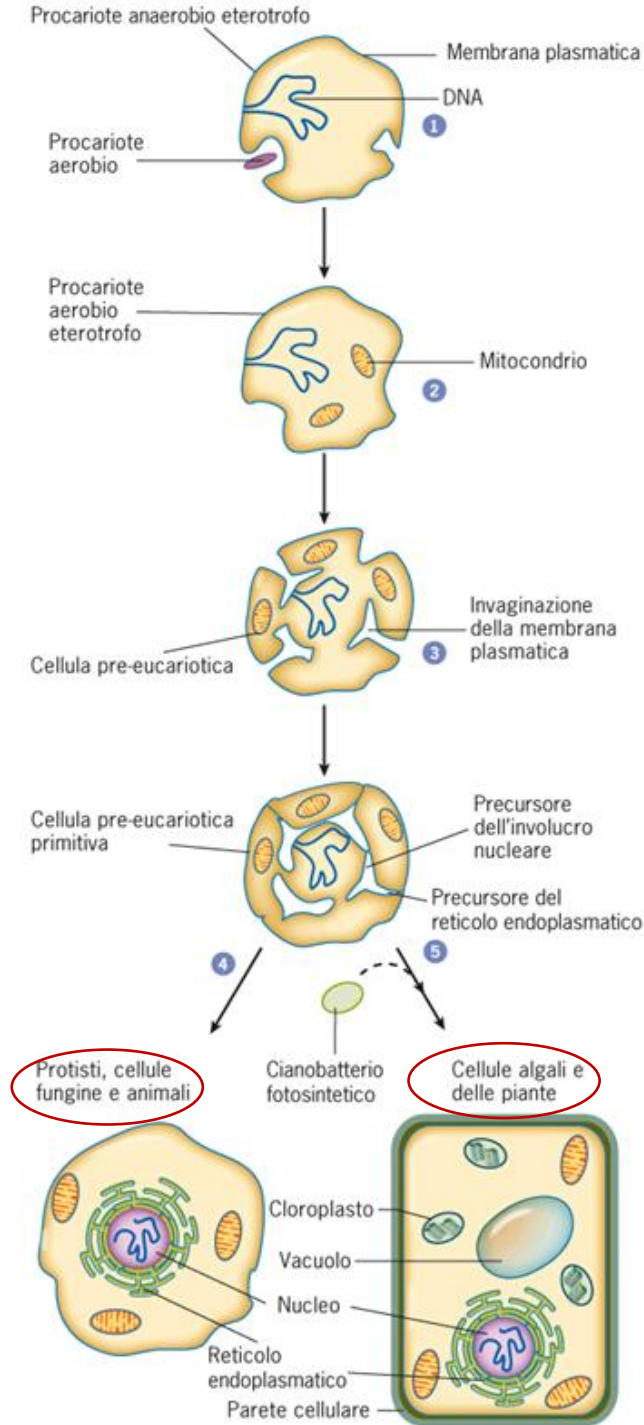


- Parete cellulare
- Membrana cellulare
- Organelli citoplasmatici
 - Cloroplasti
 - Cromoplasti
 - Amiloplasti
- Vacuolo

Evoluzione cellulare



Confronto tra cellule procariotiche ed eucariotiche

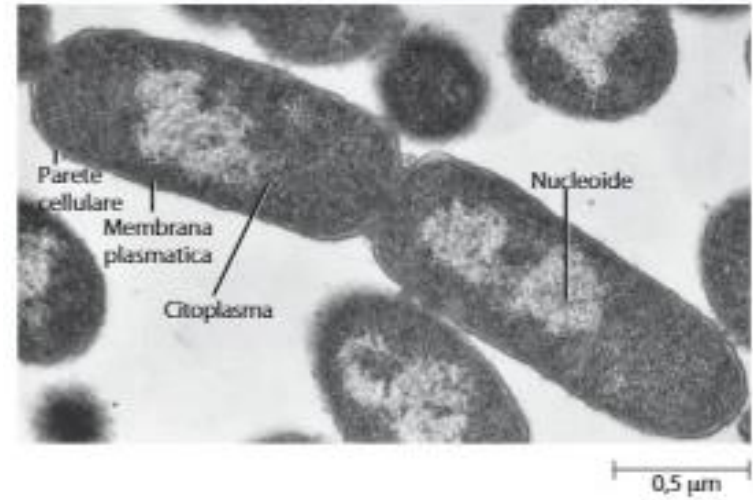
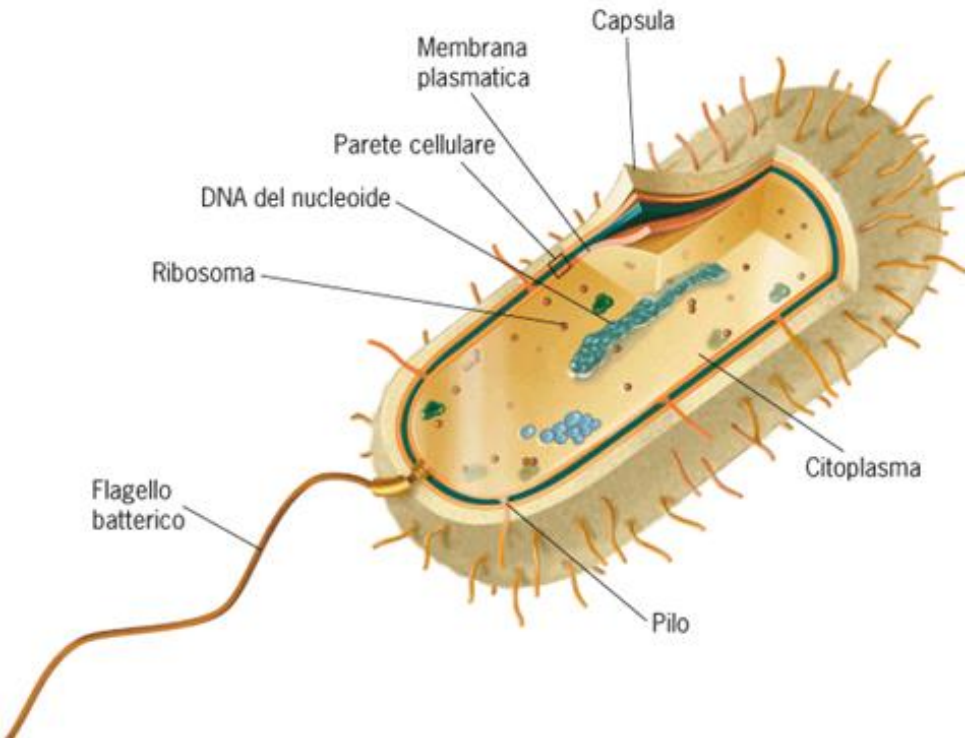
Caratteristiche comuni ai due tipi di cellule:

- Membrana plasmatica di struttura simile
 - Informazione genetica codificata dal DNA che usa lo stesso codice genetico
 - Meccanismi simili per la trascrizione e la traduzione dell'informazione genetica, compresi ribosomi simili
 - Vie metaboliche condivise (ad esempio, glicolisi e ciclo degli ATC)
 - Apparato simile per la conservazione dell'energia chimica sotto forma di ATP (localizzato nella membrana plasmatica dei procarioti e nella membrana mitocondriale degli eucarioti)
 - Meccanismi simili di fotosintesi (tra cianobatteri e piante verdi)
 - Meccanismo simile per la sintesi e l'inserzione delle proteine di membrana
 - Proteasomi (strutture che digeriscono le proteine) di struttura simile tra archeobatteri ed eucarioti
-

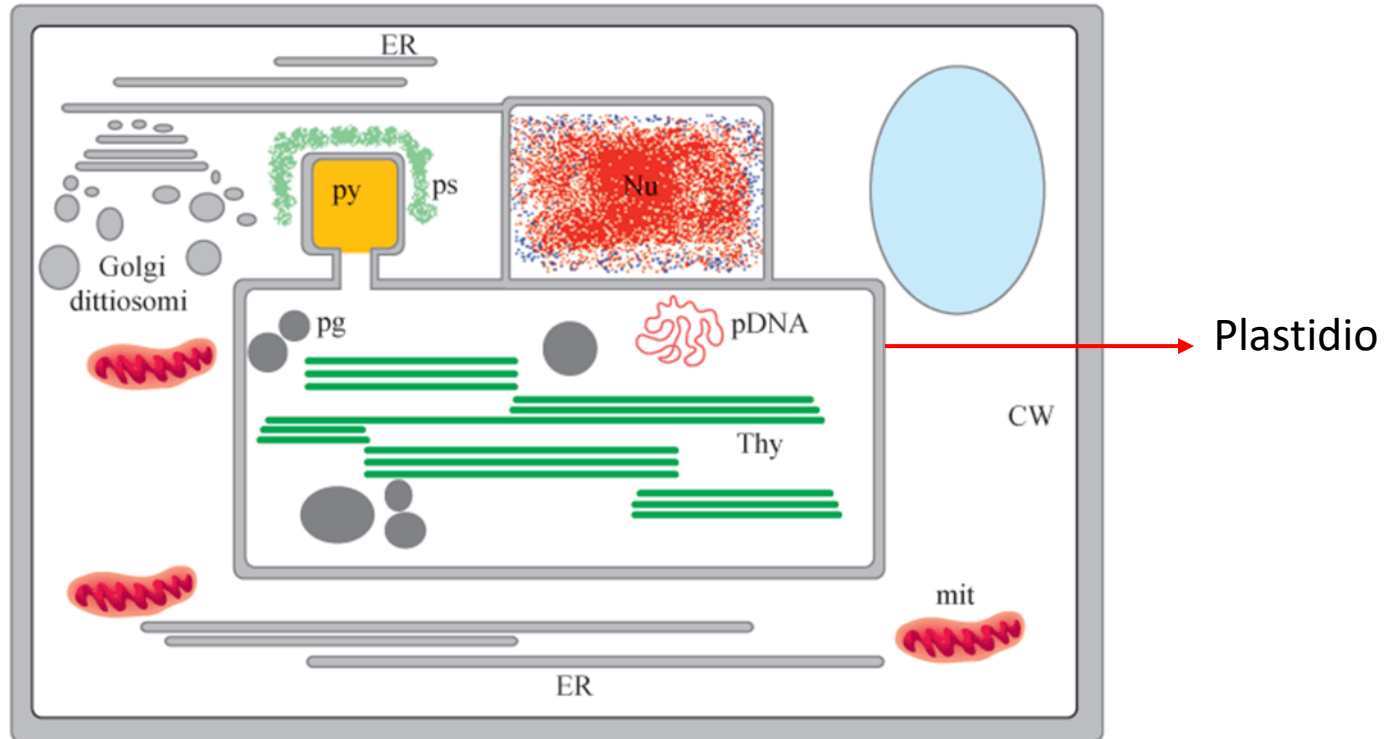
Caratteristiche delle cellule eucariotiche che non si trovano nei procarioti:

- Divisione della cellula in nucleo e citoplasma, separati da un involucro nucleare contenente pori di struttura complessa
 - Cromosomi complessi formati da DNA e proteine associate, capaci di compattarsi in strutture mitotiche
 - Organelli citoplasmatici membranosi complessi (comprendenti reticolo endoplasmatico, complesso del Golgi, lisosomi, endosomi, perossisomi e gliossisomi)
 - Organelli citoplasmatici specializzati per la respirazione aerobia (mitocondri) e per la fotosintesi (cloroplasti)
 - Sistema citoscheletrico complesso (comprendente microfilamenti, filamenti intermedi e microtubuli) e proteine motore associate
 - Flagelli e ciglia complessi
 - Capacità di ingerire materiale particolato mediante la formazione di vescicole per inflessione della membrana plasmatica (fagocitosi)
 - Pareti cellulari contenenti cellulosa (nelle piante)
 - Divisione cellulare che utilizza un fuso mitotico contenente microtubuli per separare i cromosomi
 - Presenza di due copie dei geni per ogni cellula (diploidia), ognuna derivante da ciascun genitore
 - Presenza di tre diversi enzimi deputati alla sintesi di RNA (RNA polimerasi)
 - Riproduzione sessuale richiedente meiosi e fecondazione
-

Cellula procariotica batterica



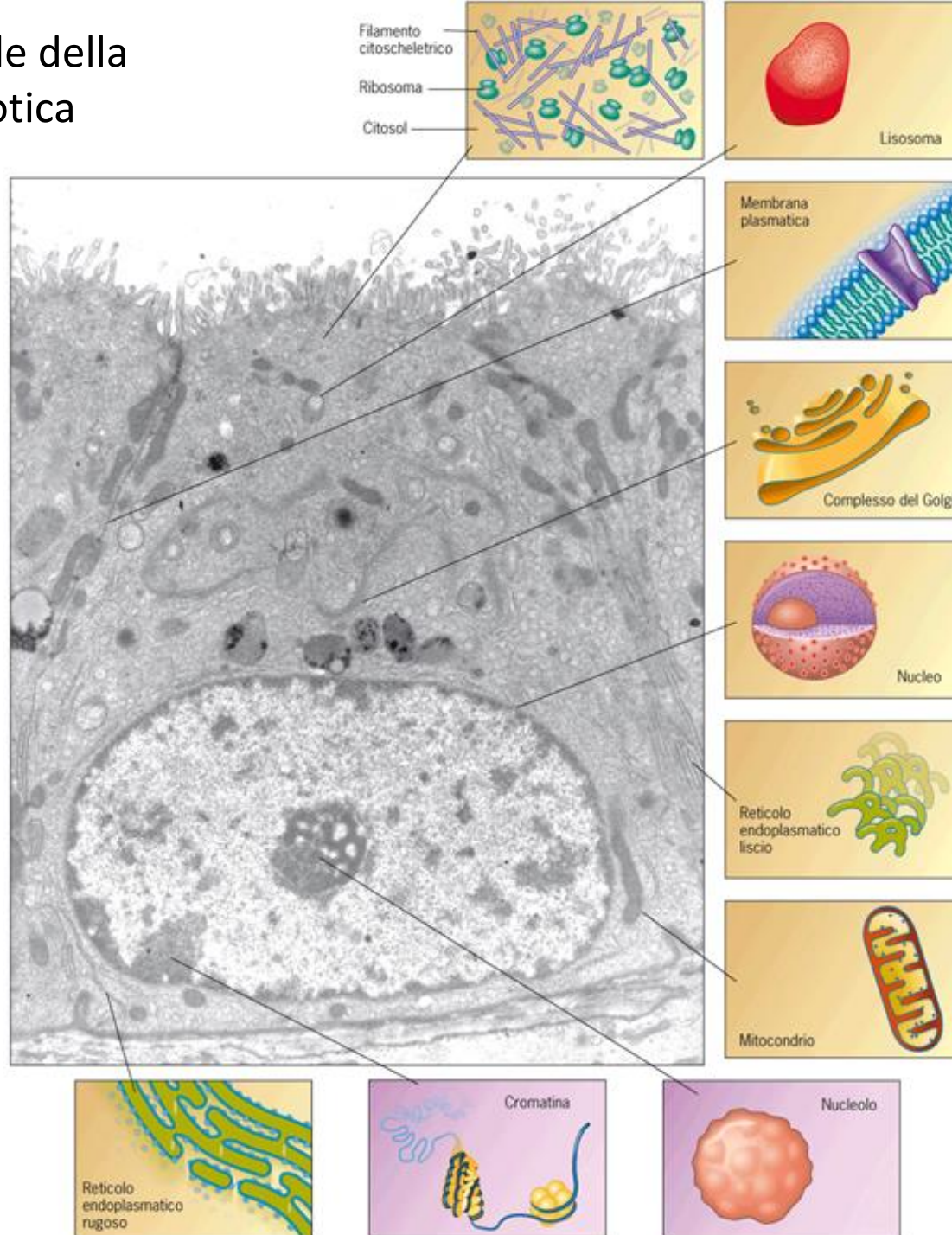
Cellula delle alghe brune (protisti eucarioti)



Giacomo Tripodi
Introduzione alla Botanica sistematica
EdiSES

ER = Reticolo endoplasmatico
Nu = Nucleo
Thy = Tilacoidi
cw = Parete cellulare
mit = Mitocondrio

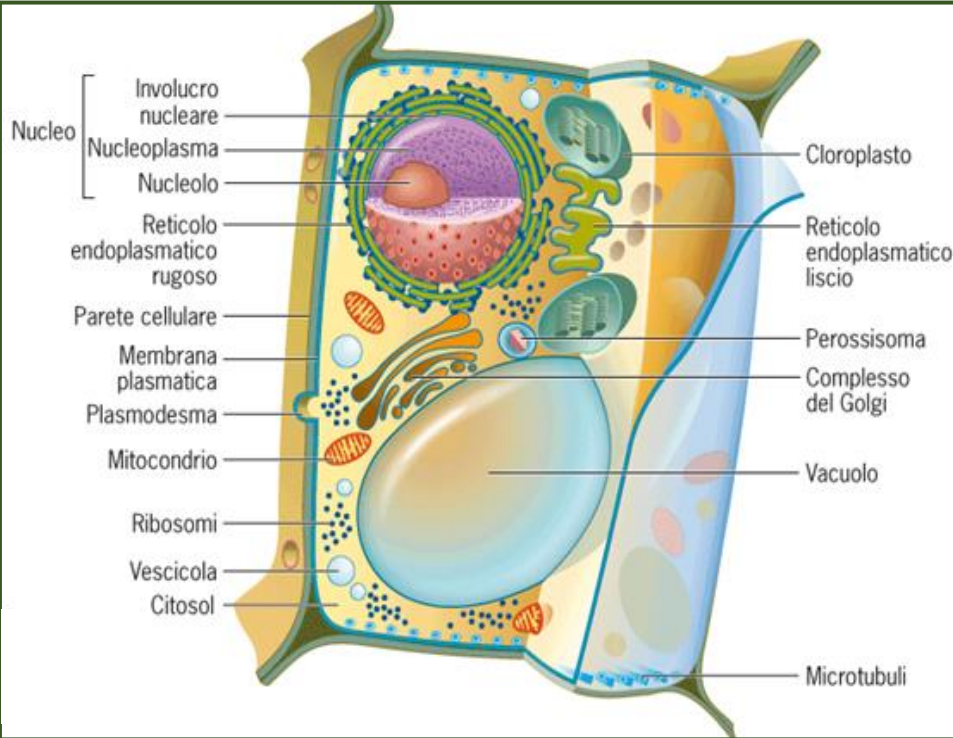
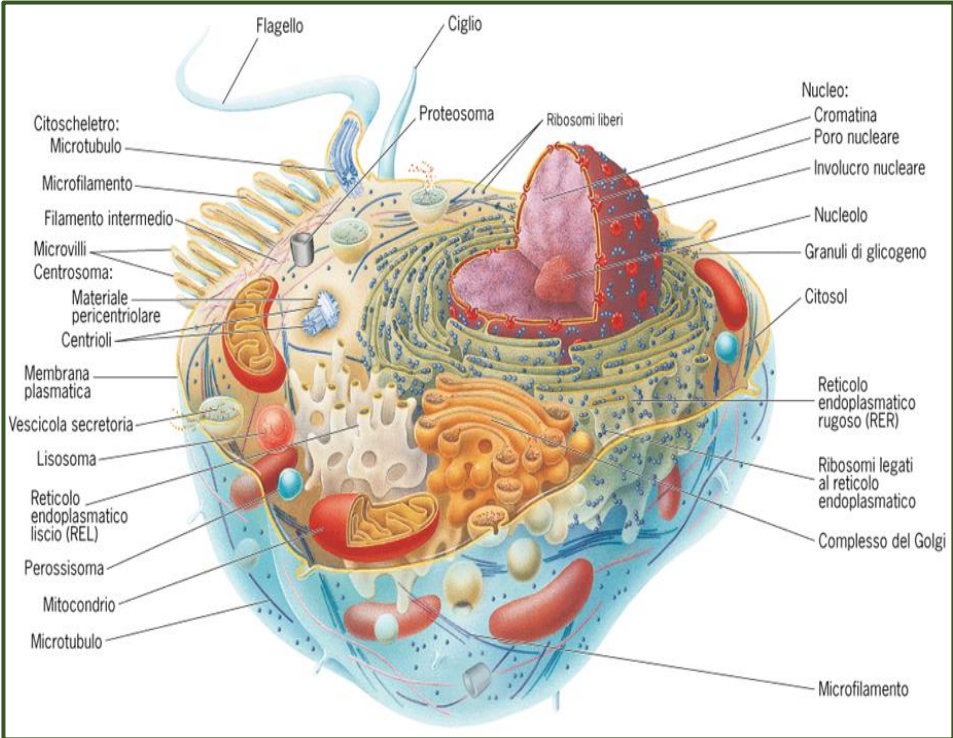
Struttura generale della cellula eucariotica



L'evoluzione da organismi semplici a complessi porta a una forma cellulare **'tipica'** delle piante: ha forma geometrica, è immobile e se adulta non può cambiare forma (parete cellulare), contiene soprattutto acqua (sistema vacuolare molto esteso), è autotrofa (presenza dei plastidi)

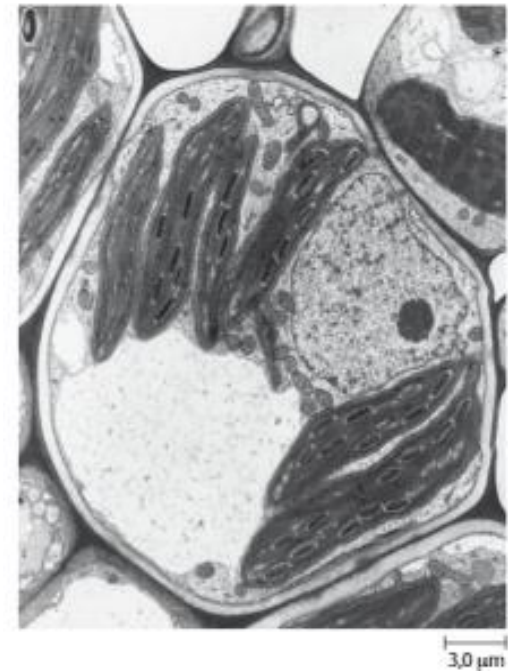
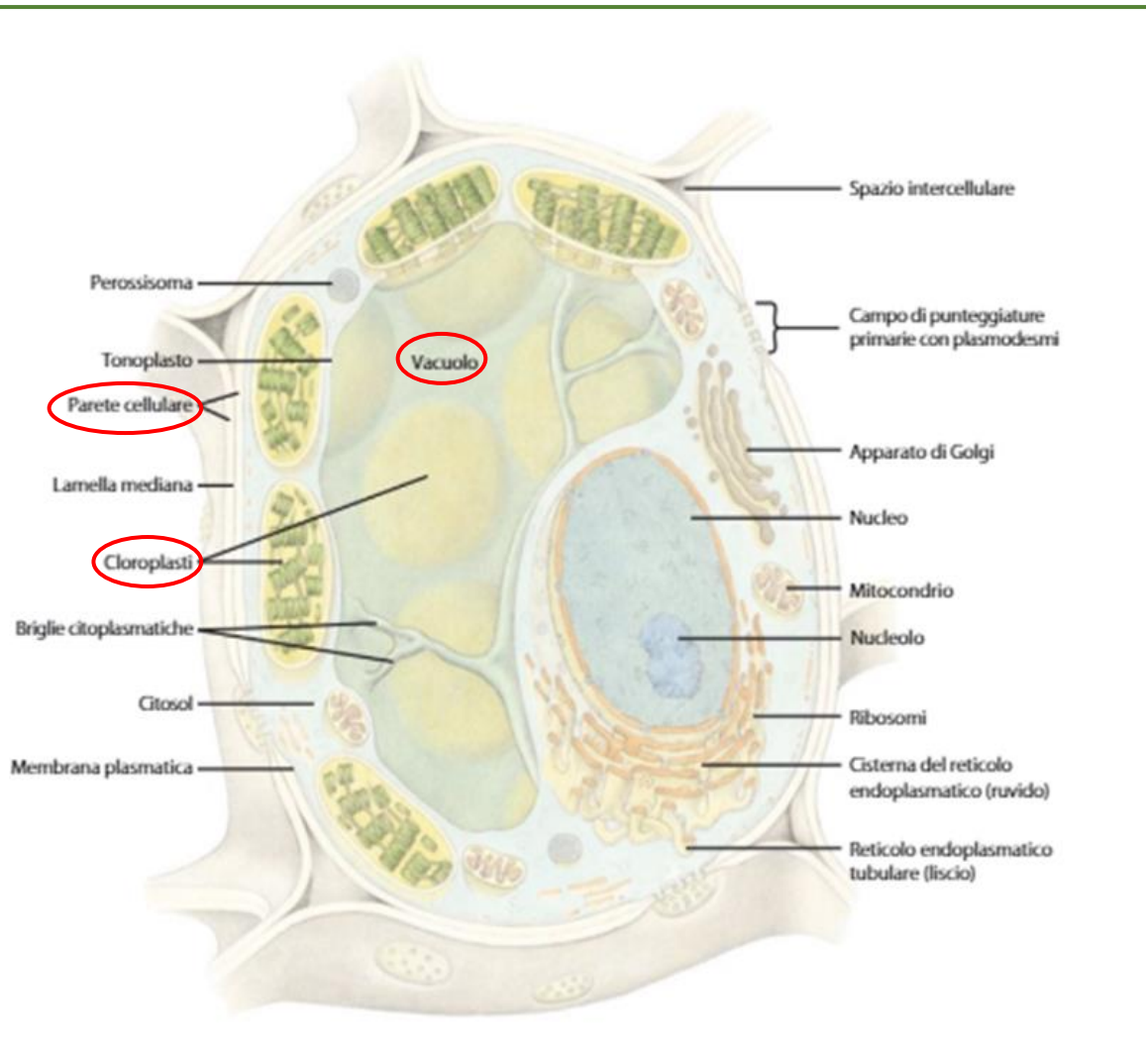
Cellula eucariotica **ANIMALE**

Cellula eucariotica **VEGETALE**



Peculiarità della cellula vegetale

- *Parete cellulare* con plasmodesmi (canali citoplasmatici)
- *Plastidi*: vari ruoli metabolici (es. cloroplasti, amiloplasti, cromoplasti)
- *Vacuolo*: grande scomparto di accumulo (70 – 80 % del volume cellulare)



Parete cellulare

La struttura e la composizione chimica della parete cellulare è differente nei vari gruppi tassonomici:

- *Batteri*: pluristratificata e costituita da peptidoglicani
- *Alghe*: pluristratificata con composizione chimica variabile
- *Funghi*: pluristratificata costituita da chitina (micosina) e cellulosa (Oomiceti)
- *Piante terrestri*: pluristratificata con composizione celluloso-pectica



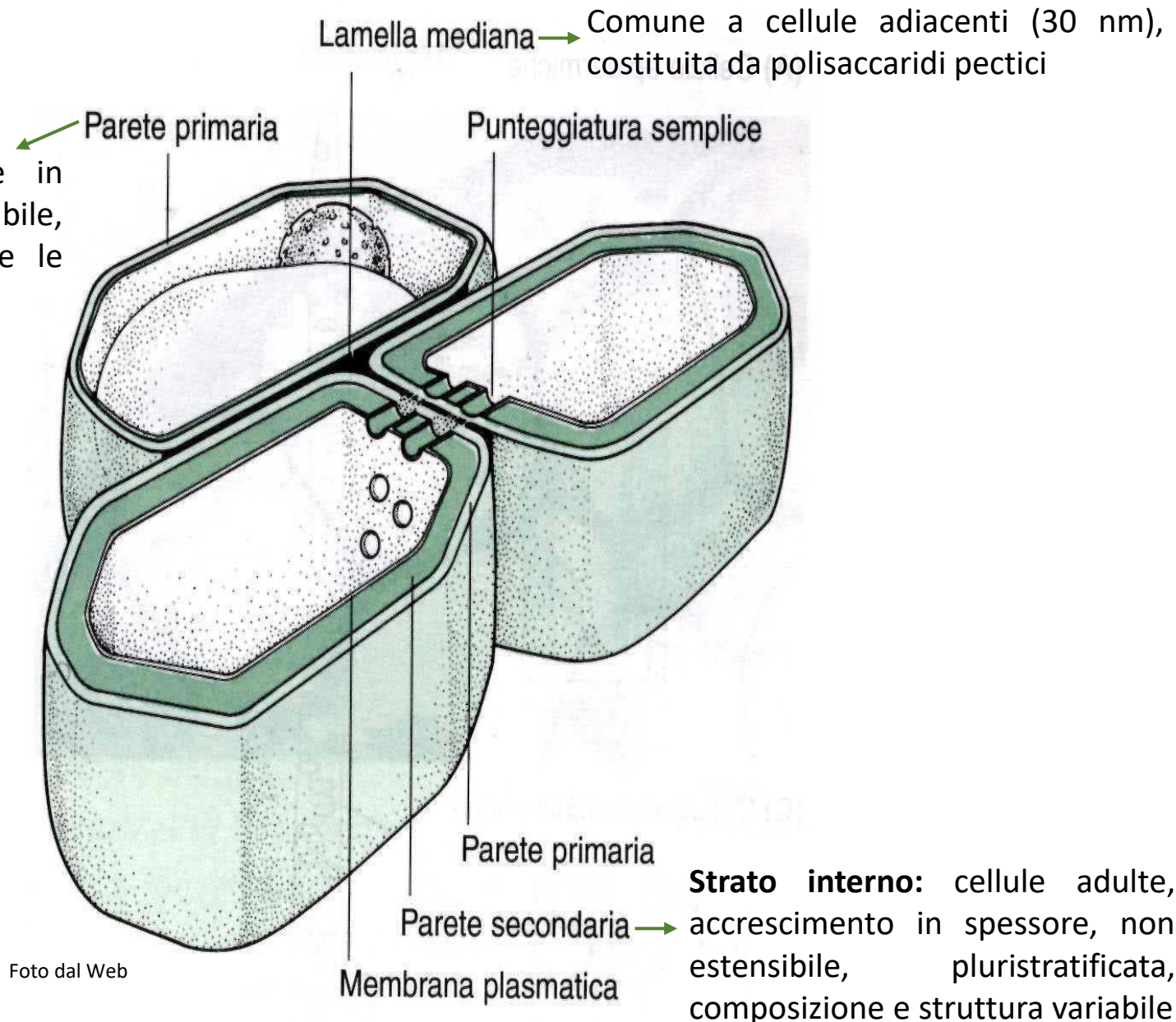
E' presente all'esterno di tutte le cellule vegetali

È una struttura rigida che si accresce in direzione centripeta (esterno verso interno)

Presenta plasmodesmi e punteggiature per il passaggio di acqua e sostanze

La crescita delle piante è dovuto a fenomeni di **DIVISIONE** e **DISTENSIONE** cellulare

Strato esterno: cellule in accrescimento, estensibile, struttura simile in tutte le cellule (0.1 - 1 μm)



Strato interno: cellule adulte, accrescimento in spessore, non estensibile, pluristratificata, composizione e struttura variabile

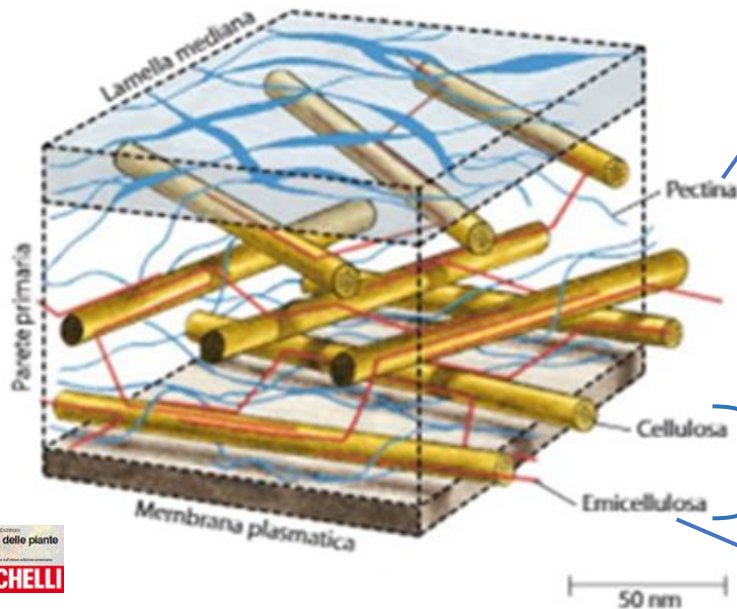
PARETE PRIMARIA

CELLULOSA: monomeri di D(+)*glucosio* con legame β 1-4; 10-15 % della parete primaria

Microfibrille adiacenti e parallele, immerse in una **MATRICE** di molecole non cellulosiche:

Polisaccaridi: emicellulose e pectine

Proteine strutturali: glicoproteine (estensine), glicolipidi ed enzimi (perossidasi, fosfatasi, cellulasi, pectinasi)



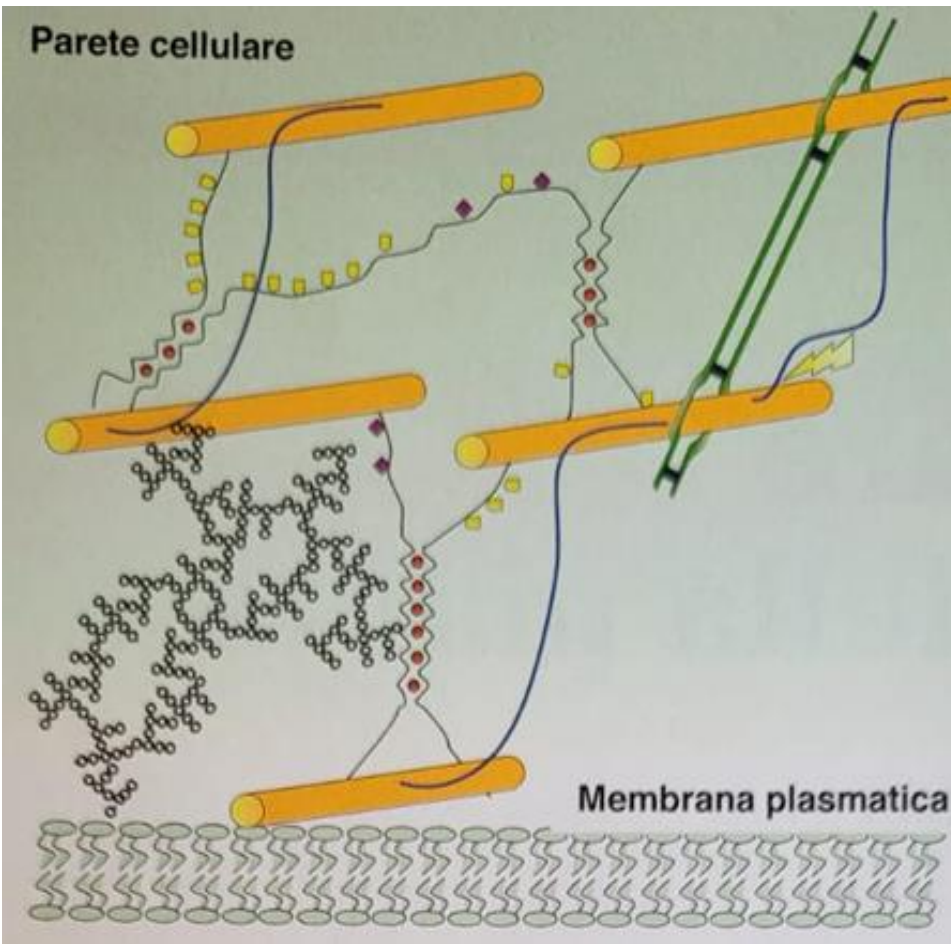
Polisaccaridi fortemente idrofili (plasticità e flessibilità; distensione cellulare)

Reticolo cellulosa-emicellulose

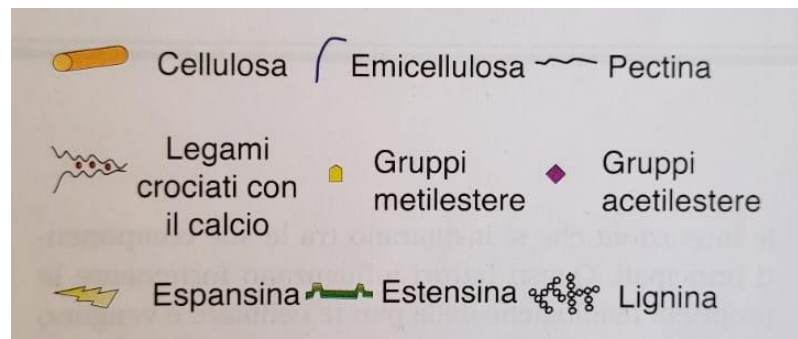
Regola l'aumento delle dimensioni cellulari (limita l'estensibilità)

Disposizione *casuale*: la cellula si accresce in tutte le direzioni (forma sferica)

Disposizione *parallela*: la cellula si accresce solo in lunghezza



- *cristallina*: micelle (cellulosa)
- *amorfa*: emicellulose e pectine



La componente cristallina è sintetizzata da complessi enzimatici (cellulosa sintetasi) che si muovono all'interno della membrana plasmatica

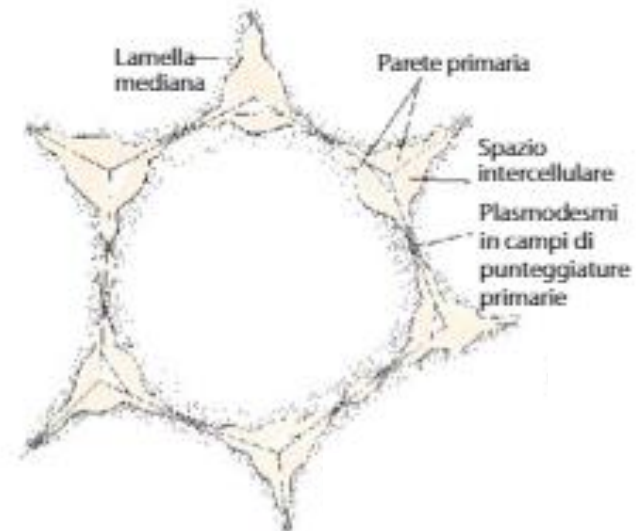
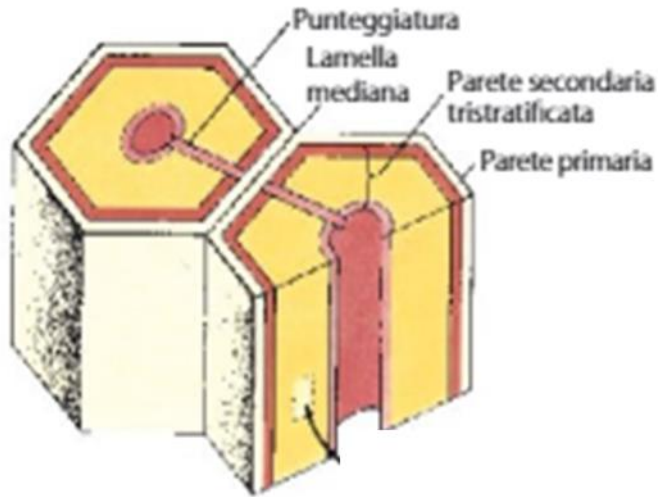
La componente amorfa è sintetizzata nel reticolo endoplasmatico e nell'apparato del Golgi e secreta all'esterno della cellula (esocitosi)

LAMELLA MEDIANA (SOSTANZA INTERCELLULARE)

strato in comune tra le pareti delle cellule adiacenti; contribuisce alla loro adesione



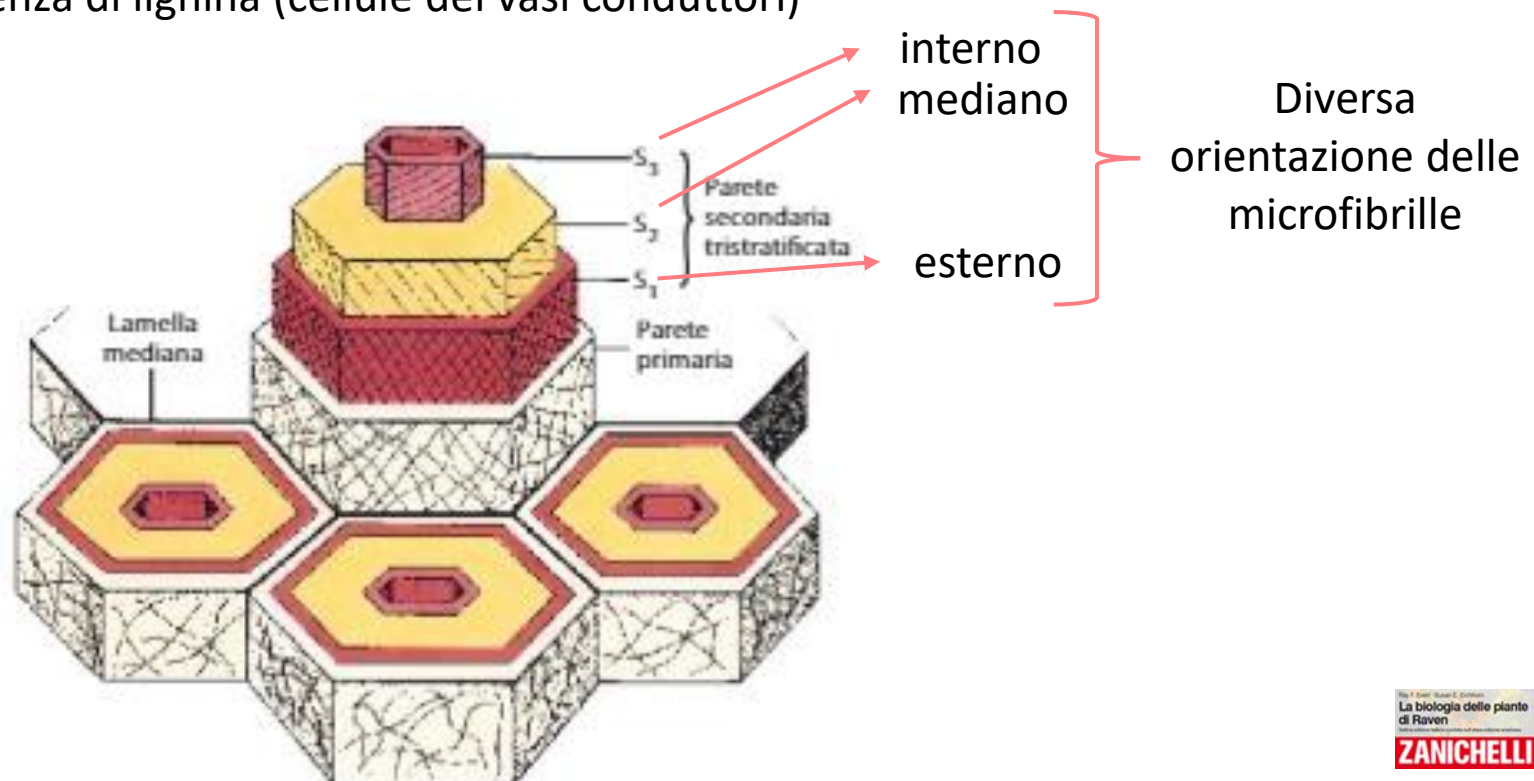
- PECTINE: polimeri dell'acido galatturonico; funzione cementante
- Acqua, proteine strutturali, enzimi



PARETE SECONDARIA

Viene deposta all'interno della parete primaria dopo che ha terminato la crescita in spessore (nelle cellule adulte)

- Spessore variabile (3-5 μm), rigida e non estensibile
- Tristratificata; in ogni strato le microfibrille di cellulosa sono parallele tra loro
- Il 60% è costituito da cellulosa immersa in una matrice ridotta; le pectine possono mancare (mancanza di elasticità)
- Assenti le proteine strutturali e gli enzimi
- Funzione importante nelle cellule specializzate per il sostegno e trasporto
- Presenza di lignina (cellule dei vasi conduttori)



Plasmodesmi

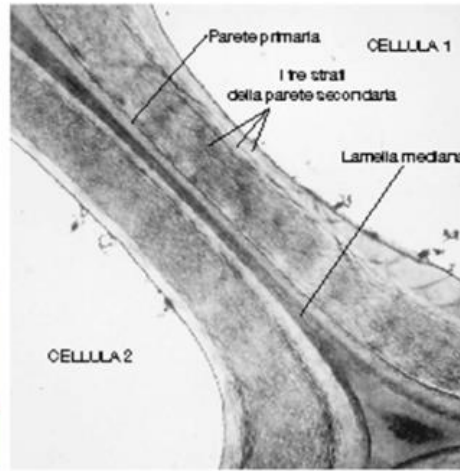
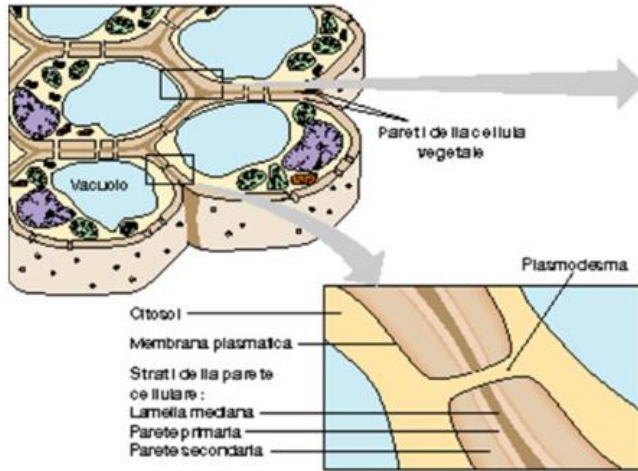
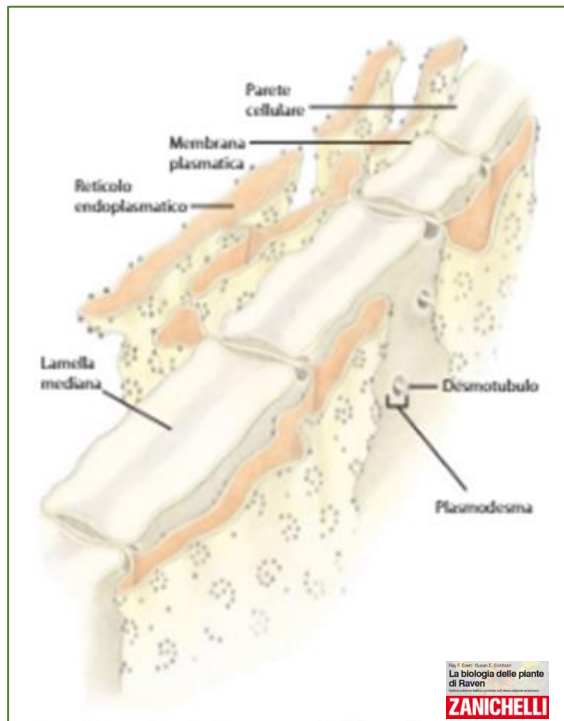
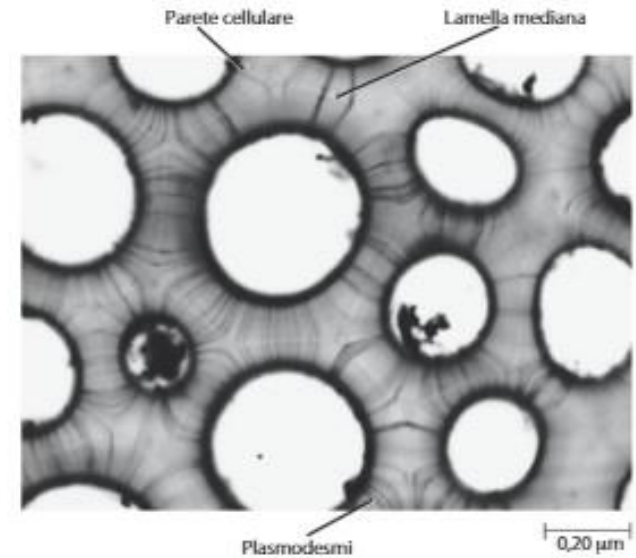


Foto dal WEB



- Canali citoplasmatici che attraversano la parete cellulare
- Riuniti in “campi di punteggiature”
- Comunicazione tra i protoplasti di due le cellule adiacenti
- Attraversati da tubuli (desmotubuli)
- Passaggio di acqua, ioni, zuccheri, aminoacidi, molecole segnale

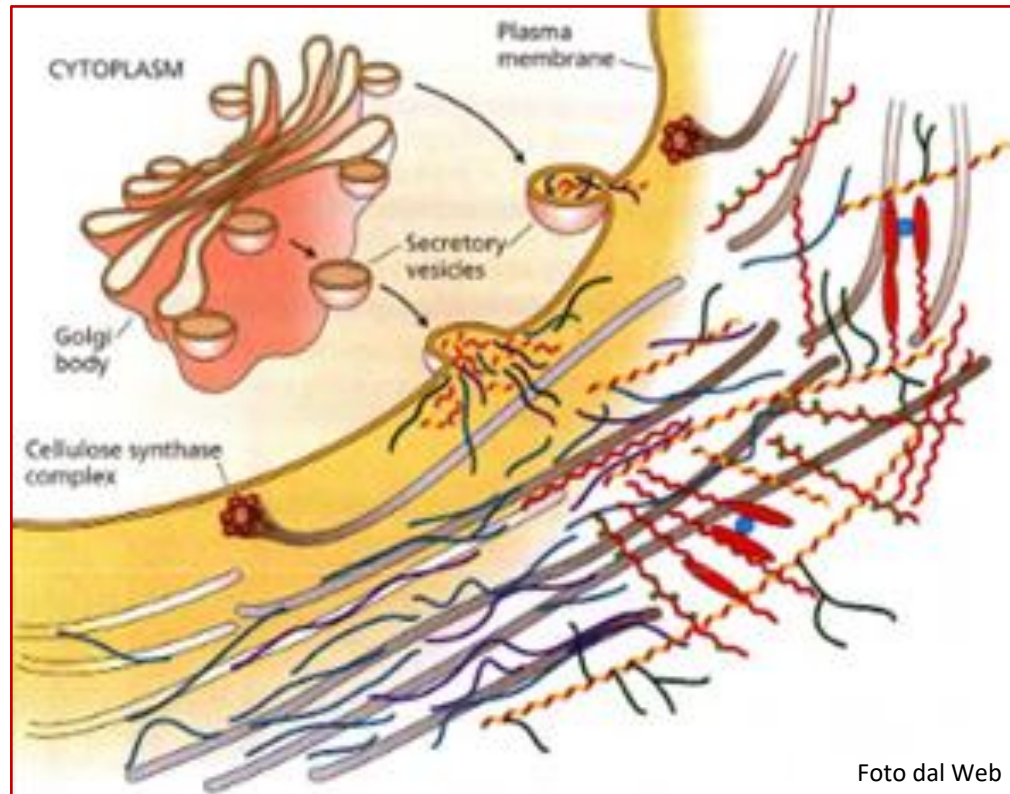


Trasporto di
acqua e soluti

SIMPLASTICO: attraverso i plasmodesmi
APOPLASTICO: attraverso le pareti cellulari

Funzioni della parete cellulare

- Assicura rigidità (funzione meccanica)
- Determina le dimensioni e la forma cellulare (la struttura varia in composizione e aspetto nei vari tipi cellulari)
- Protegge la cellula (il protoplasma) dagli stress biotici e abiotici
- Controbilancia la pressione osmotica del succo cellulare e del vacuolo
- Interviene nel riconoscimento delle cellule (presenza di molecole segnale)
- Contribuisce all'assorbimento, trasporto e secrezione delle sostanze



Modificazioni della Parete

cellule adulte differenziate; cambiamento della funzionalità cellulare

Deposito all'INTERNO
della parete

Lignificazione: **lignina** (polimeri di composti fenolici); rigidità e resistenza alla compressione (funzione meccanica e di sostegno)

Mineralizzazione: silice e carbonato di calcio

Pigmentazione: sostanze colorate (tannini e fenoli)

Gelificazione: matrice di mucillagini (trattengono acqua)

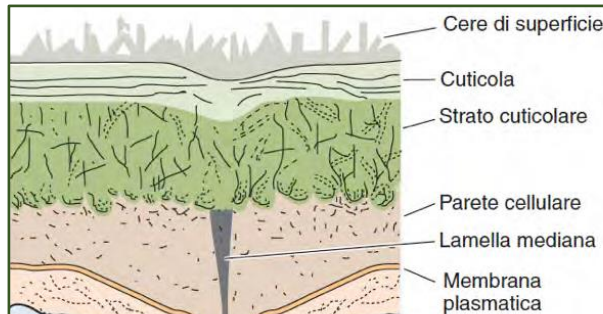
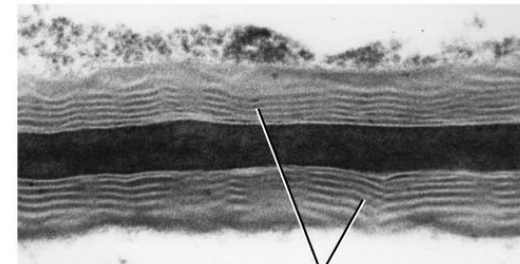


Foto dal Web



Lamelle di suberina
sulle pareti cellulari

Deposito all'ESTERNO
della parete

Cutinizzazione: **cutina** (polimero di acidi grassi); forma la cuticola che riduce le perdite di acqua (impermeabilizzazione)

Suberificazione: **suberina** (polimero di acidi grassi e composti fenolici); forma lamelle di suberina in senso centripeto (protezione)

Presenza di cere: sostanze grasse (protezione)

Integrità strutturale della parete cellulare (Cell Wall Integrity)

Drammaticamente alterata

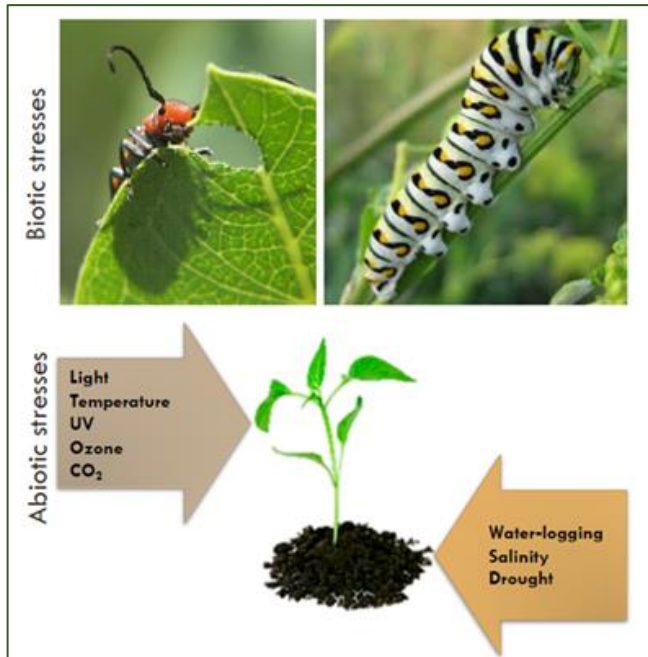


Foto dal Web



Stress BIOTICI
Stress ABIOTICI
Danni meccanici



ATTIVAZIONE RIPOSTE IMMUNITARIE

Interazione pianta-patogeno

Il patogeno deve superare la parete cellulare

Enzimi microbici degradano la pectina e interagiscono con gli inibitori proteici della parete cellulare che li inattiva innescando la risposta immunitaria

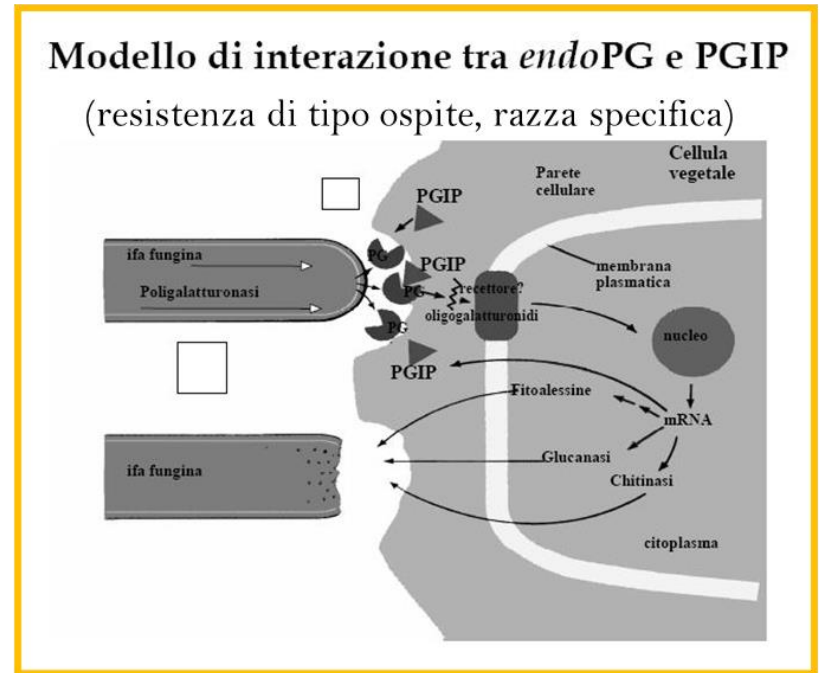
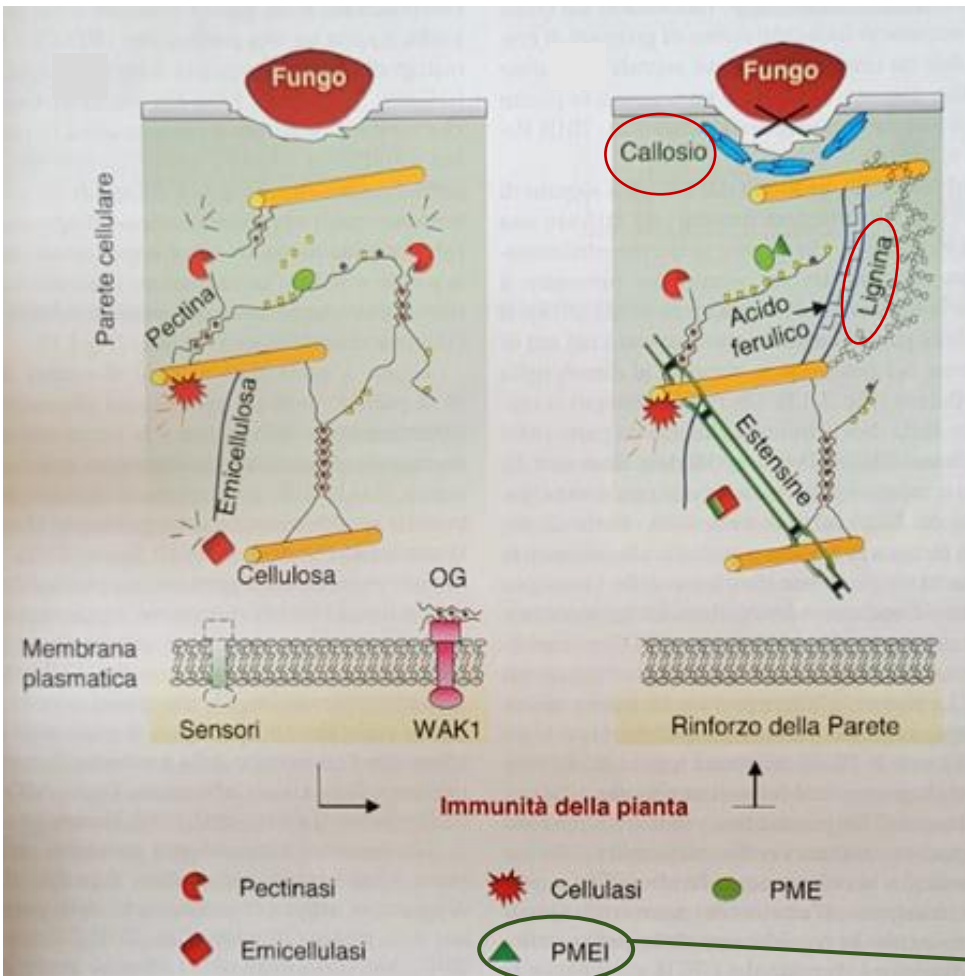


Foto dal Web

Inibitore della PME
(pectina metilesterasi)

I meccanismi di difesa comportano un rimodellamento della parete cellulare necessario per prevenire il progredire della malattia

Contrastare l'adesione, penetrazione e colonizzazione del patogeno

Creazione di un ambiente ostile al patogeno che ne impedisce e/o rallenta la diffusione

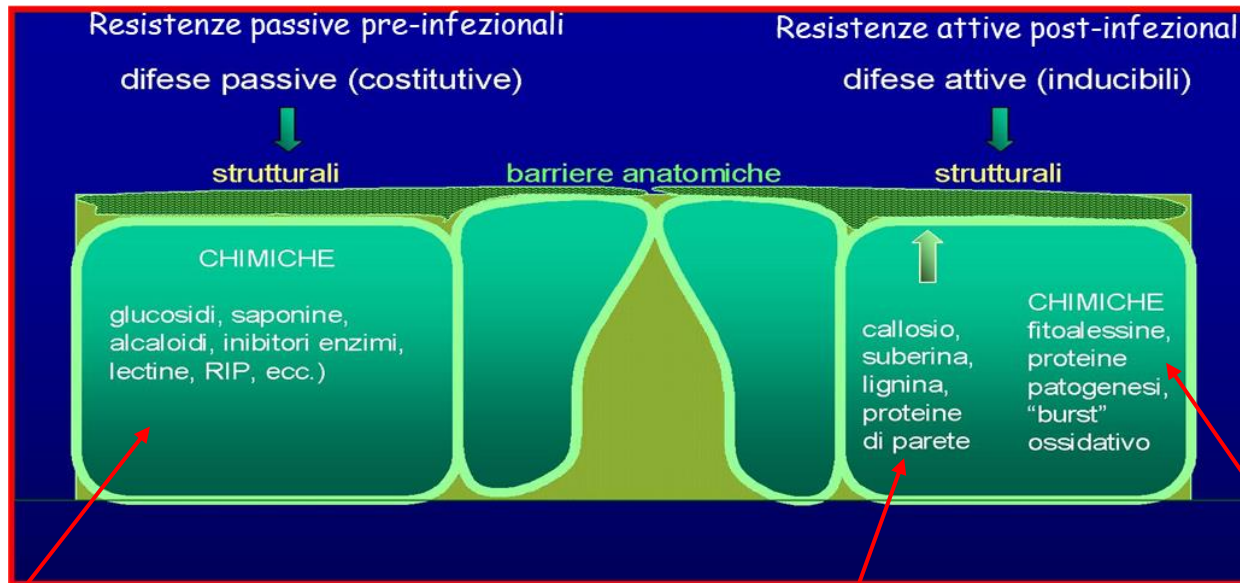


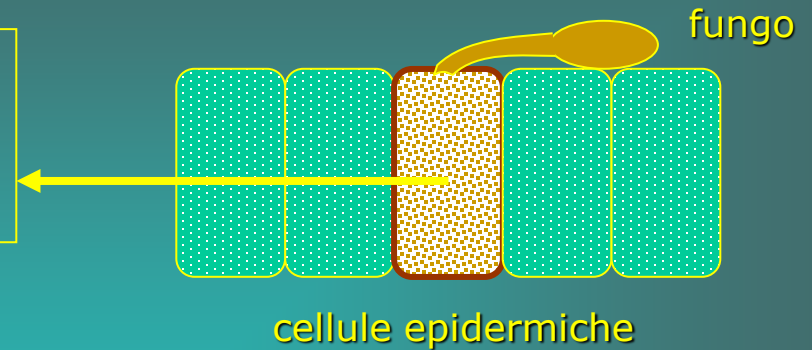
Foto dal Web

essudati ad attività antifungina, sintetizzati precedentemente al tentativo di infezione

sostanze normalmente assenti o presenti in quantità ridotte

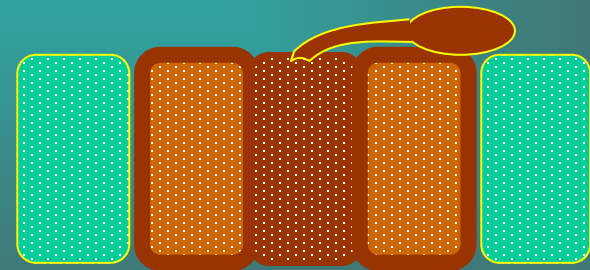
Produzione di ormoni da ferita e di suberina, formazione di tulle o di gomme contenenti tannini, **ispessimenti delle pareti cellulari**

- “burst” ossidativo
- sintesi di fitoalessine
- rafforzamento della parete cellulare



Tali modificazioni perturbano, a loro volta, l'equilibrio omeostatico delle cellule adiacenti, generando, in esse, una serie di reazioni

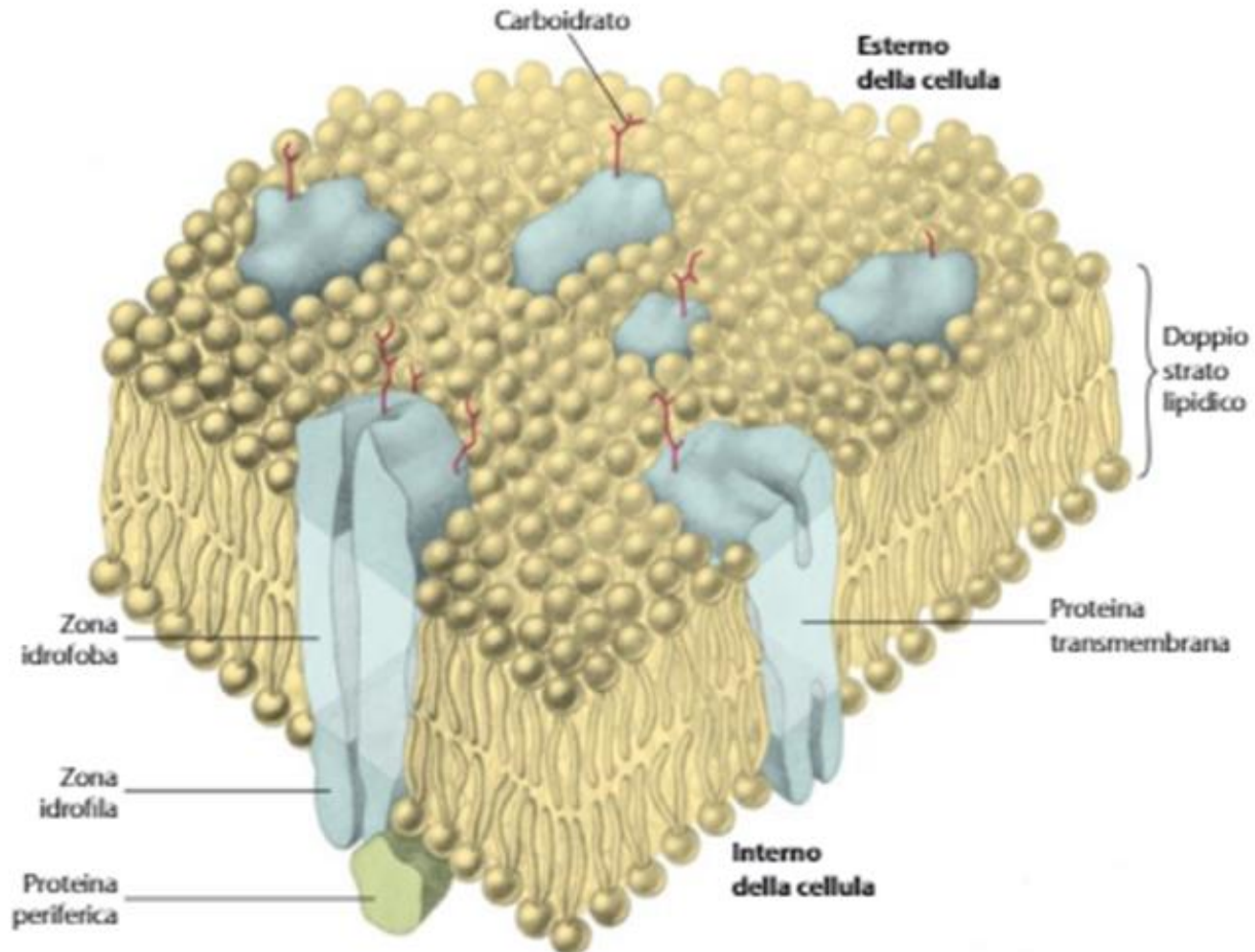
Si crea un ambiente ostile che limita l'espansione del patogeno, privandolo, nel contempo, dei nutrienti essenziali



Membrana plasmatica

doppio strato lipidico; selettivamente permeabile

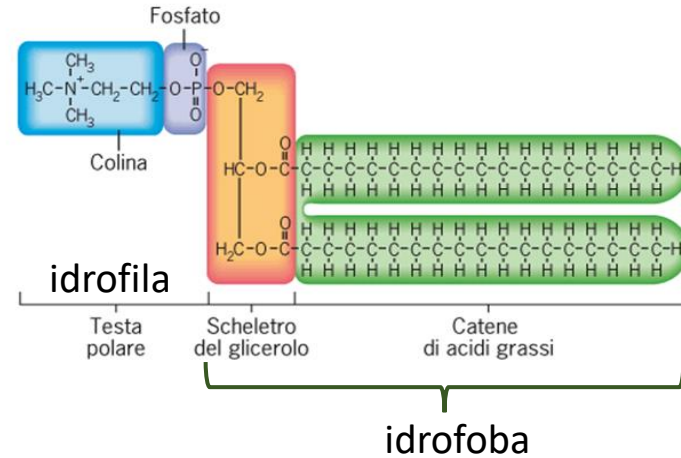
Modello a MOSAICO FLUIDO



LIPIDI
(40-50 %)

FOSFOLIPIDI

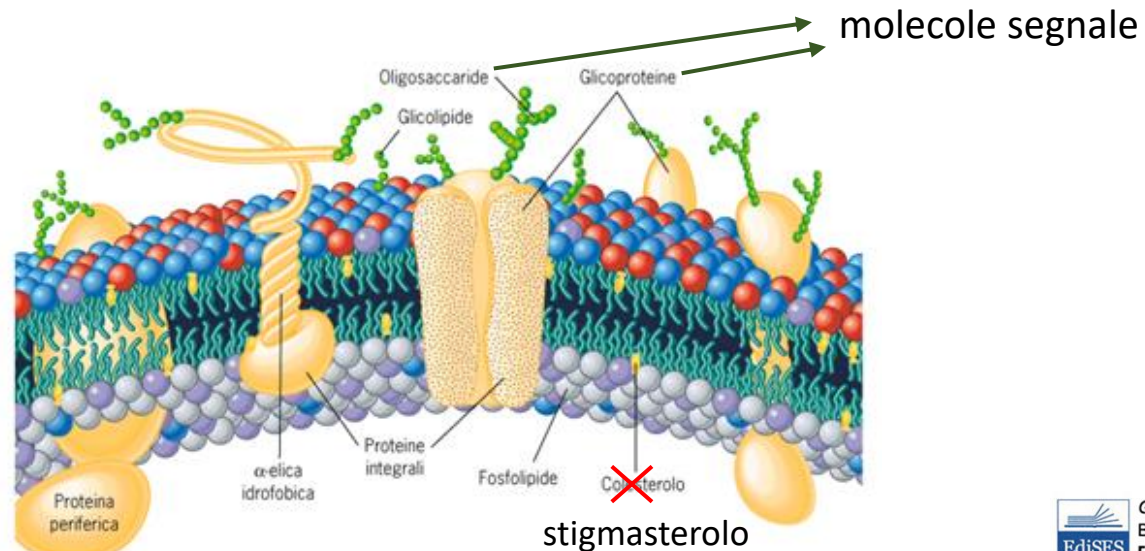
STEROLI
(stigmasterolo)



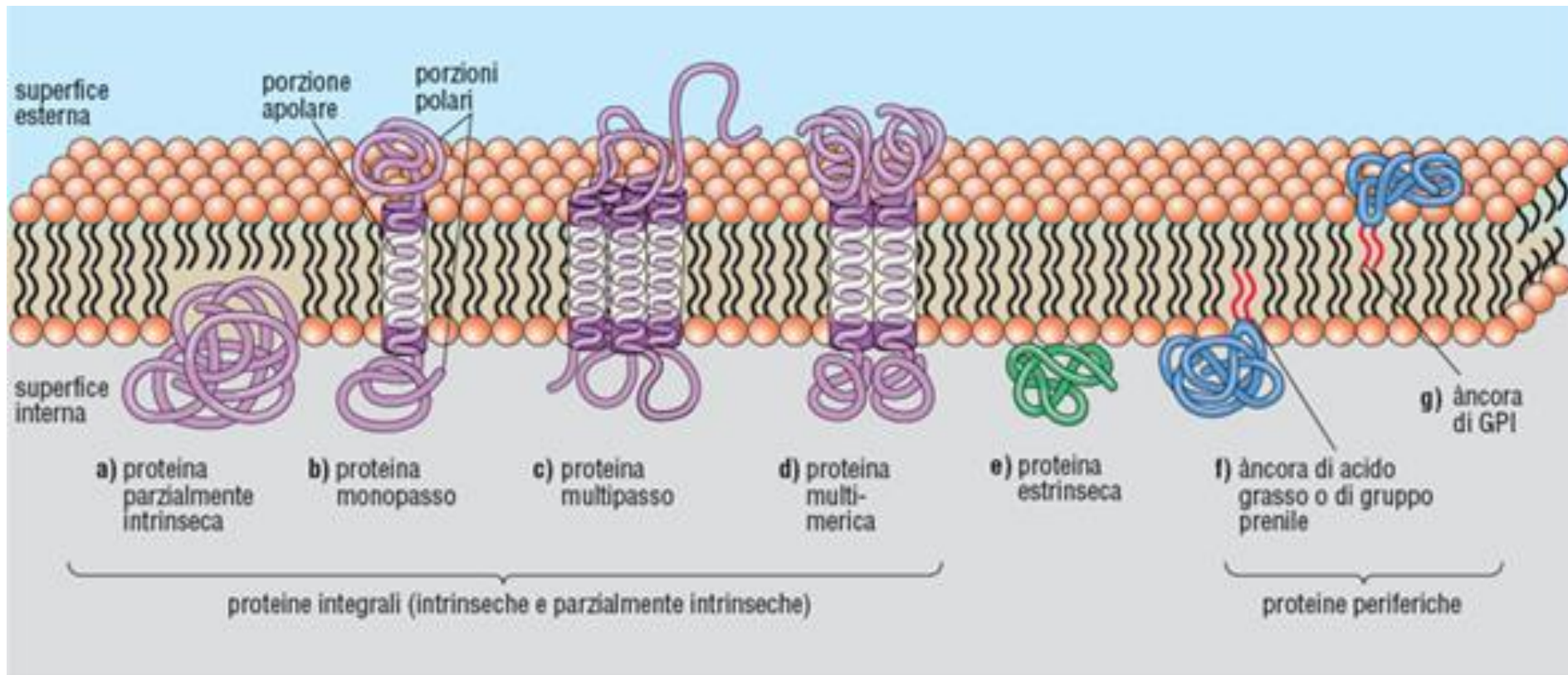
PROTEINE
(60-50%)

- TRANSMEMBRANA (attraversano il doppio strato)
- INTEGRALI (legano lipidi e sono strettamente associate alla membrana)
- PERIFERICHE (non penetrano nel doppio strato; idrofile)

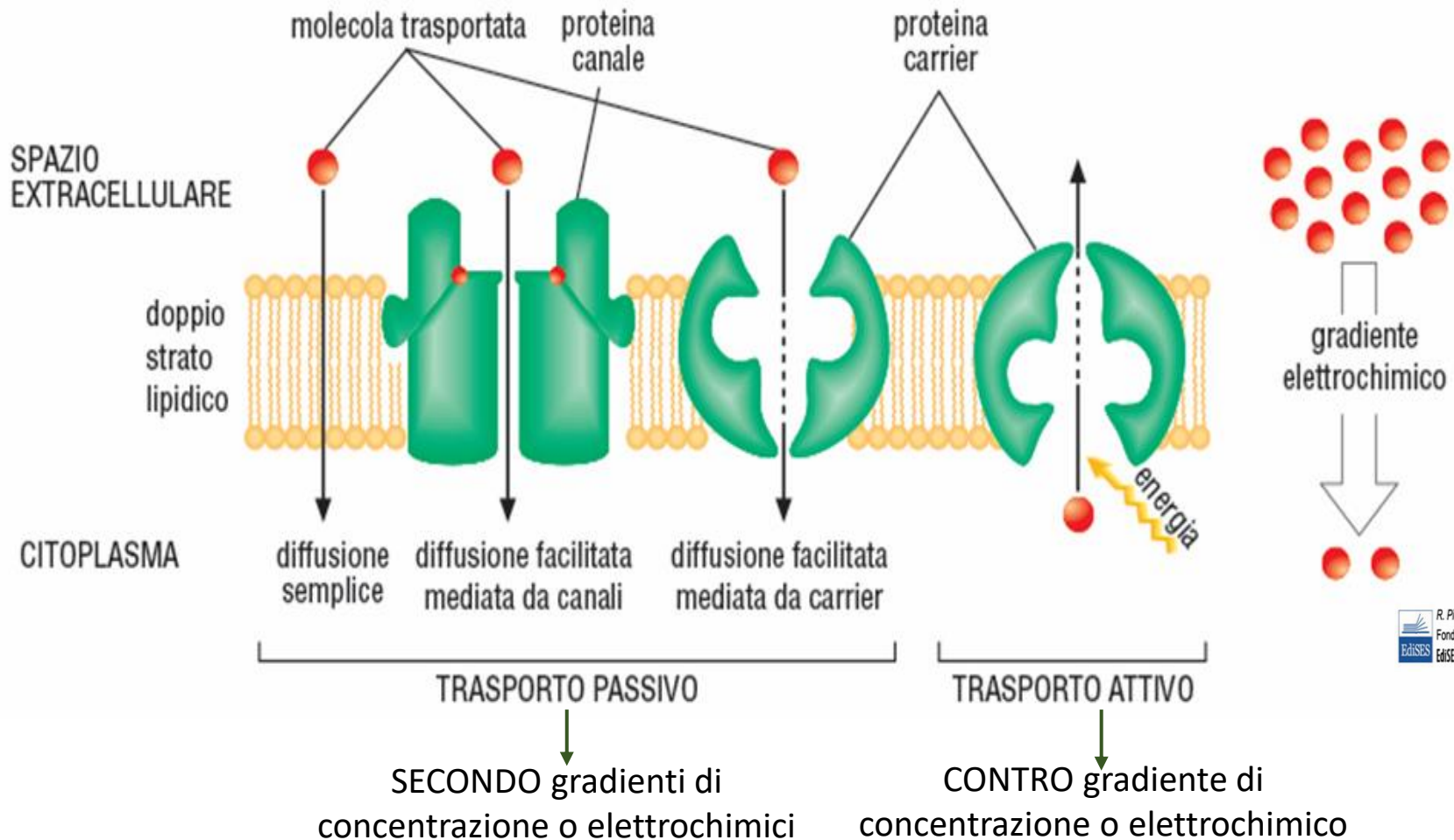
Funzionalità della membrana



Principali classi di proteine di membrana

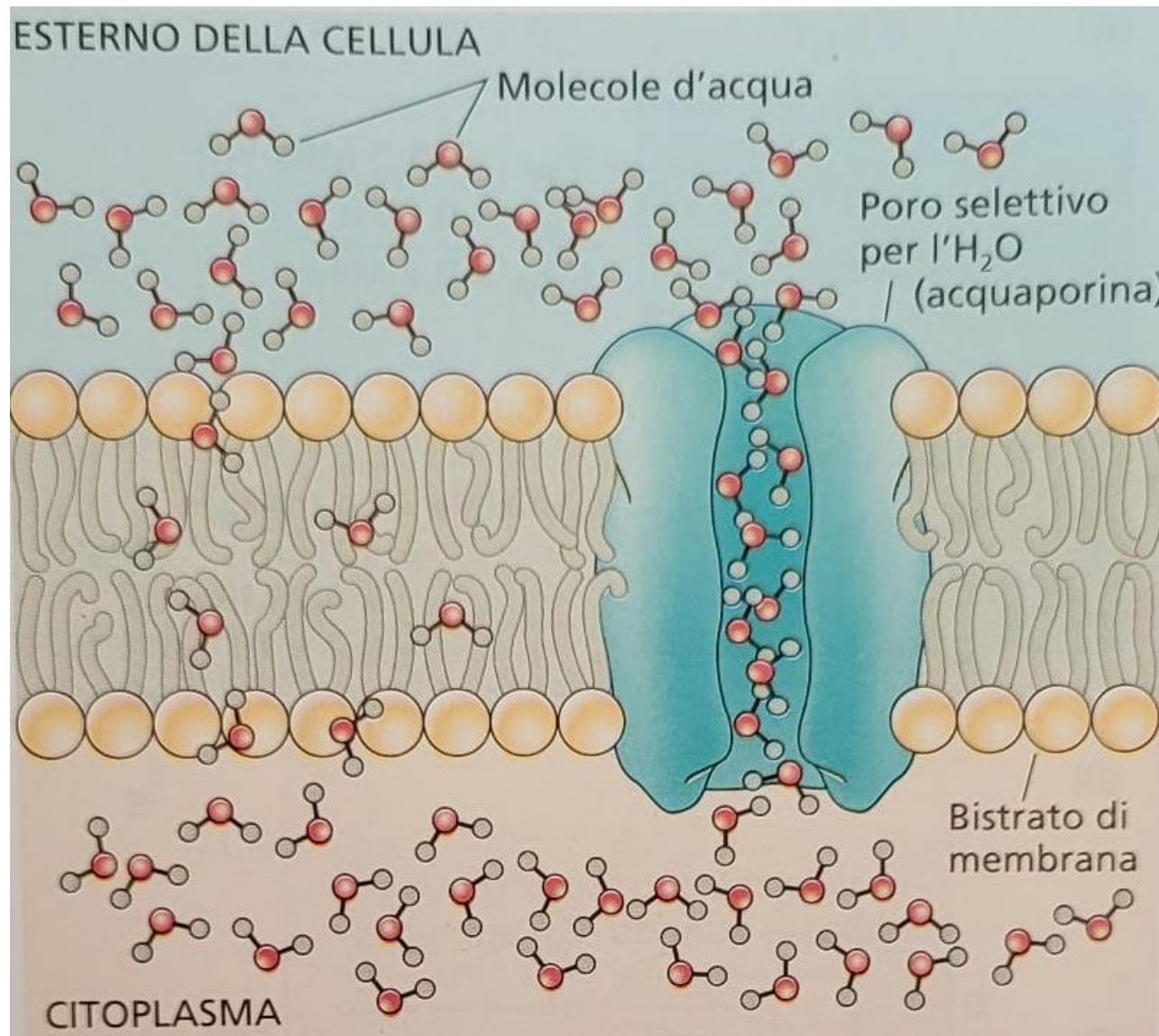


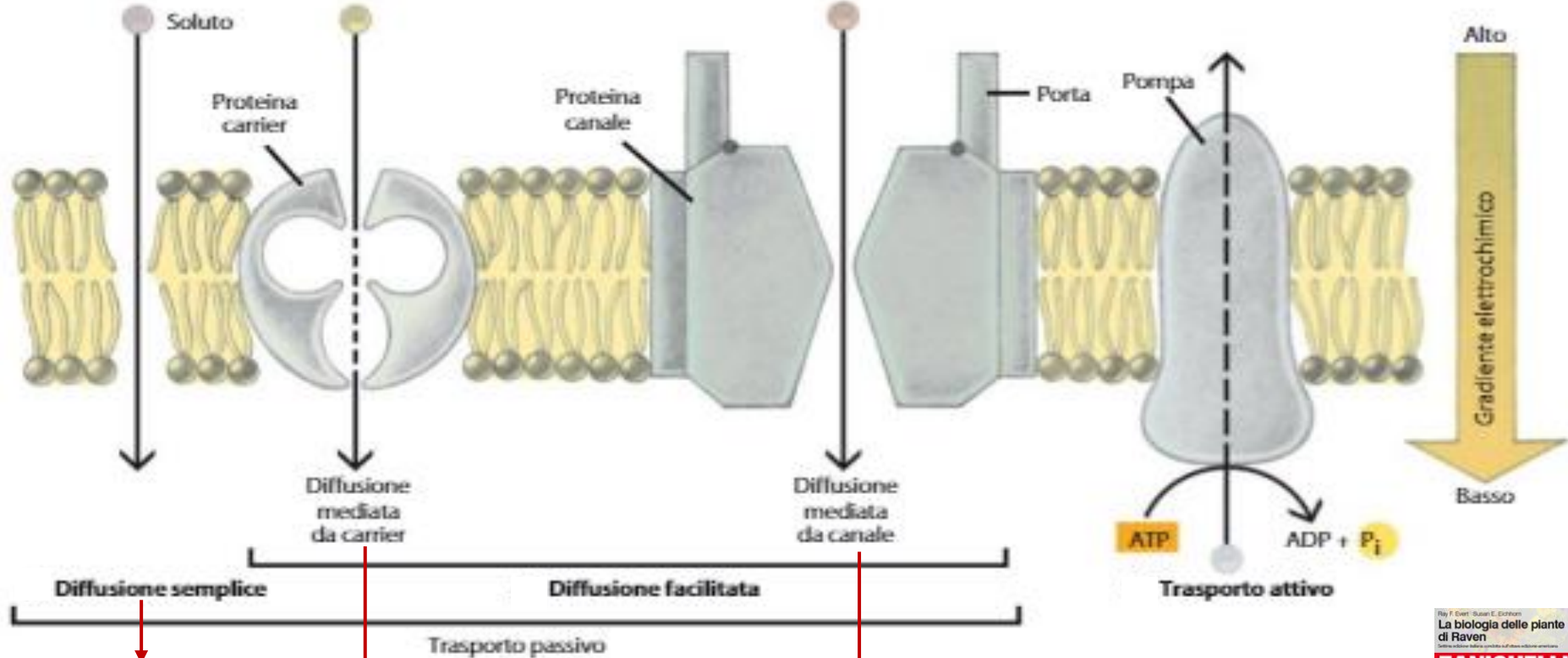
Trasporto di soluti attraverso la membrana plasmatica



Gradiente di concentrazione: differenza di concentrazione ai due lati della membrana
Gradiente elettrochimico: gradiente di concentrazione e potenziale di membrana (distribuzione disuguale degli ioni attraverso la membrana)

ACQUAPORINE: proteine integrali che formano canali selettivi per l'acqua, facilitano la diffusione dell'acqua nelle cellule

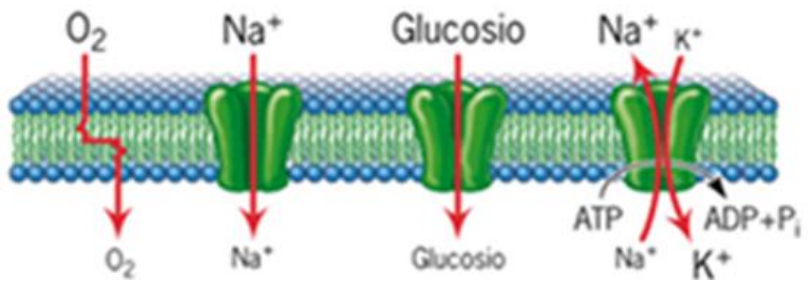




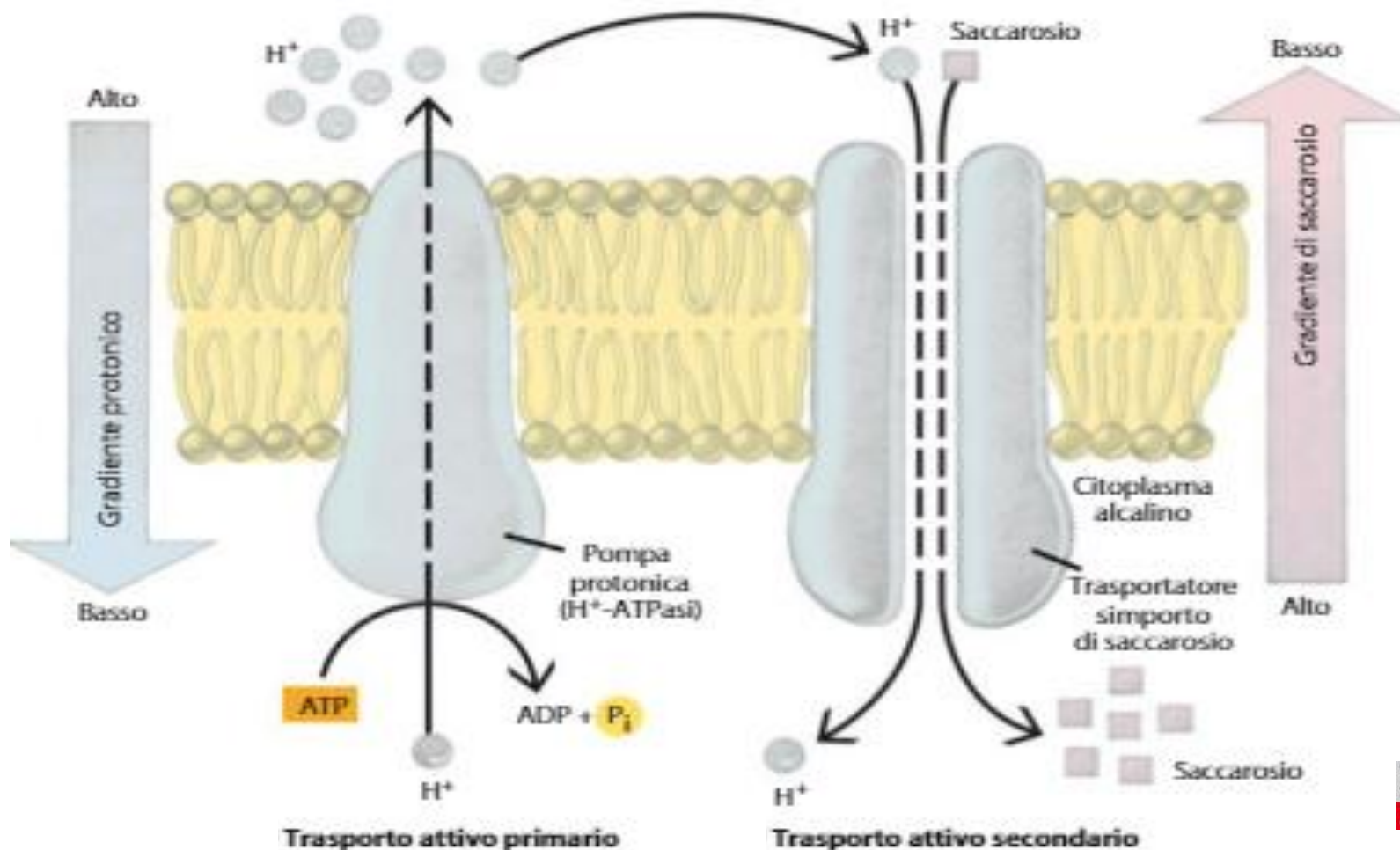
Apolari: O_2 , CO_2
 Polari: acqua

soluto specifico; cambiamento
 conformazionale

"porte" (*gating*) per il passaggio di
 determinati soluti (Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Cl^-)



Il trasporto attivo è sempre mediato da proteine carrier (co-trasportatore)

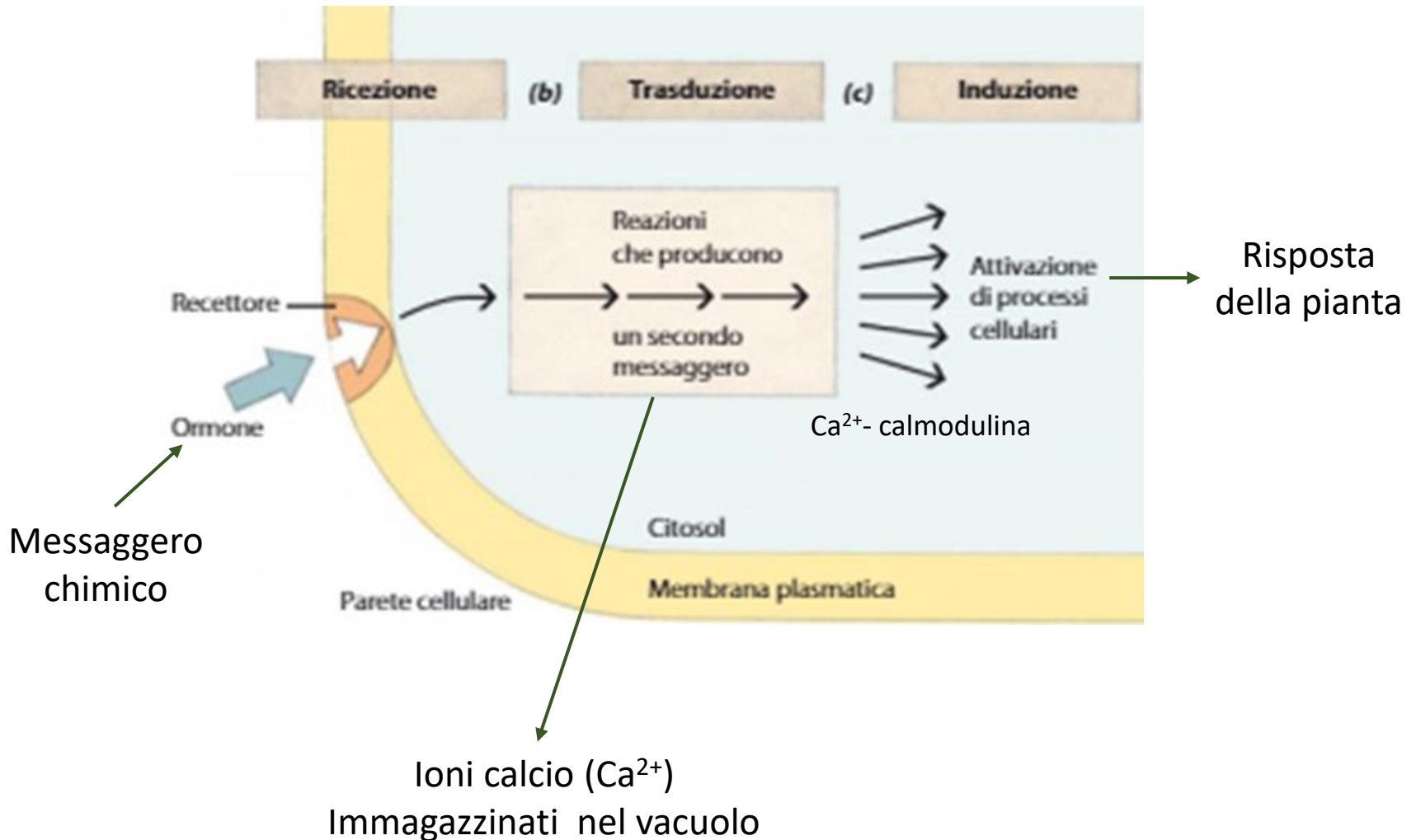


H^+ contro gradiente crea gradiente protonico che fornisce energia per il trasporto del saccarosio contro gradiente di concentrazione

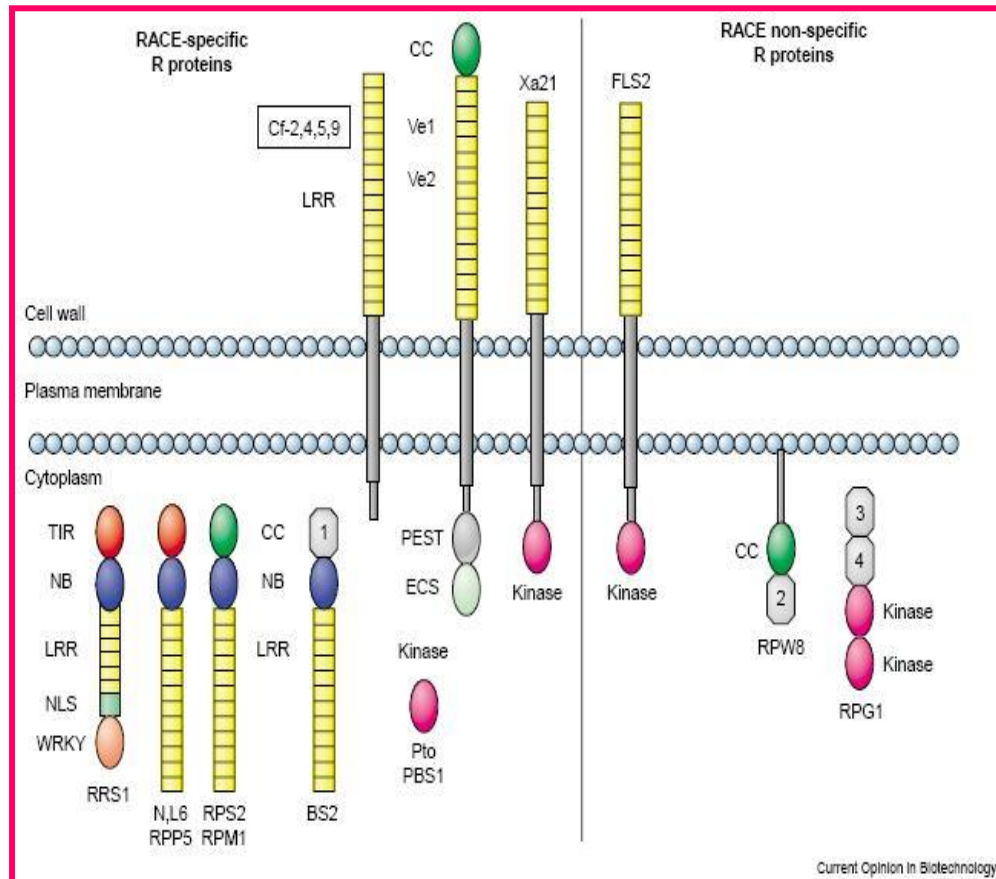
SIMPORTO: trasporto di due soluti (co-trasporto) nella stessa direzione
ANTIPORTO: trasporto di due soluti (co-trasporto) nella direzione opposta

Trasduzione del segnale

conversione di un segnale esterno in una risposta cellulare/fisiologica



Proteine di resistenza



(Hammond-Kosach K. & J.E. Parker, Curr Opin Biotech 2003, 14: 177-193)

Leucine-rich repeats (LRR)
specificità nel riconoscere e
regolare le interazioni

Nucleotide binding sites (NB)
cambiamenti conformazionali
per trasmettere il segnale

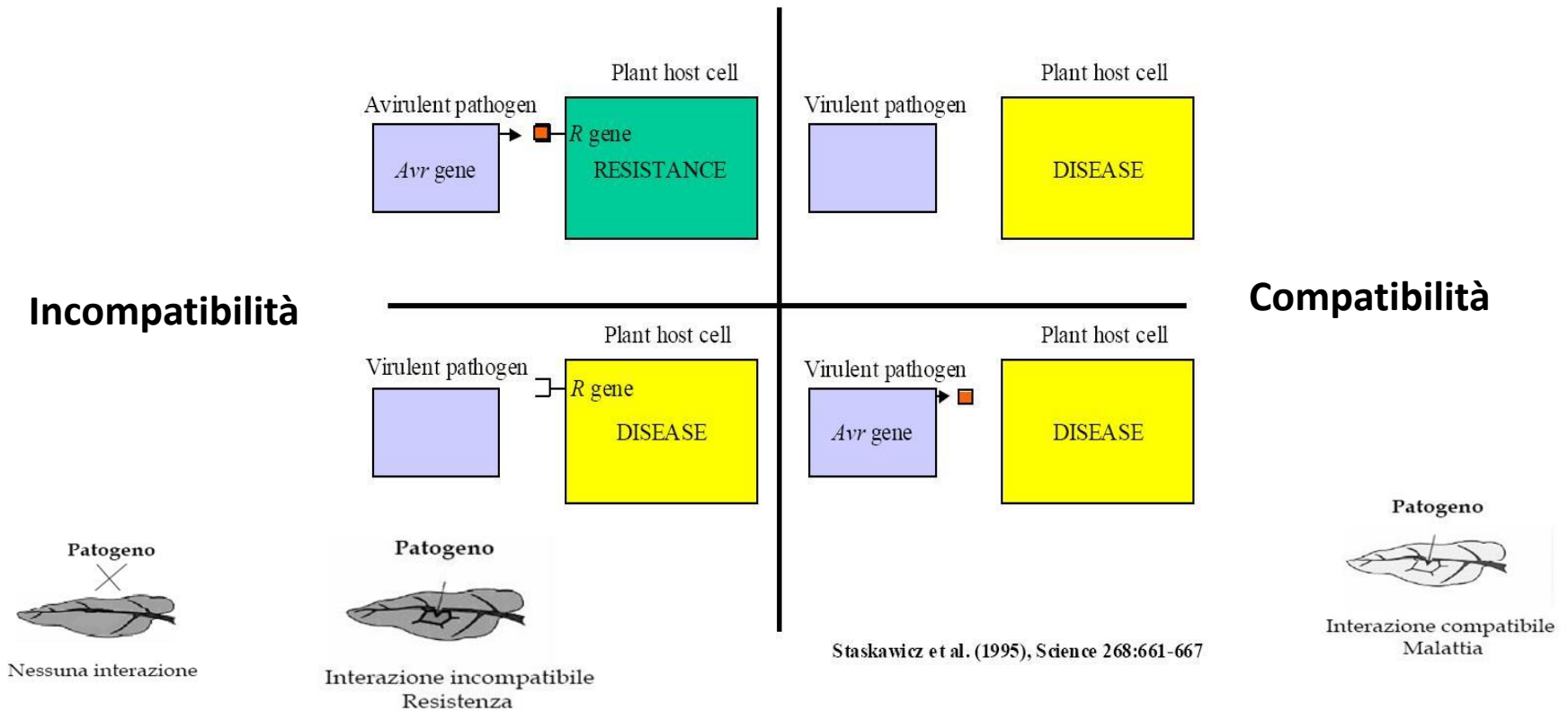
WRKY pianta-specifico
riconosce elementi multipli
indotti dal patogeno

Teoria "GENE FOR GENE"

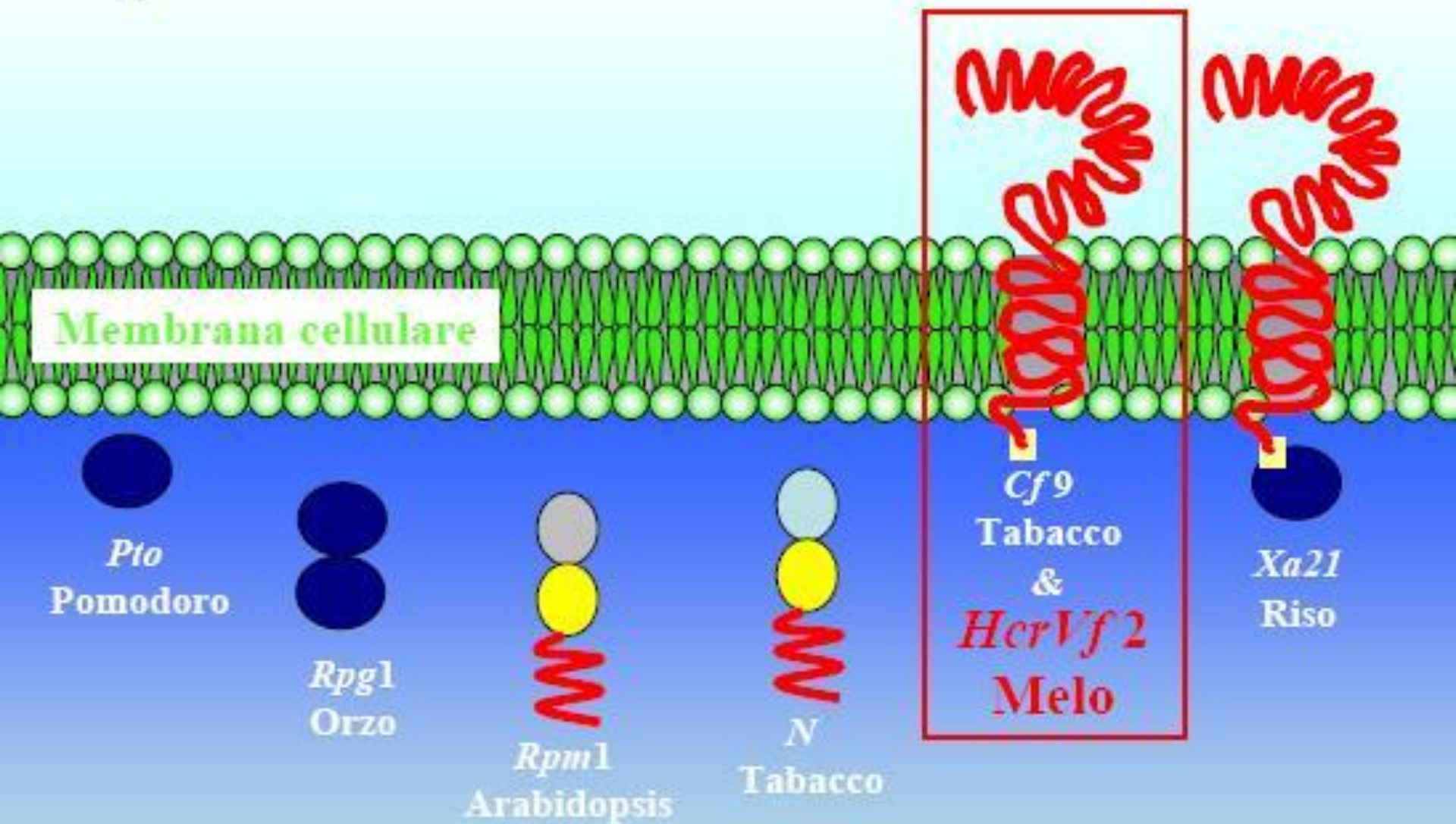
(Flor H.H., 1942; 1971)

"Per ciascun gene che conferisce resistenza all'ospite esiste un corrispondente gene che conferisce avirulenza al patogeno e viceversa"

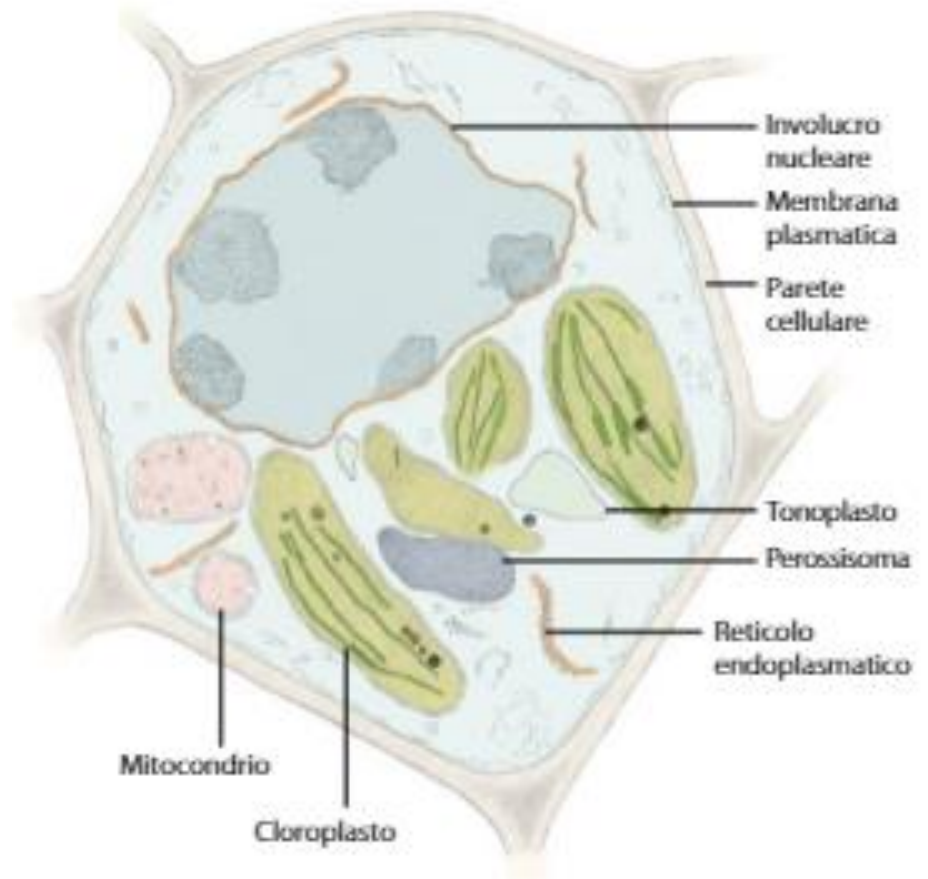
Gene-for-gene interactions



Tipi di Geni di Resistenza



Membrane cellulari



CITOPLASMA

Citosol = succo cellulare o matrice citoplasmatica



Organelli delimitati da due membrane: *plastidi e mitocondri*

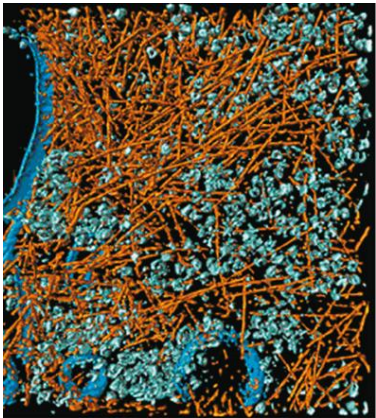
Organelli delimitati da una sola membrana: *perossisomi, vacuolo*

Sistema di membrane: *reticolo endoplasmatico, apparato del Golgi ecc.*

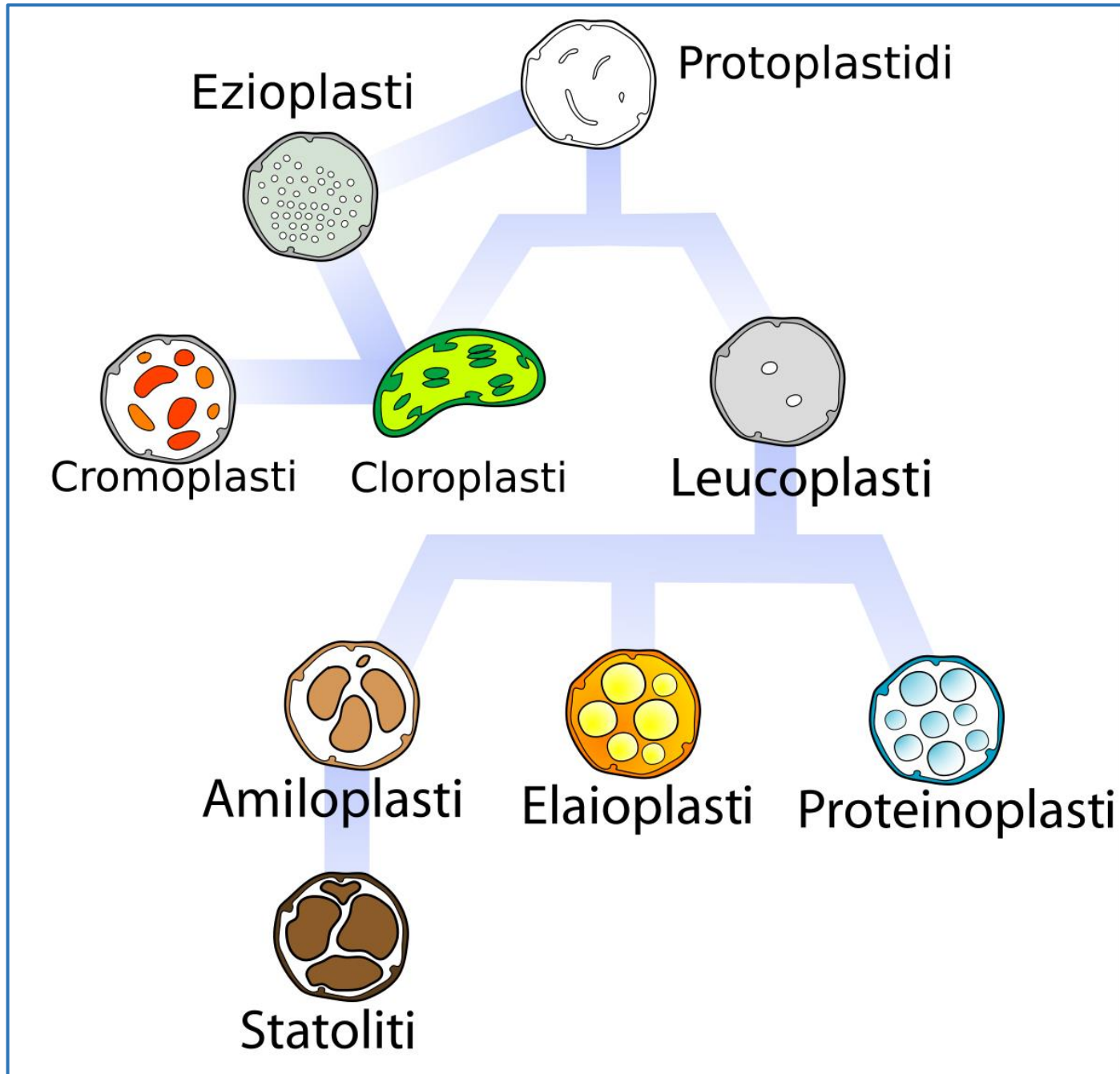
Citoscheletro: *microtubuli e filamenti di actina*

Organelli privi di membrana: *ribosomi*

Il citoplasma è in continuo movimento: *correnti citoplasmatiche o ciclosi*



I PLASTIDI



Caratteristiche comuni

✓ Involucro a doppia membrana

esterna: permeabile al passaggio di composti plastidiali

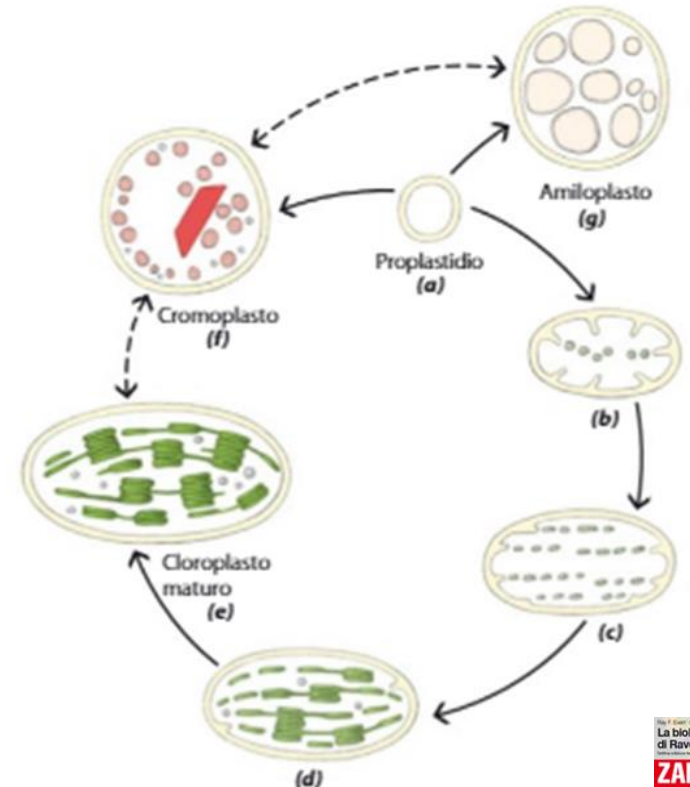
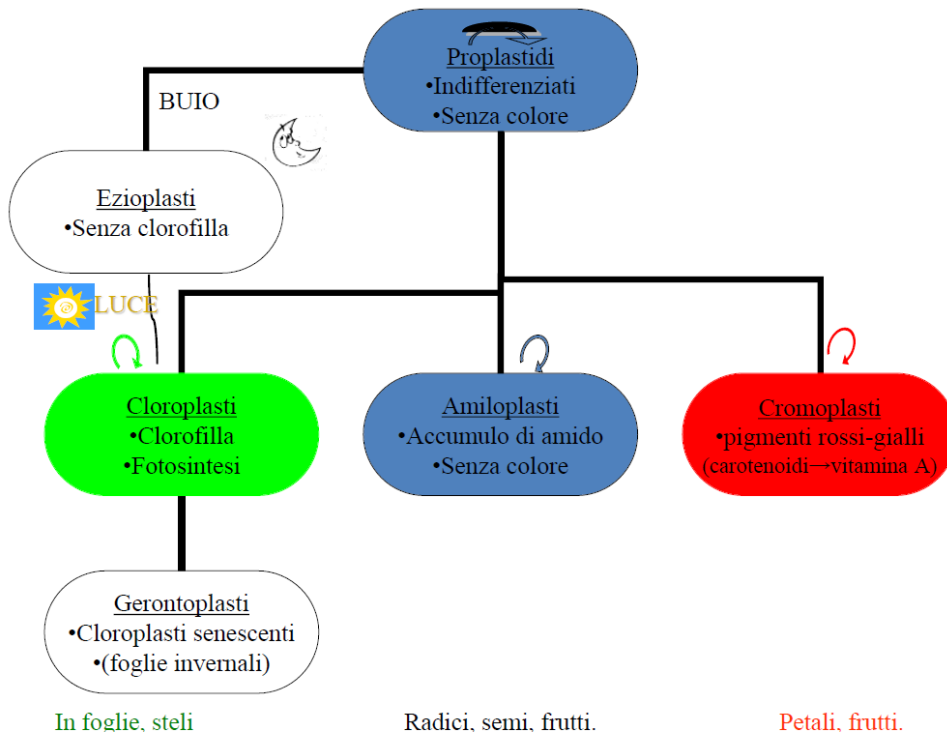
interna: regola il flusso di metaboliti e ioni inorganici

✓ Matrice interna "STROMA" contenente metaboliti, ioni, proteine, ribosomi, DNA, lipidi

✓ Hanno proprio DNA e apparato trascrizionale/traduzionale

✓ Numero variabile in base al tipo cellulare e allo stato fisiologico della pianta

✓ Plasticità nella differenziazione: fattori genetici organo e tessuto specifici



Cloroplasti

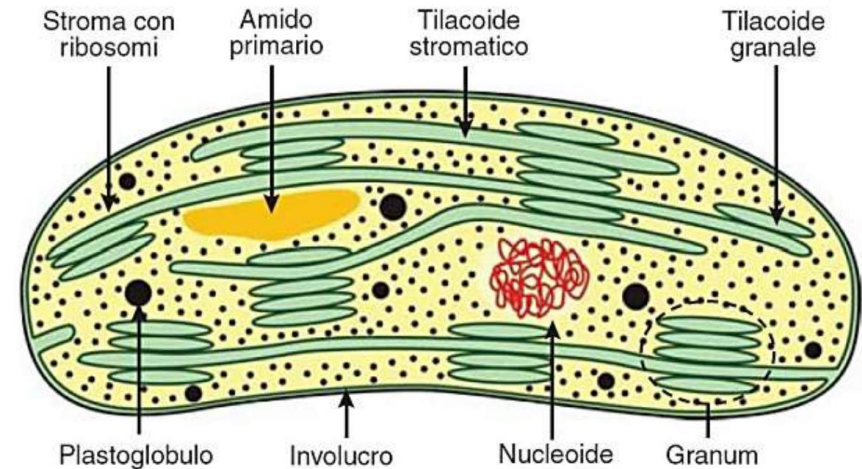
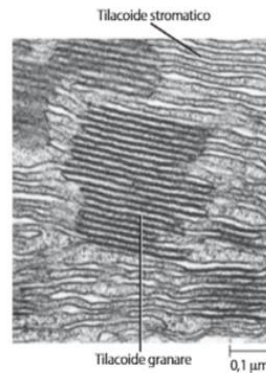
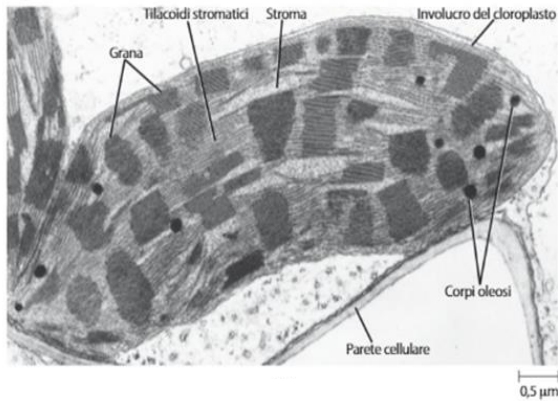
Organelli **semiautonomi metabolicamente attivi**

(piante, alghe e cianobatteri)

FOTOSINTESI CLOROFILLIANA

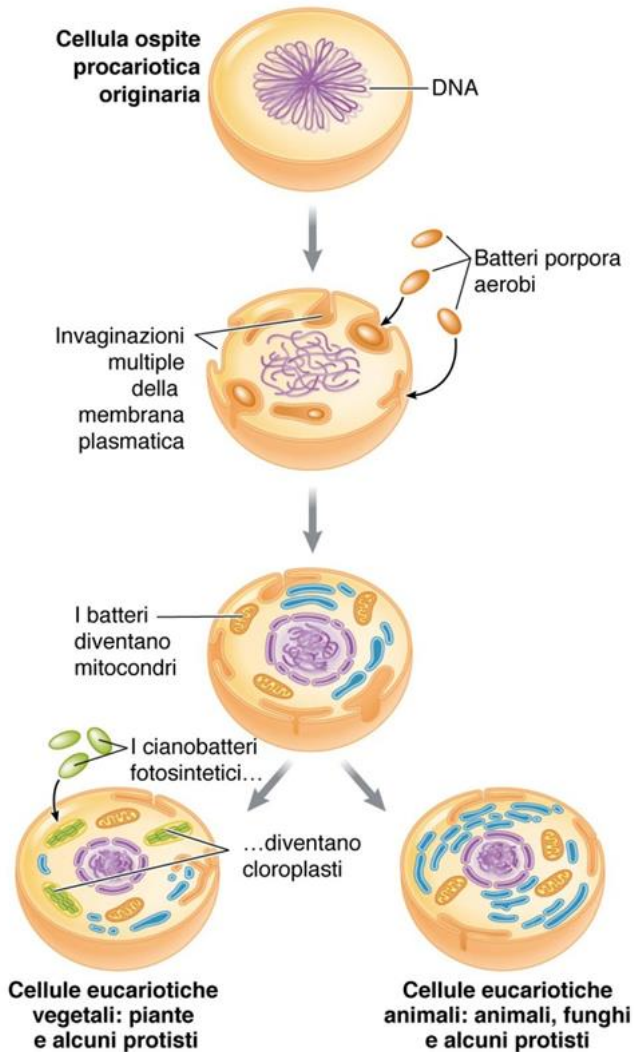
utilizzano l'energia solare, acqua, minerali e anidride carbonica per sintetizzare composti organici

- **TILACOIDI:** clorofilla e carotenoidi
- **STROMA:** ribosomi (70S), DNA, amido primario, lipidi (plastoglobuli)
- Forma e numero variabile; divisione indipendente dal nucleo
- Orientamento verso la luce
- Sintesi di amminoacidi, acidi grassi, ormoni, vitamine e metaboliti secondari

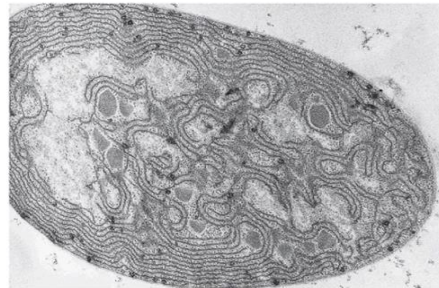


Teoria endosimbiontica

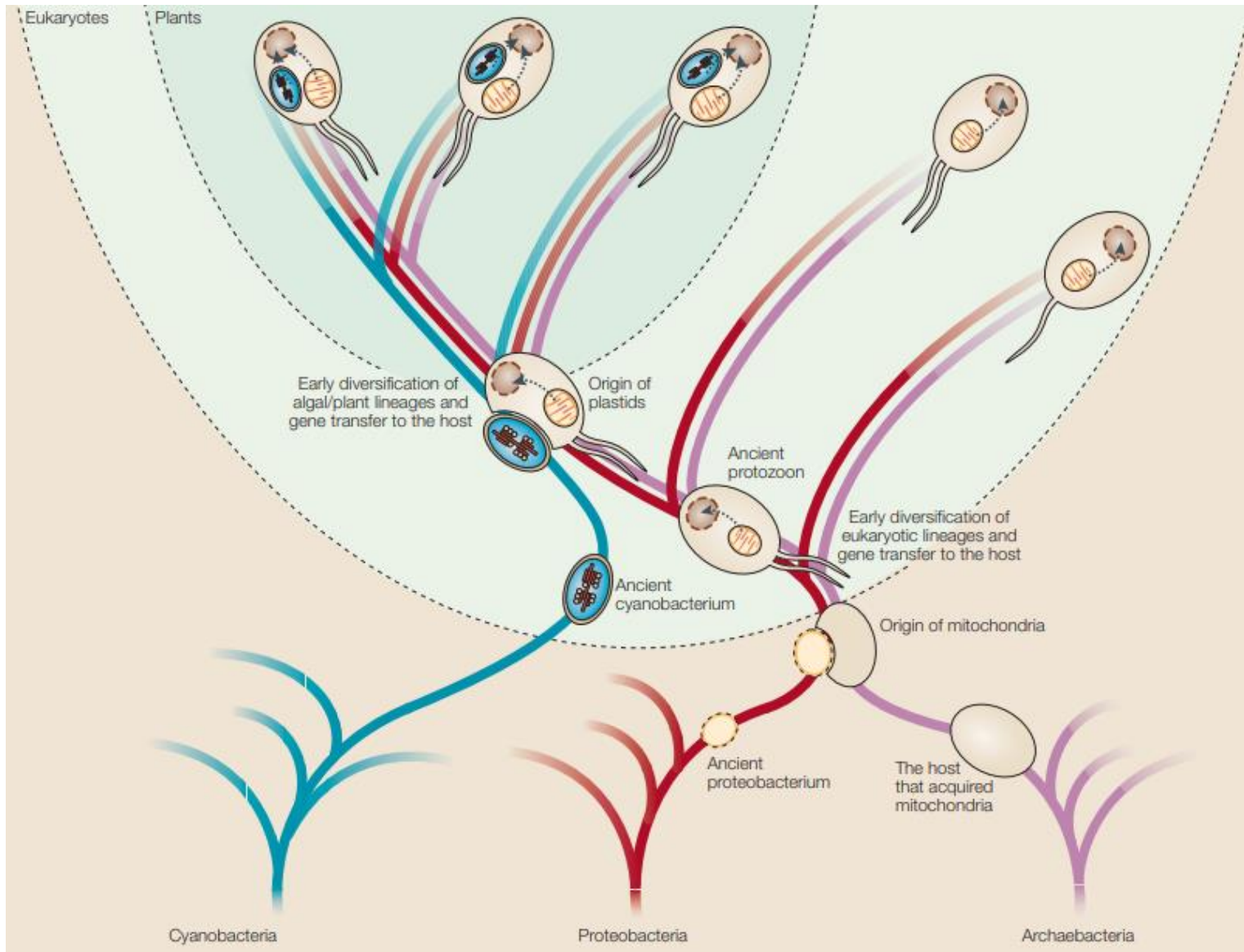
Plastidi e mitocondri possono essere derivati da cianobatteri inglobati all'interno delle prime cellule eucariotiche



Martin W, Rujan T, Richly E, Hansen A, Cornelsen S, Lins T, Leister D, Stoebe B, Hasegawa M, Penny D (2002) Evolutionary analysis of *Arabidopsis*, cyanobacterial, and chloroplast genomes reveals plastid phylogeny and thousands of cyanobacterial genes in the nucleus. Proc Natl Acad Sci USA 99:12246–12251

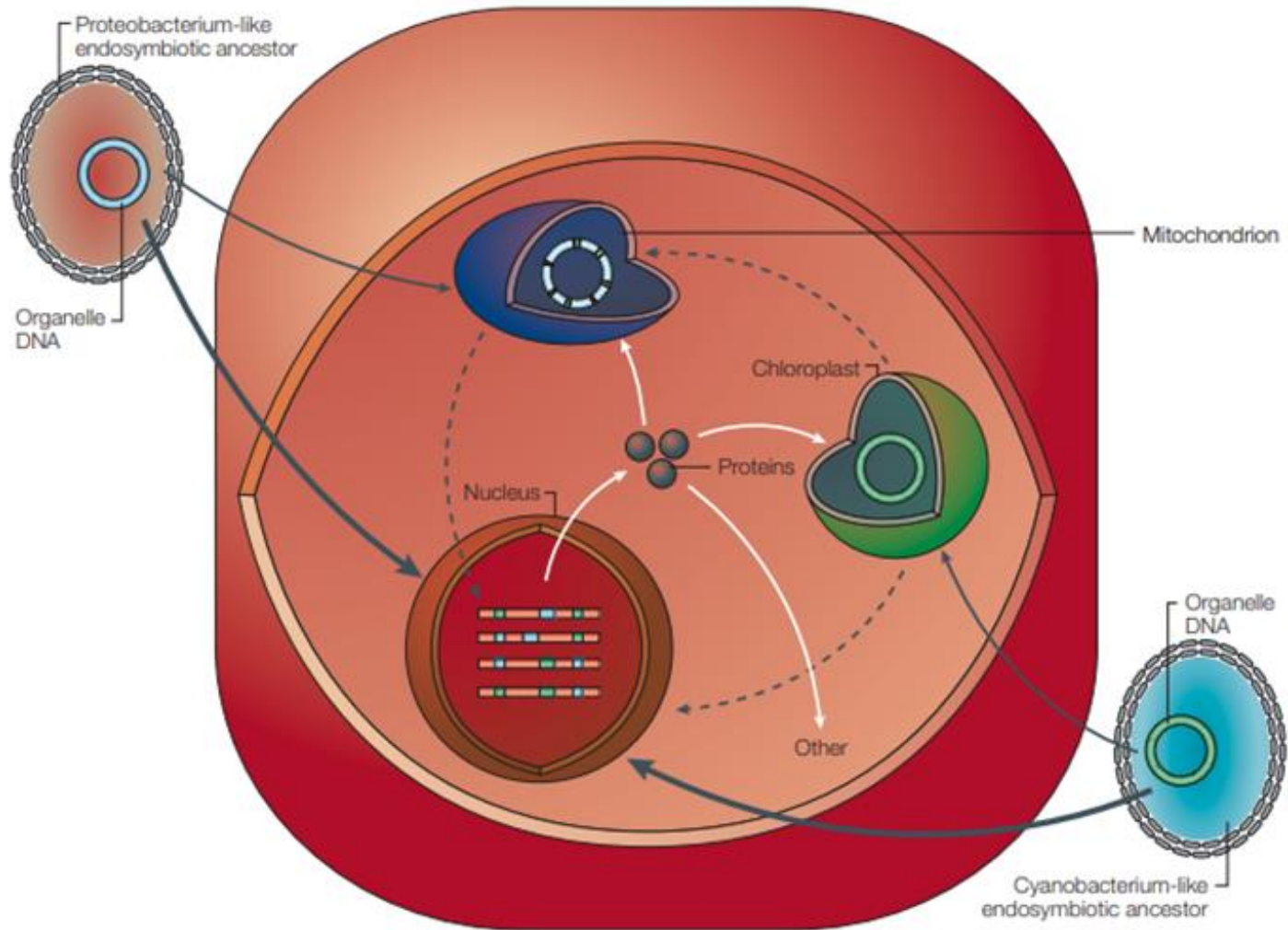


co-evoluzione dei genomi nucleari e degli organelli



Timmis et al., 2004. Endosymbiotic gene transfer: organelle genomes forge eukaryotic chromosomes. NATURE REVIEWS, 5: 123-135

Il cloroplasto dipende dai geni nucleari ed importa più del 90% delle proteine dal citoplasma



I tilacoidi

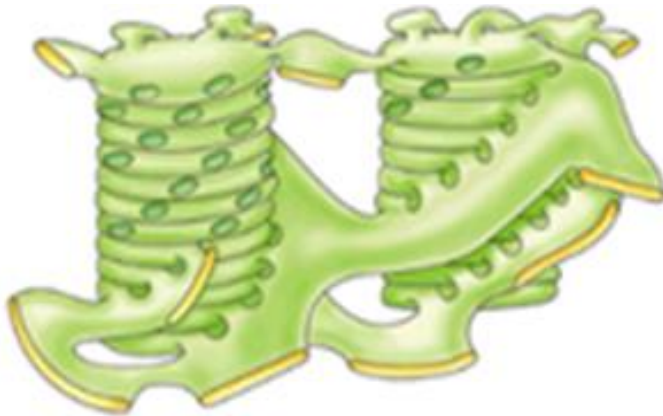
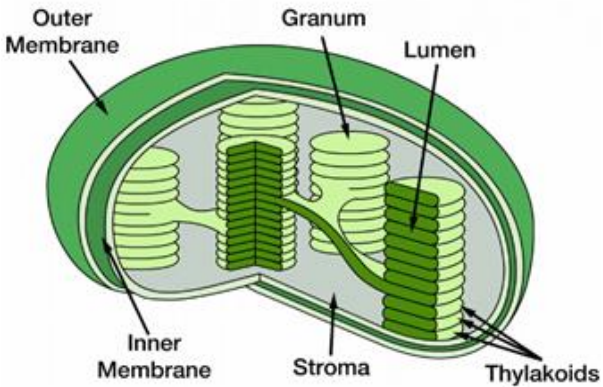
cisterne delimitate da membrana

Sede della fotosintesi

Si distinguono in:

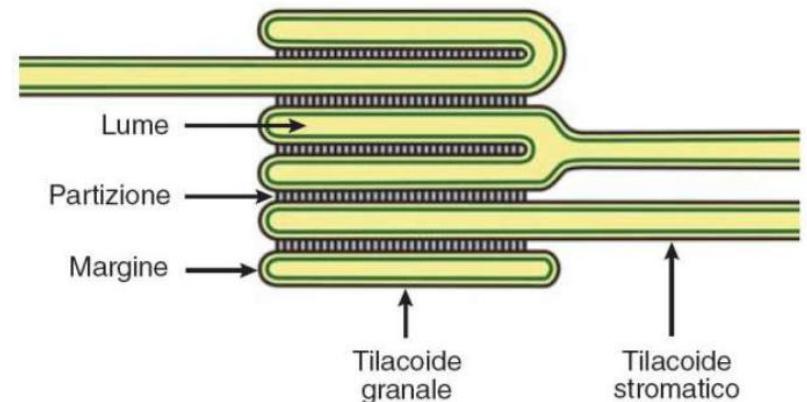
Tilacoidi dei grana (*granum*)

Tilacoidi stromatici (intergrana)

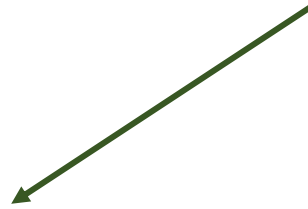


Alcuni tilacoidi stromatici ascendono ad elica (destrogiro) intorno al grana in modo che gli spazi interni dei tilacoidi siano interconnessi tra loro.

GRANA: pile di tilacoidi a forma di disco distanziati tra loro e connessi dai tilacoidi stromatici



MEMBRANA ESTERNA permeabile a molecole piccole attraverso canali, *porine*
MEMBRANA INTERNA molto selettiva; *proteine trasportatrici specifiche*

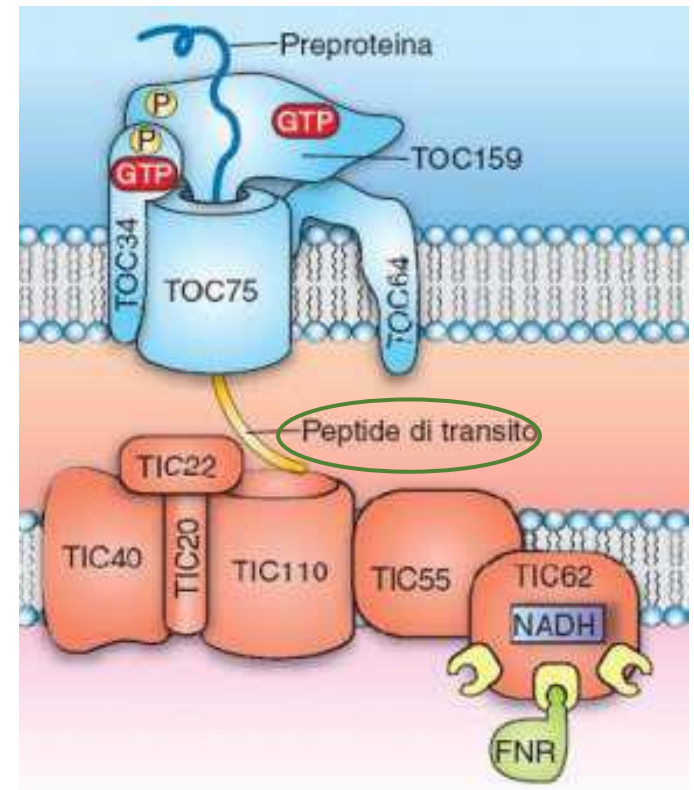


Le proteine per il cloroplasto hanno un piccolo peptide di transito nella porzione ammino-terminale (eliminato durante il passaggio)



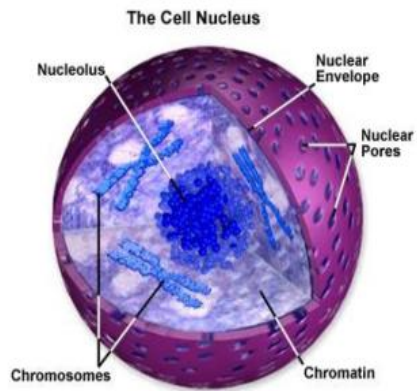
Complessi multiproteici

- TOC= Translocon of Outer Envelop of chloroplast
- TIC =Translocon of Inner Envelop of Chloroplast

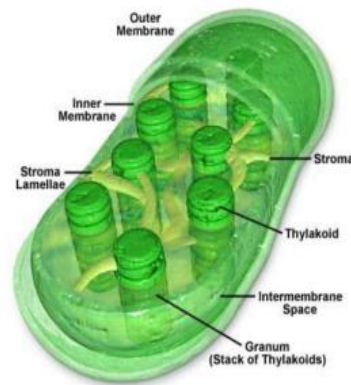


Nella cellula vegetale sono presenti tre genomi

NUCLEO



CLOROPLASTO



MITOCONDRIO

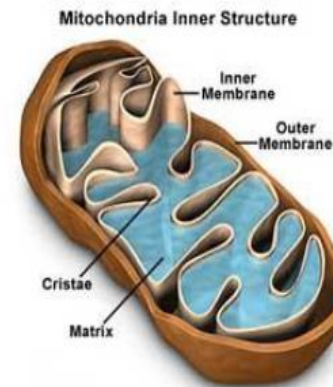
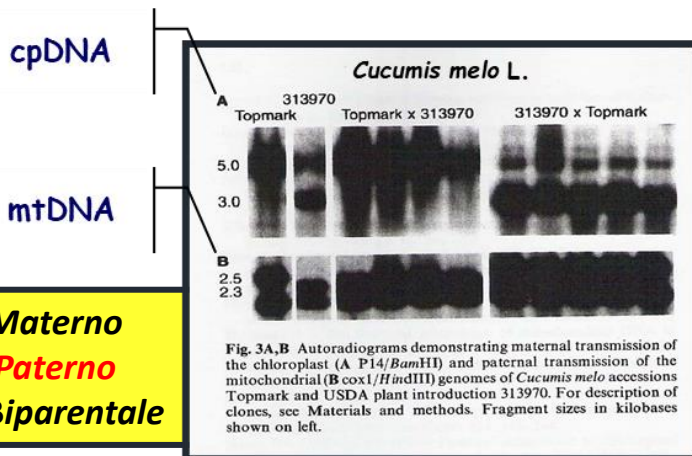


Foto dal web

- Ereditarietà mendeliana: DNA nucleare
- Ereditarietà non mendeliana: DNA del cloroplasto e del mitocondrio

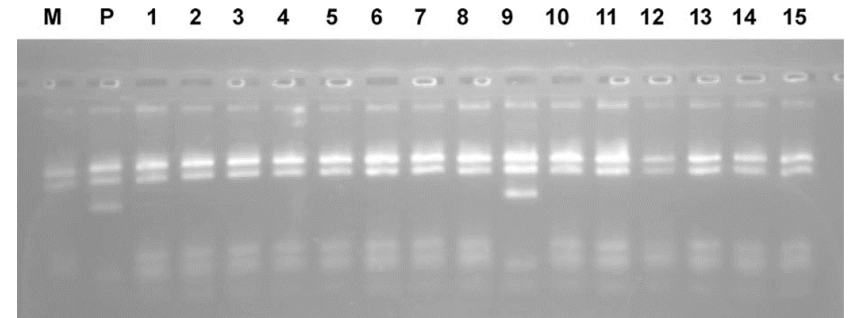


UNIPARENTALE – MATERNA (predominante)



cpDNA: **Materno**
 mtDNA: **Paterno**
 ntDNA: **Biparentale**

Havey et al., 1998. Differential transmission of the *Cucumis* organellar genomes. *Theor Appl Genet*, 97: 122-128

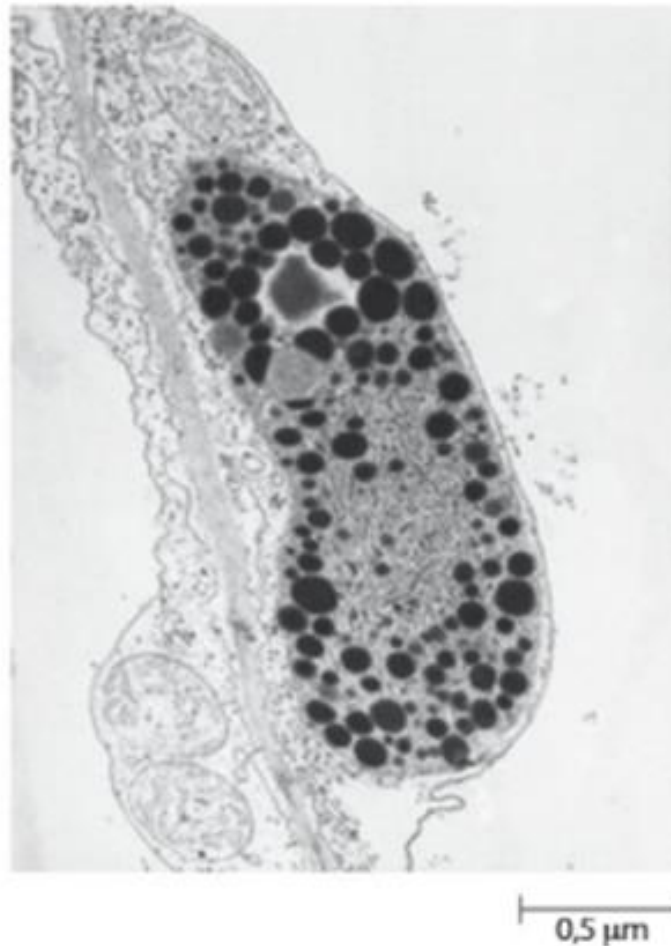


McCauley et al., 2007. Inheritance of chloroplast DNA is not strictly maternal in *Silene vulgaris* (Caryophyllaceae): evidence from experimental crosses and natural populations. *American J of Botany*, 94(8): 1333-1337

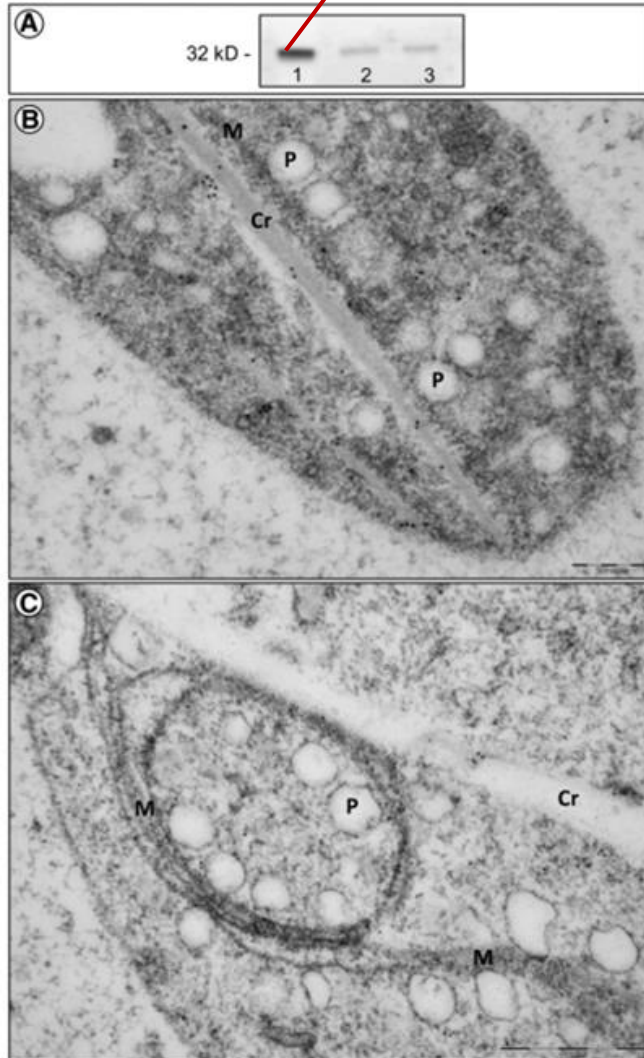
CROMOPLASTI

- Plastidi privi di clorofilla
- Presenza di membrane interne ma mancano di tilacoidi
- Sintetizzano e accumulano carotenoidi in goccioline lipidiche giallo – arancio (plastoglobuli), in cristalli, legati a membrane interne

COLORAZIONE DI
FRUTTI E FIORI



citocromo c6: respirazione cromoplastica (produzione di ATP);
proteina che i cromoplasti hanno ereditato direttamente dai
cianobatteri per endosimbiosi



Tomato Fruit Chromoplasts Behave as Respiratory Bioenergetic Organelles during Ripening¹[\[W\]\[OPEN\]](#)

Marta Renato, Irini Pateraki², Albert Boronat*, and Joaquín Azcón-Bieto*

Plant Physiology[®], October 2014, Vol. 166, pp. 920–933, www.plantphysiol.org © 2014 American Society of Plant Biologists. All Rights Reserved.
Downloaded from www.plantphysiol.org on October 13, 2014 - Published by www.plant.org
Copyright © 2014 American Society of Plant Biologists. All rights reserved.



terzo organulo bioenergetico della cellula vegetale

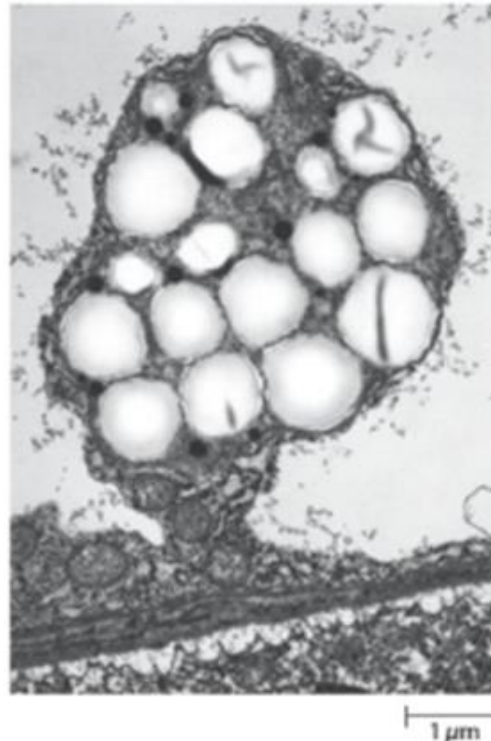
LEUCOPLASTI

- ✓ Localizzati nei tessuti non clorofilliani
- ✓ Privi di pigmenti e del sistema di membrane interne
- ✓ Funzione di riserva: sintesi e accumulo di amido, proteine e lipidi



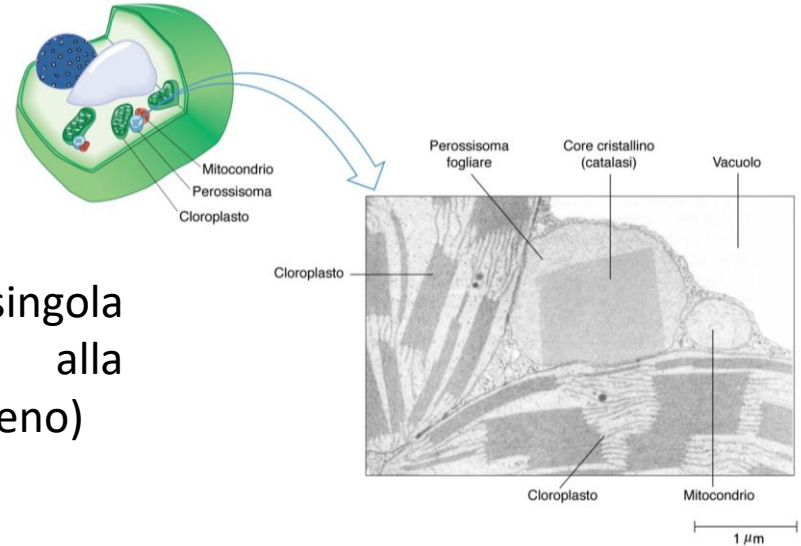
AMILOPLASTI

sintesi (polimerizzazione del glucosio) e accumulo di amido (granuli di amido secondario) nei tessuti di riserva del fusto, della radice e del seme



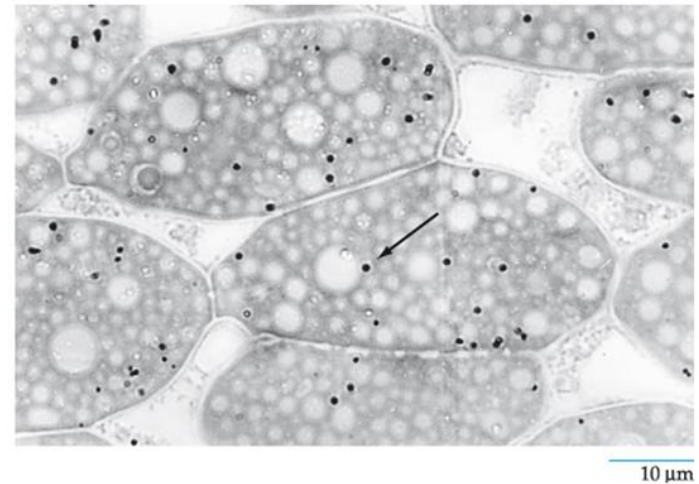
Microcorpi

Specializzati in particolari vie metaboliche



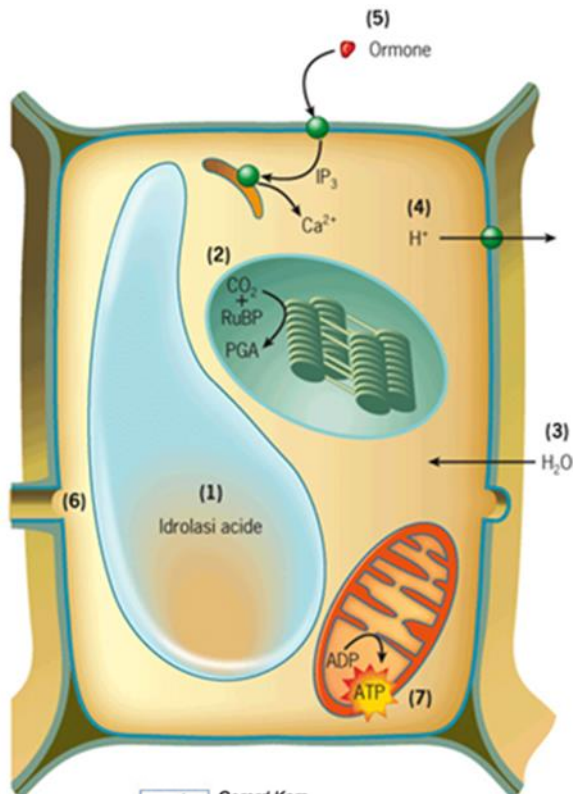
Perossisomi: organelli sferici a membrana singola nella cellula vegetale sono associati alla fotorespirazione (consumo O₂ dall'acido glicogeno)

Gliossisomi: contengono enzimi del ciclo del gliossilato che converte gli acidi grassi di riserva in zuccheri traslocati al germoglio per fornire energia durante la germinazione (presenti nei semi che accumulano grassi)

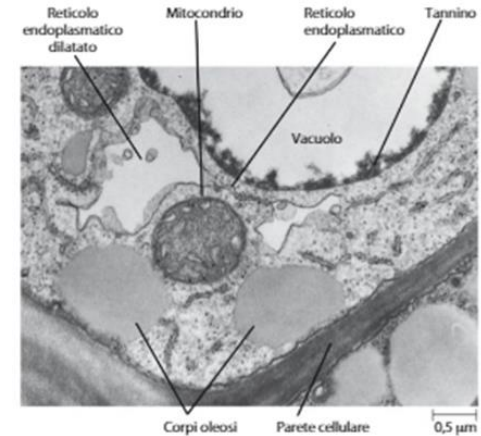


VACUOLO

- Occupa più del 90% del volume in una cellula matura: Pressione di TURGORE
- Membrana singola TONOPLASTO (membrana vacuolare)
- SUCCO CELLULARE: acqua, ioni inorganici, zuccheri, acidi organici, amminoacidi, ossalato di calcio, proteine di riserva (semi), pigmenti (antocianine), enzimi idrolitici
- Accumulo di metaboliti secondari (difesa da patogeni)
- Degradazione di macromolecole, mitocondri e plastidi



Riserva
Digestione
Omeostasi ionica
Difesa da patogeni

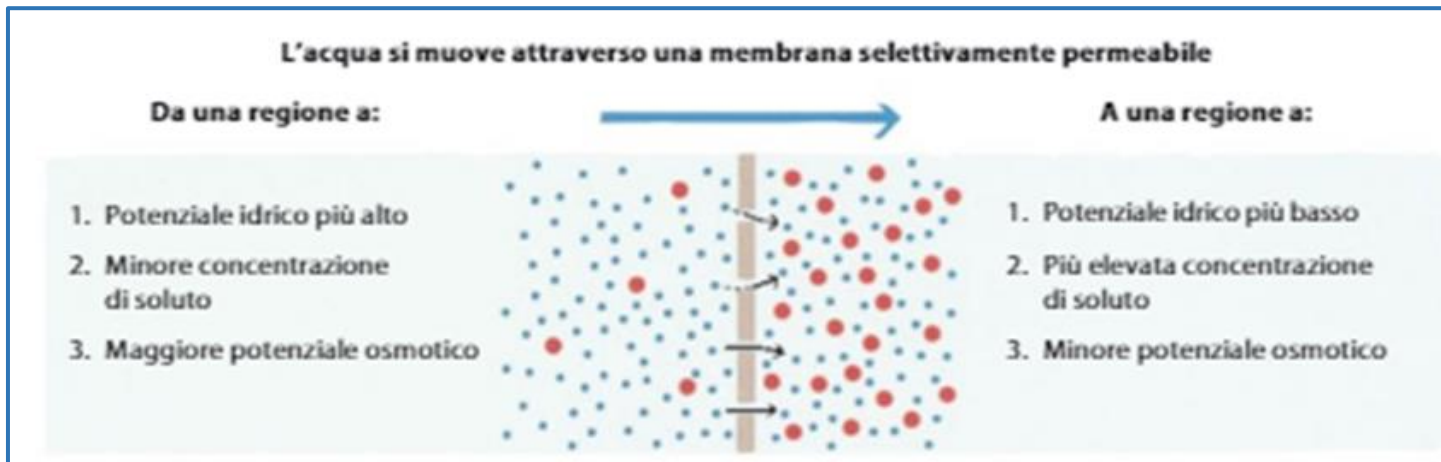


OSMOSI

movimento netto di acqua attraverso una membrana selettivamente permeabile

Potenziale chimico: energia libera posseduta da una sostanza in un determinato stato (energia potenziale)

POTENZIALE IDRICO: energia potenziale dell'acqua per unità di volume (equivalente all'unità di pressione espressa in pascal)



Il potenziale idrico è influenzato da:
Concentrazione, Pressione, Gravità

Concentrazione

POTENZIALE OSMOTICO

Effetto dei soluti sul potenziale idrico indipendentemente dalla natura del soluto.
I soluti diminuiscono l'energia libera dell'acqua (diluizione)

Pressione della soluzione

PRESSIONE IDROSTATICA (PRESSIONE DI TURGORE)

Se positiva aumenta il potenziale idrico

Se negativa riduce il potenziale idrico

Si misura come derivazione della pressione atmosferica

Potenziale idrico NEGATIVO: energia libera dell'acqua all'interno della cellula è inferiore a quella standard (acqua pura in condizioni standard)

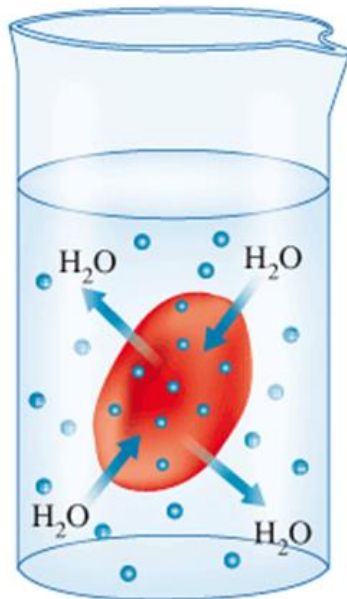
Risposta delle cellule ai cambiamenti dell'osmolarità

La concentrazione di soluti nei vacuoli è alta
pertanto la cellula richiama acqua per osmosi

pressione idrostatica interna

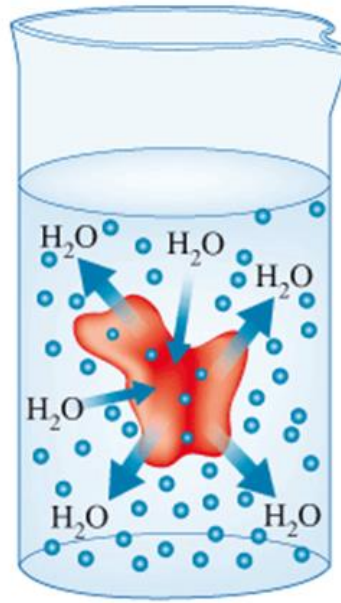
Cellula TURGIDA
e compatta

(a) Soluzione isotonica



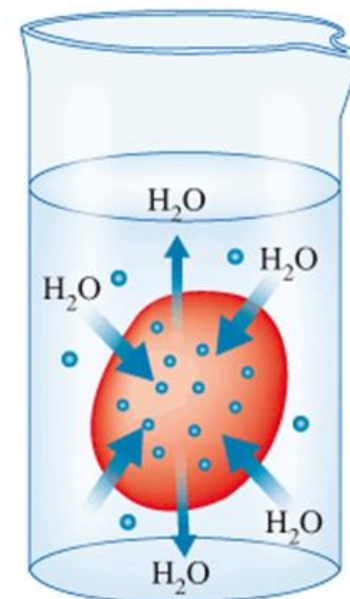
Né guadagno, né perdita
di acqua: conserva la sua forma

(b) Soluzione ipertonica



Perdita netta di acqua
La cellula si raggrinzisce

(c) Soluzione ipotonica



Guadagno netto di acqua
La cellula si gonfia

potenziale idrico cellula =
potenziale idrico della soluzione

potenziale idrico della soluzione
esterna è più basso (più negativo)
del potenziale idrico della cellula

potenziale idrico della soluzione
esterna è più alto (meno negativo)
del potenziale idrico della cellula



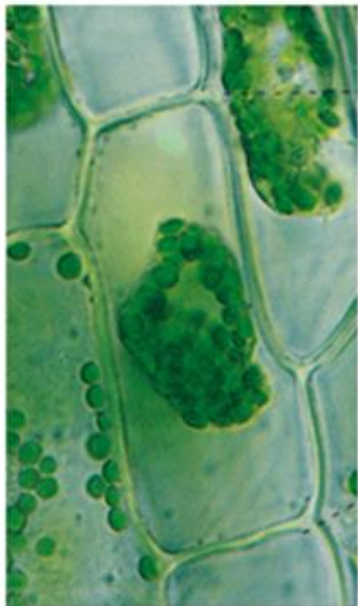
Ambiente ipotonico
Normale pressione di turgore

Bassa concentrazione di soluti (acqua dolce)
l'acqua tende a fluire nelle cellule



Pressione di turgore

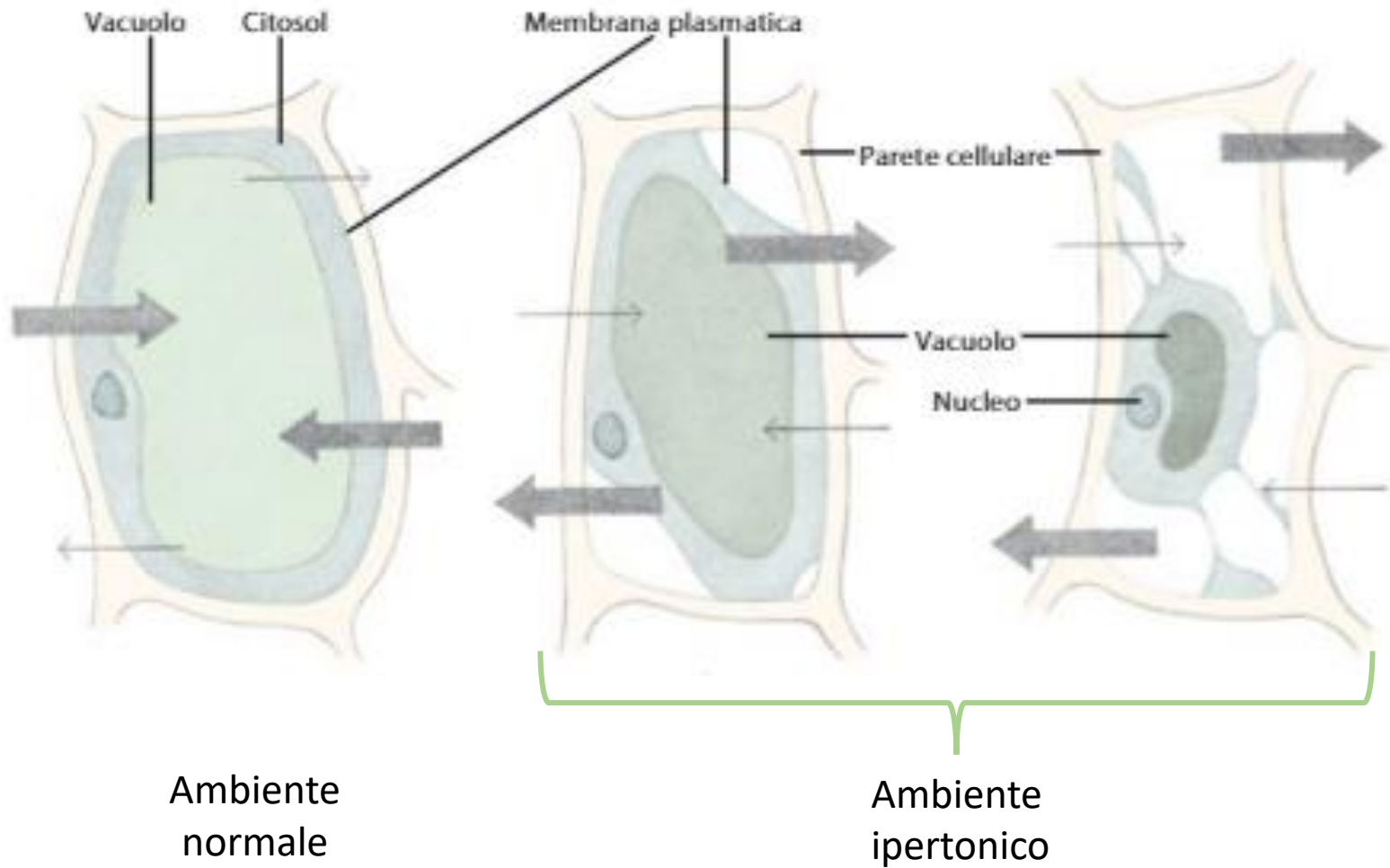
Pressione che si sviluppa in una cellula vegetale in seguito all'osmosi e/o imbibizione



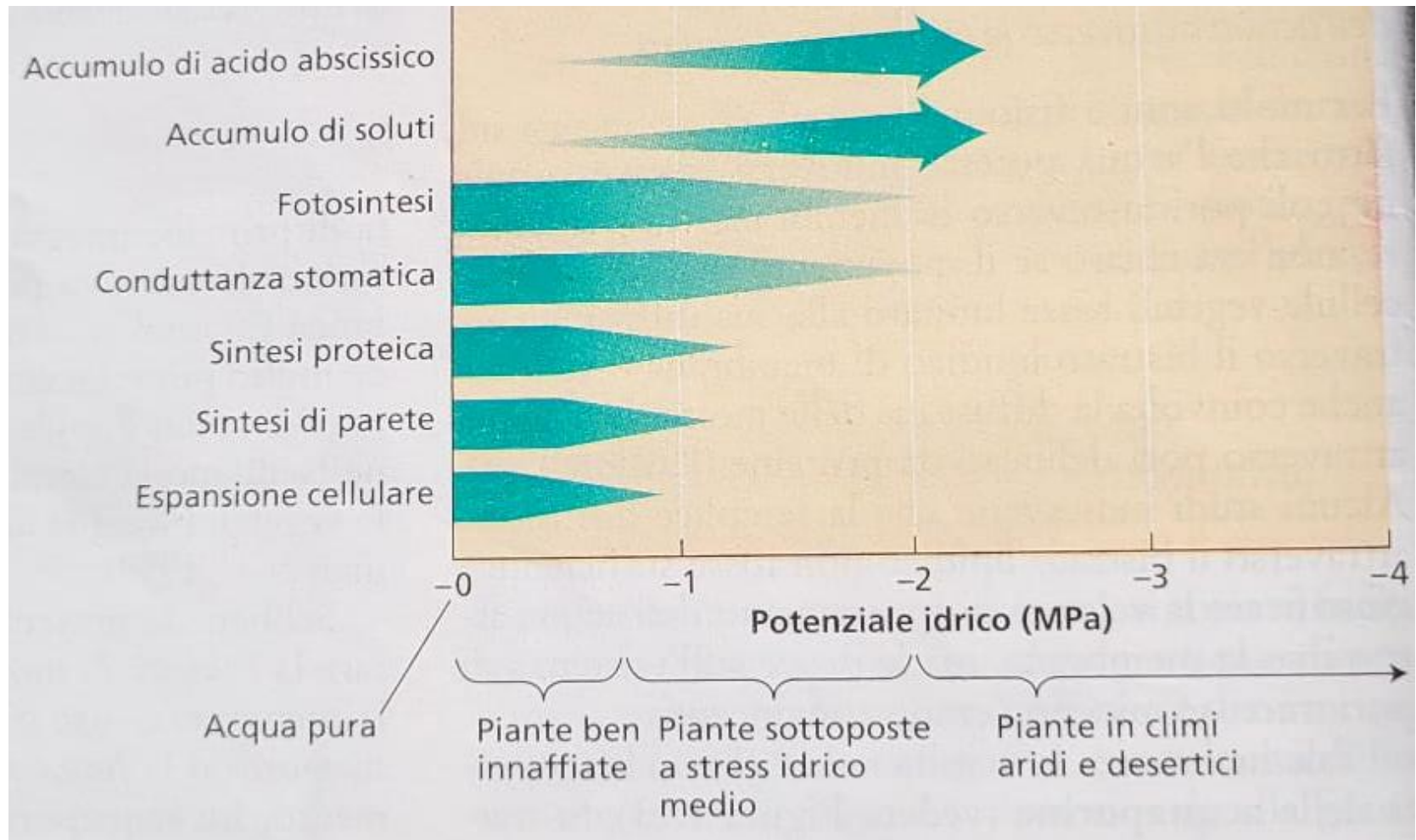
Ambiente ipertonico
Assenza di pressione di turgore

Alta concentrazione di soluti (acqua di amare)
l'acqua esce dalle cellule e la membrana plasmatica si stacca dalla parete cellulare

PLASMOLISI



Cambiamenti fisiologici dovuti alla disidratazione



Fisiologia Vegetale Applicata – Lionetti & Bellicampi – PICCIN Ed.

Il deficit idrico inibisce l'espansione cellulare, induce, aumenta l'accumulo di soluti (turgore), riduce la formazione di germogli, stimola lo sviluppo radicale

Molecole biologiche che compongono alcune strutture cellulari

