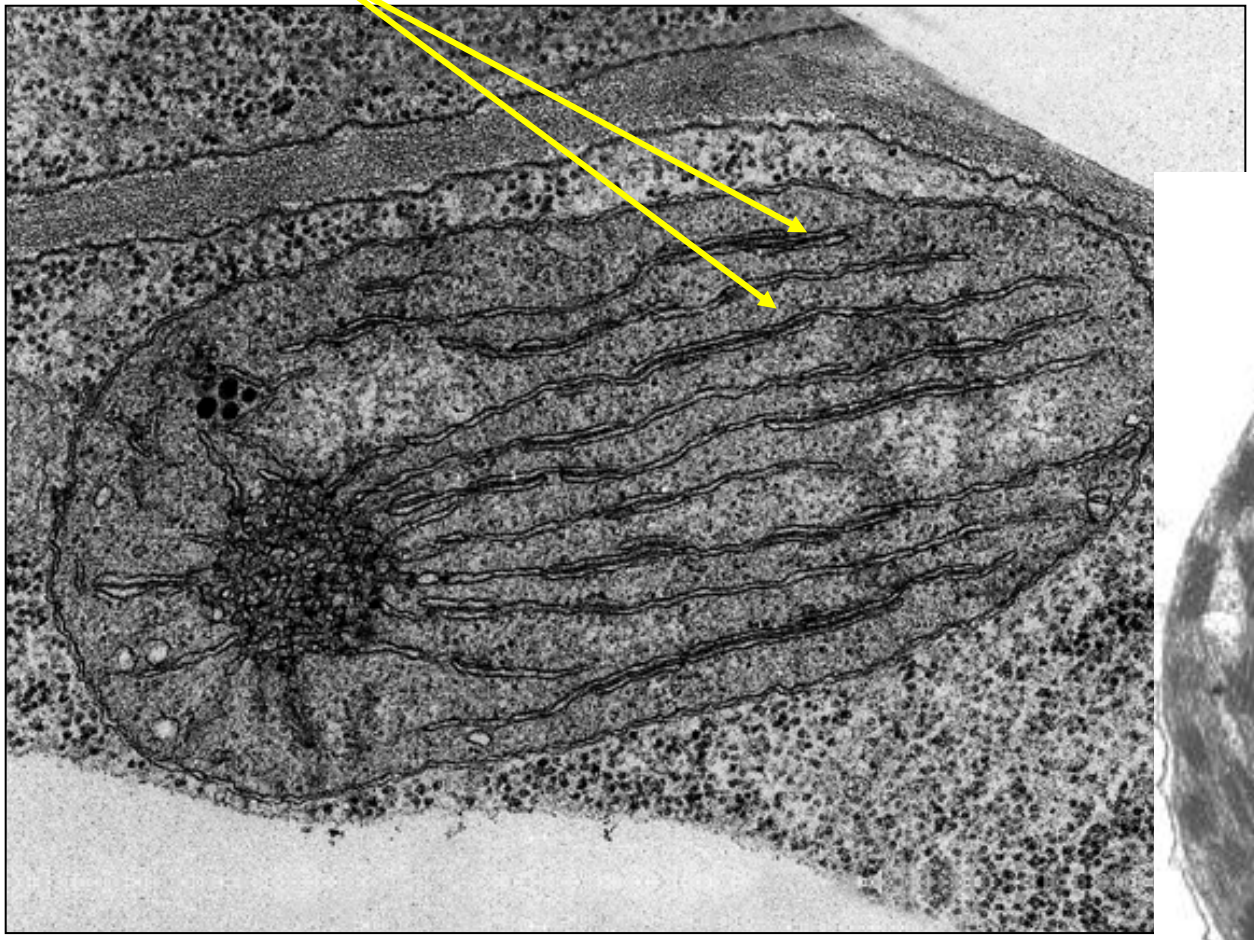
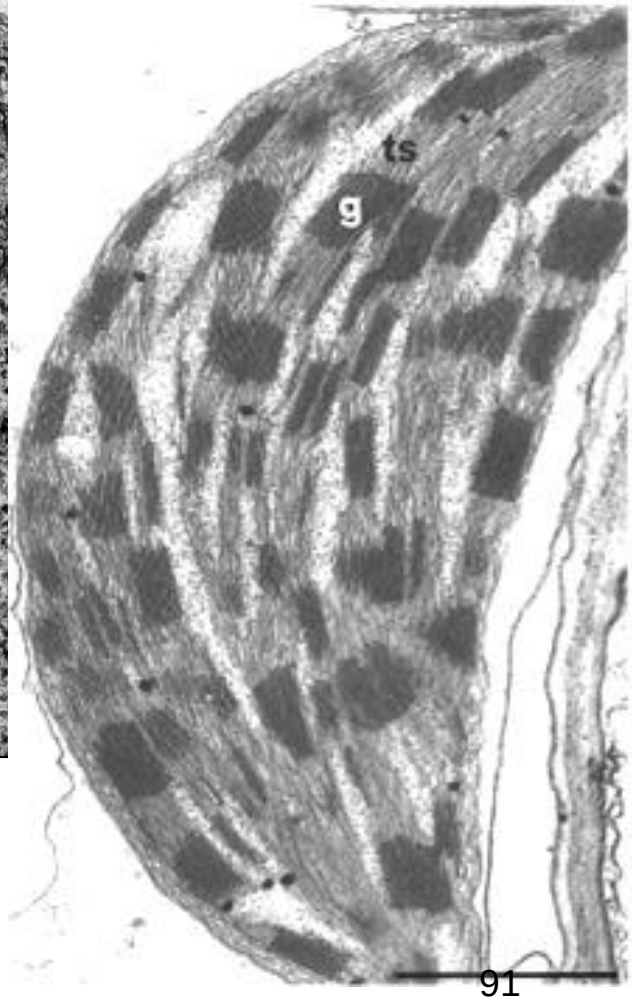
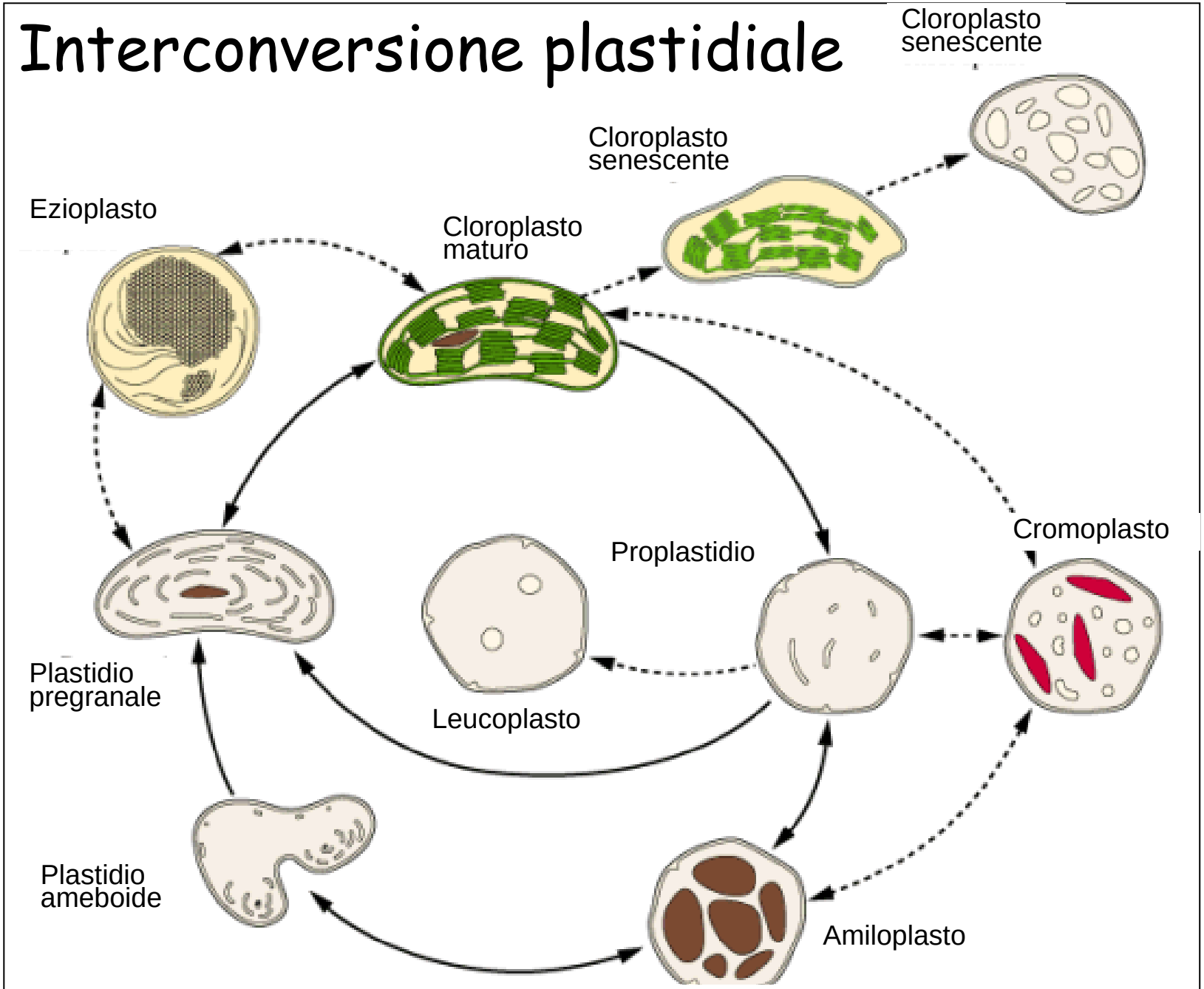


Immagine al TEM di una cellula di foglia di pisello che illustra le prime fasi di sviluppo dei grana dei tilacoidi in un ezioplasto che sta inverdendo





Interconversione plastidiale



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 μm 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).

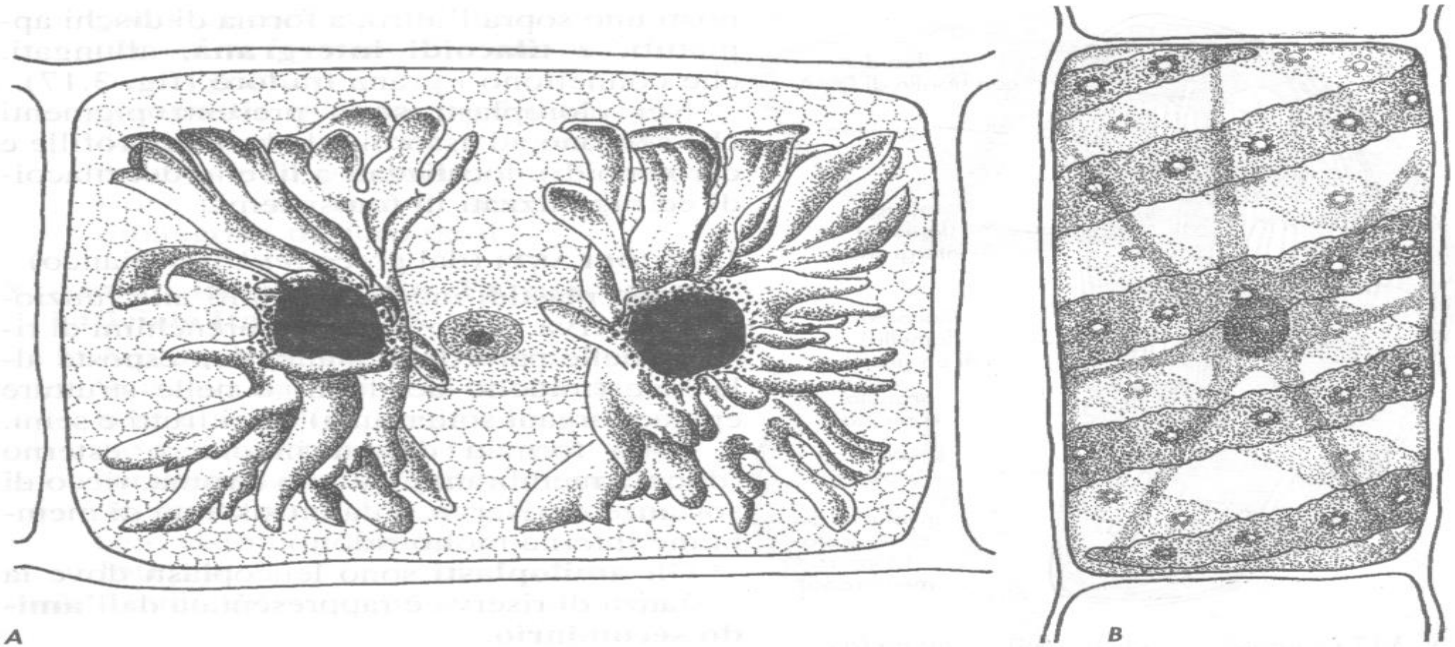


Fig. 3.15 - Diverse forme di cloroplasti nelle Alghe: frastagliato in *Zygnema* (*A*), nastriforme o avvolto a spirale in *Spirogyra* (*B*).

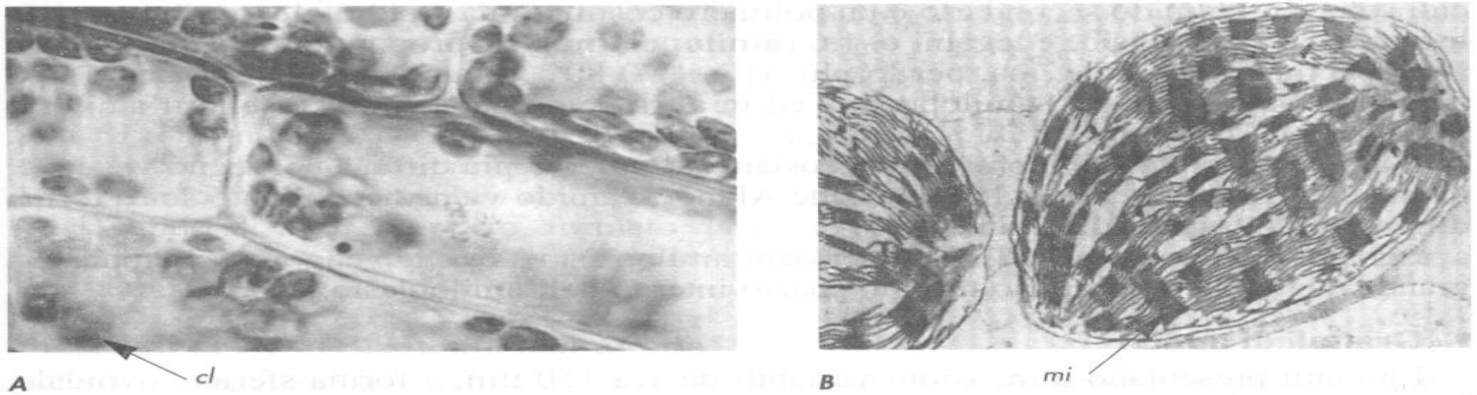


Fig. 3.16 - Cloroplasti al microscopio ottico (*A*), e al microscopio elettronico, dove è visibile il sistema interno di membrane interne (*B*) (*cl* = cloroplasto; *mi* = membrane interne) (da C. LONGO, *Biologia vegetale*, UTET).

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.

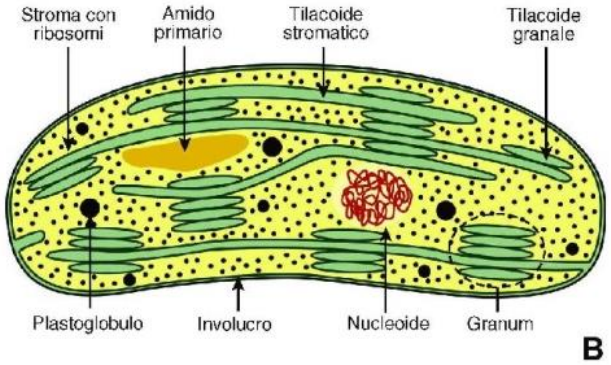
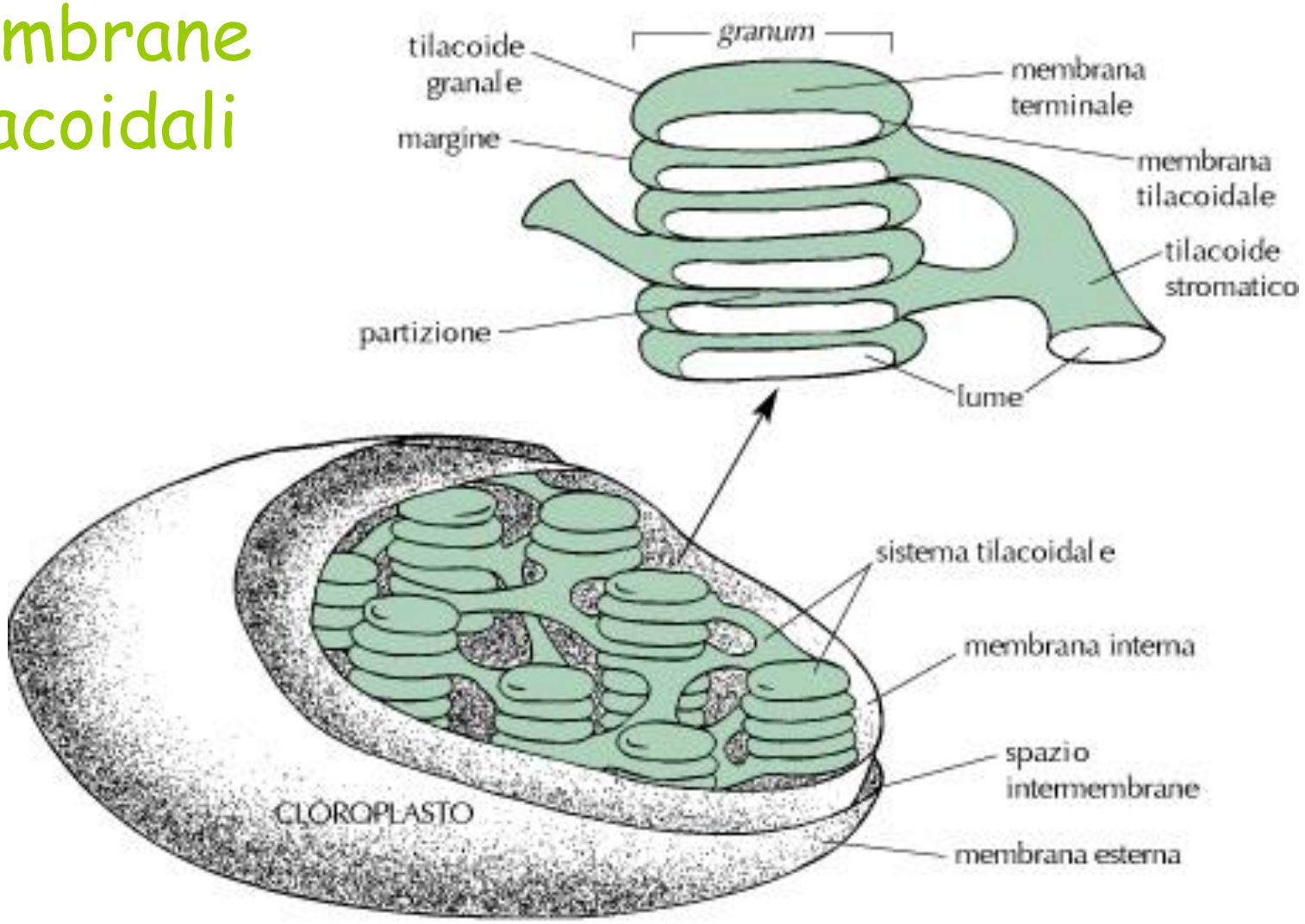


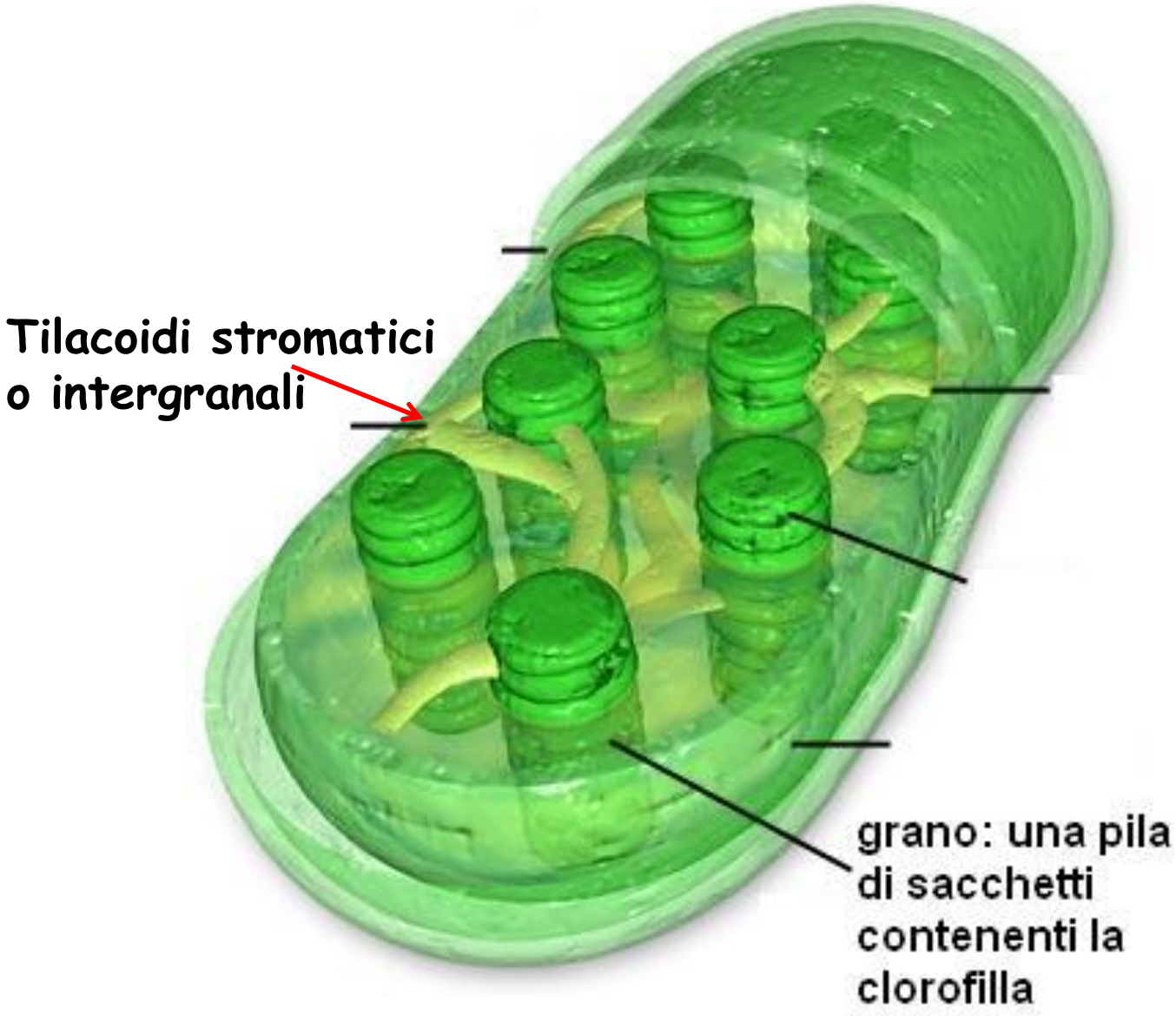
Figura 6.4
Ultrastruttura del cloroplasto: A) cloroplasto visto al microscopio elettronico (foto di W.P. Wergin, da E.H. Newcomb); B) sezione schematica di un cloroplasto (disegno di A. Valletta).

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

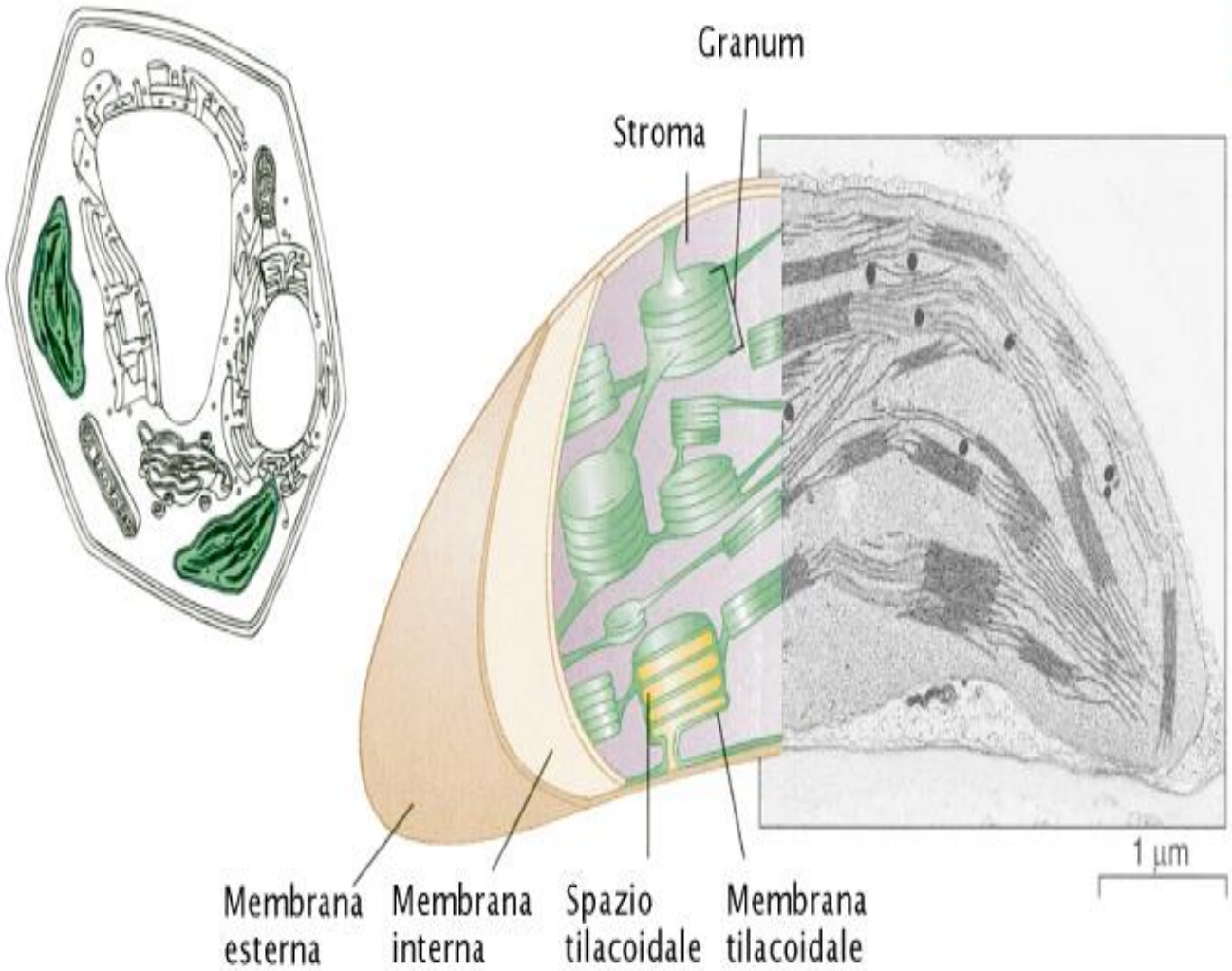
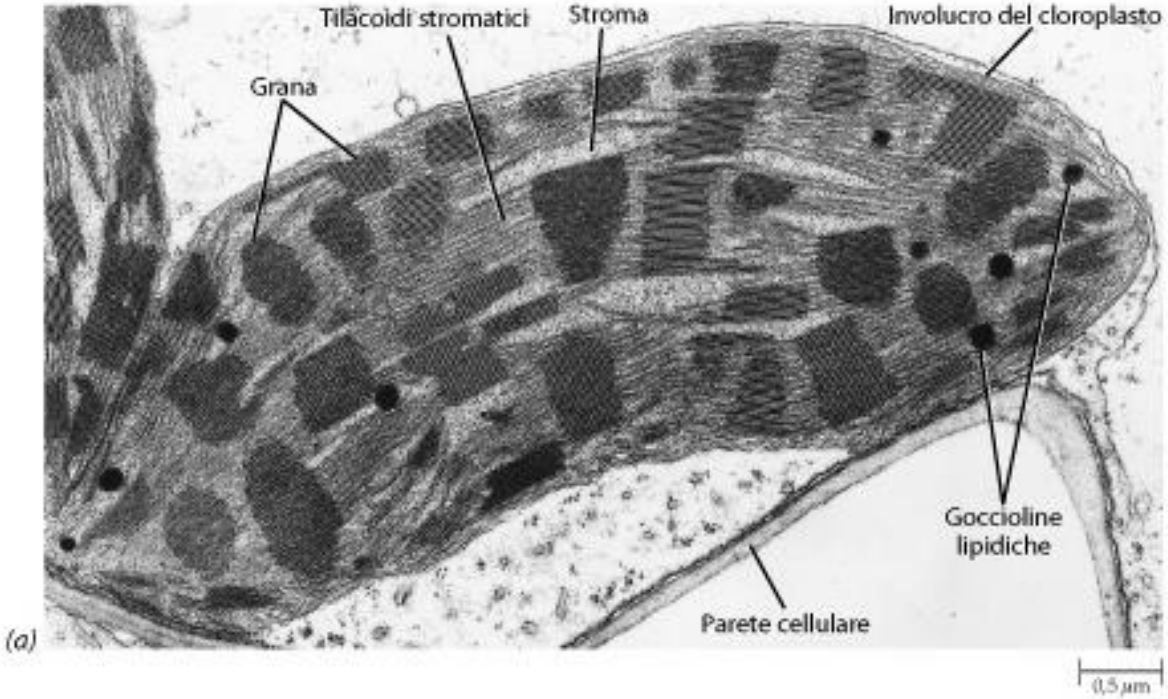
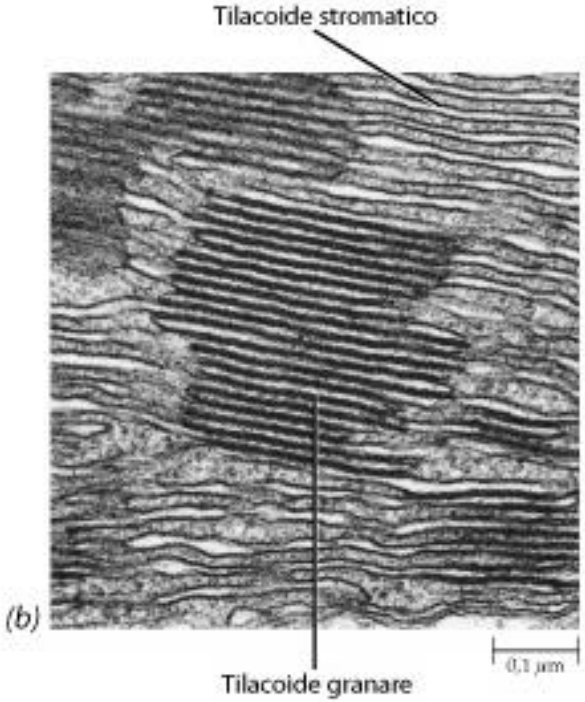
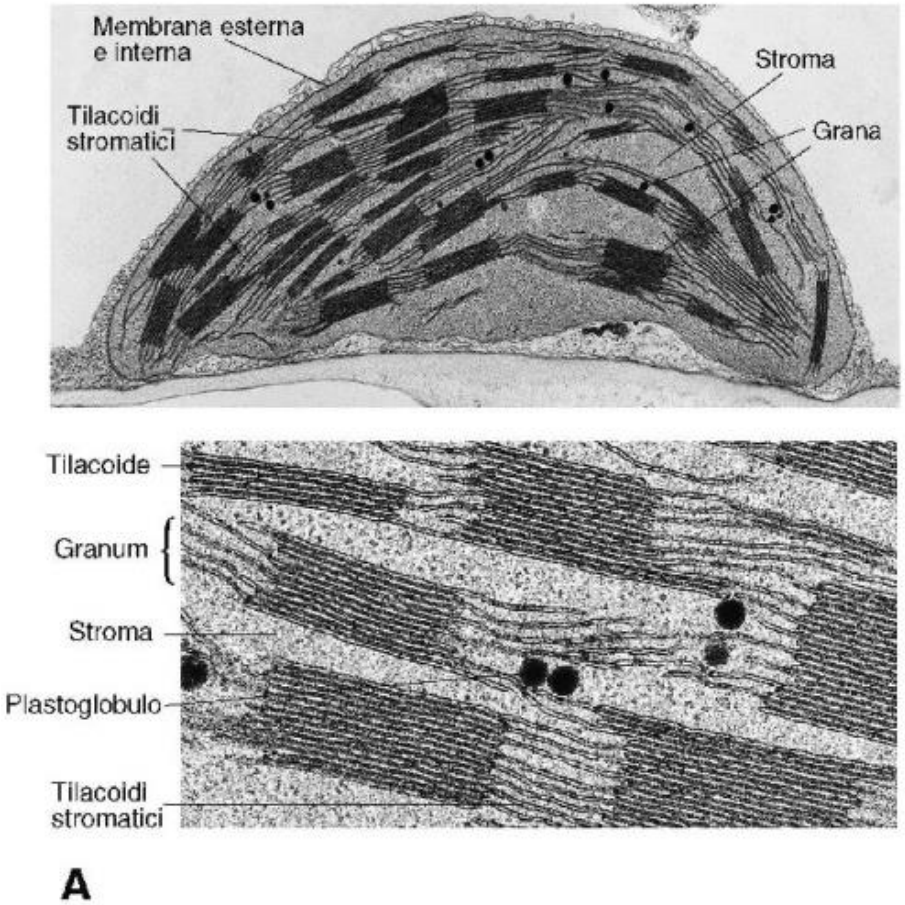


Figura 4-20 Il cloroplasto, organulo della fotosintesi. L'immagine MET mostra parte di un cloroplasto di una cellula di foglia di granoturco. La clorofilla e gli altri pigmenti fotosintetici si trovano nelle membrane tilacoidali. Il granum di un cloroplasto è stato sezionato per mostrare lo spazio tilacoidale. 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).*


Tilacoidi stromatici
Stroma
Involucro del cloroplasto
Grana
Goccioline lipidiche
Parete cellulare
(a)
0,5 µm


Tilacoide stromatico
(b)
0,1 µm
Tilacoide granare



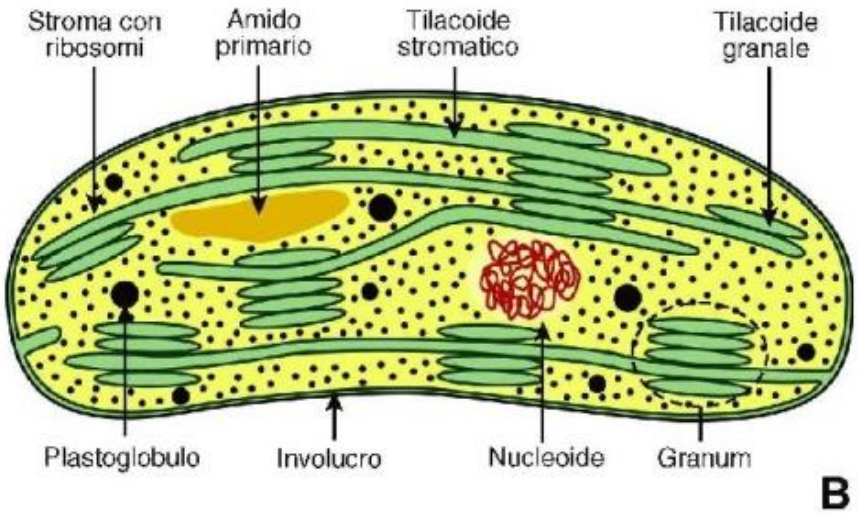
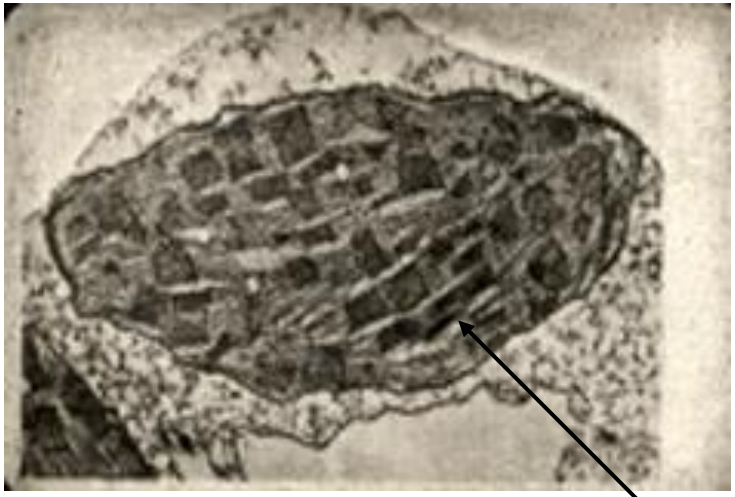
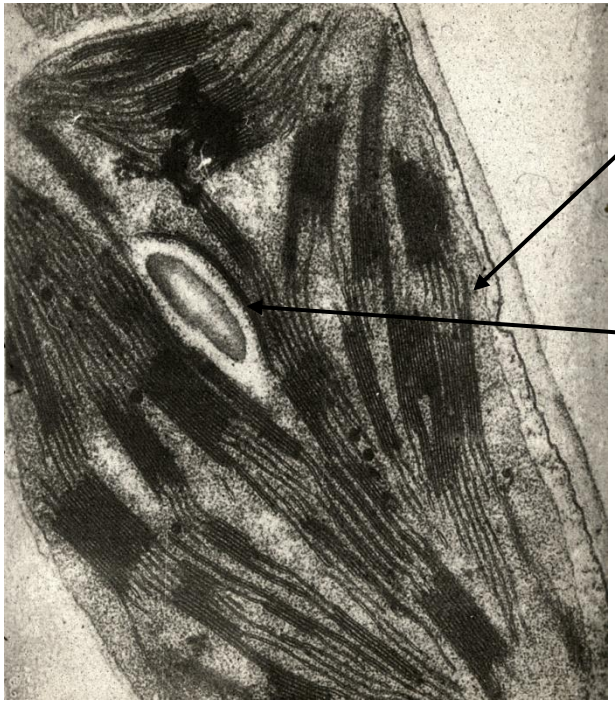


Figura 6.4

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



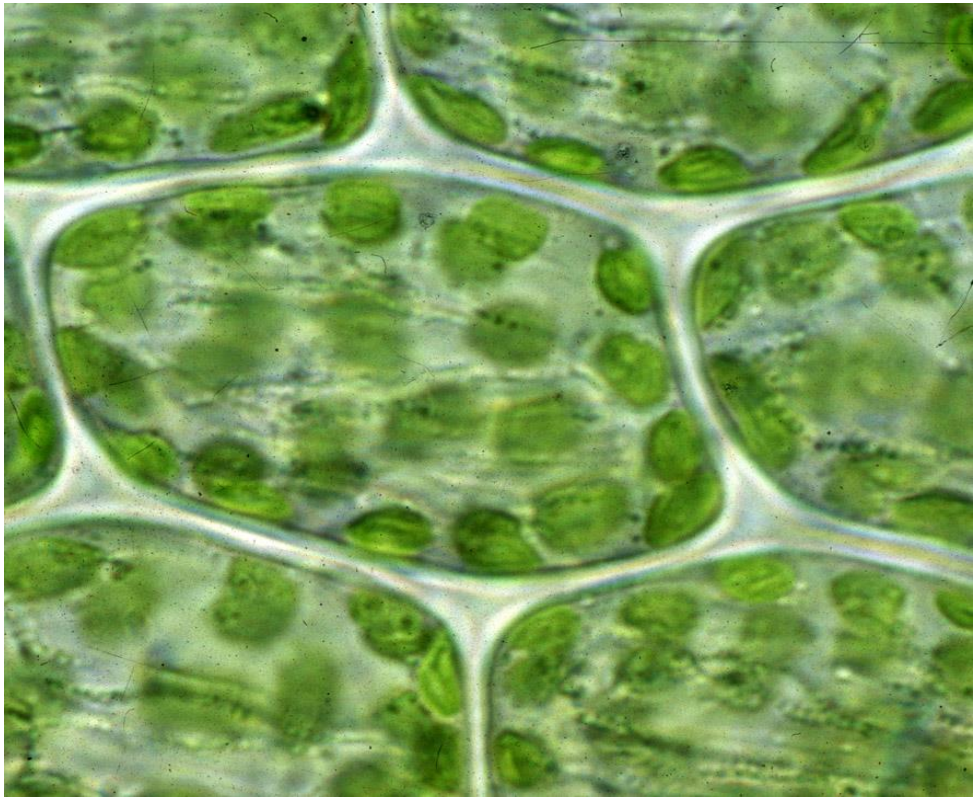


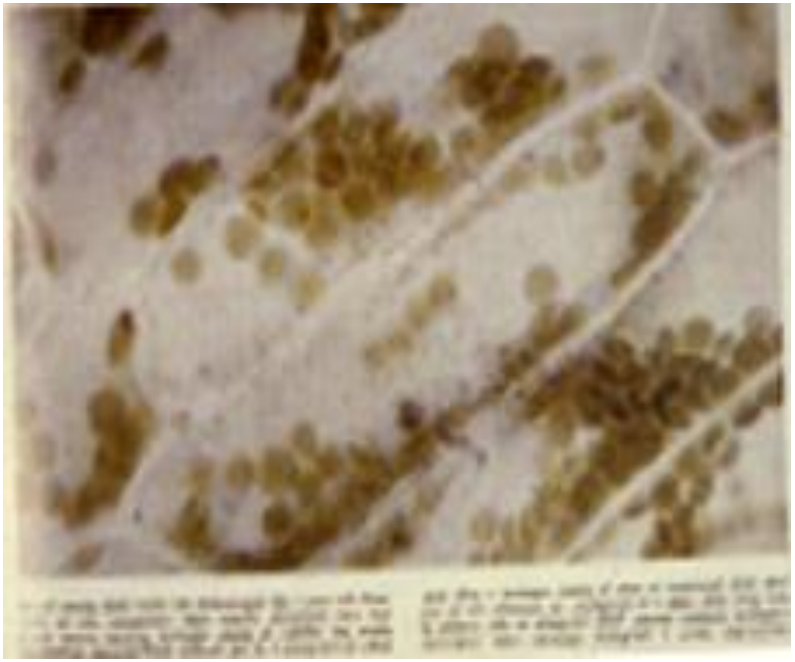
Granum

Amido

fotosintesi ha luogo in un organello chiamato cloroplasto sente nelle cellule di tutte le piante superiori e della mag- r parte delle alghe. Questa micrografia elettronica eseguita 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

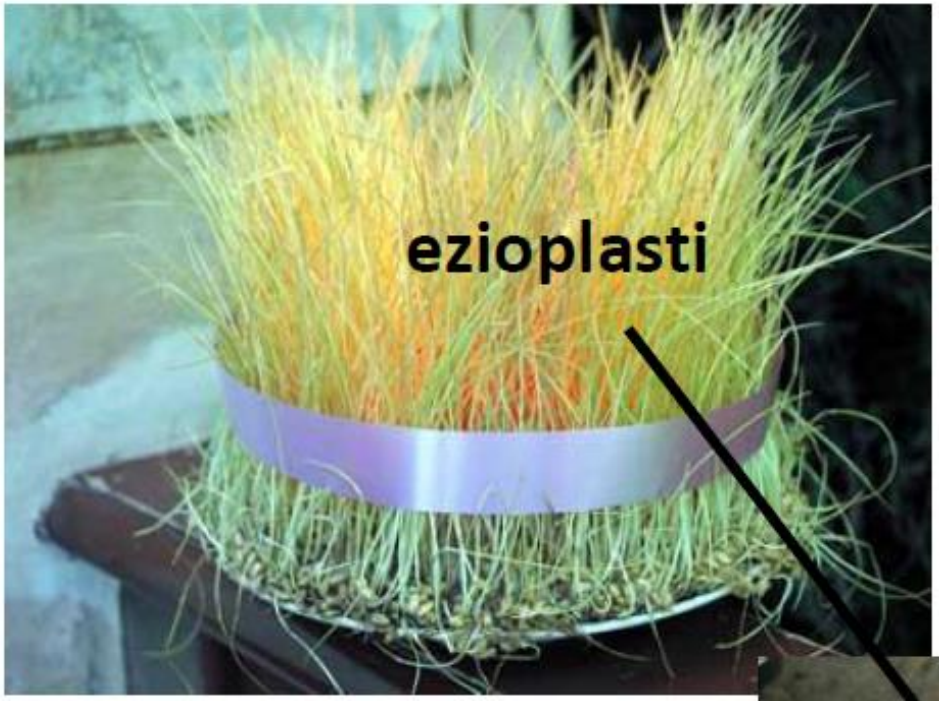
Luce e differenziamento del cloroplasto

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.

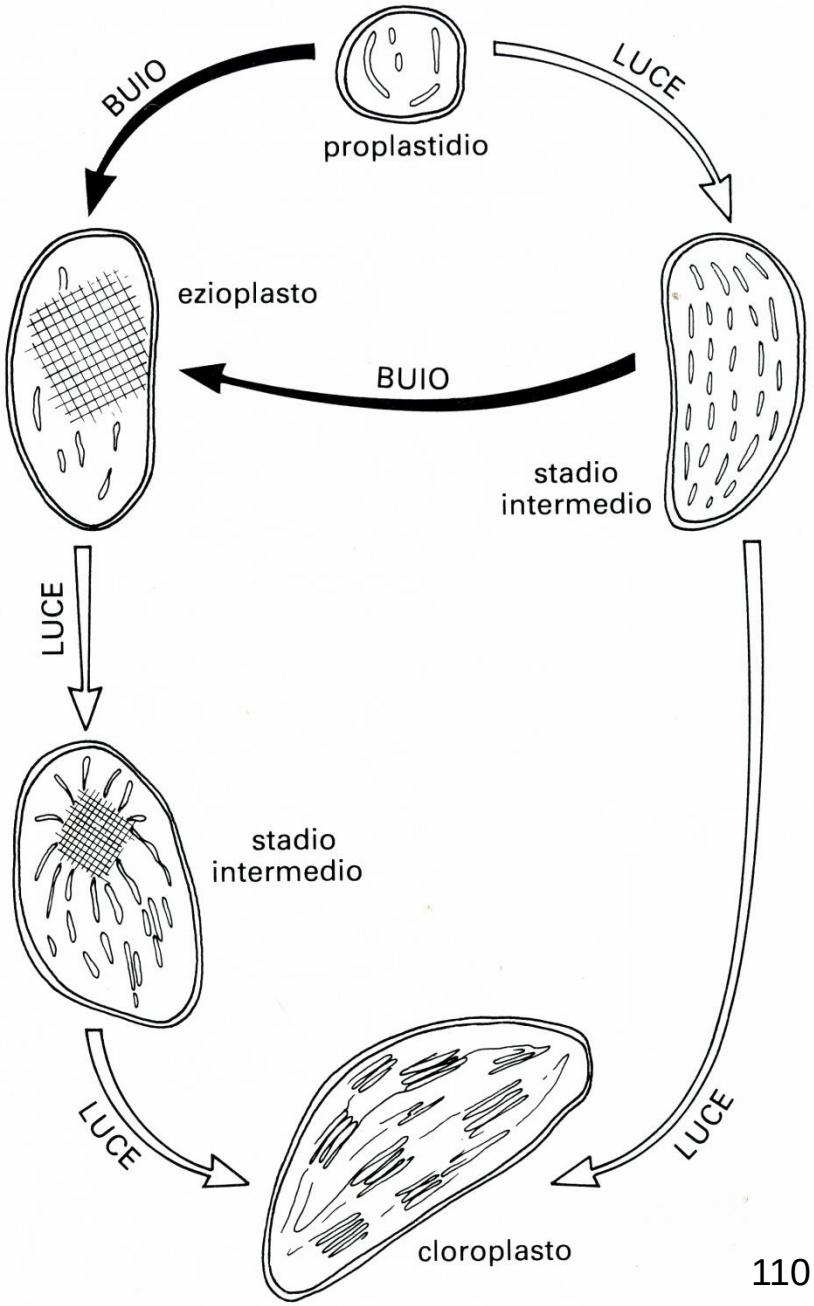


EZIOPLASTI

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.**

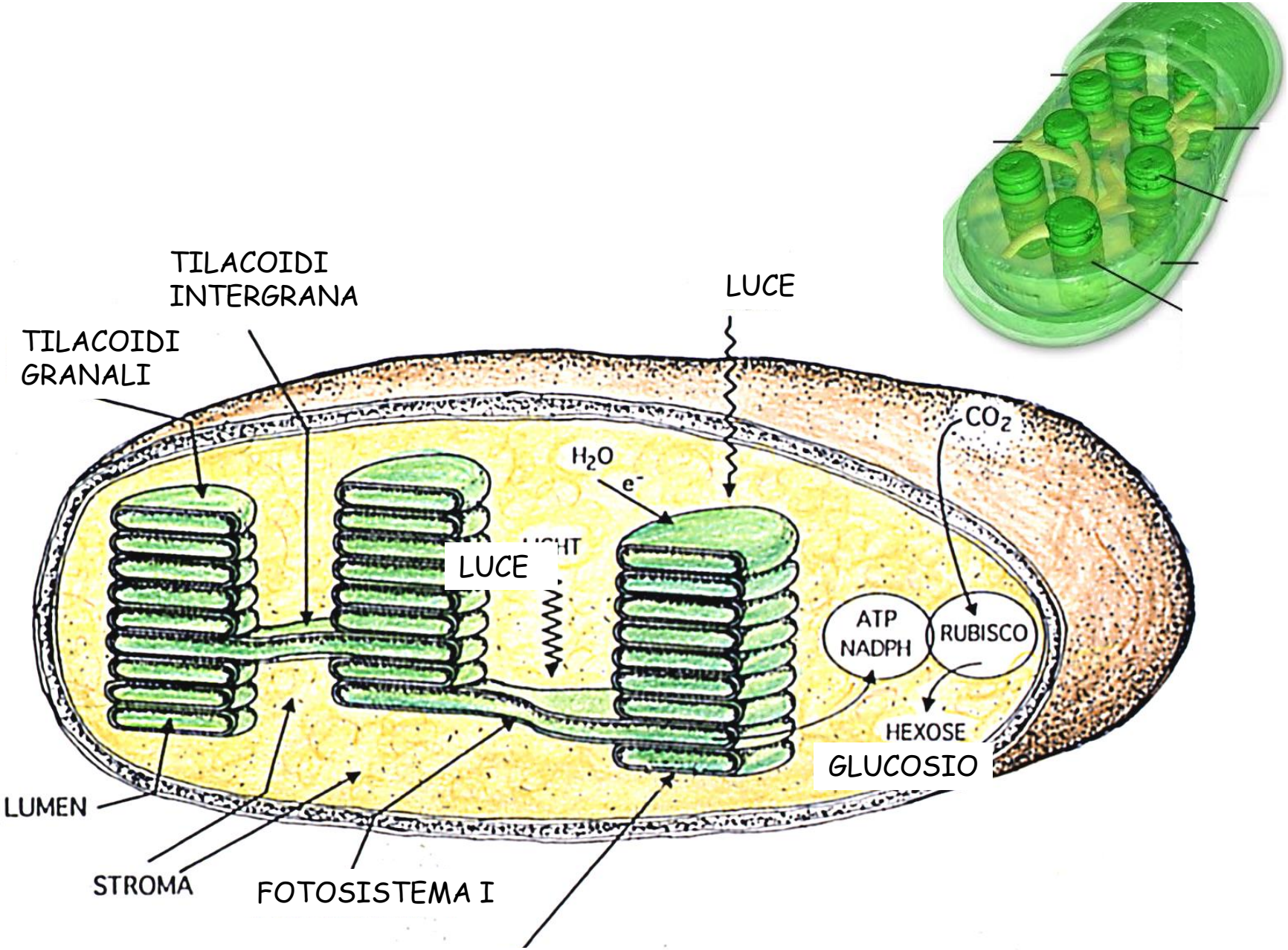
Quando piante eziolate vengono esposte alla luce del sole, gli ezioplasti evolvono in cloroplasti e sviluppano la clorofilla.

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.


TILACOIDI INTERGRANA
TILACOIDI GRANALI
LUCE
CO_2
H_2O
e^-
LUCE
ATP
NADPH
RUBISCO
HEXOSE
GLUCOSIO
LUMEN
STROMA
FOTOSISTEMA I
FOTOSISTEMA II

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

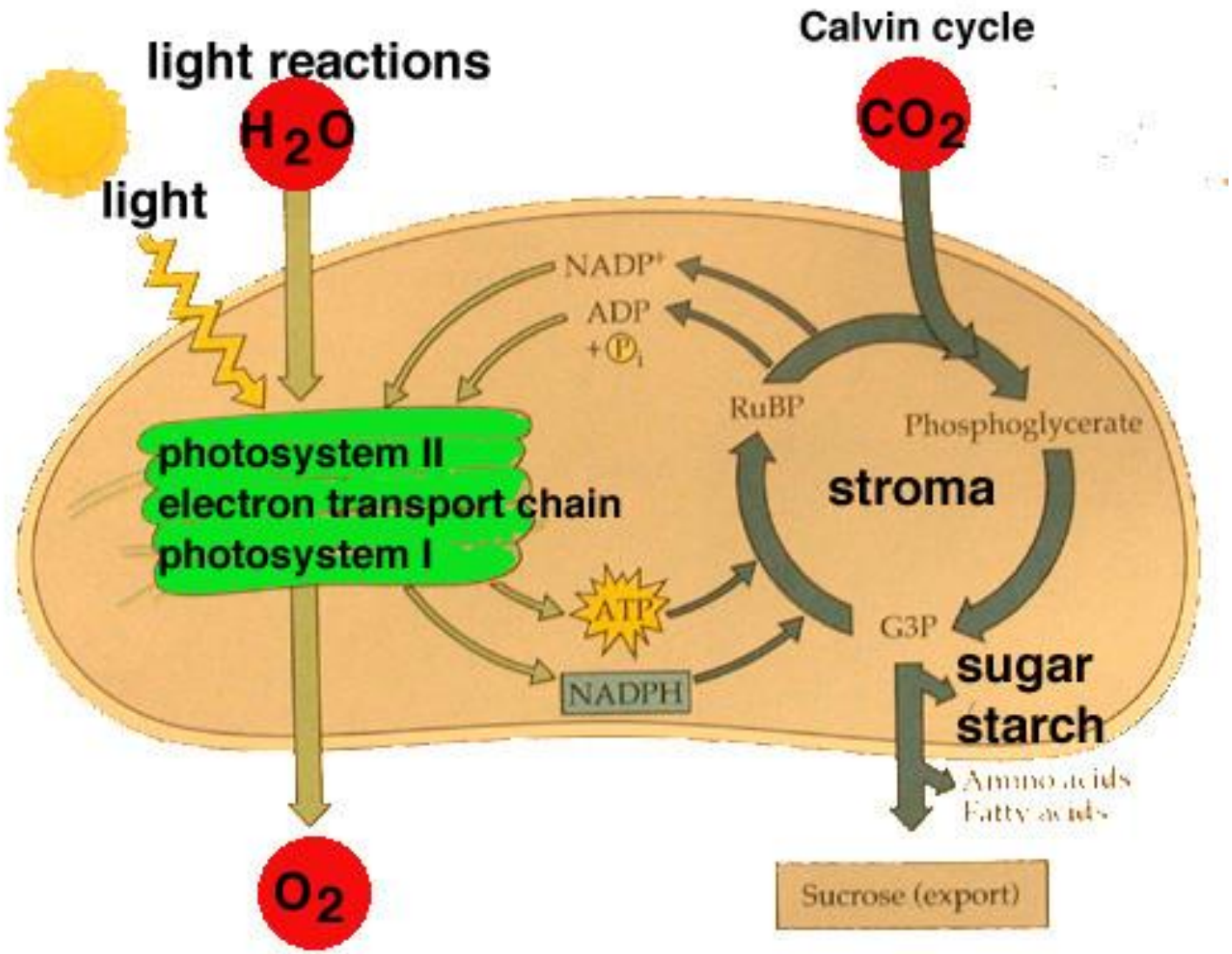
Cosa sono ???

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".

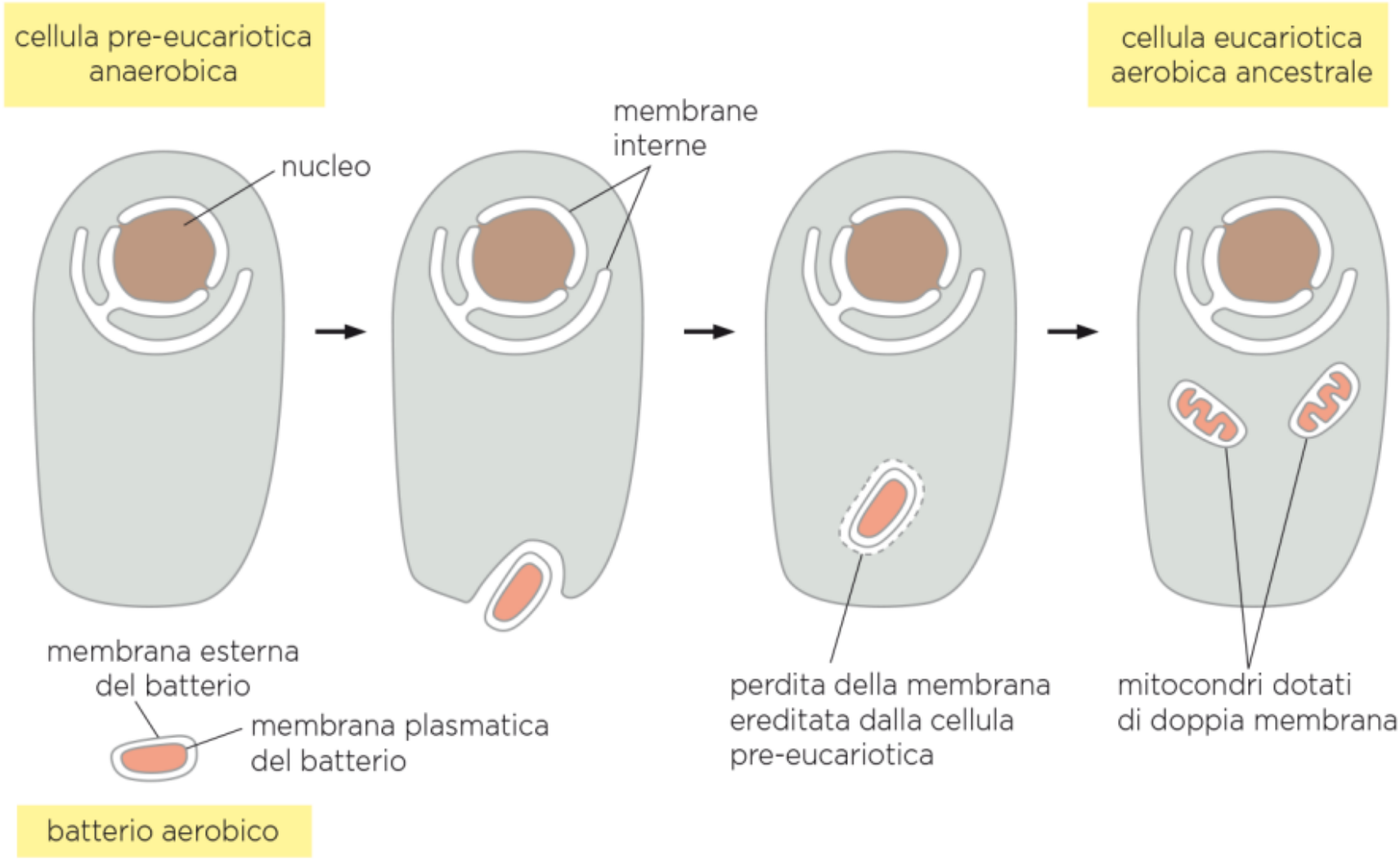
Studi filogenetici effettuati negli ultimi anni sul DNA batterico e su quello dei mitocondri e dei cloroplasti hanno consolidato questa teoria.

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.

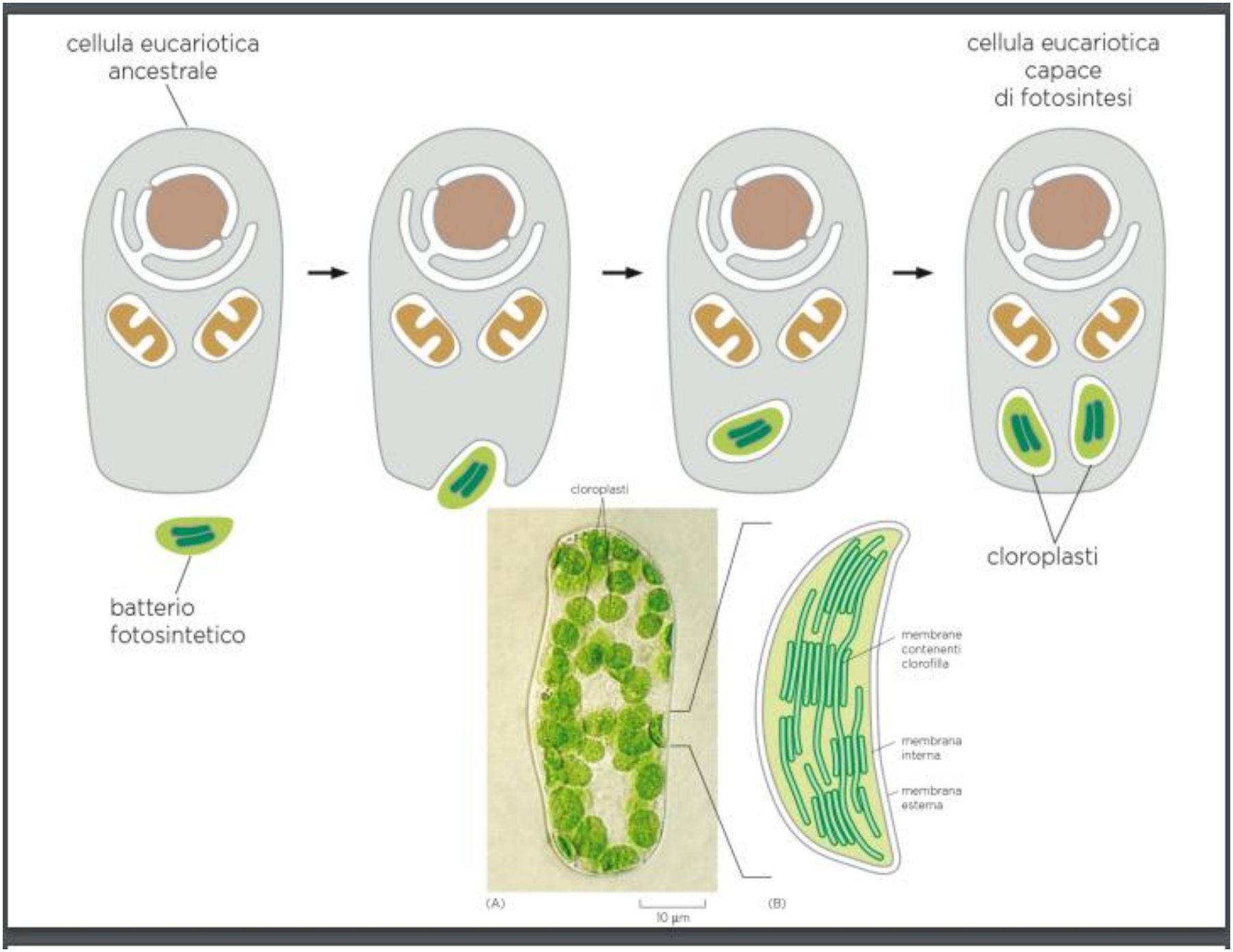
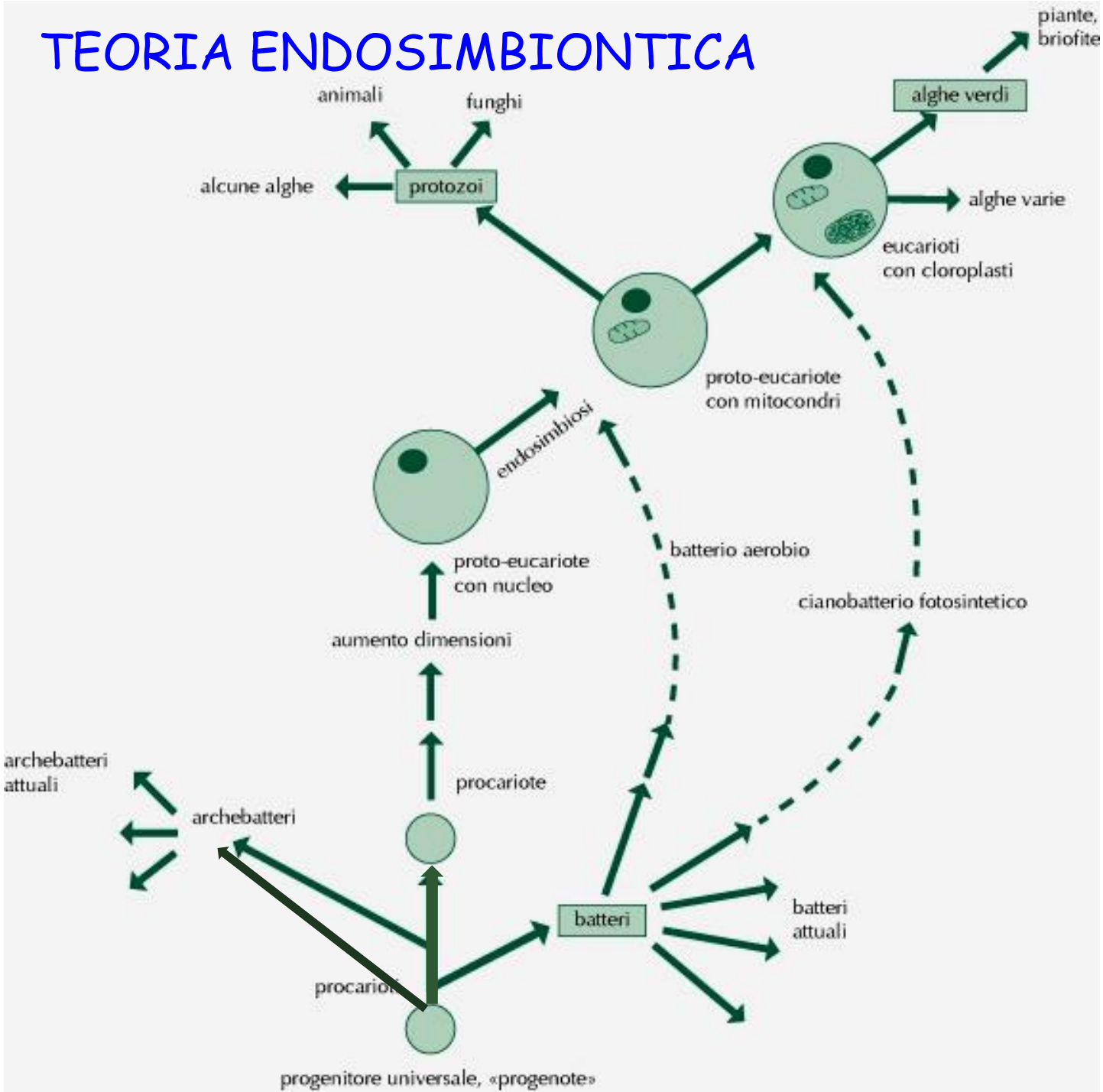
Un batterio aerobo deve essere stato fagocitato da un primitivo eucariote fagotrofo.



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 quì 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
cloroplasti
membrane contenenti clorofilla
membrana interna
membrana esterna
(A)
10 µm
(B)

TEORIA ENDOSIMBIONTICA