



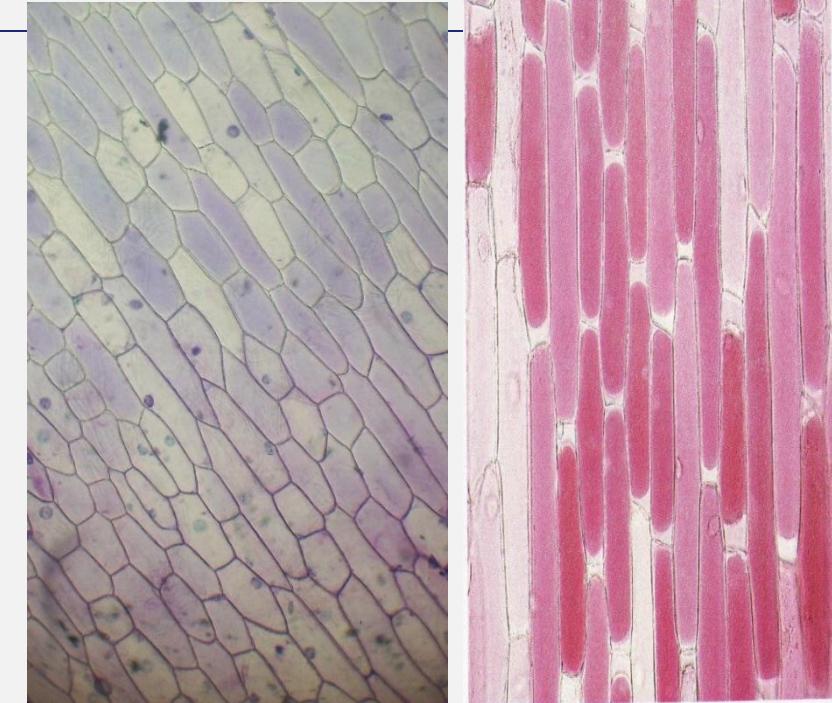
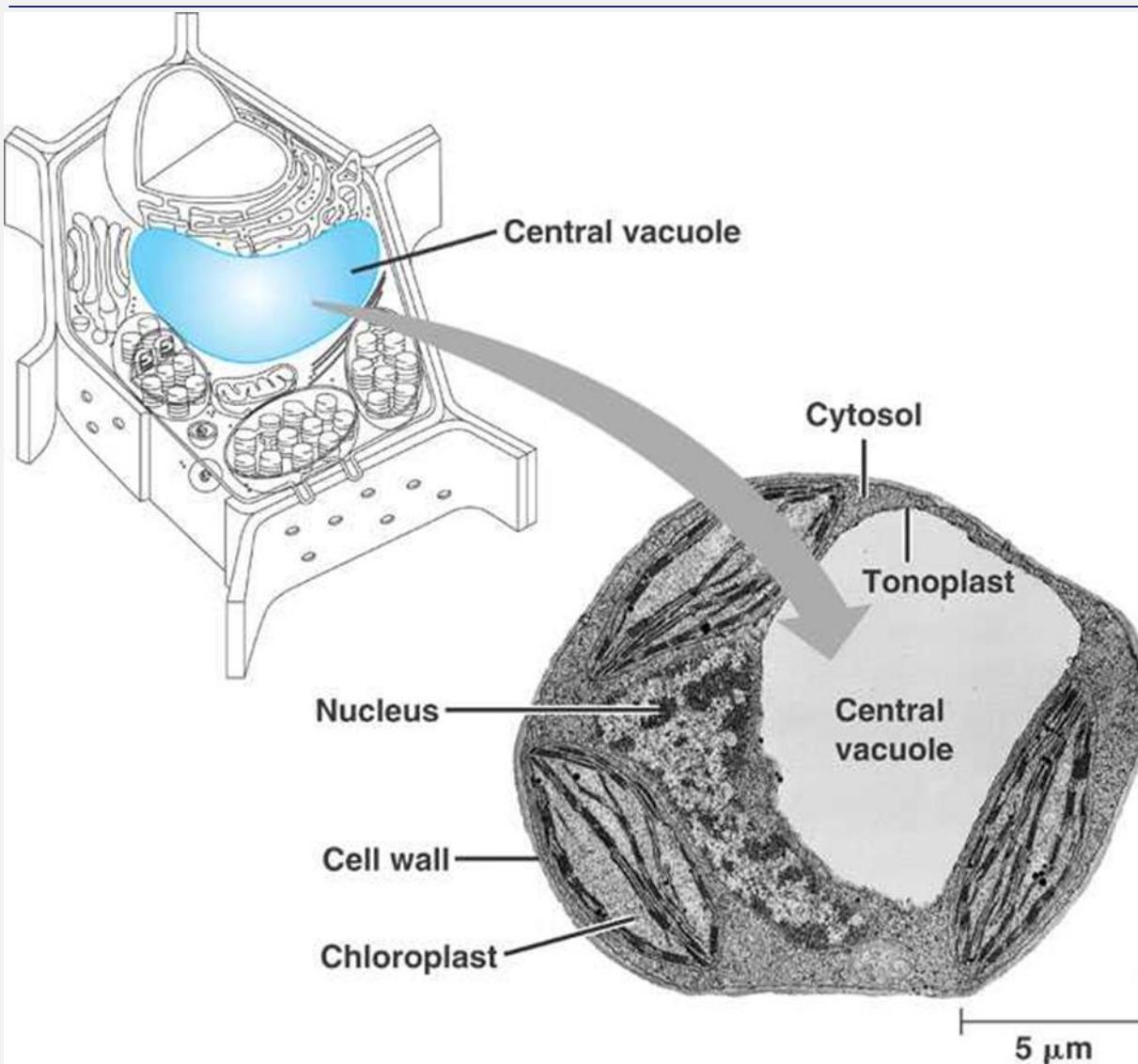
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO



Prof. **Elisabetta Onelli**

***I vacuoli, struttura e funzione***

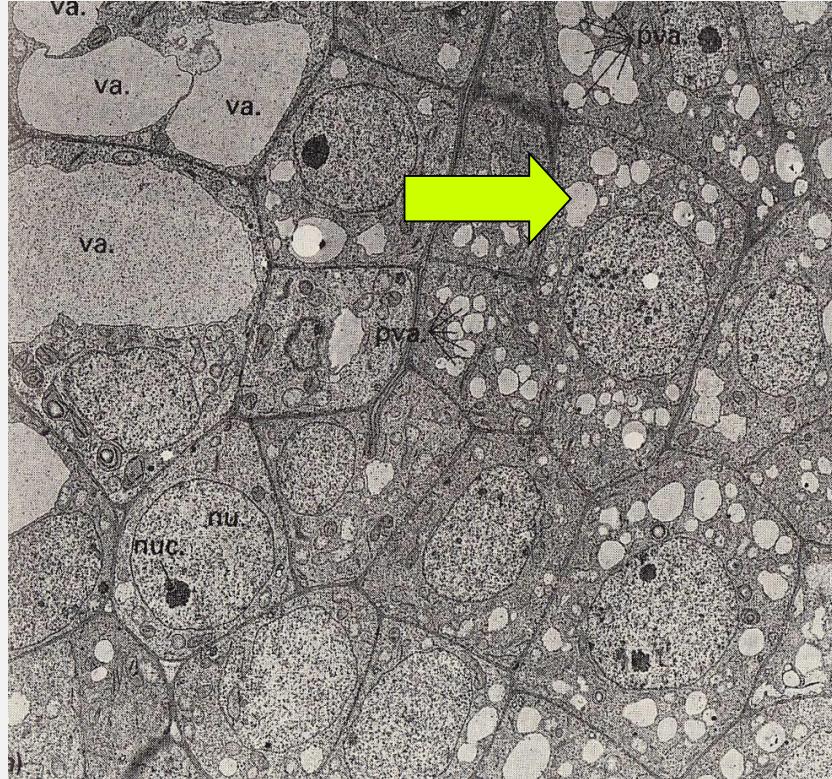
Sono organelli multifunzionali con una importanza centrale nelle strategie di sviluppo della pianta.  
E' un organello altamente dinamico.



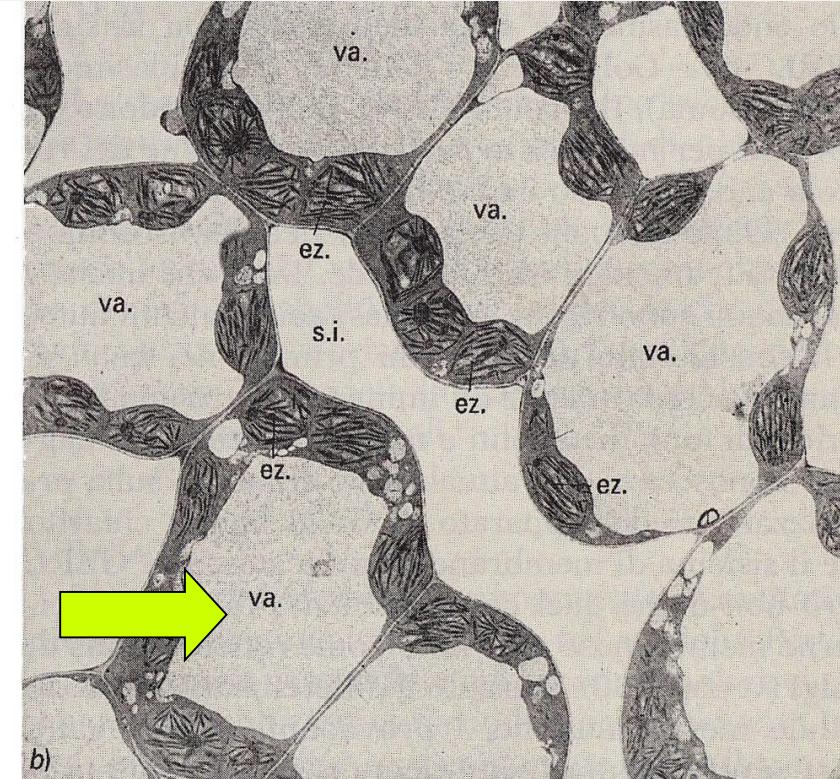
**Vacuolo: (dal latino *vacuus*, vuoto)**

***Sono organelli rivestiti da un'unica membrana, all'interno dei quali avvengono determinate reazioni metaboliche e in cui si trovano accumulati specifici metaboliti.***

# Nelle cellule vegetali differenziate il vacuolo ha dimensioni particolarmente rilevanti

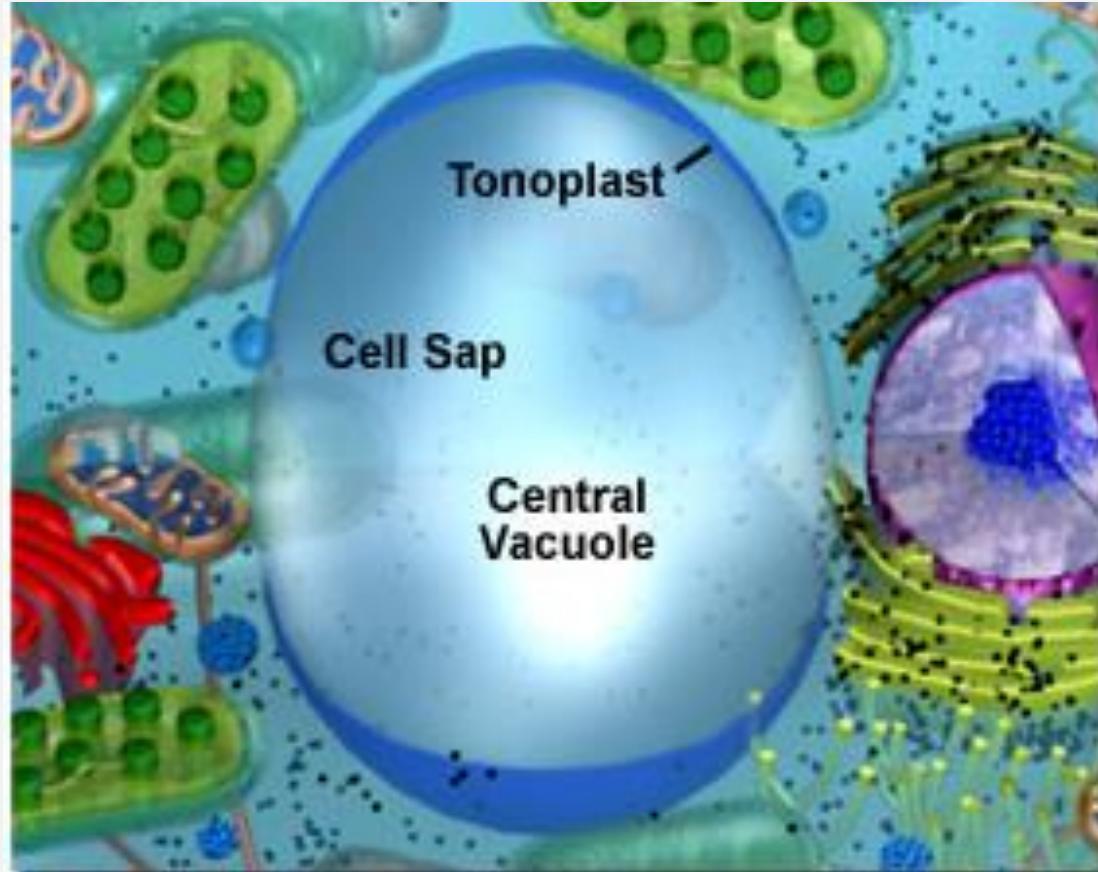


**Cellula vegetale giovane: sono piccoli e numerosi**



**Cellula vegetale adulta: generalmente uno solo di grosse dimensioni (occupa più del 90% del volume totale).**

**Il vacuolo della cellula vegetale è un organulo circondato da una membrana che prende il nome di tonoplasto, e la sostanza che racchiude, tipicamente acida (mentre il citosol è leggermente basico), è chiamata succo vacuolare.**

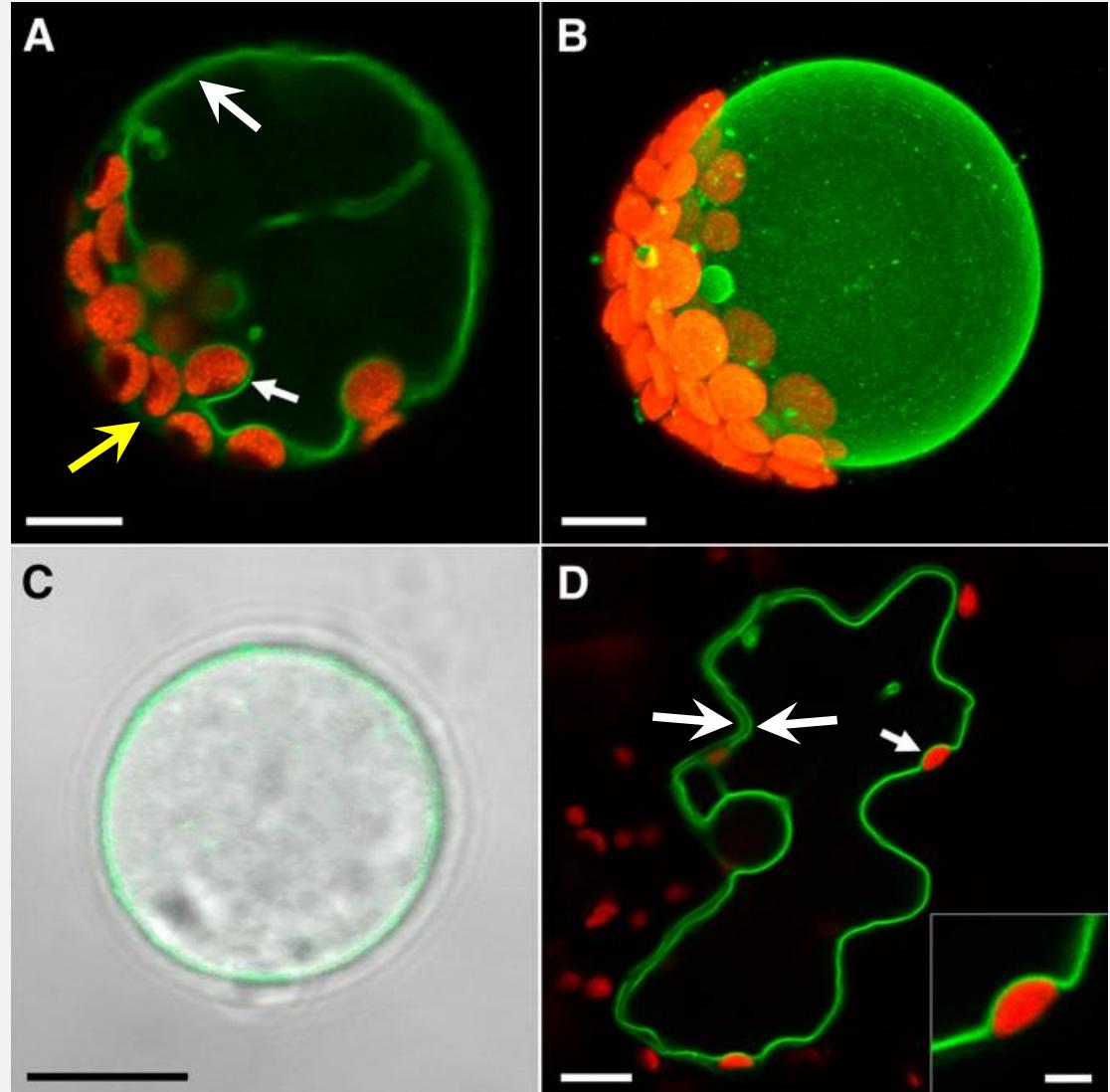




**Tonoplasto:** membrana che delimita il vacuolo.

La sua composizione in lipidi e proteine differisce da quella della membrana plasmatica.

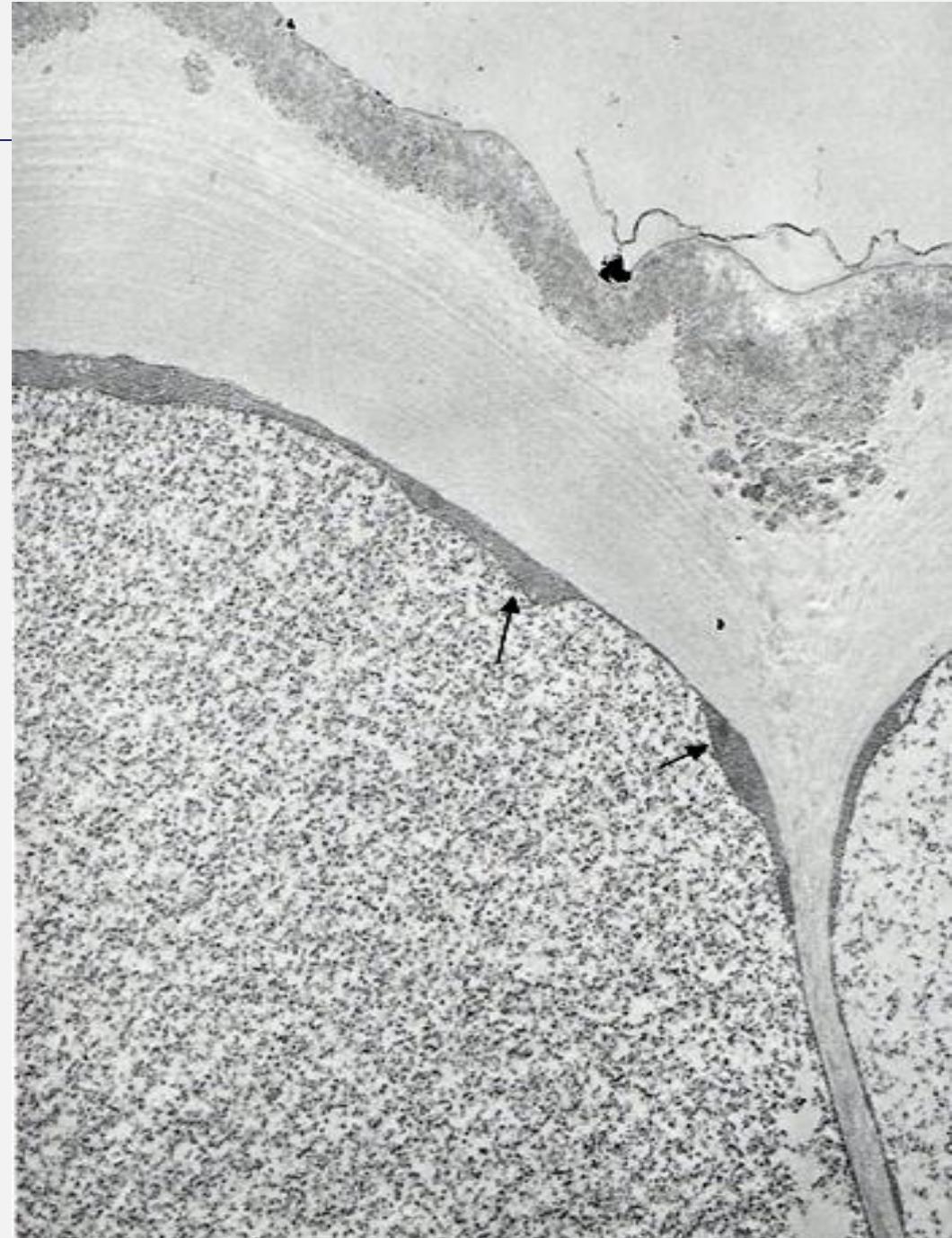
Nel tonoplasto **sono predominanti i GLICOLIPIDI**



Come quella plasmatica e semipermeabile: **è permeabile a H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> e a varie molecole idrofobe**

Altre sostanze (ioni, aminoacidi, glucidi, proteine, sostanze di riserva, di rifiuto, pigmenti) passano dal citosol al succo vacuolare solo se nel tonoplasto sono presenti specifiche proteine di membrana (carriers) che ne facilitano il trasporto.

Le proteine transmembrana **sono per la maggior parte proteine carriers, pompe protoniche, proteine canale ed enzimi**. E' ricca di proteine che mediano diverse forme di trasporto dal citoplasma al succo vacuolare e/o viceversa.



**Succo vacuolare**: contenuto del vacuolo; Costituente principale del succo vacuolare è l'acqua in cui si trovano disiolte o sospese molte molecole.

La composizione del succo vacuolare differisce da cellula a cellula o all'interno della stessa cellula a seconda della funzione che i vacuoli svolgono.

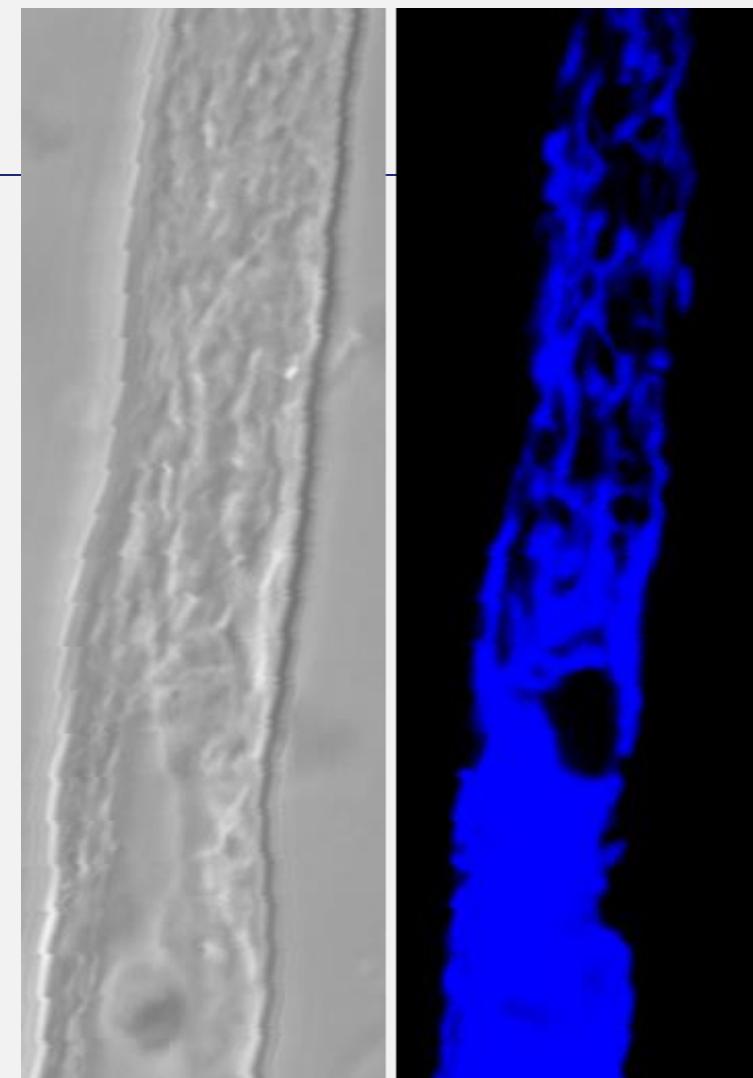
### *Composizione del succo vacuolare*

Alcuni componenti sono universalmente presenti:

- **Ioni inorganici:**  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Cl^-$ , ioni carbonato, sulfati, nitrati ecc.

Alcuni esempi:

- $H^+$  funzione di regolazione del pH
- $Ca^{2+}$ , ruolo come segnale nella cellula

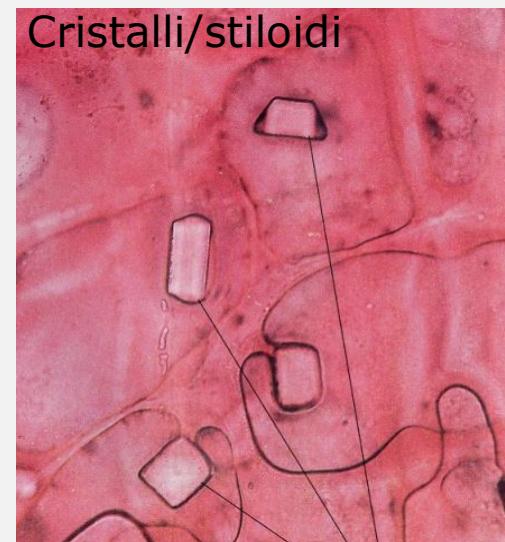
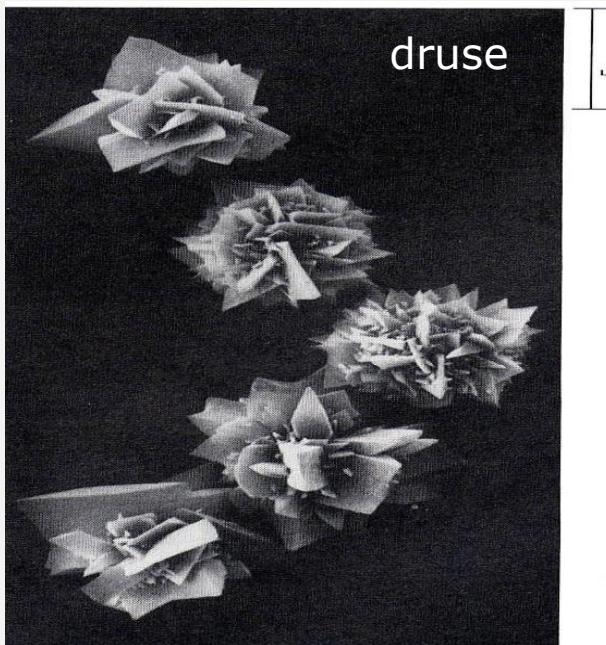


- **Acidi organici**: sono presenti come anioni per bilanciare le cariche positive che la cellula assorbe in eccesso. Alcuni di essi sono importanti per alcuni processi metabolici cellulari. Sono soprattutto acido malico, citrico, tartarico e ossalico.

Si tratta spesso di metaboliti prodotti in eccesso, ad es. dal metabolismo respiratorio (funzione di regolazione)

Acido ossalico può essere presente allo stato solido perché precipita/cristallizza quando supera la concentrazione di solubilità in acqua.

Forma cristalli di acido ossalico.



Possibili funzioni dei cristalli di ossalato di calcio:

1. sequestro di calcio dal citoplasma
2. detossificazione dall'eccesso di acido ossalico
3. difesa contro gli erbivori: i tessuti diventano inappetibili agli animali

---

- **zuccheri:**

Hanno funzione di riserva e omeostatica

Sono presenti soprattutto monosaccaridi: glucosio (uva, ciliegia, susina)  
fruttosio (pera, pesca)

Più raramente si trovano disaccaridi (prevale il saccarosio) e polisaccaridi solubili (soprattutto inulina e mucillagini).

**Il vacuolo *NON* contiene MAI AMIDO!**

- **aminoacidi e proteine:** come sostanze di riserva (di sostanze azotate sottoforma sia di aa che di proteine) si trovano soprattutto nel succo vacuolare dei semi.

Svolgono anche importanti azioni enzimatiche.



Altri componenti del succo vacuolare possono variare a seconda del tipo di cellula:  
possono presentare diversi tipi di ***metaboliti secondari***:

Sono composti che non hanno un ruolo prioritario nel metabolismo di base della cellula ma possono svolgere importanti funzioni.

Composti molto eterogenei che vengono interpretati come **il linguaggio** con cui la pianta si mette in relazione con la componente biotica del suo ambiente:

Messaggio sotto forma di:

- colori e profumi per attirare gli insetti impollinatori
- sapori gradevoli per attirare gli animali disseminatori
- sapori sgradevoli e veleni per allontanare erbivori e parassiti
- per comunicare con altre piante

- |             |              |
|-------------|--------------|
| - glicosidi | - antociani  |
| - tannini   | - flavonoidi |
| - alcaloidi | - terpeni    |





## **ALCALOIDI:** foltissimo gruppo di sostanze organiche eterocicliche contenenti azoto.

In genere sono *veleni o importanti principi attivi* di piante medicinali e possono avere  
**importanti effetti biologici su piante, parassiti ed animali.**

Alcaloidi nelle famiglie di Dicotiledoni:

- Solanaceae: atropina (*Atropa belladonna*, *Hyoscyamus niger*)  
nicotina (*Nicotiana tabacum*)  
solanina (*Solanum tuberosum*)  
capsaicina (*Capsicum*)  
scopolamina (*Datura stramonium*)
- Papaveraceae: morfina, codeina, papaverina (*Papaver somniferum*)
- Rubiaceae: caffeina (*Coffea arabica*), chinina (*Cinchona officinalis*)
- Theaceae: teina (*Camellia sinensis*)
- Sterculiaceae: teobromina (*Theobroma cacao*)
- Ranunculaceae: aconitina (*Aconitum napellus*)
- Erythroxylaceae: cocaina (*Erythroxylon coca*)
- Loganiaceae: Curaro (*Strychnos toxifera*)  
Stricnina (*Strychnos nuxvomica*)



## **Terpeni**: Derivano dalla condensazione di unità isopreniche

**OLI ESSENZIALI**: sono presenti nei fiori, nelle foglie, nelle foglie e nei frutti

*Mirtacee*: nelle tasche secretrici di mirto, eucalipto

*Liliacee*: nei bulbi di cipolla, aglio ecc

*Asteracee*: nei peli ghiandolari di camomilla, calendula, Achillea

*Rutacee*: nelle tasche secretrici di arancio, bergamotto, ecc

*Labiate*: nei peli ghiandolari di menta, lavanda, timo, rosmarino, basilico ecc.

*Apiacee*: angelica, finocchio, anice

*Pinacee* nei canali secretori di pini, abeti e cedri

*Cupressacee* nei canali secretori di cipresso, ginepro, tuja.

**TAXOLO**: diterpene che viene estratto dal *Taxus brevifolia*. Ha importanti proprietà anticancerose.

**CAUCCIU'**: politerpene che costituisce il lattice dell'albero della gomma



**Resine:** Derivano da oli essenziali attraverso polimerizzazione e ossidazione di alcuni loro componenti. **Comprendono Oleoresine** (trementine), **Balsami**, **Gommoresine** (es. mirra e incenso).

- balsami: resine associate a oli essenziali (trementina, Balsamo del Canadà, Balsamo del Perù)
- gommoresine: resine associate e gomme (mirra)

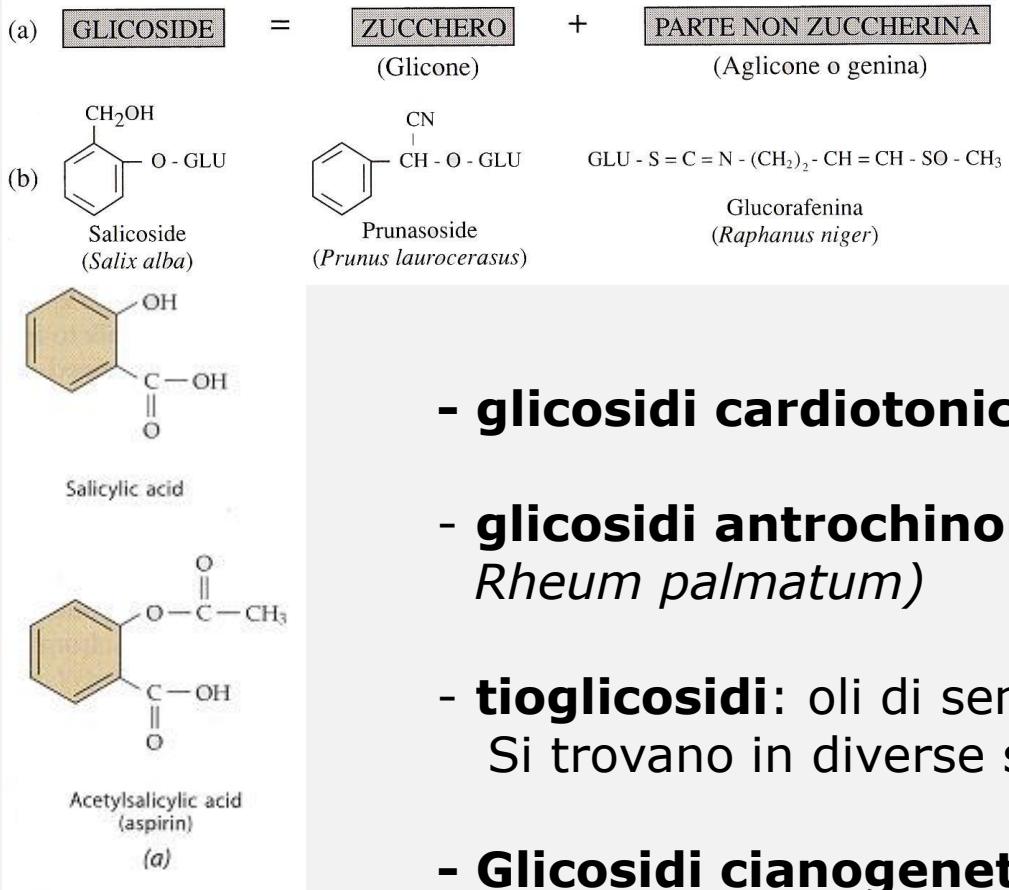
Sono abbondanti nelle Conifere ma le troviamo anche in Euforbiacee e Convolvulacee (Cuscuta)

**Composti fenolici:** composti contenenti (almeno) un gruppo fenolico e loro derivati.

- *Antociani*: rossi in ambiente acido blu in ambiente basico
- Flavoni: giallo e bianco
- Flavonoli: giallo e bianco



**GLICOSIDI:** sono composti **formati da uno zucchero** (il più comune è il glucosio) **complessato ad una molecola non zuccherina.**



I glicosidi sono presenti nelle mandorle amare, mele, pesche, susine (amigdalina), nel sambuco, nel granoturco e nel sorgo (murrina), in varie Leguminose.

- **glicosidi cardiotonici:** Digitossina e digottossina (*Digitalis purpurea*)

- **glicosidi antrochinonici:** contenuti nel rabarbaro (*Rheum officinalis* o *Rheum palmatum*)

- **tioglicosidi:** oli di senape. Contengono zolfo.  
Si trovano in diverse specie di Brassicacee.

- **Glicosidi cianogenetici:** liberano acido cianidrico (amigdalina nelle rosaceae)

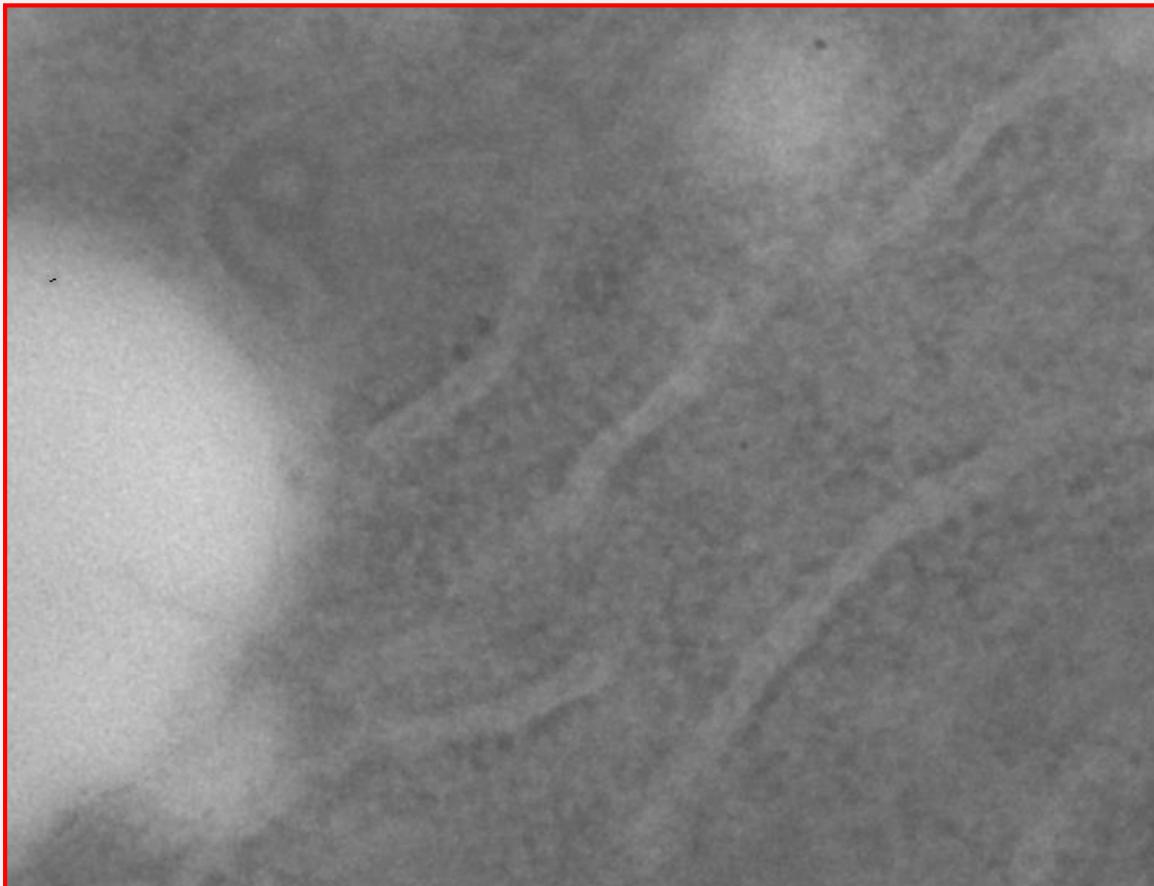
Possono essere anche *molto tossici* es. **glicosidi cianogenici** che liberano per idrolisi acido cianidrico



# *Formazione del vacuolo*

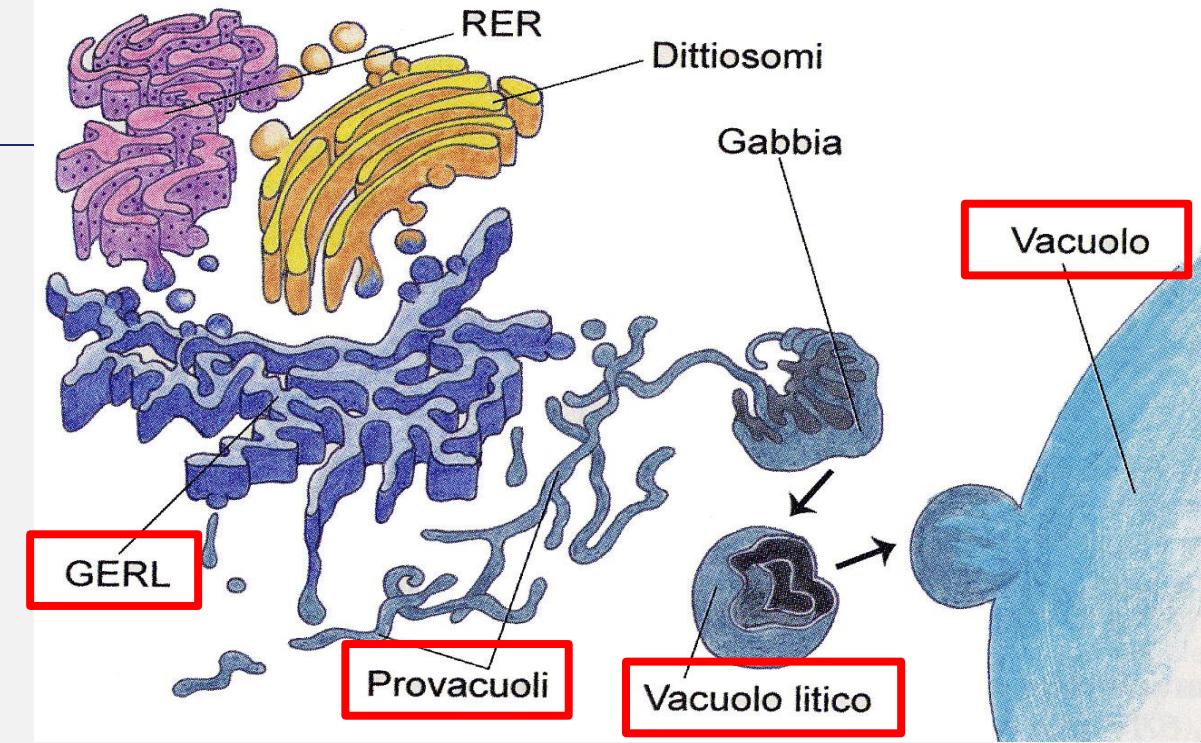
**Si hanno diverse ipotesi sulla sua formazione:**

**1- Il vacuolo sembrerebbe formarsi dal Reticolo Endoplasmico che si rigonfia ad una estremità.**



## Ipotesi 2

**Si origina da regioni definite GERL che derivano da associazioni tra ER, Golgi ed endosomi**

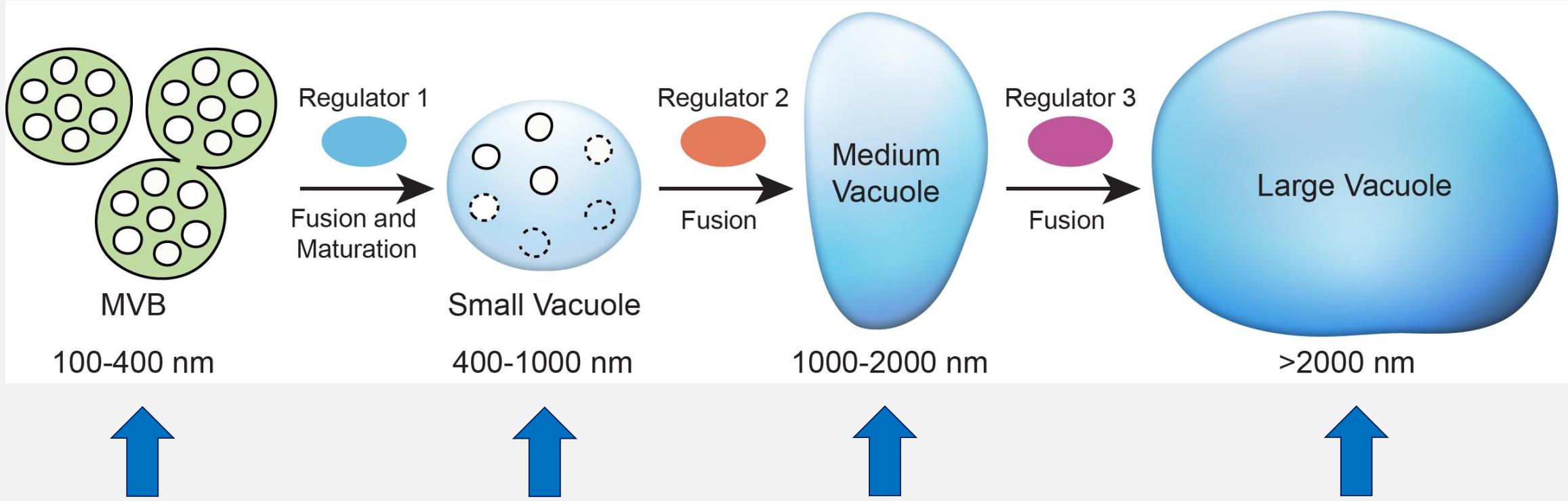


**Secondo tale teoria:**

- dalle zone GERL si originano provacuoli
- questi si estendono si ripiegano ed inglobano del citoplasma
- il citoplasma inglobato viene digerito grazie alla attività degli enzimi litici
- si formano piccoli vacuoli che si fondono poi tra loro a dare vacuolo di maggiori dimensioni

**La membrana che delimita i provacuoli diventa il tonoplasto**

# Ipotesi 3



The new working model of vacuole formation in plant cells. Vacuoles are mainly derived from MVB-MVB fusion and maturation, which involves multiple consequent steps of fusions that are regulated by specific molecular regulators.

# *Funzioni del vacuolo*

Possiamo avere diversi tipi di vacuoli, anche all'interno della stessa cellula, con funzioni differenti.

funzione **osmotica**            **contenitore polivalente**

Il sistema vacuolare non è un contenitore inerte:

- è sede di attività metabolica, che si realizzano a livello sia del tonoplasto sia del succo vacuolare
- controlla e mantiene l'omeostasi citoplasmatica

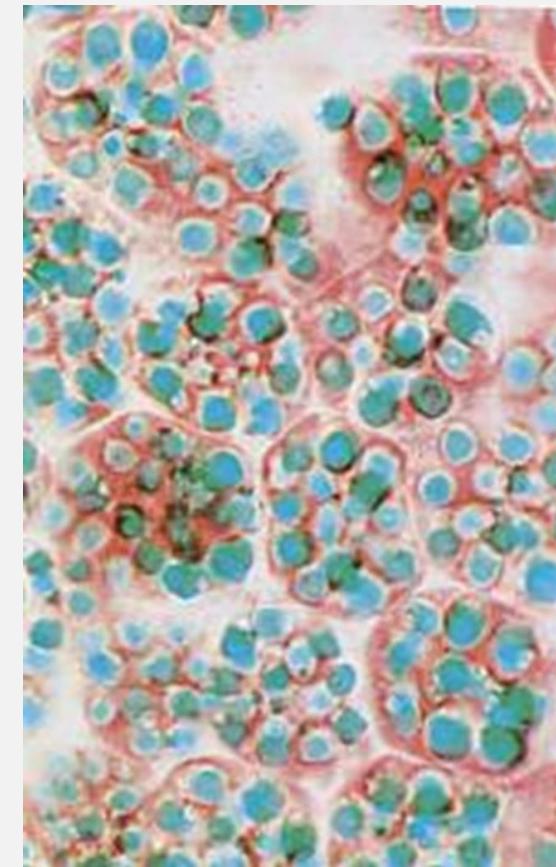
**Possiamo avere diversi tipi di vacuoli, anche all'interno della stessa cellula, con funzioni differenti.**





**Riserva:** nei vacuoli possono accumularsi alcuni metaboliti primari:

- **glucidi:** abbiamo già visto monosaccaridi (glucosio e fruttosio nei frutti), disaccaridi (saccarosio in canna e barbabietola da zucchero) e polisaccaridi solubili (inulina nel topinambour e dalie)
- **Proteine:** in semi e frutti di alcune leguminose e cereali si trovano riserve proteiche (granuli di aleurone). Sono vacuoli specializzati. Queste proteine vengono cristallizzate durante la disidratazione che accompagna la maturazione del seme, e rimanere anche per anni nei vacuoli delle cellule di deposito dei semi. Durante la germinazione vengono idrolizzate per rendere disponibili amminoacidi per l'embrione in sviluppo.
- **Lipidi:** soprattutto nei semi (es: soia, arachide) o nei frutti (es: olivo)
- **Acidi organici:** possiamo avere:
  - malato: intermedio della fotosintesi in piante succulente
  - citrato: si trova nei frutti immaturi
  - amminoacidi: accumulati come fonte di azoto.



**Deposito:** sono accumulate sostanze che potrebbero essere dannose per la cellula vegetale; nel citoplasma potrebbero interferire con importanti vie metaboliche.

### ***Tra i vacuoli accumulatori:***

**Vacuoli che accumulano sostanze di rifiuto** superflue o dannose che non possono essere espulse dalla pianta per la mancanza di un sistema escretore e che sono allora segregate nel vacuolo di cellule che saranno eliminate con la caduta di una porzione della pianta (foglie scorza degli alberi).

**Vacuoli che accumulano molecole che la cellula “involontariamente” produce durante il metabolismo** e che non svolgono un ruolo specifico o molecole che vengono rimosse dal citosol perché se in eccesso possono interferire con il metabolismo. Es. Cristalli di ossalato di Calcio

Sali e ioni specifici:

- $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , nelle piante capaci di resistere alla salinità (**ALOFITE**)
- Ioni di metalli pesanti, nelle piante che sopravvivono in suoli contaminati (**METALLOFITE**)
- Acqua e mucillagini nei parenchimi acquiferi



**Difesa:** vengono accumulati metaboliti secondari che hanno funzione deterrente o di difesa contro attacchi di patogeni (batteri o fungini).

Tali **metaboliti secondari** prodotti intervengono anche nelle interazioni della pianta con gli animali o con altre piante.

Essendo immobili le piante producono metaboliti secondari spesso concentrate nel vacuolo che servono per difendersi dai predatori o per attrarre impollinatori o disseminatori.

**Accumulo di metaboliti secondari svolge anche un ruolo ecologico di relazione;**



- **Osmosi e turgore cellulare:** il vacuolo partecipa al mantenimento del turgore cellulare insieme alla parete e alla crescita della cellula per distensione

**Tonoplasto è semipermeabile (analogamente alle altre membrane cellulari)**

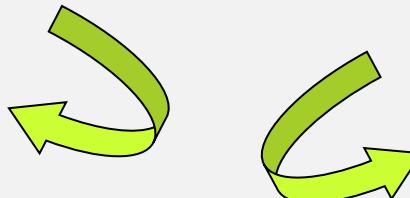


**È permeabile a:**

**H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, e a varie molecole idrofobe**

**Mentre altre sostanze (ioni, amminoacidi, glucidi, proteine, sostanze di riserva, di rifiuto, pigmenti) passano dal citosol al succo vacuolare solo se nel tonoplasto sono presenti specifiche proteine di membrana chiamate trasportatori (carriers) che ne facilitano il trasporto.**

**Diffusione facilitata  
canali**



**Trasporto attivo  
pompe**

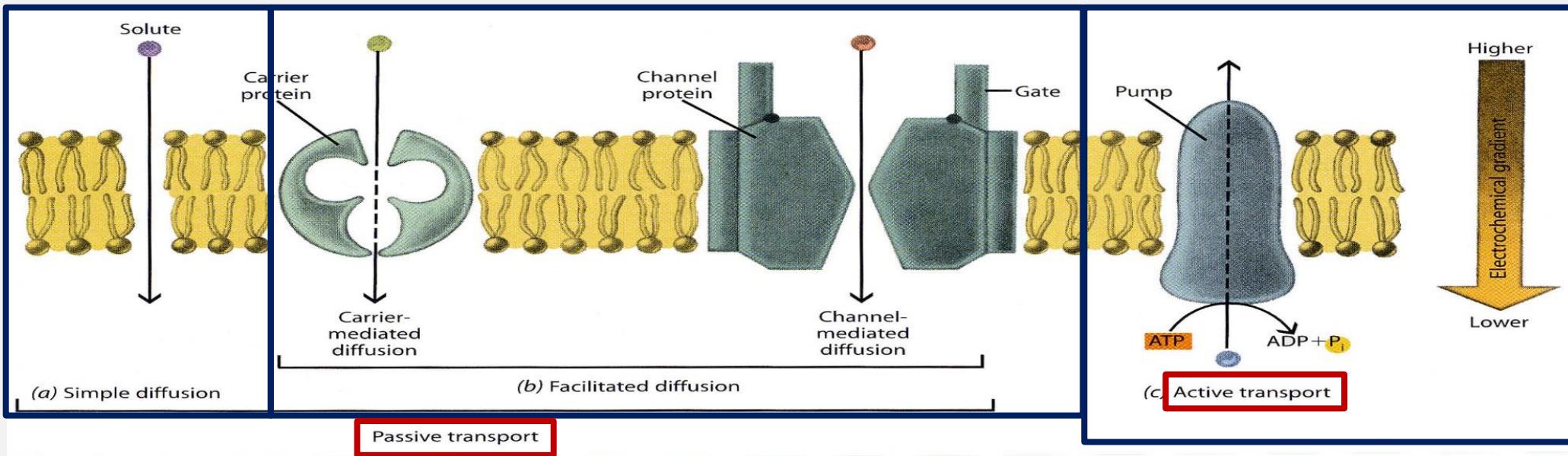
## *Diffusione facilitata.....*

## *.....Trasporto attivo*

Se lo spostamento è a favore di gradiente (>concent. nel luogo di partenza e < conc. nel luogo di arrivo) il trasporto avviene senza dispendio energetico

Solo se il tonoplasto contiene il **carrier specifico** per il trasporto di una determinata sostanza questa potrà attraversare la membrana

Se la molecola si sposta contro un gradiente di concentrazione, passando dalla zona in cui è meno concentrata verso quella in cui è più concentrata, il trasporto è possibile solo con consumo di energia sotto forma di ATP.



Grazie alla **permeabilità selettiva** del tonoplasto all'interno dei vacuoli la concentrazione dei soluti è sempre molto elevata e quindi richiama acqua dal citoplasma

## Turgore cellulare

Quando il contenuto in acqua dei vacuoli è massimo l'acqua esercita una pressione sulle pareti della cellula (**Pressione di Turgore**) che la rende globalmente rigida ovvero **turgida**

Vacuoli e parete cellulare  
cellulare

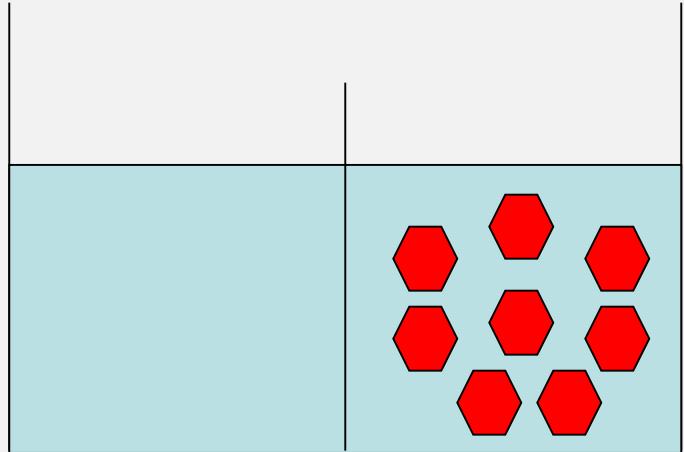


**principali responsabili del turgore**

Quale è il meccanismo che regola l'assunzione di acqua da parte del vacuolo?

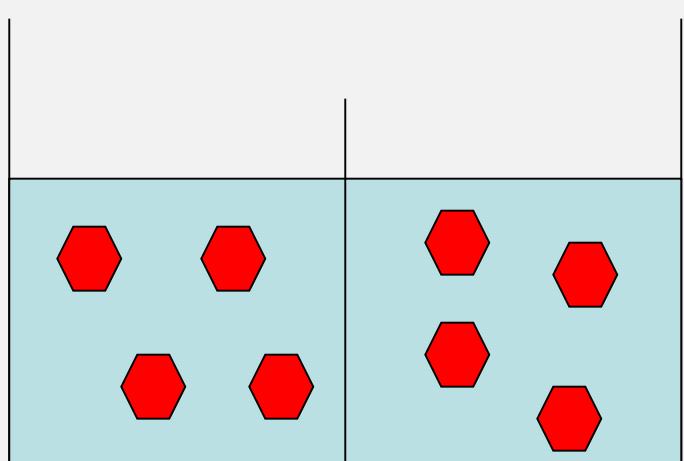


**Immaginiamo un recipiente diviso in due scomparti da un setto di separazione. In un comparto è contenuta acqua pura, nell'altro una soluzione.**

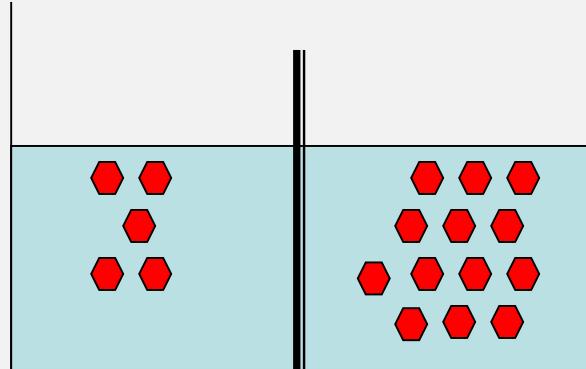


**Se il setto è perfettamente permeabile sia al soluto sia all'acqua, se due soluzioni con diversa concentrazione dello stesso soluto vengono a contatto attraverso questa membrana il soluto per diffusione migra nella zona a maggiore concentrazione fino al raggiungimento dell'equilibrio, quando la concentrazione del soluto è uniforme in tutta la soluzione (**diffusione semplice**).**

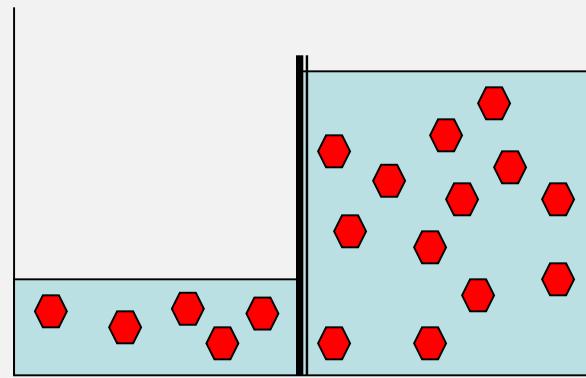
**Grazie al fenomeno della diffusione, dopo un certo tempo la concentrazione della soluzione nei due compatti sarà identica.**



Se il setto di separazione è **semipermeabile**, cioè lascia passare solo le molecole di acqua, ma non quelle di soluto, il sistema **tende** comunque a raggiungere la parità di concentrazione, trasferendo però acqua da un comparto all'altro.



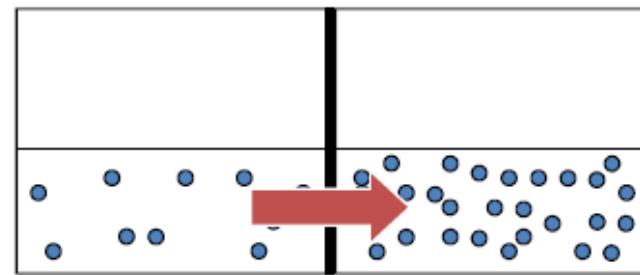
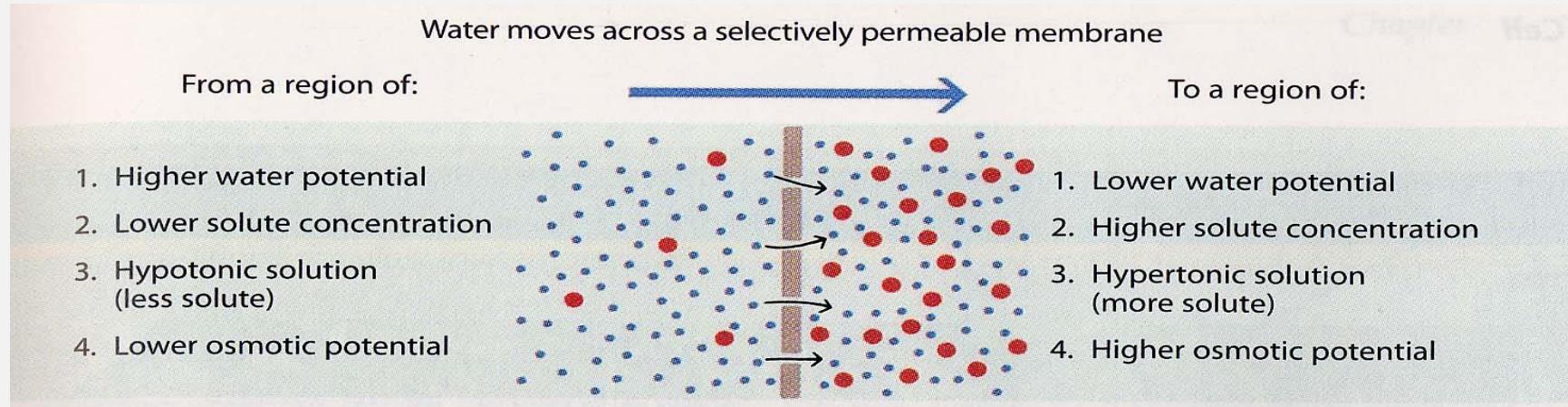
Il passaggio di acqua tra i due compatti viene detto **osmosi**



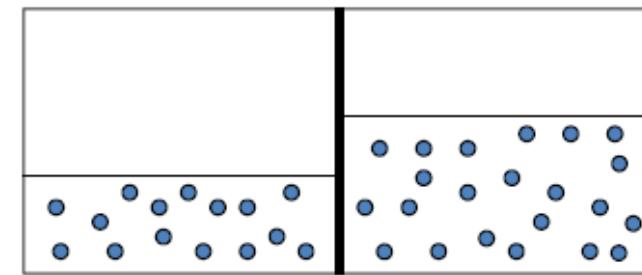
Osmosi: passaggio di acqua attraverso una membrana **semipermeabile** (permeabile all'acqua e non al soluto) dalla zona in cui il soluto è meno concentrato a quella in cui la sua concentrazione è maggiore.



**OSMOSI** = diffusione di acqua secondo gradiente di concentrazione attraverso una membrana *semipermeabile* (l'acqua va a diluire la soluzione più concentrata).

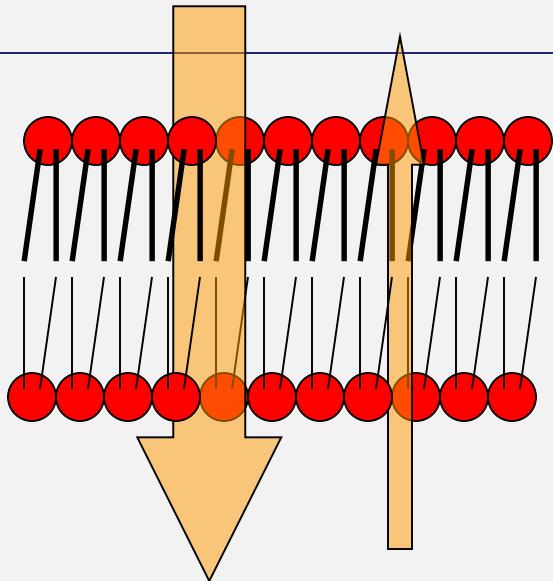


L'acqua si sposta andando a diluire la soluzione più concentrata

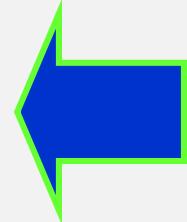


La concentrazione nei due comparti tende a equilibrarsi. Il livello della seconda vasca si alza

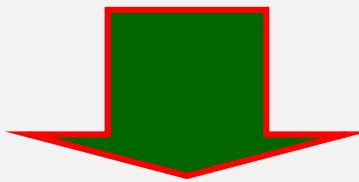
La differenza di concentrazione di molecole/ioni tra succo vacuolare e ambiente esterno alla cellula determina se il flusso di acqua prevalente sarà in entrata o in uscita



**Ad esempio l'ossigeno essendo una molecola piccola può attraversarla, mentre gli zuccheri e le proteine, essendo molecole lunghe e complesse non la attraversano.**



**Una membrana biologica rappresenta un setto di separazione semipermeabile imperfetto.**



**In realtà, la membrana è permeabile all'acqua e ai diversi soluti con velocità diversa. Questo significa che, in tempi molto lunghi, una membrana biologica può permettere il raggiungimento di concentrazioni uguali ai due lati della membrana.**

# **Soluzione: ipertonica    isotonica    ipotonica**



In soluzione  
iperosmotica  
(concentrazione salina  
elevata)



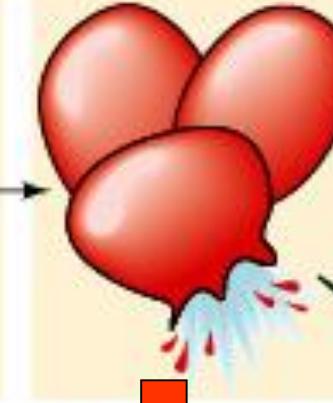
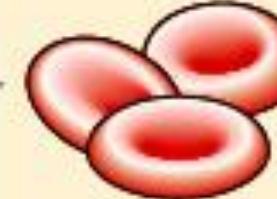
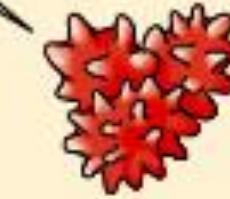
In soluzione  
isosmotica  
(concentrazione  
salina normale)



In soluzione  
iposmotica  
(acqua distillata)

Le cellule perdono  
acqua e si  
raggrinziscono.

(a) Cellula  
animale  
(eritrocita)



La cellula assume  
acqua, si rigonfia  
e infine scoppià.

Le forze in gioco nel comportamento osmotico della cellula vegetale sono due:

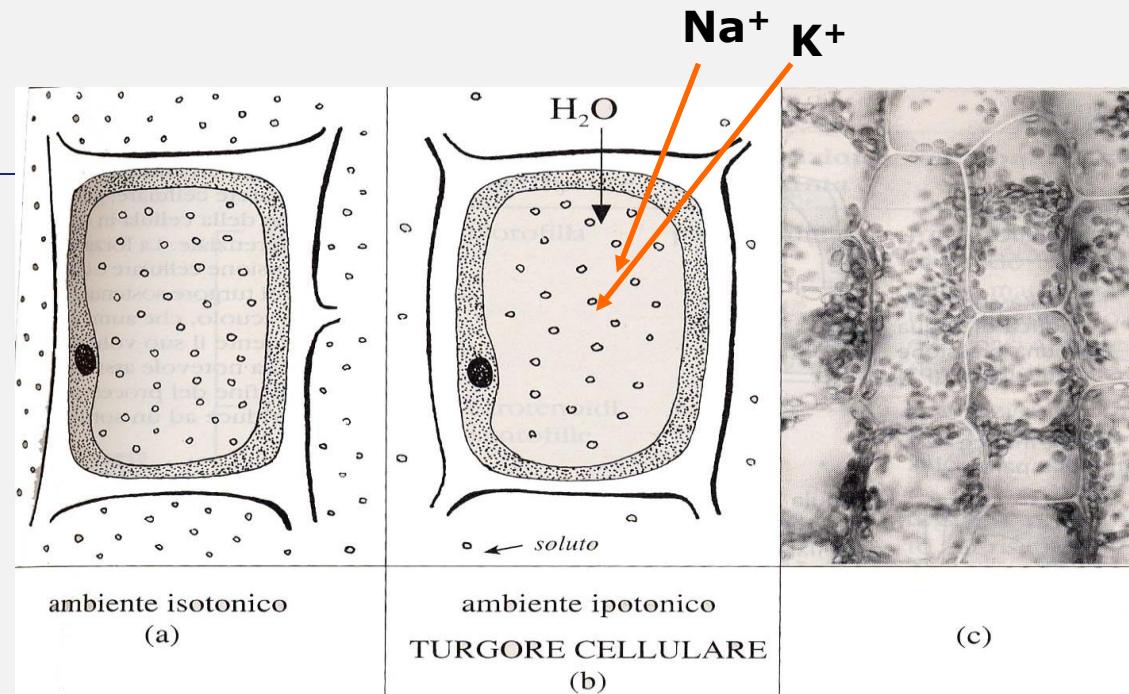
- la **pressione osmotica** ( $p$ ) dovuta al vacuolo

L'acqua entrando rigonfia il vacuolo che così esercita sulla parete una pressione ( $p$ ) che fa tendere sempre di più la parete.

- la **pressione di turgore** ( $P_t$ ), ovvero la contropressione esercitata dalla parete

La parete esercita a sua volta una pressione meccanica ( $P_t$ ) che contrasta il rigonfiamento del vacuolo

Il succo vacuolare ha una concentrazione di sali sempre maggiore che all'esterno e questo richiama acqua all'interno del vacuolo per osmosi



Quando la tensione della parete è massima, la tendenza dell'acqua ad entrare è bilanciata dalla contropressione della parete e si arriva ad un equilibrio. La cellula è così irrigidita e si dice **TURGIDA**.

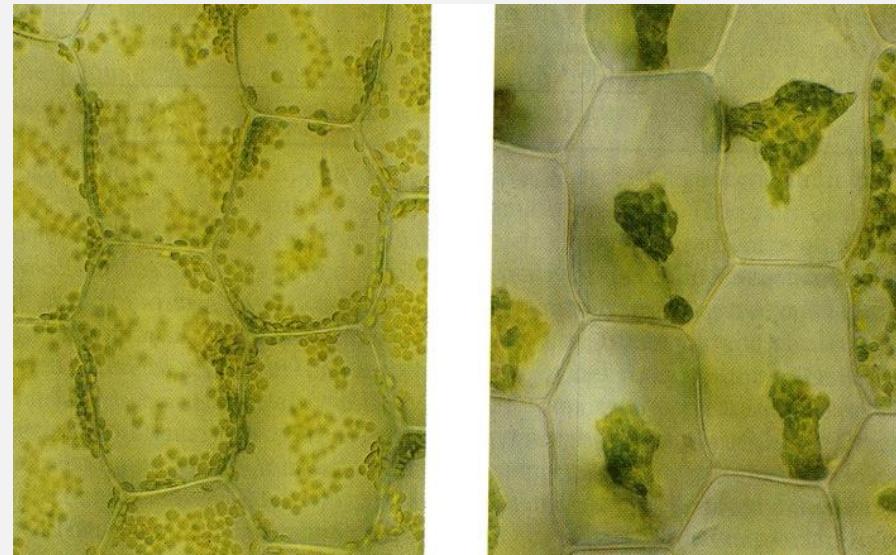
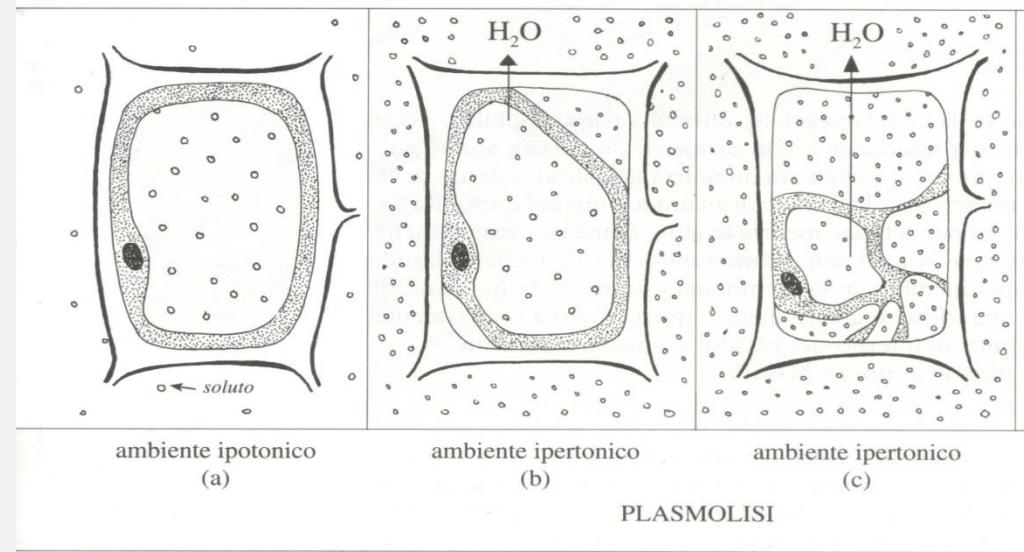
Se non ci fosse la parete l'acqua rigonfierebbe il vacuolo fino a far scoppiare la cellula.

## Mantenimento del turgore: equilibrio elettrochimico

**Per una cellula vegetale, la condizione di turgore costituisce spesso lo stato ottimale per lo svolgimento di tutte le attività vitali.**

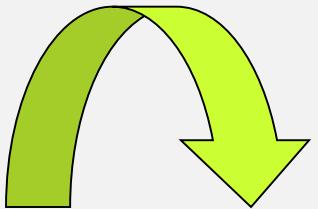
**La condizione opposta è detta appassimento. Una cellula appassita si trova in deficit di acqua.**

**Plasmolisi:** In una condizione ipertonica, l'acqua fuoriesce dal vacuolo. Questo riduce il suo volume e conduce al distacco del plasmalemma dalla parete cellulare.

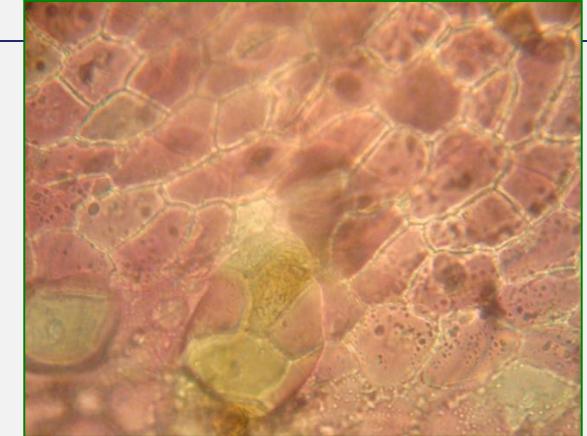


Quando la cellula non è più turgida si verifica il processo di plasmolisi.

**Soluzione ipertonica nello spazio intercellulare (in cui concentrazione di soluti è maggiore di quella citoplasmatica)**



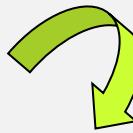
**La cellula perde acqua per osmosi, il vacuolo si contrae e la membrana cellulare può staccarsi in più punti  
dalla parete cellulare determinando il fenomeno della Plasmolisi**



**Plasmolisi temporanea non provoca la morte della cellula che può tornare alle condizioni normali ponendola in acqua. Un'esposizione prolungata in mezzo ipertonico determina danni irreversibili.**



# Membrane cellulari (compreso tonoplasto)



Sono semipermeabili, permeabili a piccole molecole come l'acqua ma meno permeabili agli ioni e alla maggior parte delle molecole biologiche

**Cellula vegetale in ambiente ipotonico**  
(Concentrazione di soluti esterna minore di quella interna)



L'acqua per osmosi entra nella cellula, il vacuolo si rigonfia e il volume cellulare tende ad aumentare



La cellula non scoppia per la presenza della parete

La cellula si trova in stato di turgore quando la tendenza dell' acqua ad entrare è bilanciata dalla pressione della parete



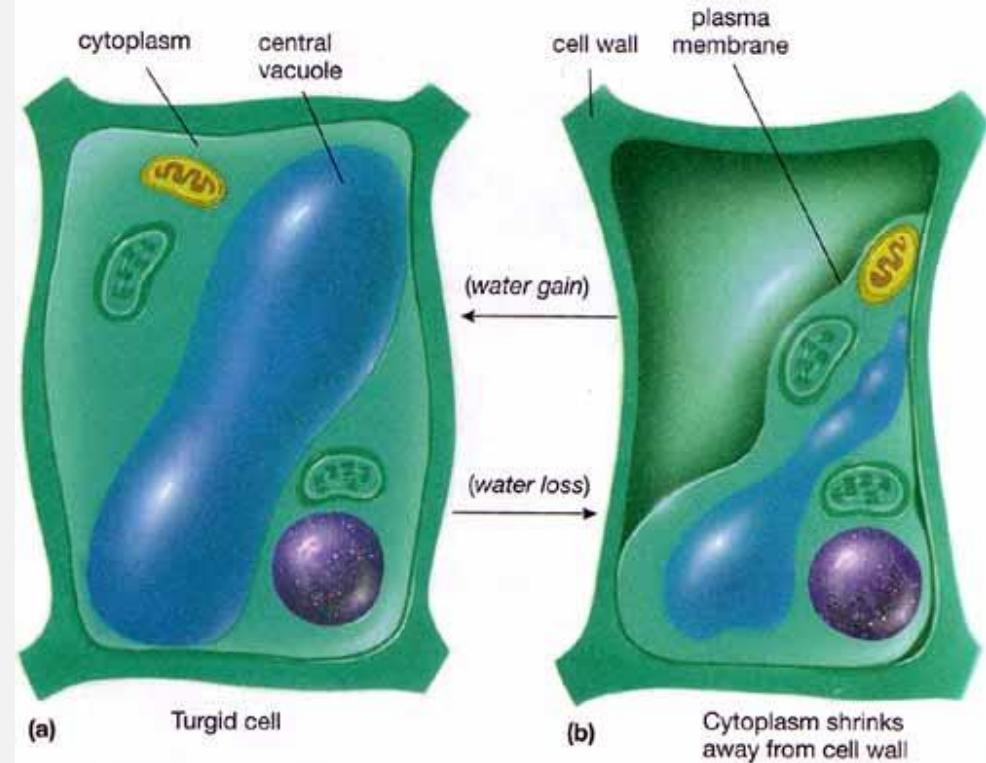


Il turgore cellulare è importante per :

- **il sostegno**

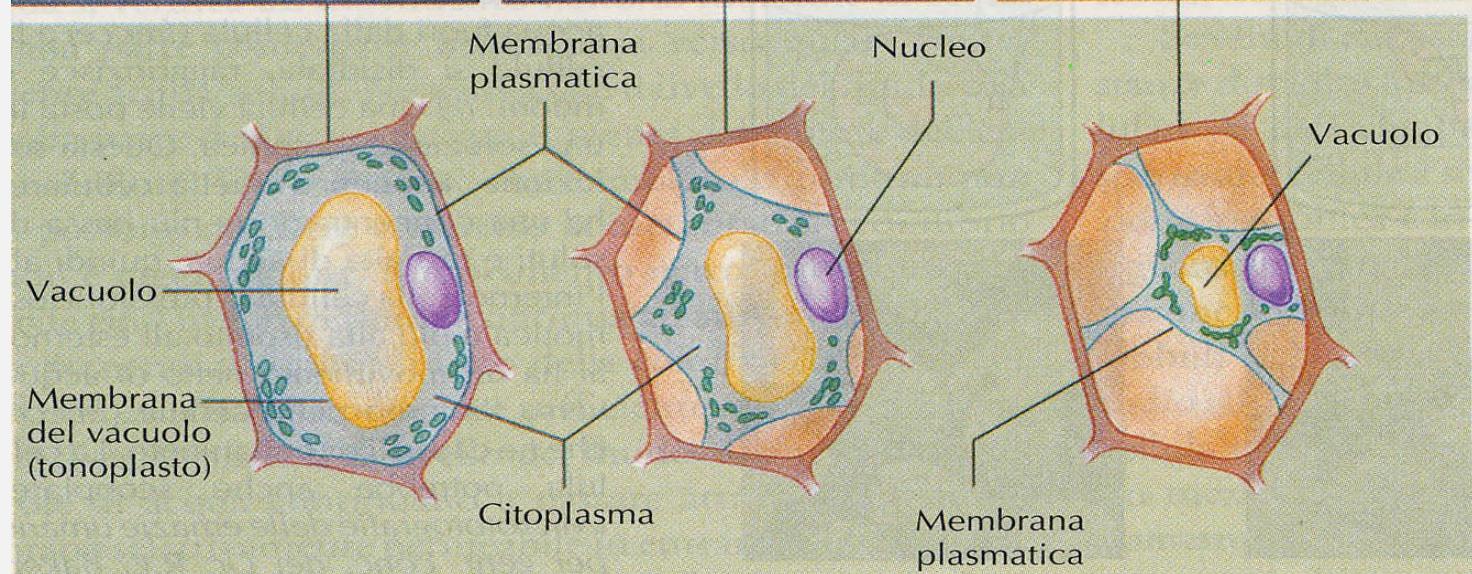
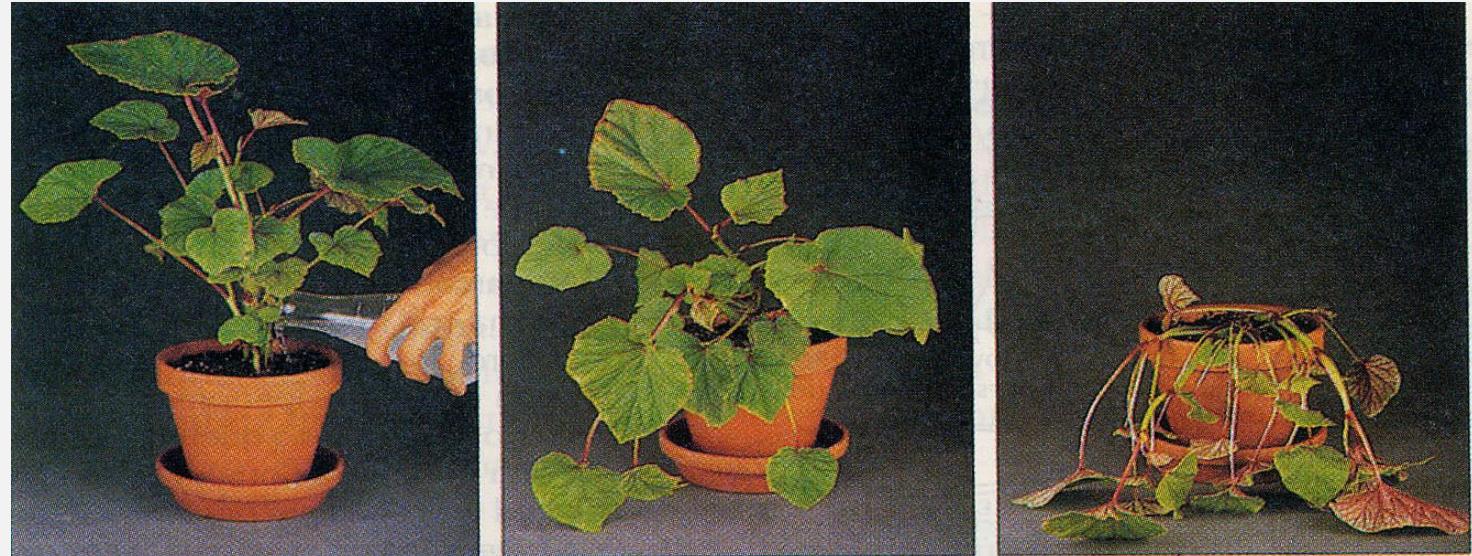
**Funzione meccanica: il “gioco di forza” tra vacuolo e parete cellulare** conferisce alla cellula vegetale caratteristiche proprietà meccaniche.

Il turgore cellulare è responsabile della consistenza delle giovani piantine.



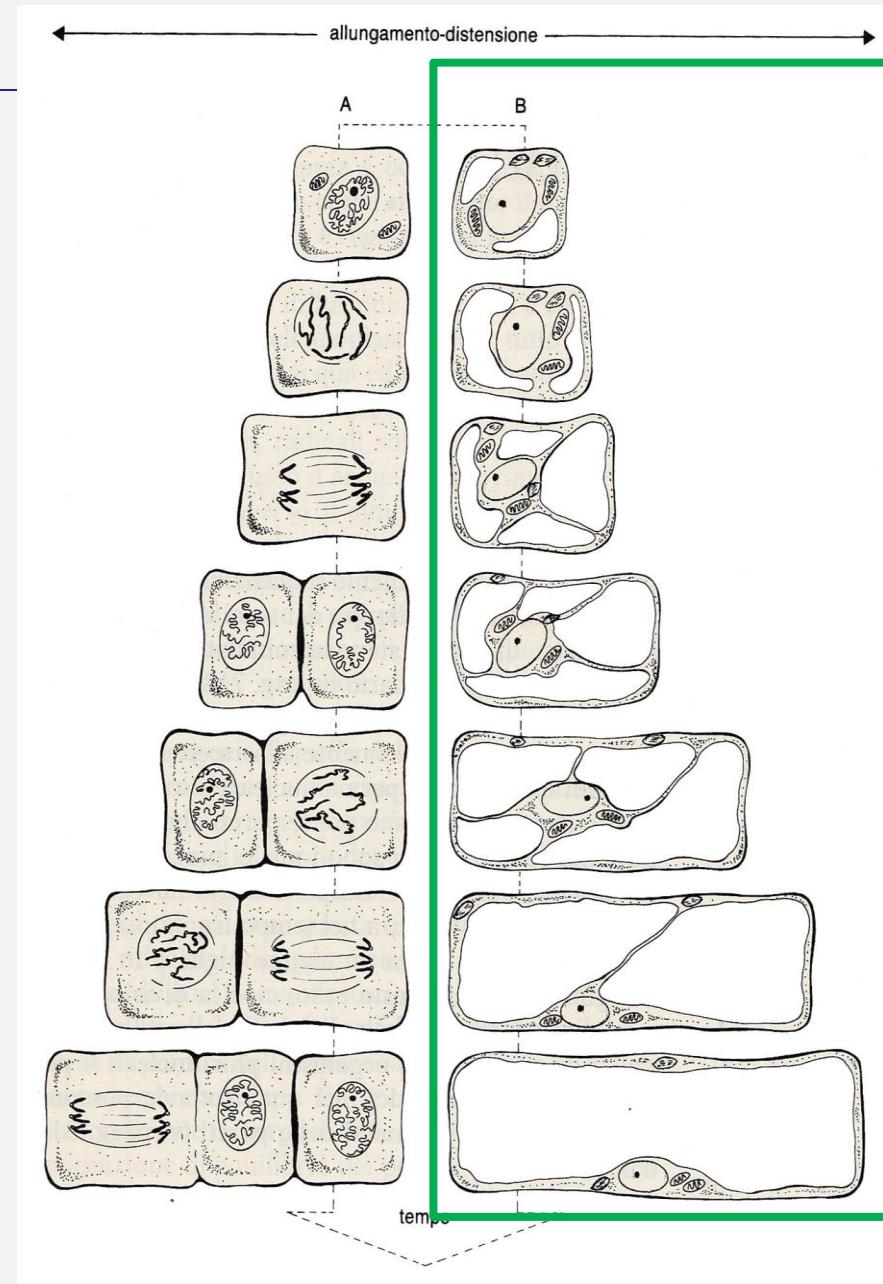
## Piante erbacee: la pressione di turgore da un importante contributo al sostegno.

**Se i vacuoli perdono acqua  
(es. aridità del terreno)  
le cellule perdono turgidità  
e la pianta appassisce.  
Lo stesso è valido per le  
parti giovani di una pianta  
arborea.**



# *CRESCITA PER DIVISIONE*

- *crescita per distensione:*

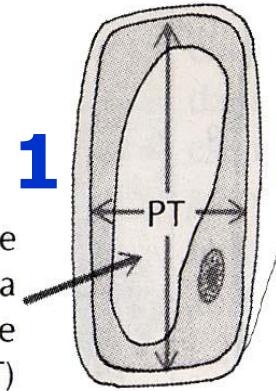
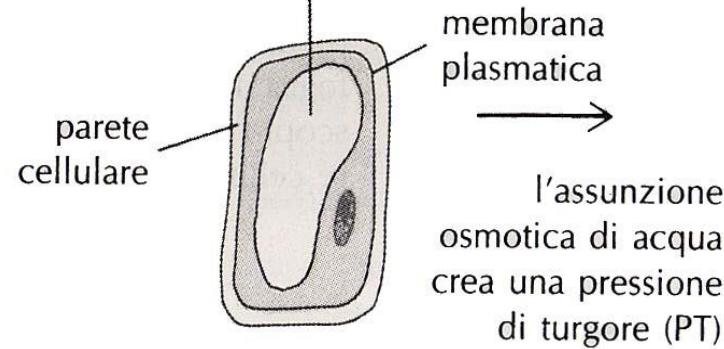


# *CRESCITA PER DISTENSIONE*

**Il vacuolo fornisce la  
forza propulsiva per  
la distensione**

# Meccanismo di distensione

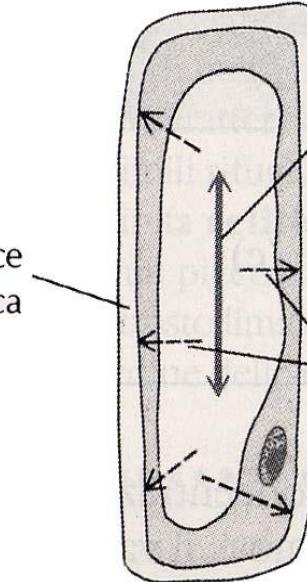
la concentrazione dei soluti  
nella cellula è maggiore  
di quella nel suo ambiente



**2** la cellula induce  
plasticità nella parete

la parete cellulare subisce  
una distensione plastica

**3**



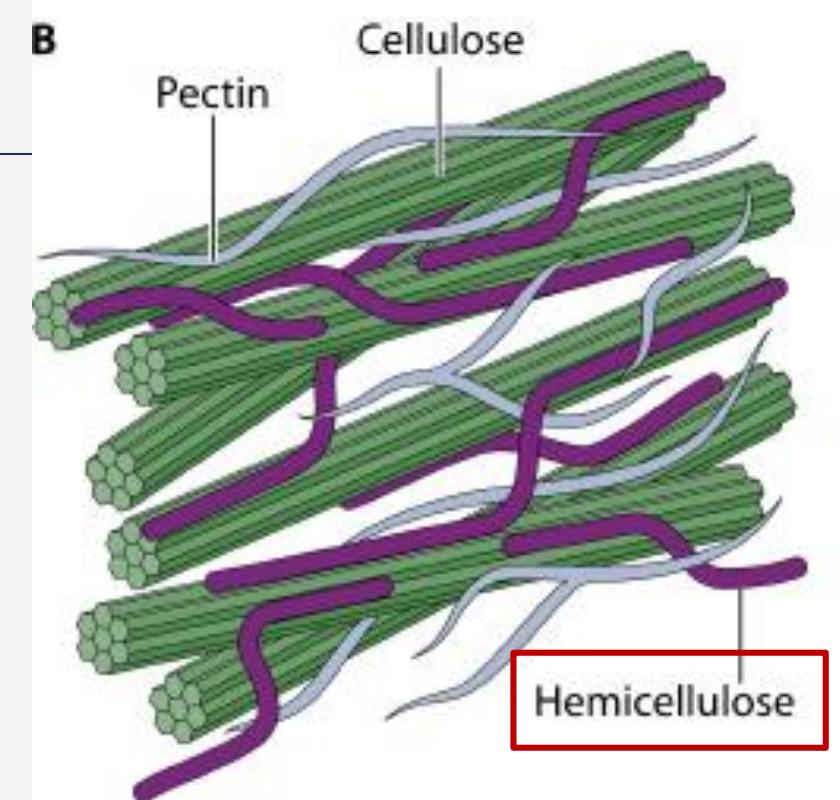
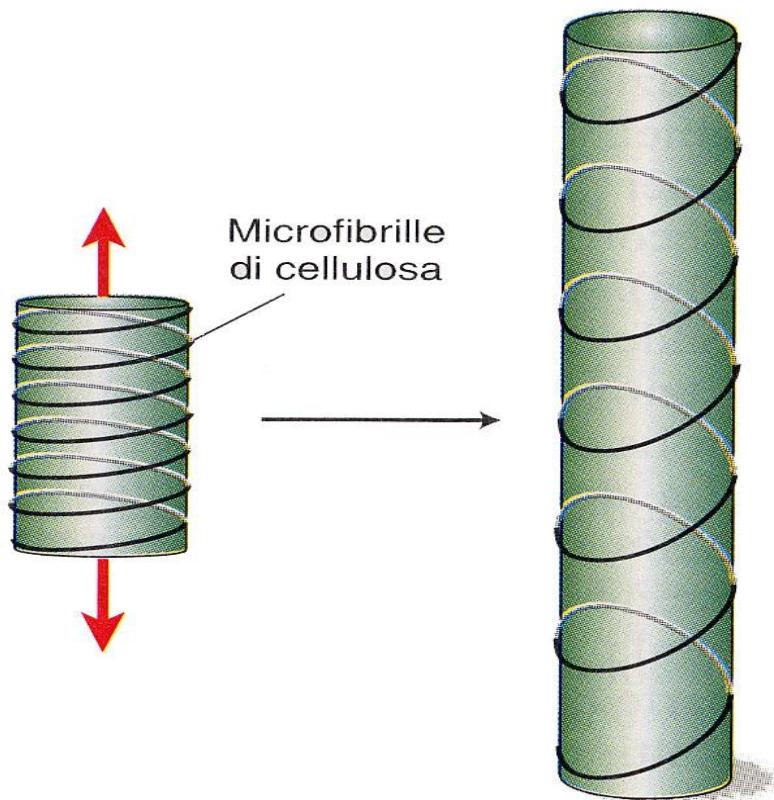
la cellula si distende  
in una direzione  
controllata  
dall'orientamento delle  
microfibrille di cellulosa  
nella parete cellulare

la sintesi di una nuova  
parete cellulare durante  
la distensione mantiene  
costante lo spessore  
della parete

## Durante l'accrescimento e la distensione la parete si modifica

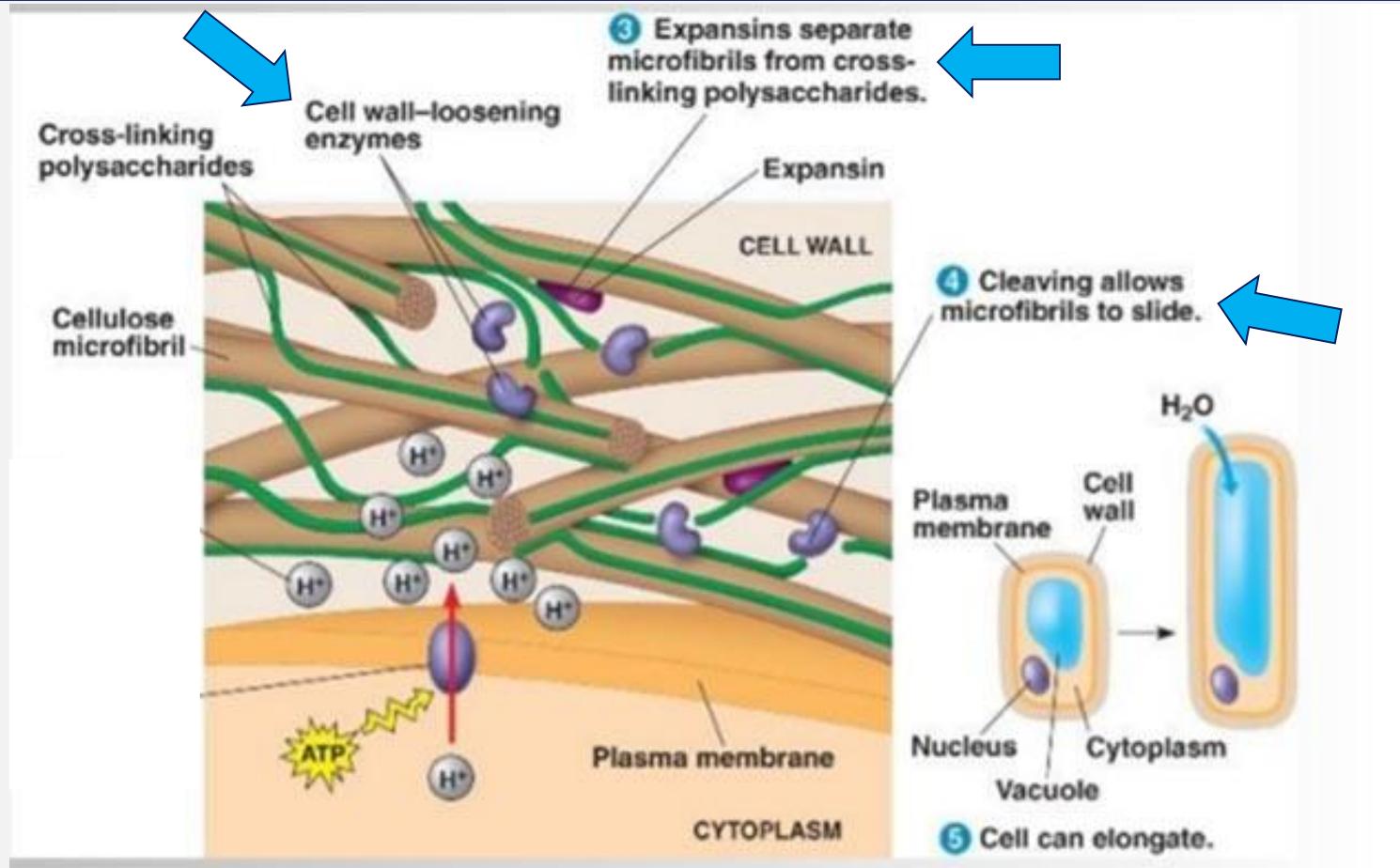
Nella parete le emicellulose si dispongono longitudinalmente rispetto alla cellulosa e collegano tra loro le microfibrille stabilizzando la struttura.

C) Allontanamento delle spire delle microfibrille di cellulosa in una cellula in distensione



Durante la crescita per distensione il vacuolo si riempie di acqua e esercita una pressione di turgore sulla parete così da provocare l'allontanamento delle fibrille di cellulosa.

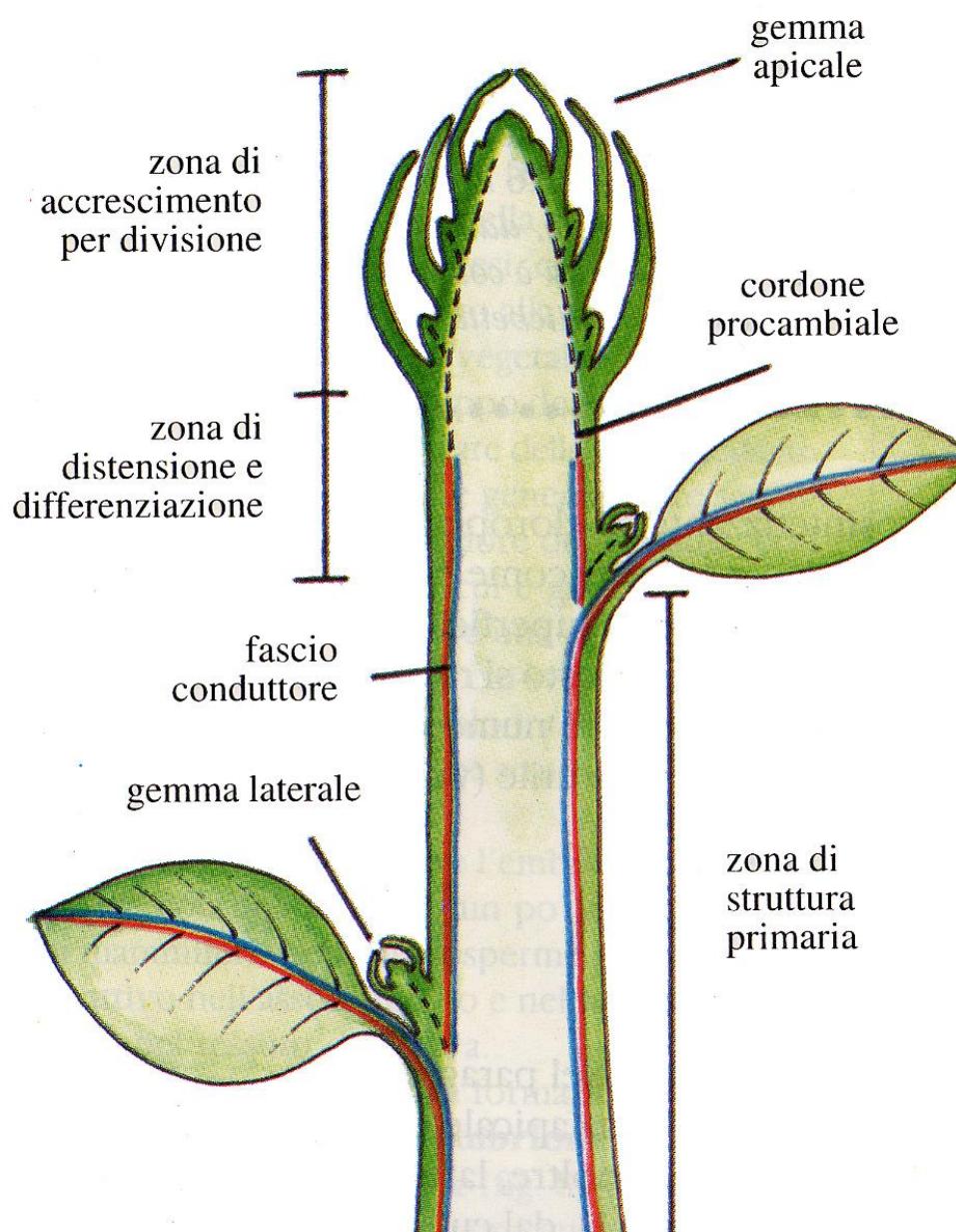
Le emicellulosa vengono idrolizzate o si distaccano (espansine) dalle fibrille di cellulosa favorendone l'allontanamento.



Gli spazi creati dall'allontanamento delle microfibrille sono riempiti da nuova matrice.

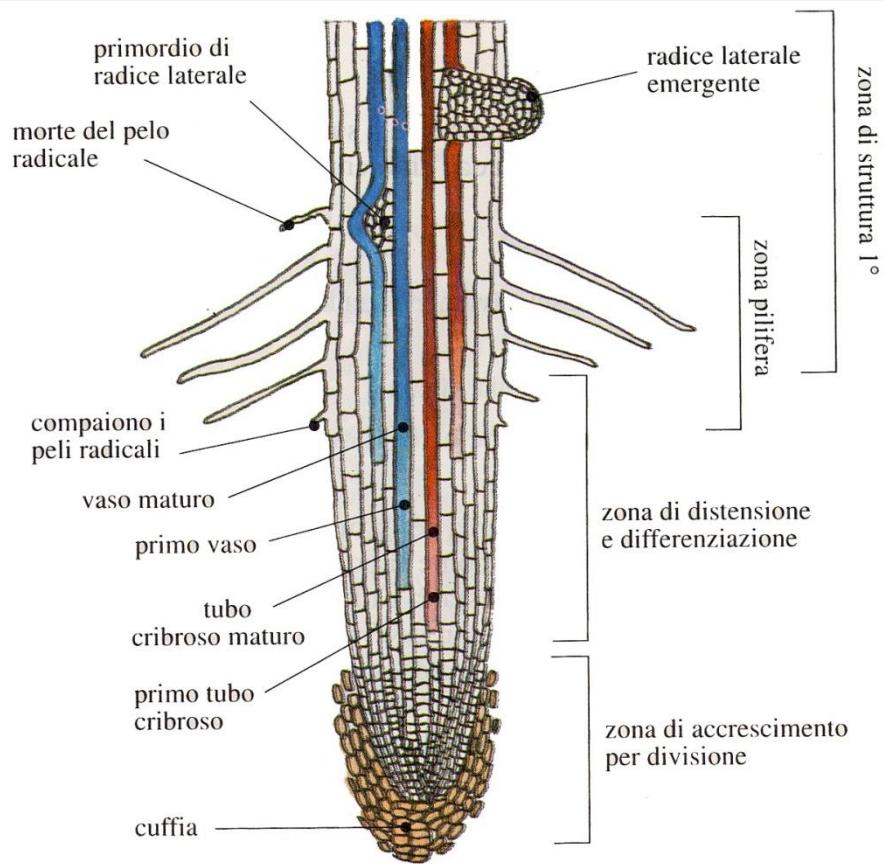
In tal modo la parete può seguire l'ingrandimento del vacuolo e consentire la distensione della cellula.

# Germoglio

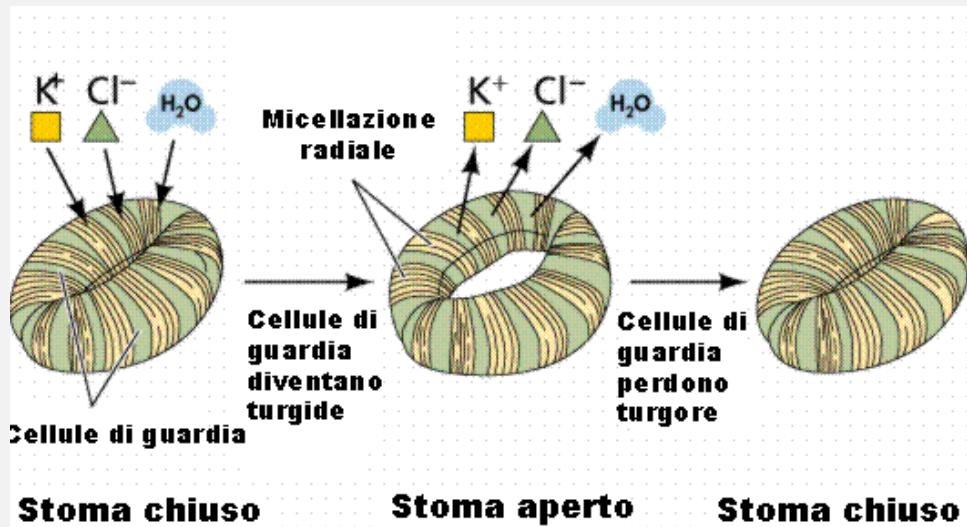
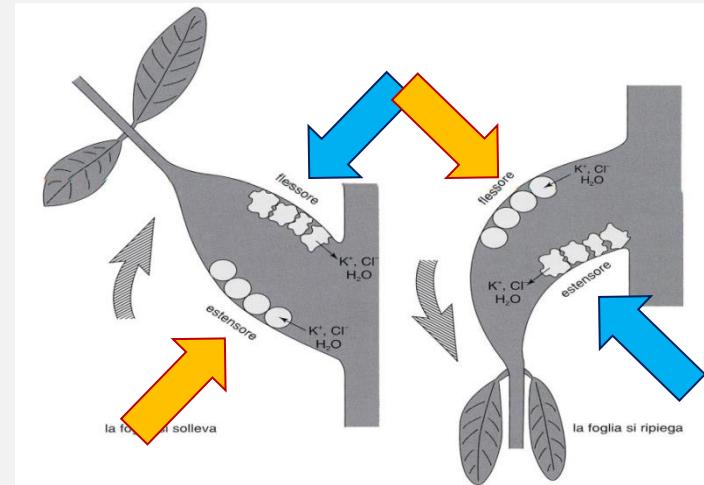


**Pressione di turgore e Distensione stanno alla base dei processi di morfogenesi**

## Radice



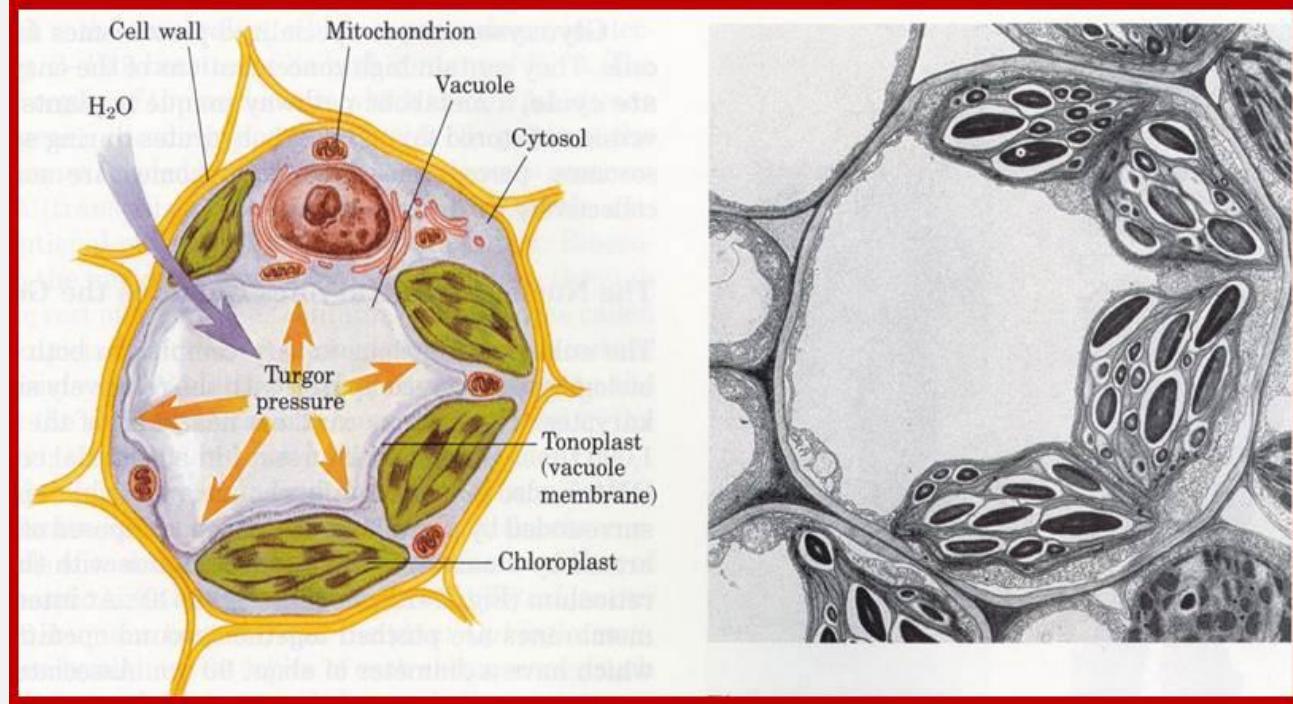
## - movimento di alcune strutture



- Apertura e chiusura degli stomi

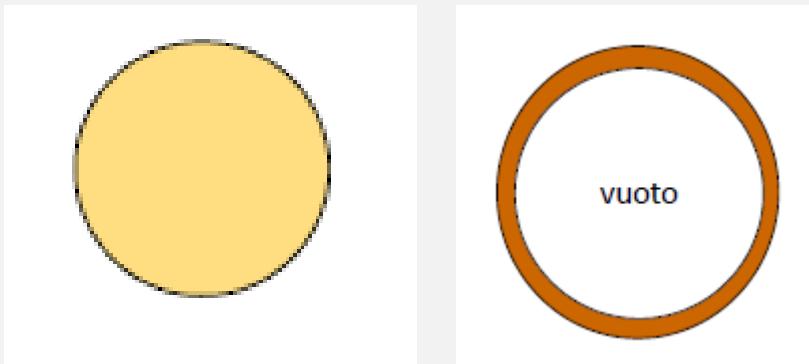
# Pressione di turgore

- 1. Mantiene le cellule turgide**
- 2. Mantiene turgidi interi organi o piante erbacee in cui scarseggiano i tessuti di sostegno**
- 3. E' la forza motrice della distensione cellulare determinando l'aumento in volume delle cellule giovani**
- 4. Le dimensioni dei vacuoli regolano l'apertura e la chiusura degli stomi**
- 5. Favorisce il movimento degli organi nella pianta**

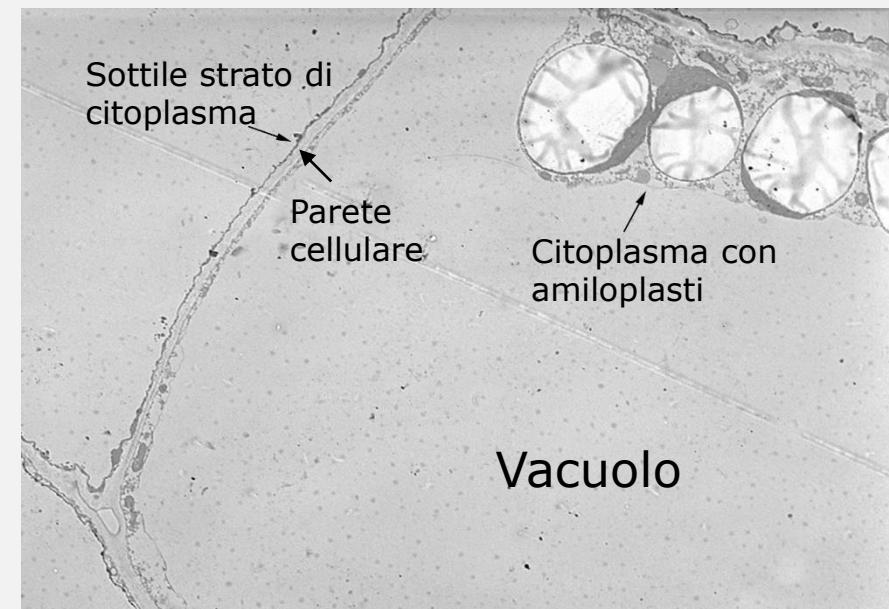
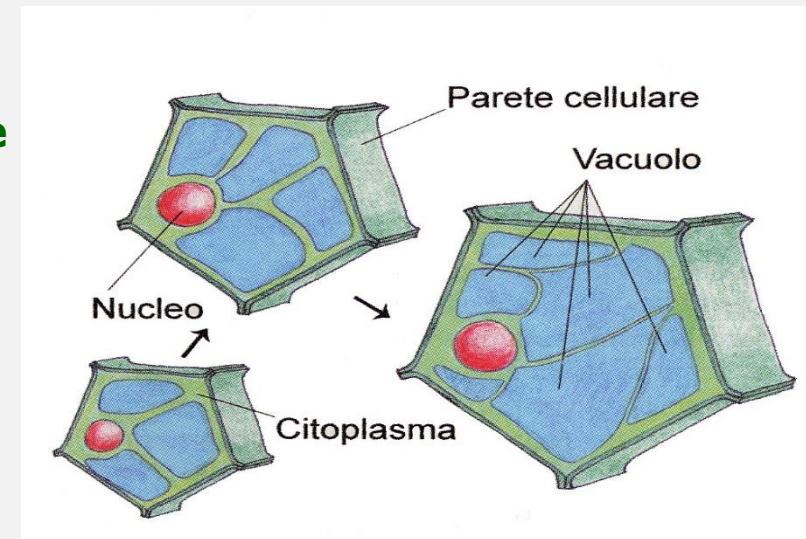


**Mantenimento del rapporto superficie/volume**: Il vacuolo può essere visto come un  
compartimento esterno che consente alla cellula di aumentare notevolmente le proprie dimensioni.

**I vacuoli consentono alla cellula di aumentare in volume senza che venga sintetizzato citoplasma, che essendo ricco di proteine viene formato con grande dispendio energetico. Il succo vacuolare è meno ricco e pertanto “costa” meno alla cellula.**



Nei vegetali sono presenti cellule assai grandi. In esse il rapporto S/V è mantenuto ottimale grazie alla presenza del VACUOLO. Anziché aumentare la loro superficie, le cellule vegetali occupano la quasi totalità del loro volume con il **vacuolo**, una “cisterna” contenente principalmente acqua. Il vacuolo spinge il citoplasma e gli organuli verso la membrana plasmatica, che rappresenta il sito di scambio con l’ambiente.



**Litica**: idrolizzano proteine, lipidi e glucidi intervenendo nel riciclo dei componenti cellulari.  
Contengono enzimi idrolitici (idrolasi: peptidasi, glicosidasi, esterasi).

## **Vacuoli che accumulano enzimi idrolitici:**

**Svolgono ruolo simile a quello dei lisosomi delle cellule animali.**

Cellula animale  
Cellula vegetale



**Necessità di isolare gli enzimi digestivi (idrolasi) dal contenuto cellulare**

**Tali enzimi sono separati dal resto della cellula da membrane per evitare digestioni indiscriminate e distruttive.**

**Idrolasi (peptidasi, RNAsi, DNAsi, lipasi, glicosidasi)** sono enzimi **aspecifici** in grado di idrolizzare o digerire con uguale efficacia sia le biomolecole da eliminare che quelle utili alla cellula.

Nei vacuoli possono anche essere degradati interi organuli (differenziamento e senescenza).

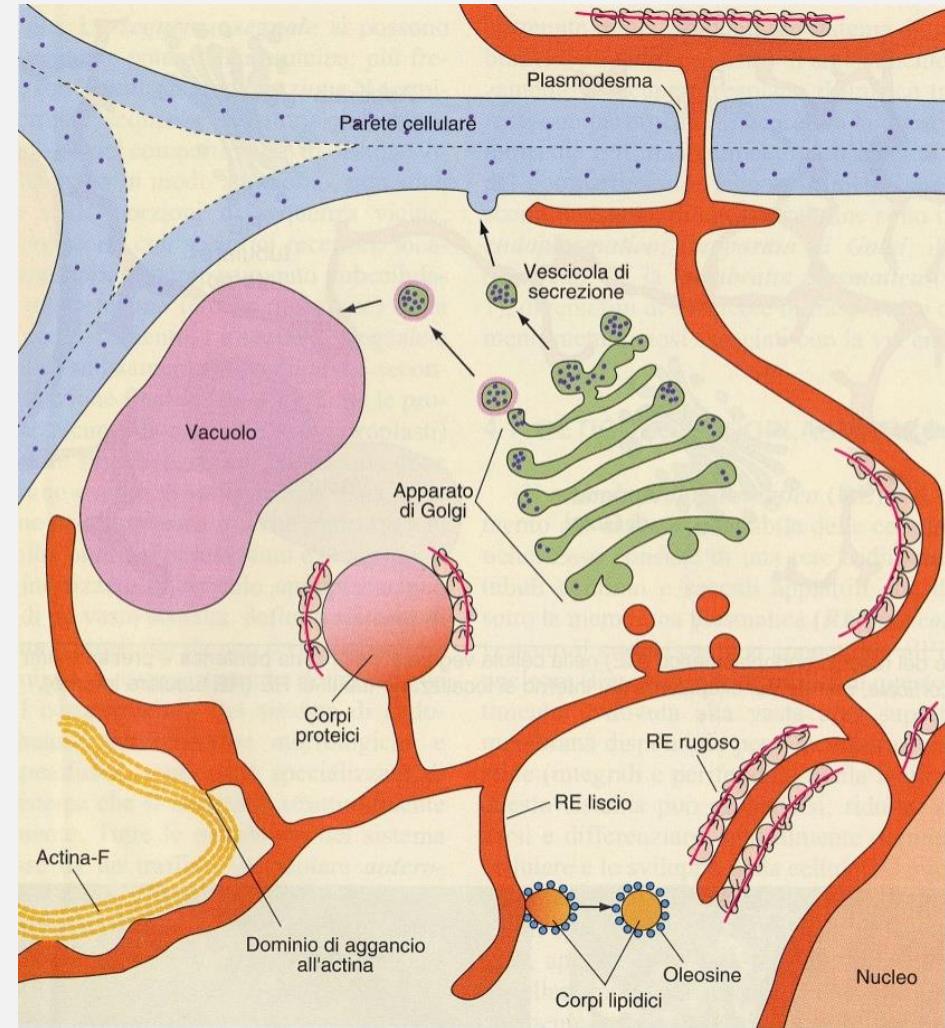
**Cellule animali  
Lisosomi**



**Cellule vegetali  
Vacuoli**

# Il tonoplasto è in grado di impedire il passaggio delle idrolasi

**Le idrolasi giungono al vacuolo all'interno di vescicole secrete dai dittiosomi e dal reticolo endoplasmatico, vescicole la cui membrana si fonde con il tonoplasto, scaricando il loro contenuto enzimatico all'interno del succo vacuolare.**





# Perché intervengono le idrolasi?

**In tutti gli organismi viventi, piante incluse, avviene un continuo “turnover” dei materiali che li costituiscono. Proteine, acidi nucleici, organelli cellulari, vanno tutti incontro in tempi più o meno lunghi a inattivazione e la cellula si libera di queste strutture ormai inutili digerendole e recuperando al tempo stesso i materiali utili per la ricostruzione.**

**Anche il materiale internalizzato attraverso i processi di endocitosi, se destinato alla degradazione, viene inviato al vacuolo dove esso viene digerito e rende disponibile nuovo materiale per il mantenimento delle strutture e del metabolismo cellulare.**

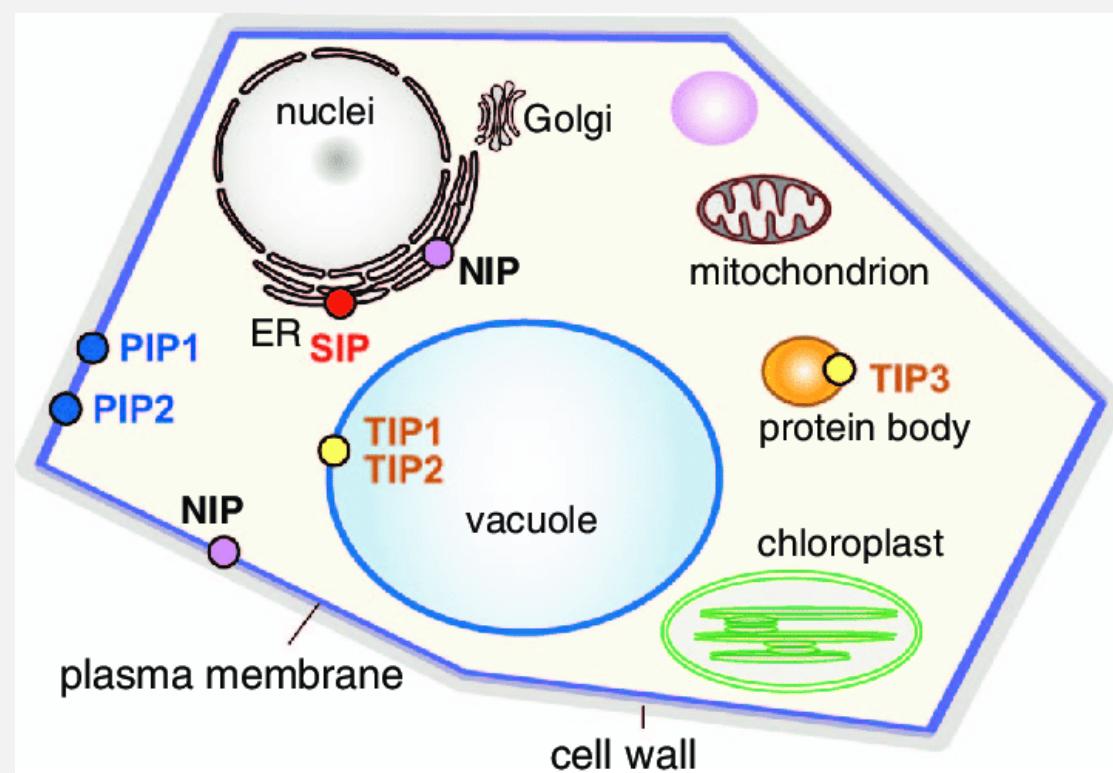
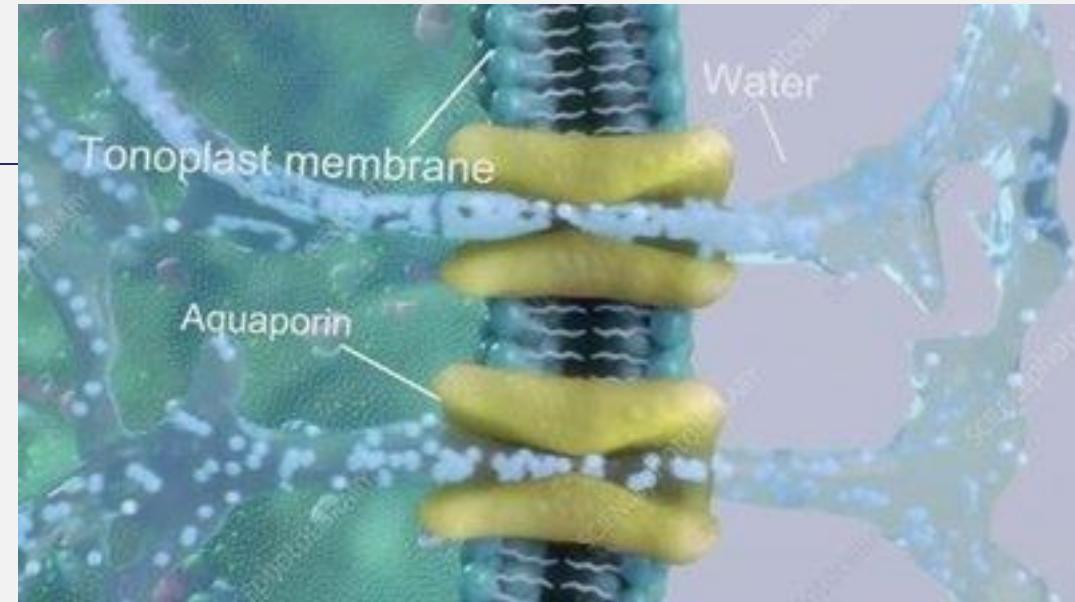


I vacuoli litici sono perciò compartimenti acidi e contengono enzimi idrolitici simili agli enzimi lisosomiali delle cellule animali.

Il tonoplasto di tali vacuoli contiene delle proteine intrinseche specifiche denominate **Aquaporin**: esse sono proteine canale che consentono il trasporto di acqua attraverso la membrana.

Le acquaporine del tonoplasto sono denominate TIPs (tonoplast intrinsic proteins) mentre quelle della membrana plasmatica sono chiamate PIPs (plasma membrane intrinsic proteins).

Diverse acquaporine possono identificare vacuoli diversi all'interno della cellula.





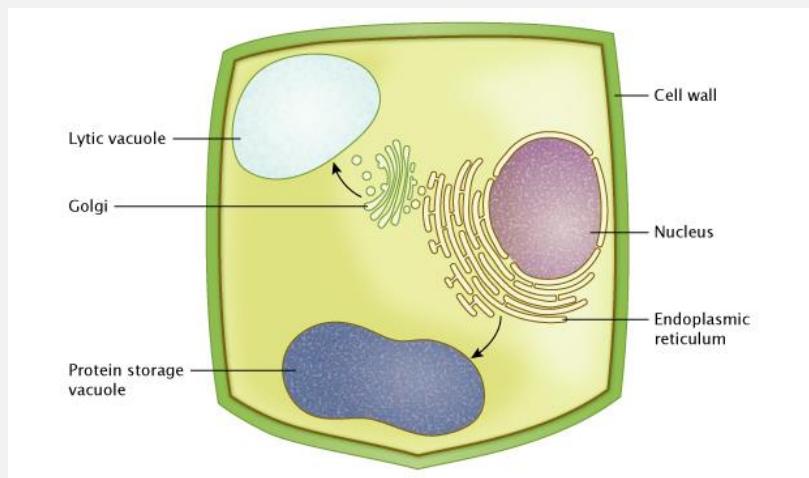
Due separati compartimenti vacuolari definiti dalla presenza di proteine di membrana di tipo  $\alpha$ -TIP e  $\gamma$ -TIP, sono presenti entrambi in cellule apicali di radici di orzo.

I vacuoli  $\alpha$ -TIP positivi sono vacuoli di accumulo in cui le proteine sono protette dall'azione degli enzimi di degradazione.

I vacuoli  $\gamma$ -TIP positivi sono vacuoli diversi: acidi e con attività litica.

I vacuoli delle cellule vegetali sono ampiamente diversi nella forma, nella taglia, nel contenuto e nella funzione.

Una singola cellula può contenere più di un tipo di vacuolo.



Studi recenti hanno dimostrato che vacuoli distinti possono funzionare simultaneamente all'interno della stessa cellula.

