

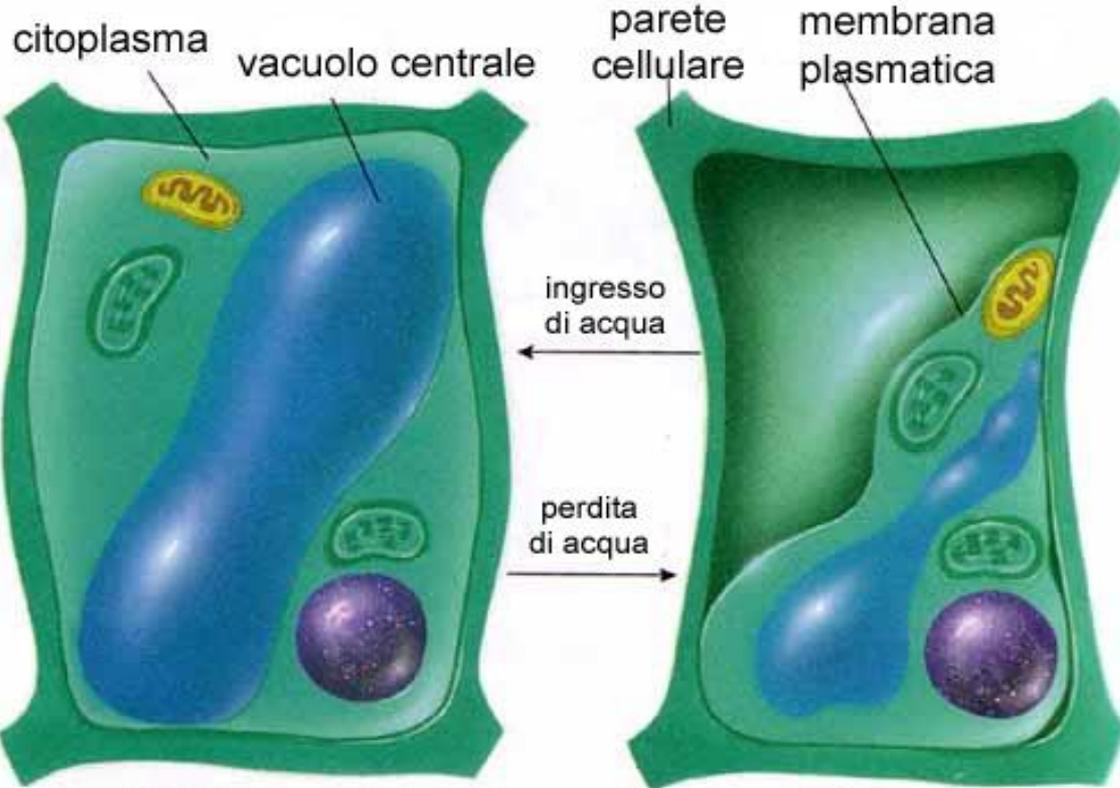
TURGORE cellulare

cellula turgida

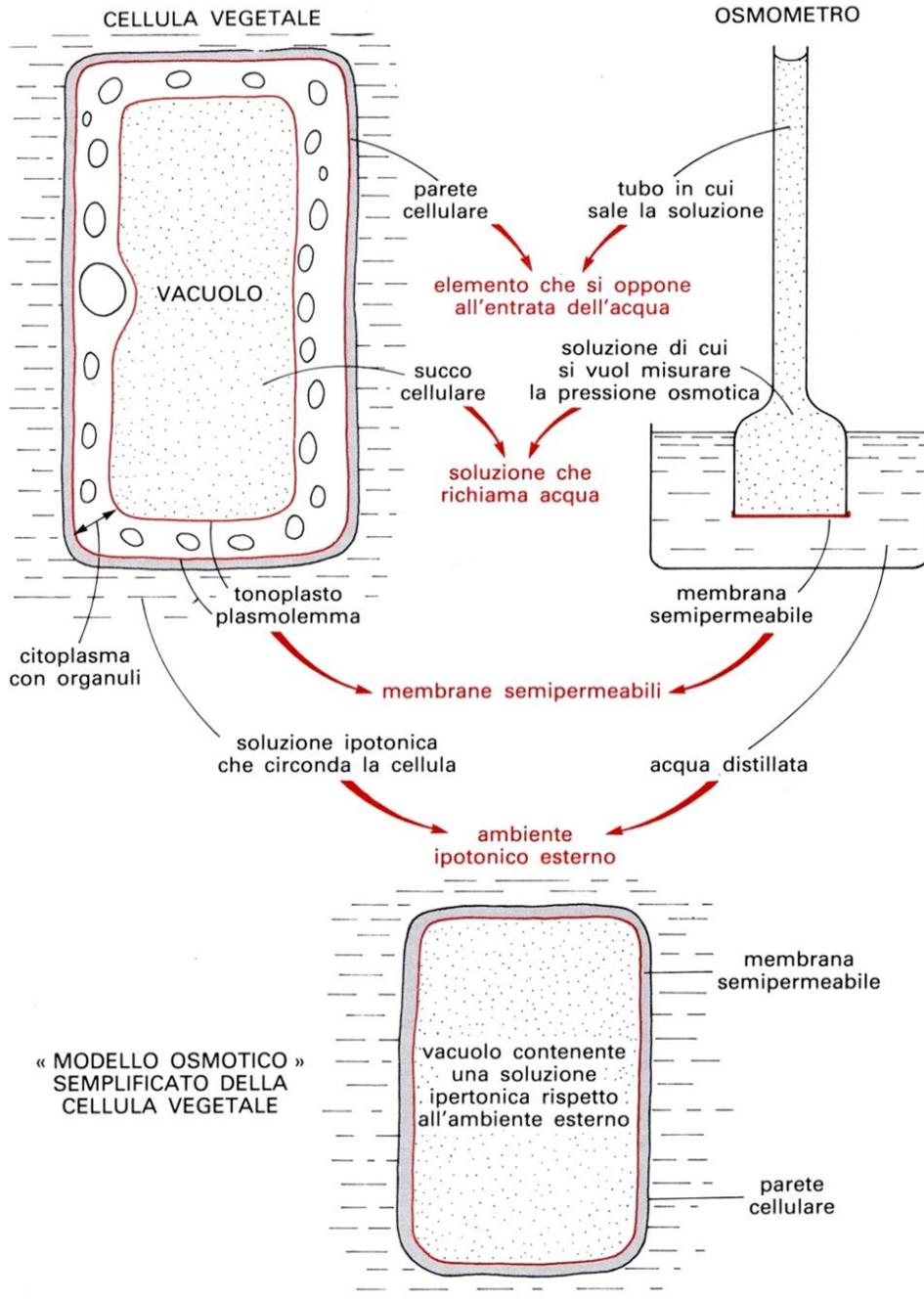


riduzione
potenziale
osmotico

perdita di tono



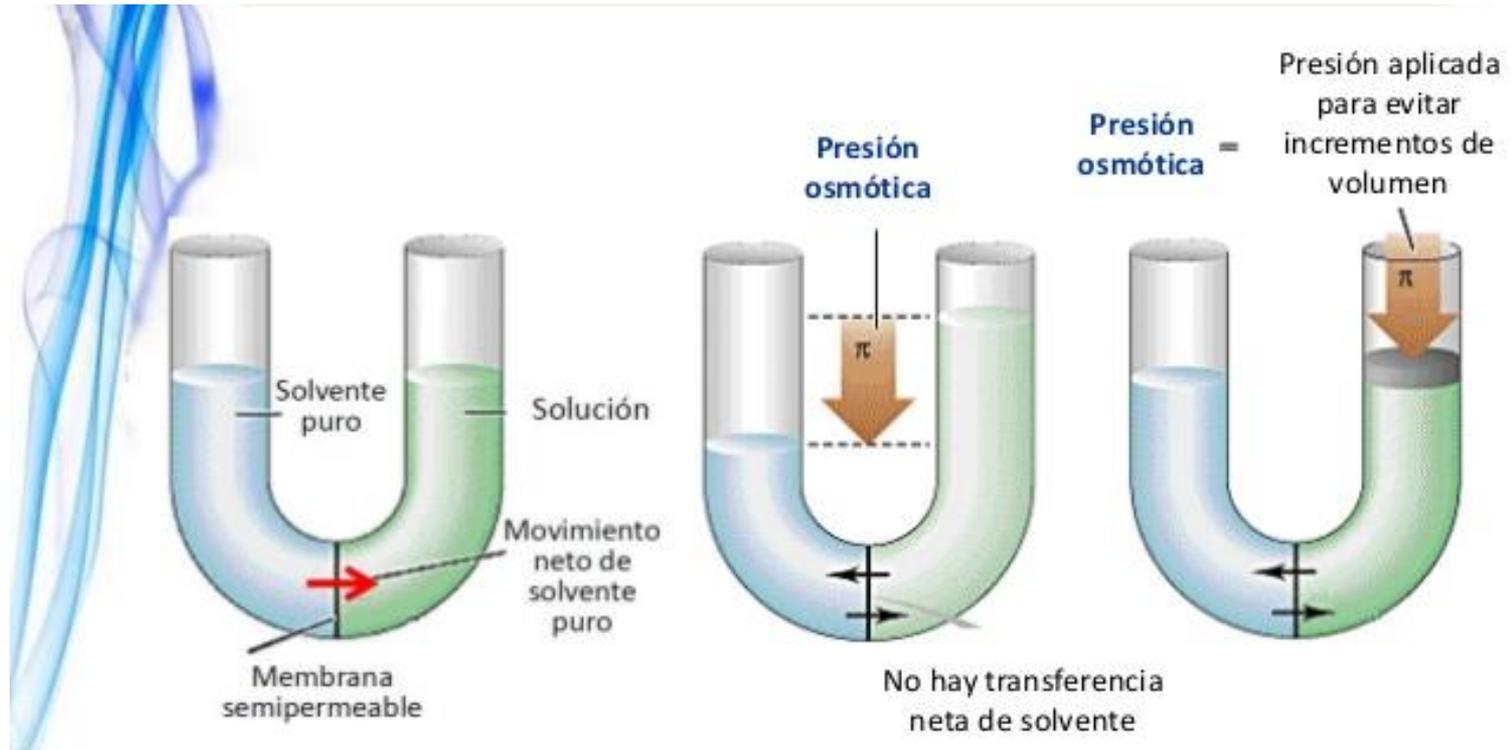
**Potenziale osmotico =
potenziale dei soluti.**



Sopra: paragone tra una cellula vegetale e un osmometro. Sotto: per studiare il comportamento osmotico di una cellula vegetale bisogna tener conto del vacuolo, delle membrane semipermeabili e della parete: il resto può essere trascurato, almeno in prima approssimazione. Ne risulta un modello della cellula estremamente semplificato rispetto alla realtà, ma adeguato per spiegare i fenomeni osmotici. Se si considerasse un'altra attività della cellula, per esempio gli scambi gassosi, bisognerebbe costruirsi un modello del tutto diverso, il quale per esempio tenesse conto degli organuli e del citoplasma.

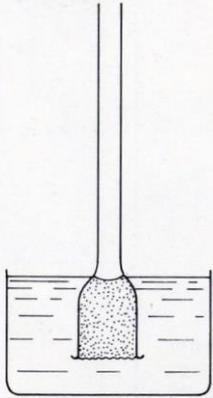
Il turgore cellulare è una tipica situazione di equilibrio che dura indefinitamente per tutta la vita della cellula. Perché questo equilibrio cambi, deve cambiare la concentrazione esterna di soluti, oppure nella cellula possono variare:

- 1) le proprietà meccaniche della parete;
- 2) la concentrazione di soluti nel vacuolo;
- 3) la permeabilità ai soluti delle membrane.

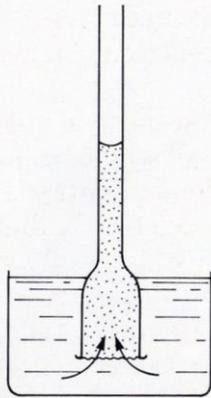


Il comportamento osmotico di una cellula vegetale immersa in una soluzione ipotonica è paragonabile a quello di un osmometro.

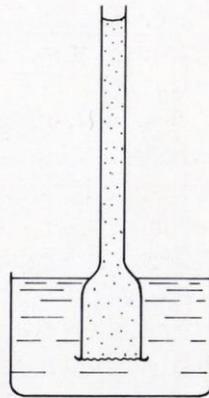
OSMOMETRO



Stato iniziale: osmometro appena riempito con la soluzione di cui si vuol misurare la pressione osmotica.

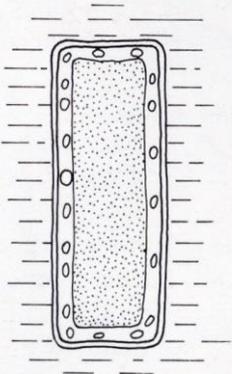


L'acqua comincia a entrare nell'osmometro e ne diluisce la soluzione che sale su per il tubo.

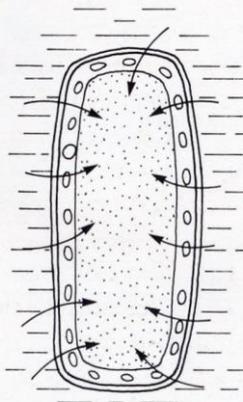


Stato di equilibrio: la pressione idrostatica esercitata dalla colonna di liquido controbilancia esattamente la tendenza dell'acqua ad entrare. Non si ha più un movimento netto d'acqua.

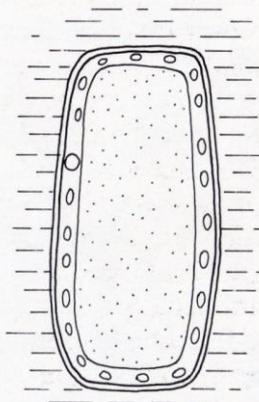
CELLULA VEGETALE



Stato iniziale: cellula appassita immersa in una soluzione ipotonica.



L'acqua comincia a entrare nel vacuolo e ne diluisce il contenuto. La cellula si gonfia; la parete entra in tensione.



Stato di equilibrio: la reazione elastica della parete tesa controbilancia esattamente la tendenza dell'acqua ad entrare. Non si ha più un movimento netto d'acqua. La cellula è turgida.

!!! la concentrazione di molecole all'interno dell'insieme delle membrane biologiche è il risultato di un LAVORO → **potenziale idrico** (= tendenza dell'acqua di lasciare una determinata posizione a favore di un'altra)

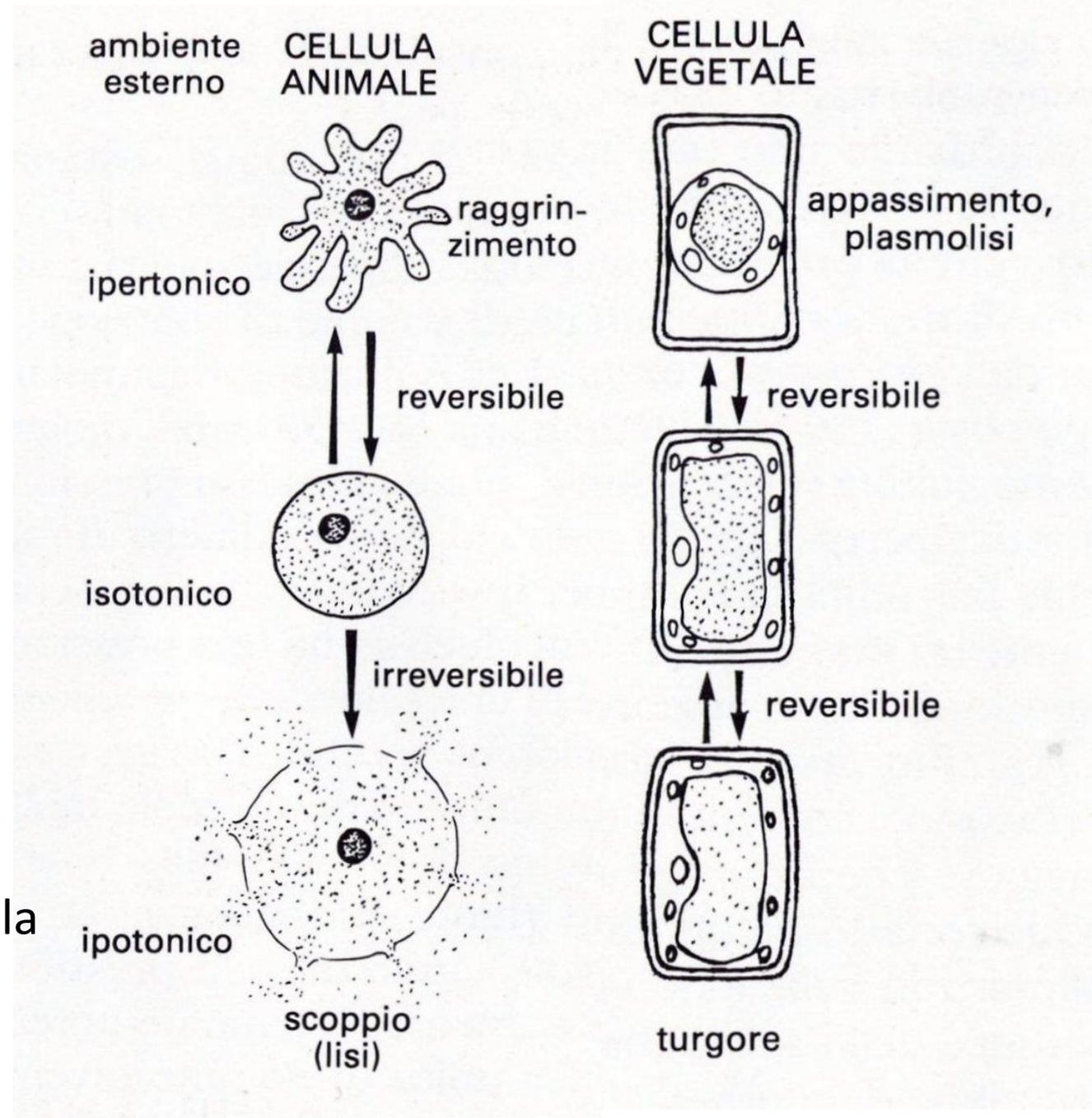


Forza motrice per il movimento dell' H₂O nella pianta

Concentrazione di soluti all' esterno >
Concentrazione di soluti all'interno della cellula

Concentrazione di soluti è = nei due distretti

Concentrazione di soluti all' esterno <
Concentrazione di soluti all'interno della cellula



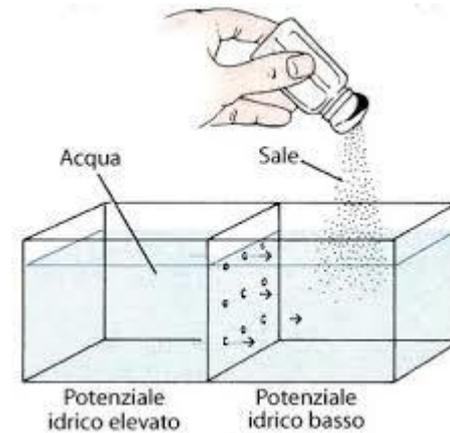
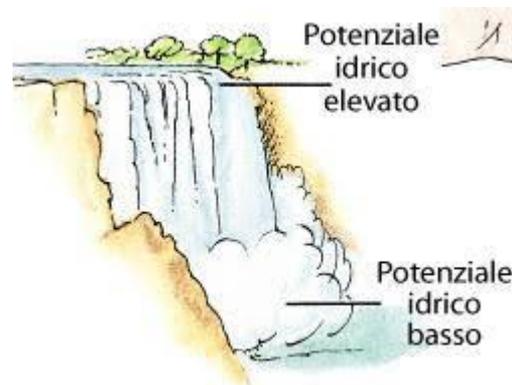
POTENZIALE IDRICO (Ψ)

Definizione quantitativa dei fenomeni \rightarrow i chimici hanno introdotto il concetto di **potenziale idrico** = lavoro necessario a spostare 1 mole di H_2O da un punto in cui è pura verso la soluzione reale in esame.

L'acqua si muove fra due punti del sistema se tra di loro c'è una **differenza (Δ) di potenziale idrico (ψ)**.

Convenzione: potenziale idrico dell'acqua pura sottoposta alla pressione di 1 atmosfera (e T ambiente) = 0 \rightarrow le sue dimensioni sono quelle di 1 pressione.

pressione



POTENZIALE OSMOTICO (Ψ_s)

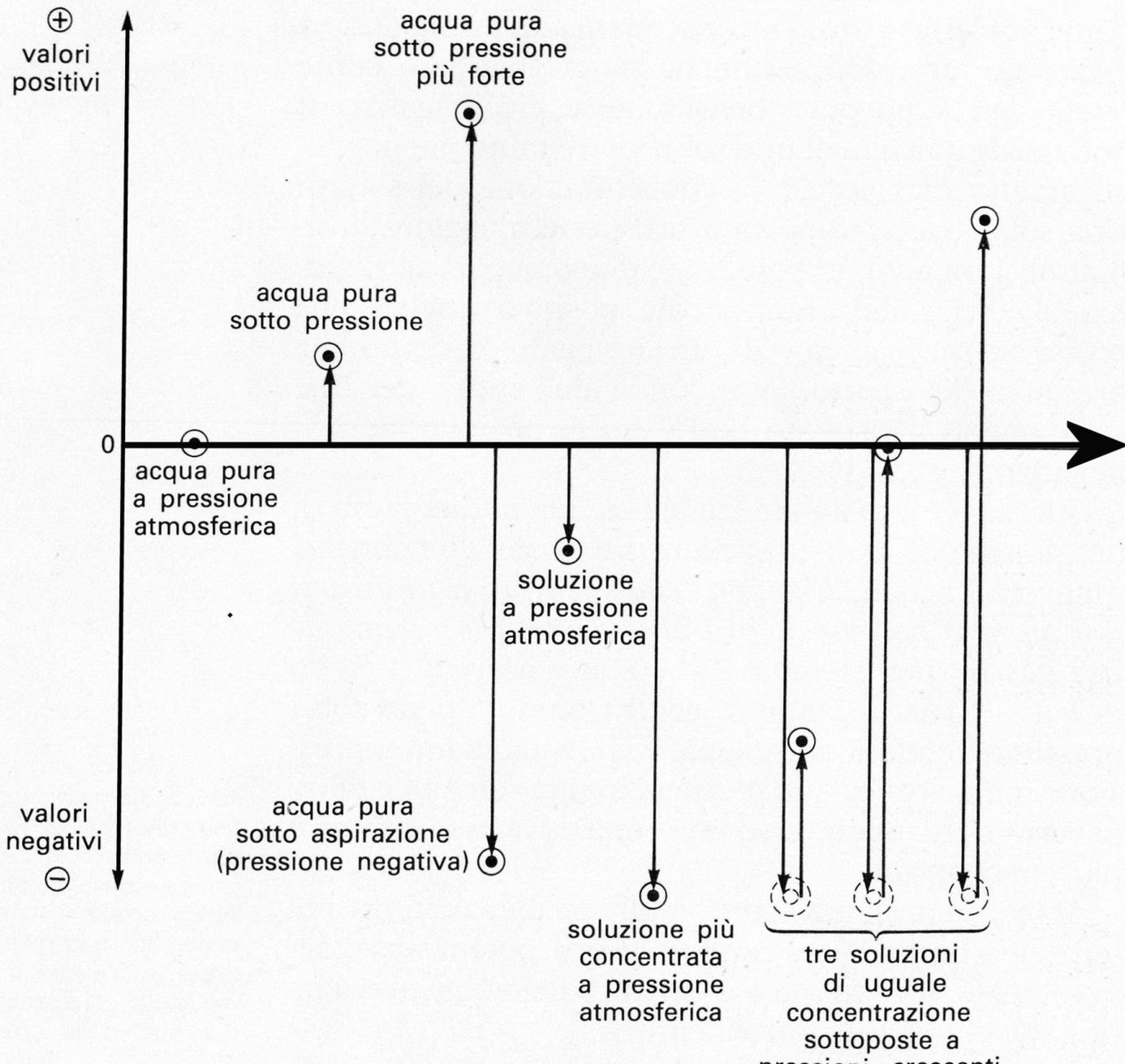
Potenziale osmotico o **potenziale dei soluti “ Ψ_s ”** rappresenta l'effetto sul Ψ_{aq} dovuto alla presenza di soluti disciolti.

Il **potenziale osmotico Ψ_s** di una soluzione è **sempre negativo** (zero nell'H₂O pura) poiché l'aggiunta di particelle di soluto:

- Diminuisce la frazione di mole di H₂O
- Diminuisce la sua attività
- Aumenta l'entropia del sistema
- Diminuisce la sua energia libera e quindi la sua capacità di compiere lavoro

L'acqua tende sempre ad andare **dai punti a potenziale idrico maggiore a quelli a potenziale idrico minore** (più negativi = soluzioni più concentrate) → l'acqua “fugge” da zone a pressione maggiore, o da soluzioni più diluite verso quelle più concentrate.

I valori che può assumere il potenziale d'acqua.



Il **potenziale idrico di una cellula** vegetale è determinato essenzialmente da:

- 1) la concentrazione di soluti nel vacuolo;
 - **Soluti nel vacuolo → abbassamento del potenziale idrico del vacuolo**
- 2) le proprietà meccaniche della parete, in particolare la sua elasticità.
 - **Pressione di turgore della parete (pressione meccanica!) → conferisce all'acqua contenuta nella cellula un potenziale positivo.**

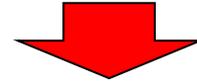
$$\Psi_{\text{idrico cellula}} = \Psi_{\text{osm.}} + \Psi_{\text{parete}} \quad (+ \Psi_{\text{matriciale}})$$

Il potenziale matriciale è una terza componente importante però in solo determinate fasi della vita di una pianta.

Pressione osmotica \leftrightarrow potenziale osmotico (Ψ_{osm})



pressione idrostatica che si oppone all'ingresso di nuove molecole di solvente, **positiva**



tendenza del solvente ad entrare per effetto dei soluti, **negativo**

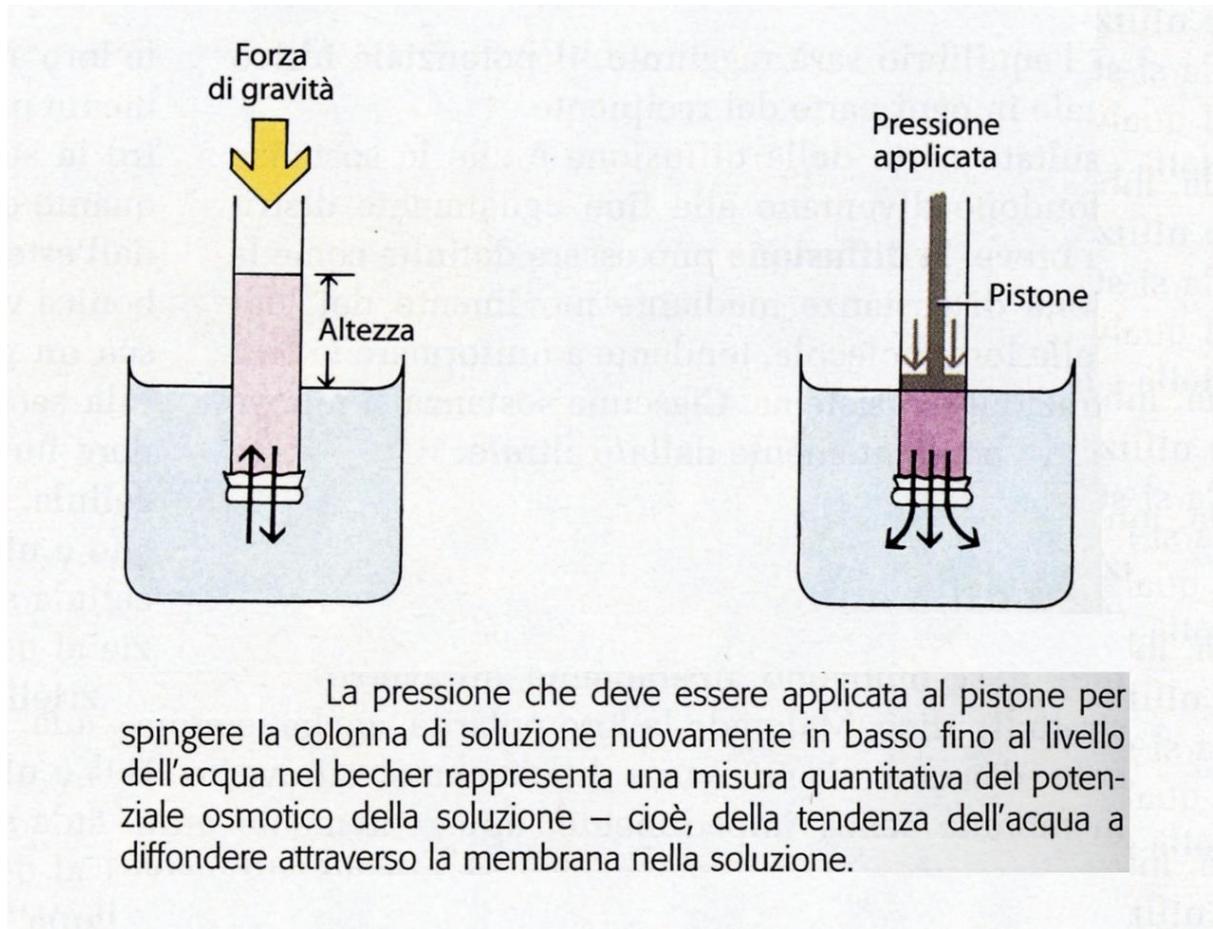
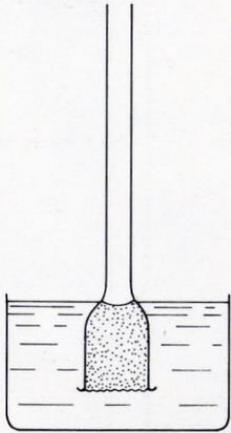


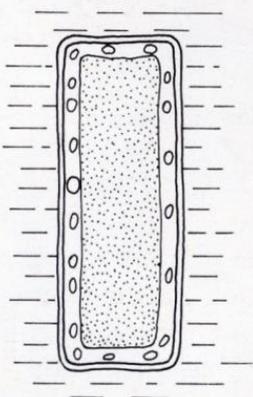
Diagramma di Höfler

OSMOMETRO

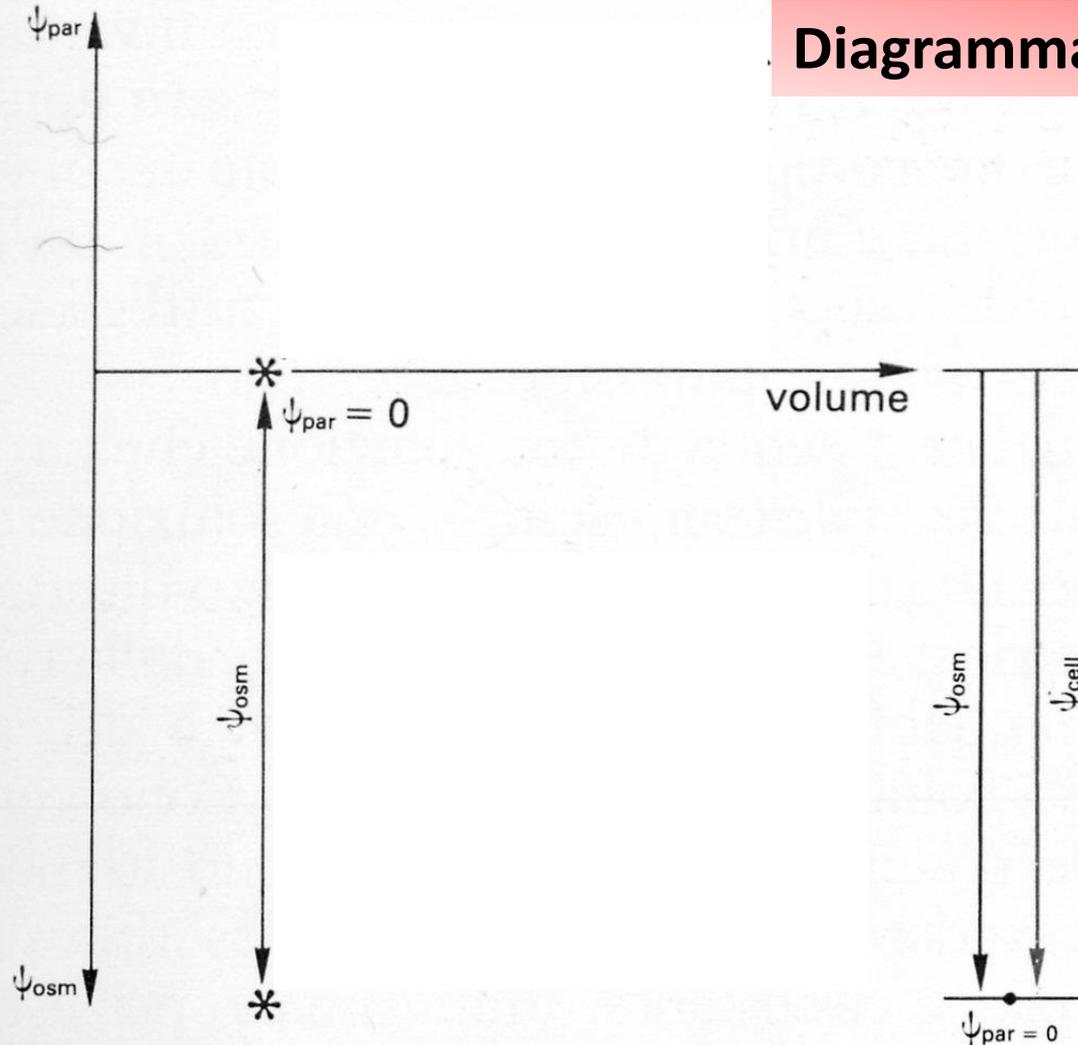


Stato iniziale: osmometro appena riempito con la soluzione di cui si vuol misurare la pressione osmotica.

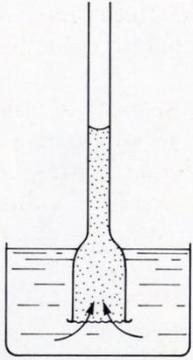
CELLULA VEGETALE



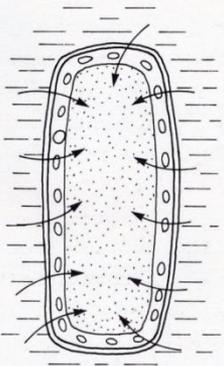
Stato iniziale: cellula appassita immersa in una soluzione ipotonica.



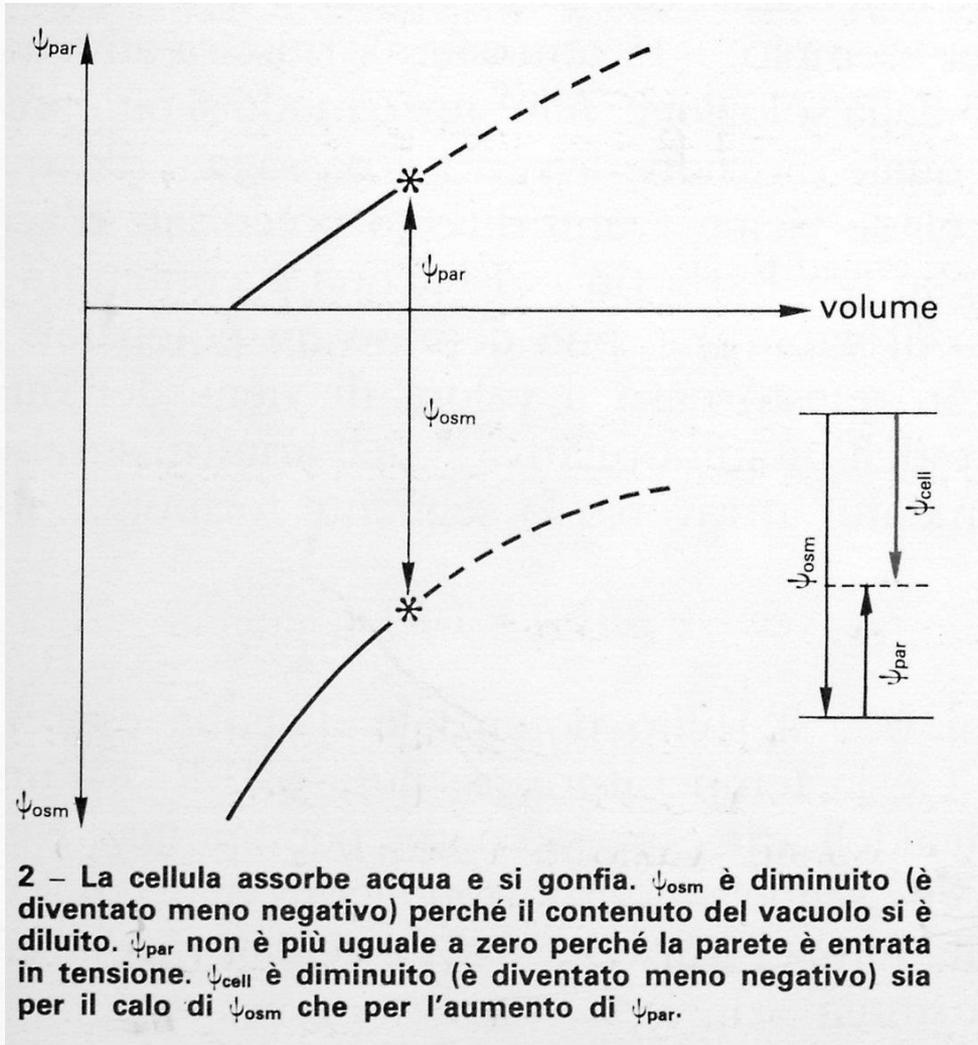
1 – Partiamo da una cellula appassita immersa in una soluzione ipotonica. $\psi_{\text{par}} = 0$ perché la parete è afflosciata; ψ_{osm} ha il valore massimo perché il vacuolo contiene il minimo d'acqua e quindi la massima concentrazione di soluti. ψ_{cell} ha il valore massimo e coincide con ψ_{osm} .



L'acqua comincia a entrare nell'osmometro e ne diluisce la soluzione che sale su per il tubo.

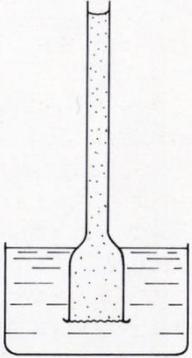


L'acqua comincia a entrare nel vacuolo e ne diluisce il contenuto. La cellula si gonfia; la parete entra in tensione.

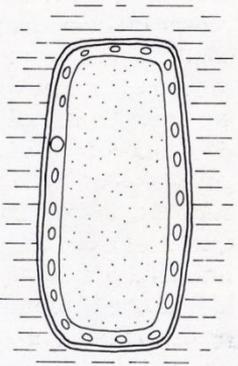


Mano a mano che perdura il flusso di acqua dalla soluzione extracellulare ipotonica:

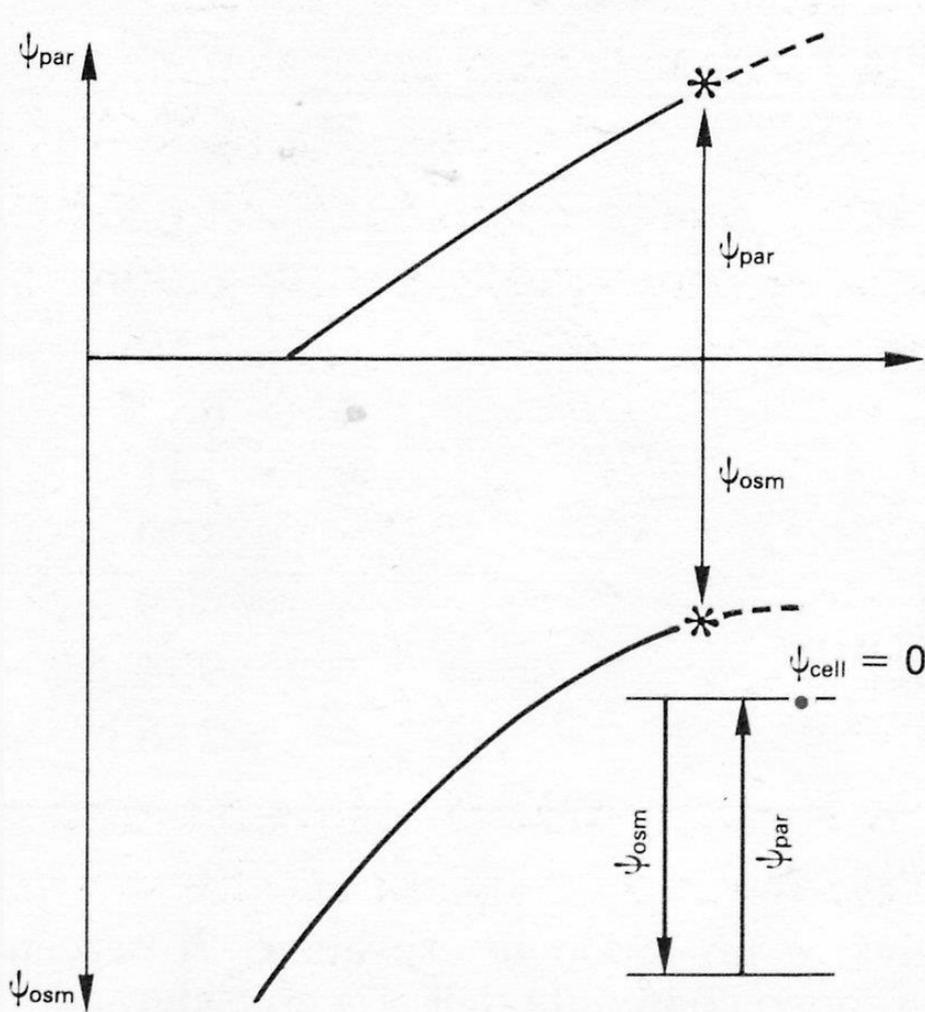
- 1) i soluti vacuolari si diluiscono → il potenziale osmotico diventa meno negativo;
- 2) la parete comincia ad entrare in tensione → il potenziale di parete acquista valori sempre più positivi.



Stato di equilibrio: la pressione idrostatica esercitata dalla colonna di liquido controbilancia esattamente la tendenza dell'acqua ad entrare. Non si ha più un movimento netto d'acqua.



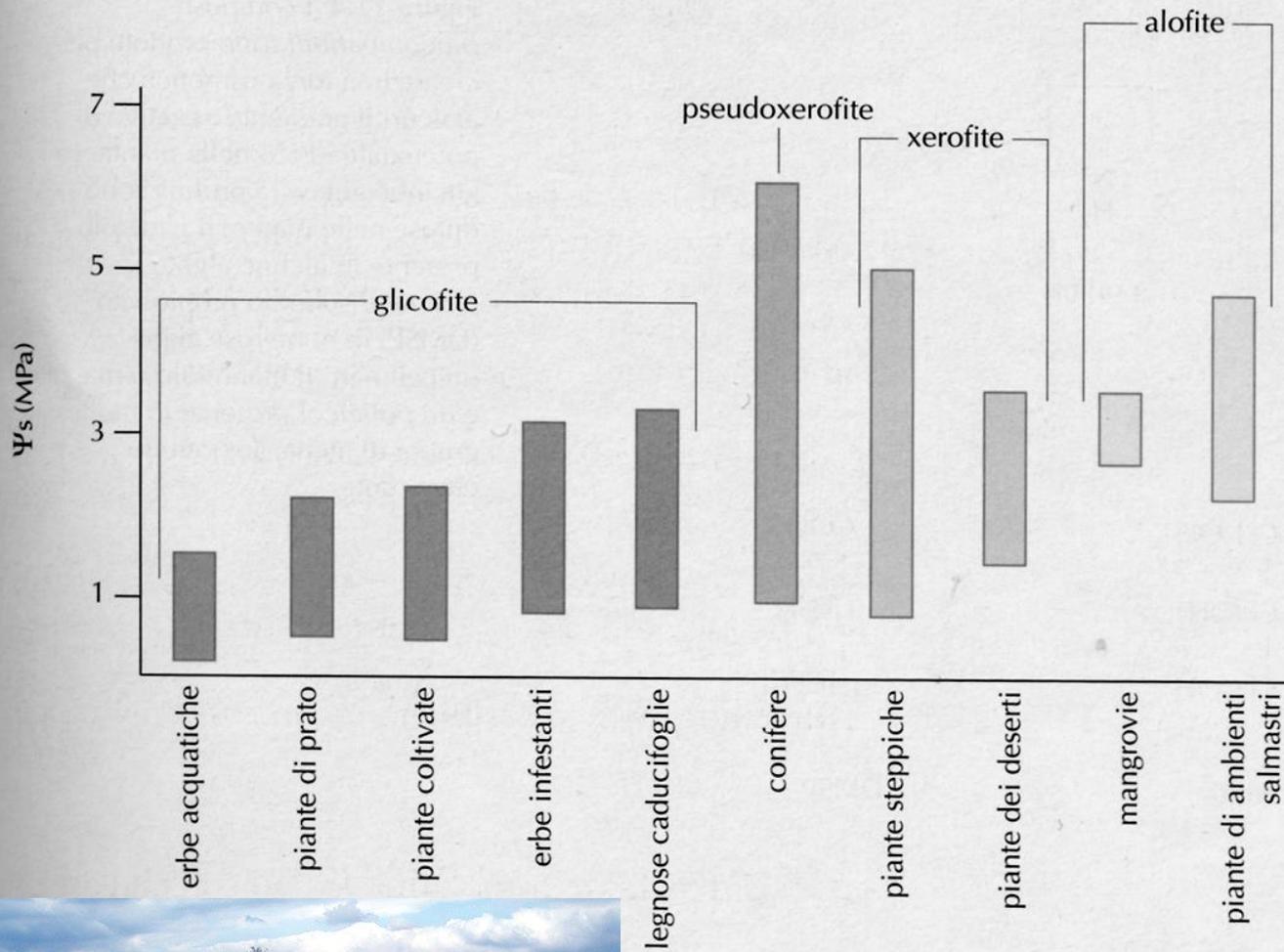
Stato di equilibrio: la reazione elastica della parete tesa controbilancia esattamente la tendenza dell'acqua ad entrare. Non si ha più un movimento netto d'acqua. La cellula è turgida.



3 – La cellula ha ancora assorbito acqua: ψ_{par} è salito mentre ψ_{osm} è diminuito (è diventato ancor meno negativo). Ora i valori di ψ_{osm} e ψ_{par} sono uguali e opposti: di conseguenza $\psi_{cell} = 0$. La cellula è turgida e non può più assorbire altra acqua.

La cellula raggiunge la condizione di massima **turgidità** (→ **massimo volume cellulare**) quando il **potenziale idrico della cellula diventa zero** → **equivalenza dei due potenziali**

In realtà la parete oppone una resistenza molto forte → basta poca H_2O introdotta nella cellula che il potenziale di parete diventi alto e si arrivi all'equilibrio (turgore!).



I valori di potenziale osmotico dei soluti (Ψ_s) delle cellule vegetali cambiano da pianta a pianta e per la stessa pianta variano in funzione dell'ambiente esterno. La figura mostra i valori minimi e massimi di Ψ_s registrati in piante di diversi gruppi ecologici.



La componente matriciale è importante soprattutto al momento della germinazione...

$$\Psi_{\text{idrico cellula}} = \Psi_{\text{osm.}} + \Psi_{\text{parete}} + \Psi_{\text{matriciale}}$$

IMBIBIZIONE

Le molecole d'acqua mostrano una fortissima coesione grazie alla loro polarità, e cioè, la differenza di carica fra un'estremità e l'altra della molecola dell'acqua (vedere Appendice A). Similmente, a causa di tale differenza di carica, le molecole dell'acqua possono legarsi (aderire) a superfici cariche sia positivamente che negativamente. Molte grosse molecole biologiche, quali la cellulosa, sono polari così da attrarre molecole d'acqua. La capacità di adesione delle molecole d'acqua è anche responsabile di molti importanti fenomeni biologici chiamati imbibizione e, a volte, idratazione.

L'imbibizione (dal latino *imbibere*, «impregnare») è il movimento delle molecole d'acqua all'interno di sostanze quali legno o gelatina che aumentano di volume grazie all'accumulo delle molecole d'acqua. La pressione che si sviluppa dalla imbibizione può essere estremamente elevata. Si riferisce che la pietra per le antiche piramidi d'Egitto fosse ottenuta inserendo pezzi di legno in fori scavati nella roccia e bagnando successivamente i pezzi con acqua. Il rigonfiarsi del legno creava una forza tale da staccare lastre di pietra. Nelle piante viventi, l'imbibizione è molto importante per i semi che possono così aumentare di parecchie volte il loro volume originale. L'imbibizione è essenziale per la germinazione dei semi (vedere Capitolo 23).

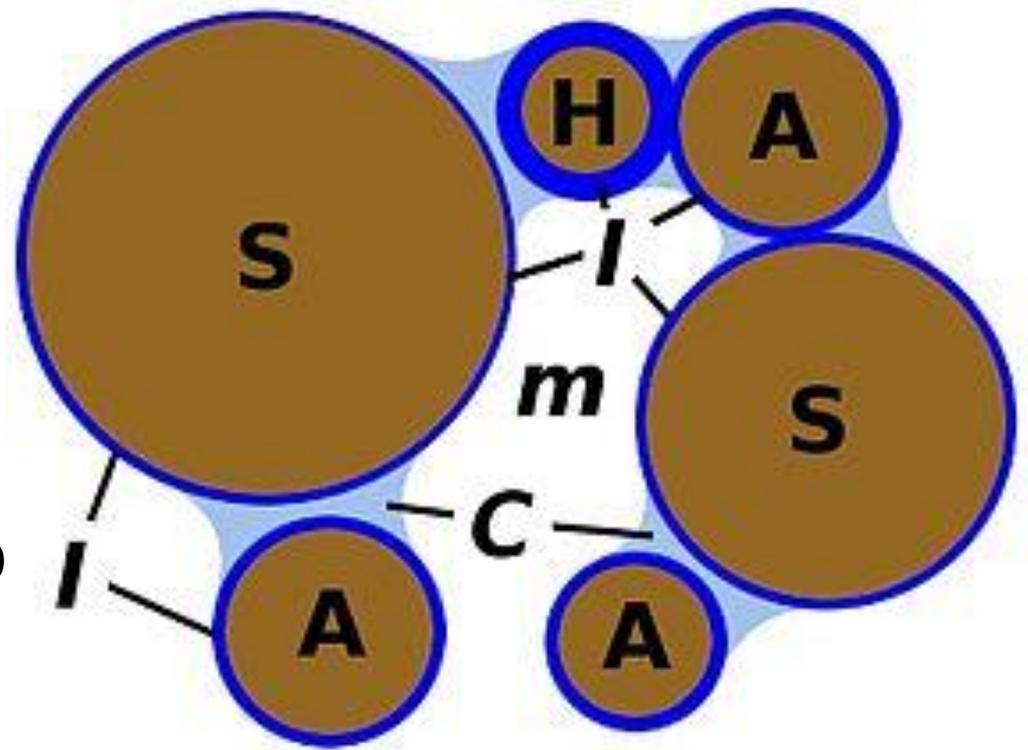


La germinazione dei semi comincia con una trasformazione del tegumento seminale tale da permettere un consistente assorbimento di acqua per imbibizione. L'embrione e le strutture circostanti si

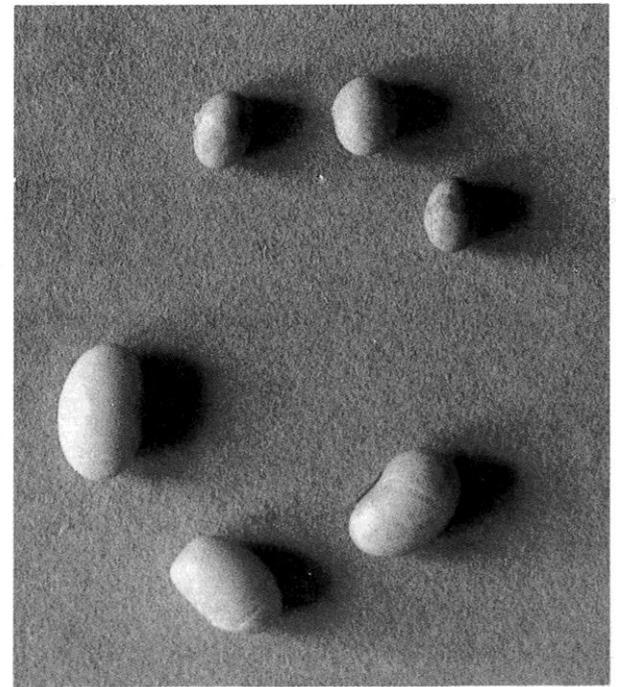
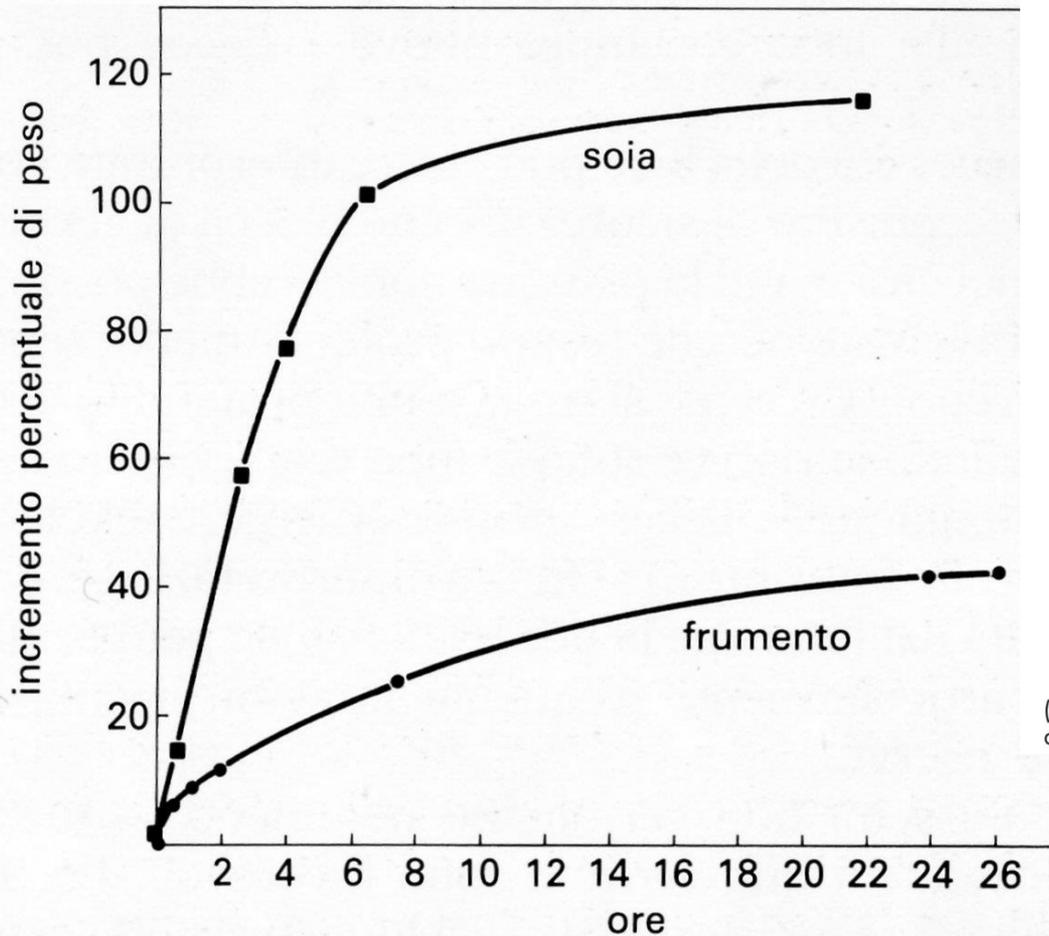
gonfiano, facendo scoppiare il tegumento seminale. Nella ghianda a sinistra, fotografata sul suolo di una foresta, la radice embrionale è emersa dopo che il robusto strato esterno del frutto si è spaccato.

Ψ matriciale

- Pressione negativa;
- forze di coesione dell' H_2O con le particelle del terreno;
- varia con la quantità di H_2O presente nel terreno;
- suzione che le piante devono esercitare per sottrarre H_2O dal suolo.



S: particella non colloidale
A: colloide minerale
H: colloide organico
I: acqua igroscopica
C: acqua capillare
m: macroporo



Semi di soia secchi (sopra) e rigonfiati in acqua per 48 ore (sotto). I semi di soia hanno una straordinaria capacità di assorbire acqua a causa del loro alto contenuto di proteine.

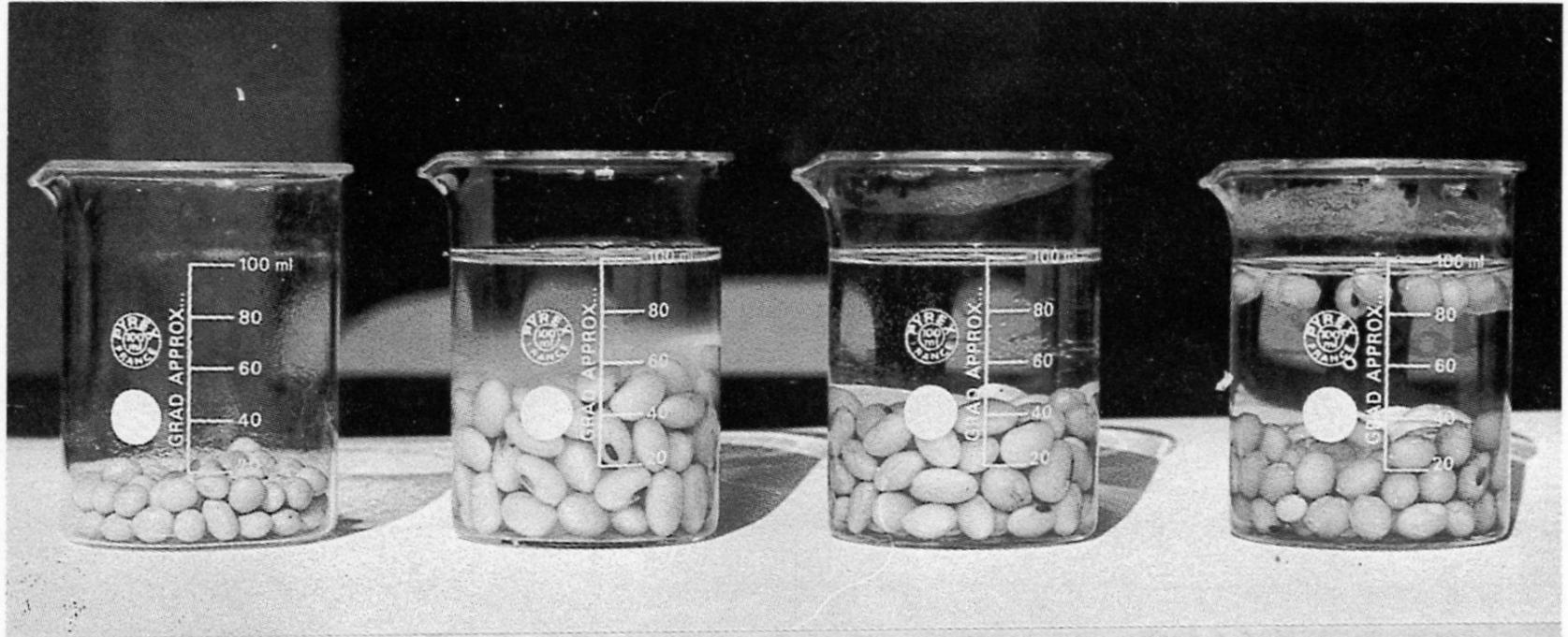
imbibizione

Andamento del tempo dell'assorbimento d'acqua in un seme di soia e in uno di frumento. L'assorbimento è seguito come aumento percentuale di peso rispetto a quello iniziale del seme secco: in tal modo è possibile paragonare tra loro i semi nonostante la differenza di dimensioni. È evidente che il seme di soia assorbe una quantità d'acqua molto maggiore di quello di frumento. Questo è dovuto al suo maggiore contenuto di proteine le quali si rigonfiano più dell'amido che costituisce la riserva principale del seme di frumento.

H_2O

Sol. NaCl
semi-satura

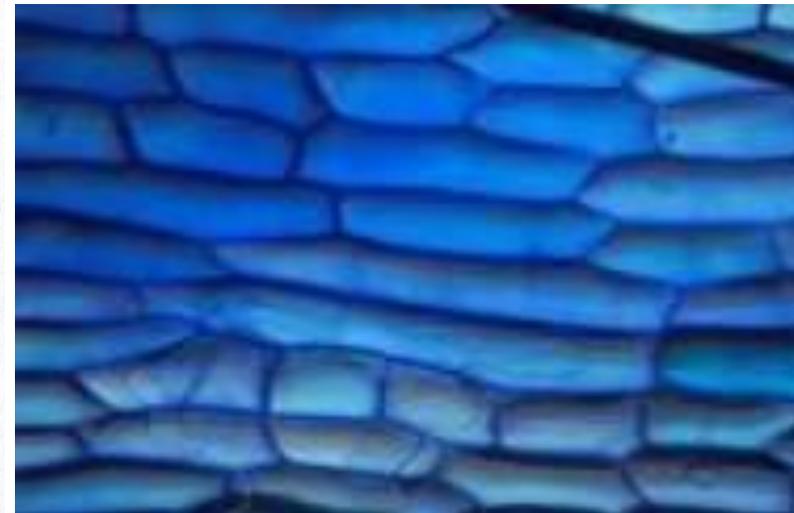
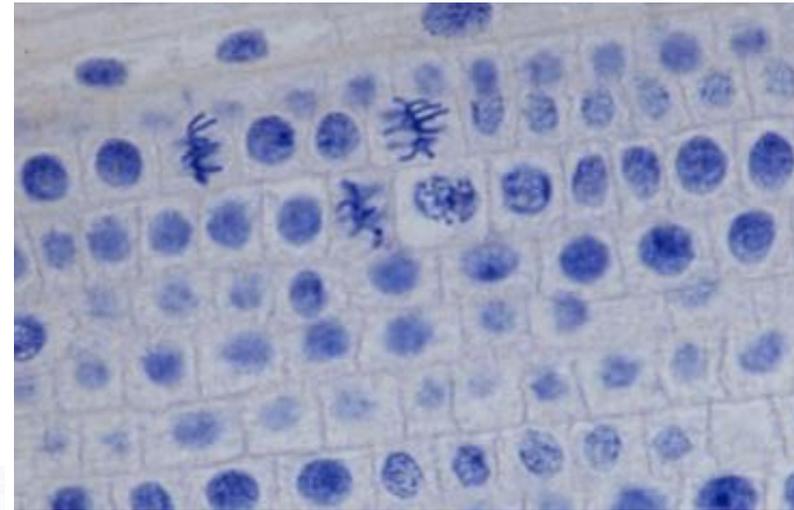
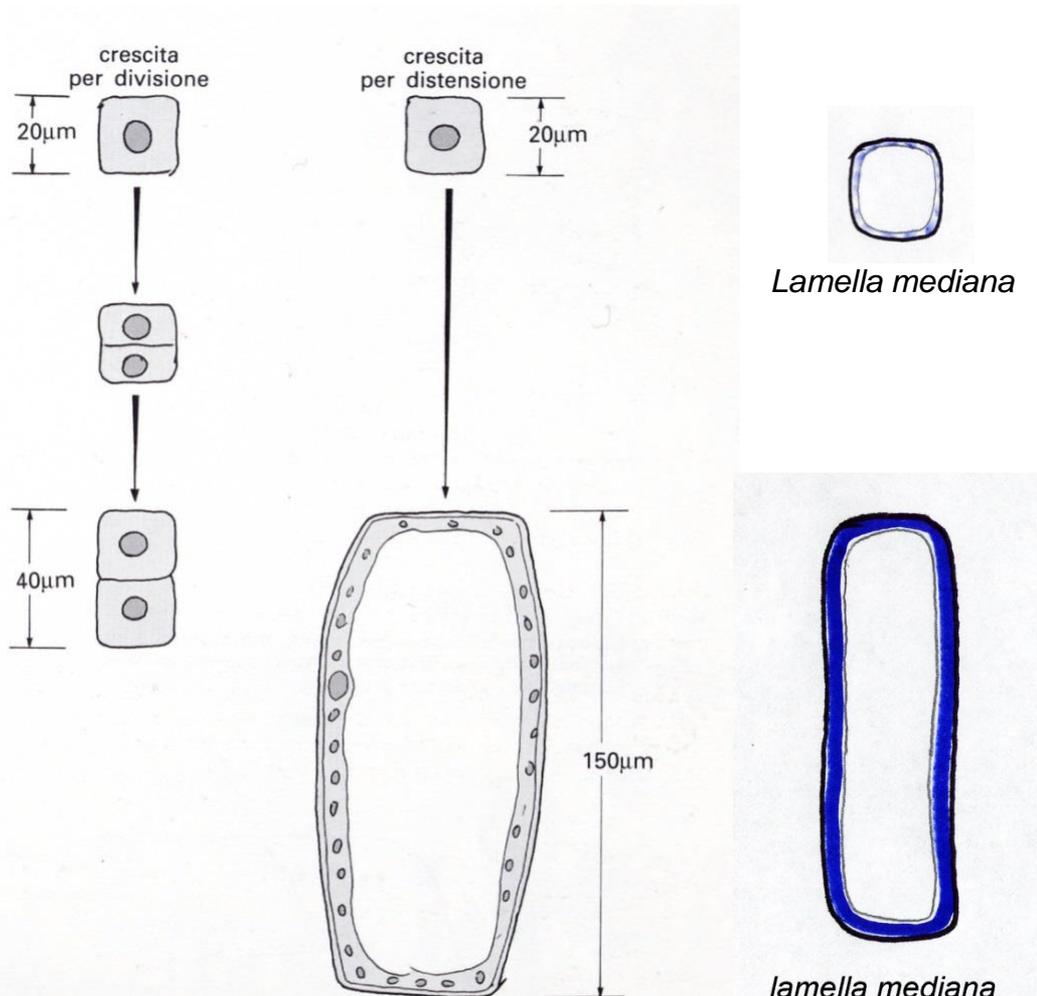
Sol. NaCl
satura



I quattro bicchieri contengono un ugual numero di semi di soia. Da sinistra a destra: semi secchi, rigonfiati in acqua, rigonfiati in soluzione NaCl semisatura, rigonfiati in soluzione NaCl satura. (Periodo di rigonfiamento: 24 ore). I semi sono riusciti a rigonfiarsi persino nella soluzione satura, anche se meno che in

acqua. Dato che il potenziale osmotico di una simile soluzione è dell'ordine delle centinaia di atmosfere è evidente che il potenziale d'acqua del seme deve essere ancora più negativo. (Notate che alcuni semi galleggiano nella soluzione satura a causa della sua densità sensibilmente superiore a quella dell'acqua).

... Ruolo essenziale del turgore cellulare durante la **distensione della parete primaria** → accrescimento delle dimensioni cellulari.



L'accrescimento cellulare per distensione è più forte di quello per divisione, almeno per quanto riguarda le dimensioni della cellula.

La **distensione della parete primaria** prevede :

- 1) un cambiamento del potenziale idrico della cellula in accrescimento verso valori più negativi

accumulo di soluti a livello vacuolare

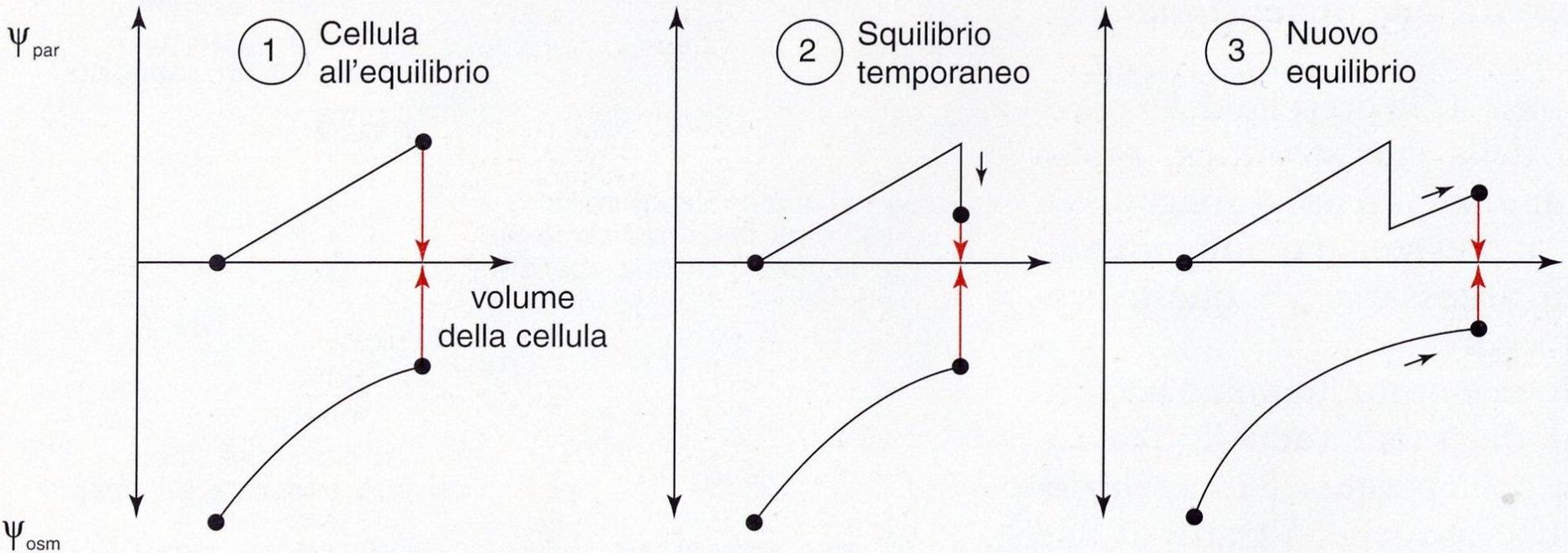


Abbassamento del Ψ_s



Richiamo di acqua

- 2) un cambiamento delle caratteristiche della parete primaria (in attiva formazione!), che in questa fase è **plastica**, cioè deformabile.



Ψ_{osm} e Ψ_{par} sono uguali e opposti.

La parete viene allentata: di conseguenza diminuisce Ψ_{par} mentre Ψ_{osm} resta invariato

Come conseguenza dell'allentamento della parete entra acqua nella cellula. Ψ_{osm} diventa meno negativo e Ψ_{par} più positivo. I due valori sono di nuovo uguali e opposti.

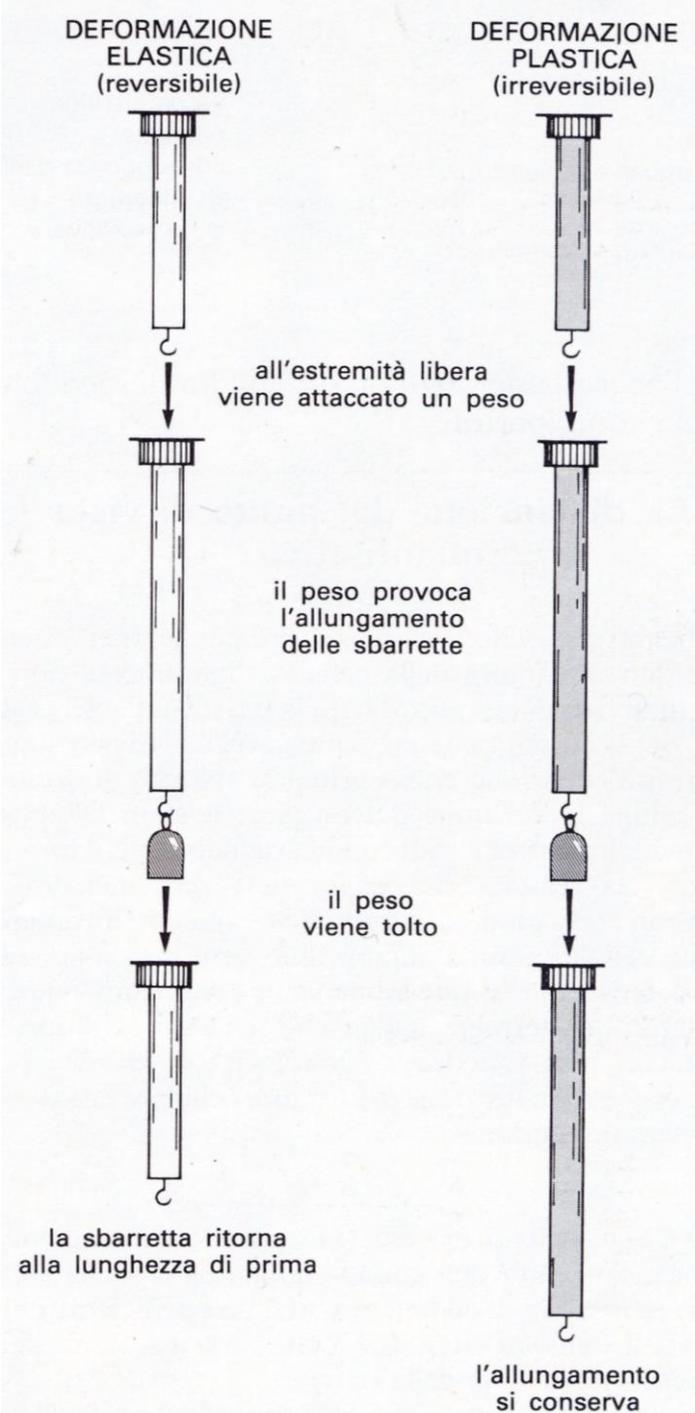
Le frecce rosse indicano i valori dei due potenziali che "tirano" in senso opposto.

Cambiamento delle caratteristiche della parete primaria:

➤ **deformazione elastica** → turgore-appassimento, reversibile

➤ **deformazione plastica** → crescita cellulare (= accrescimento per distensione), irreversibile

Trasformazione nelle proprietà della parete primaria $\leftarrow \rightarrow$ estrusione di protoni dalla cellula verso l'esterno \rightarrow acidificazione del mezzo = **CRESCITA ACIDA** \leftarrow stimolo dell'ormone vegetale **auxina** prodotta dalle cellule meristematiche degli apici, che diffonde nel tessuto in crescita.

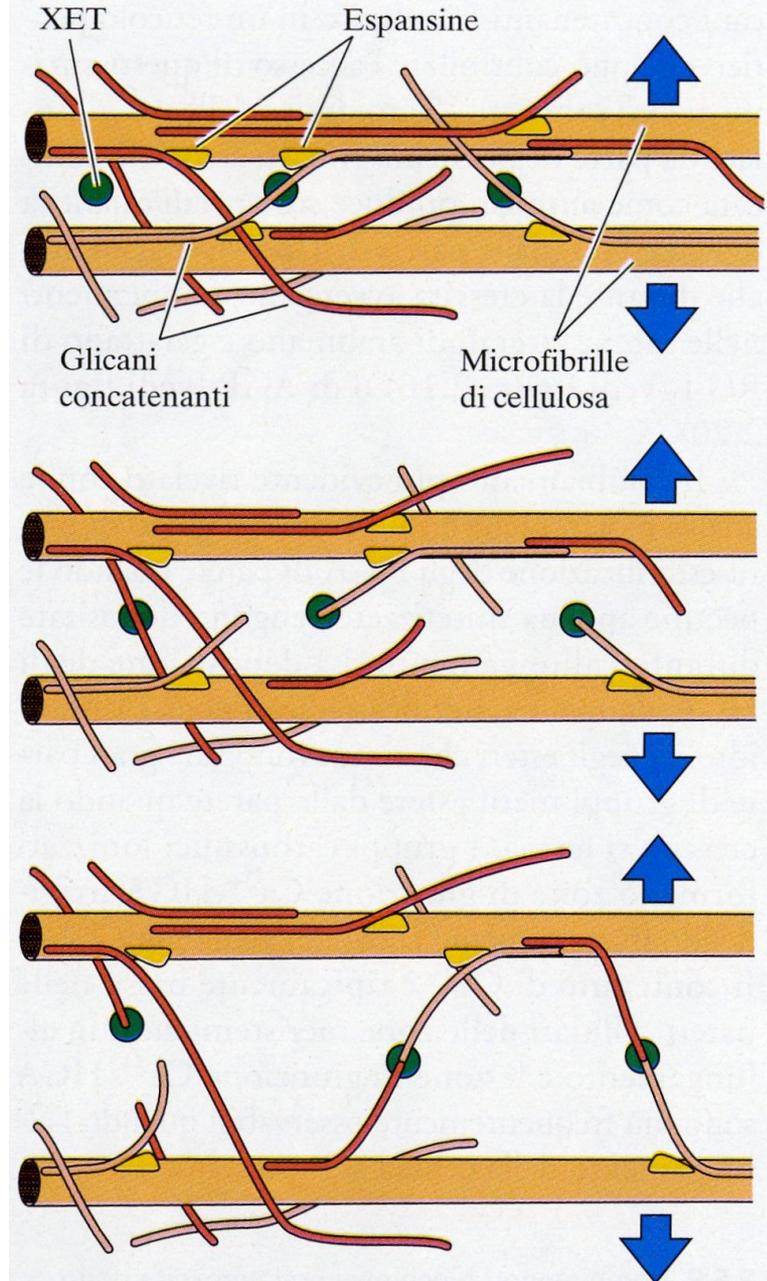


CRESCITA ACIDA

➤ **Auxina** induce la **pompa di protoni (H^+)** dall'interno della cellula verso la parete cellulare → acidificazione della parete → attivazione dell'espansina → perdita di rigidità della parete → la cellula incamera acqua nel vacuolo → espansione.

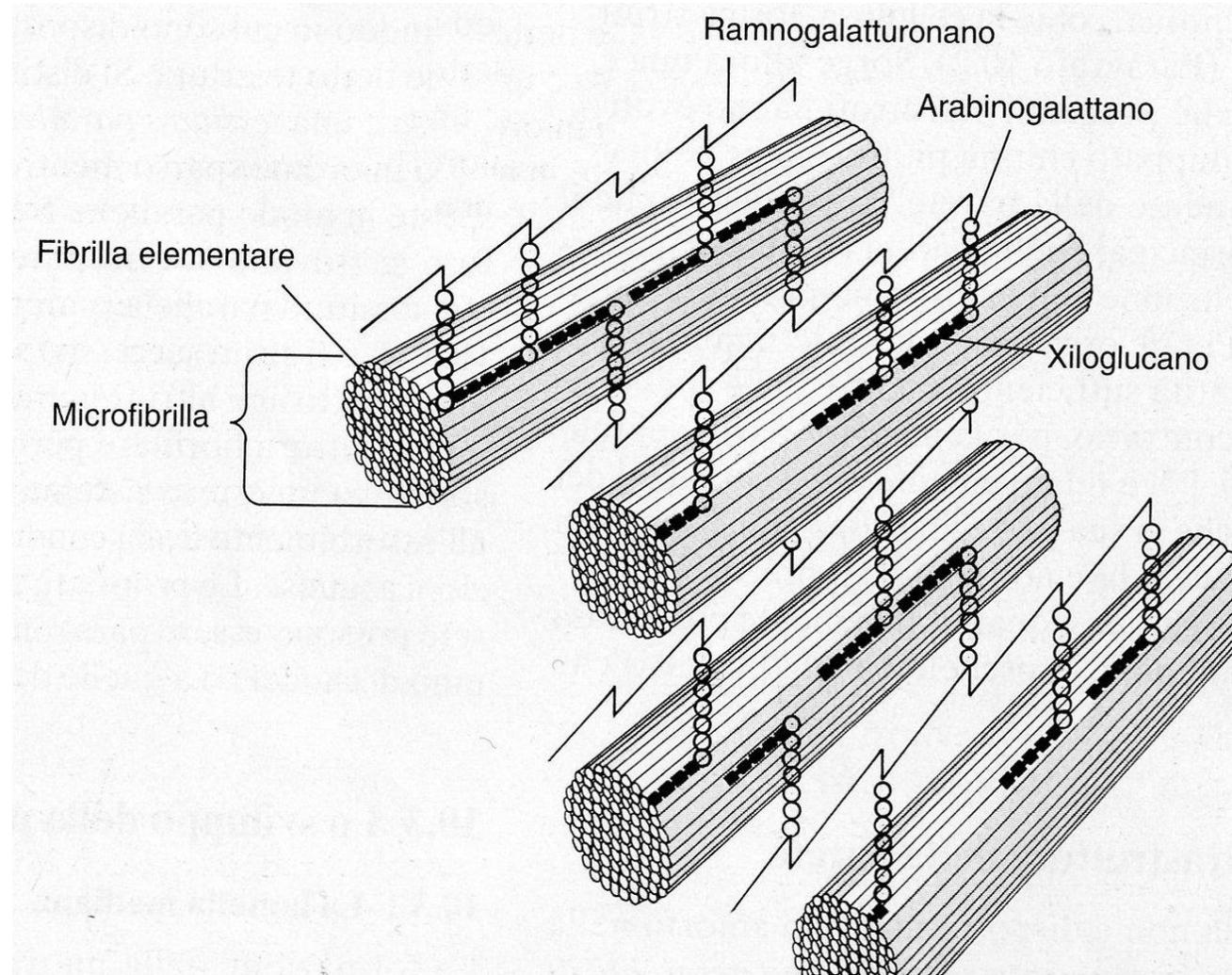
Espansina: proteina pH-dipendente che rende le pareti cellulari meno rigide, scioglie le interconnessioni tra le microfibrille di cellulosa presenti nella parete cellulare.

XET (xiloglucano endotransglicolasi)

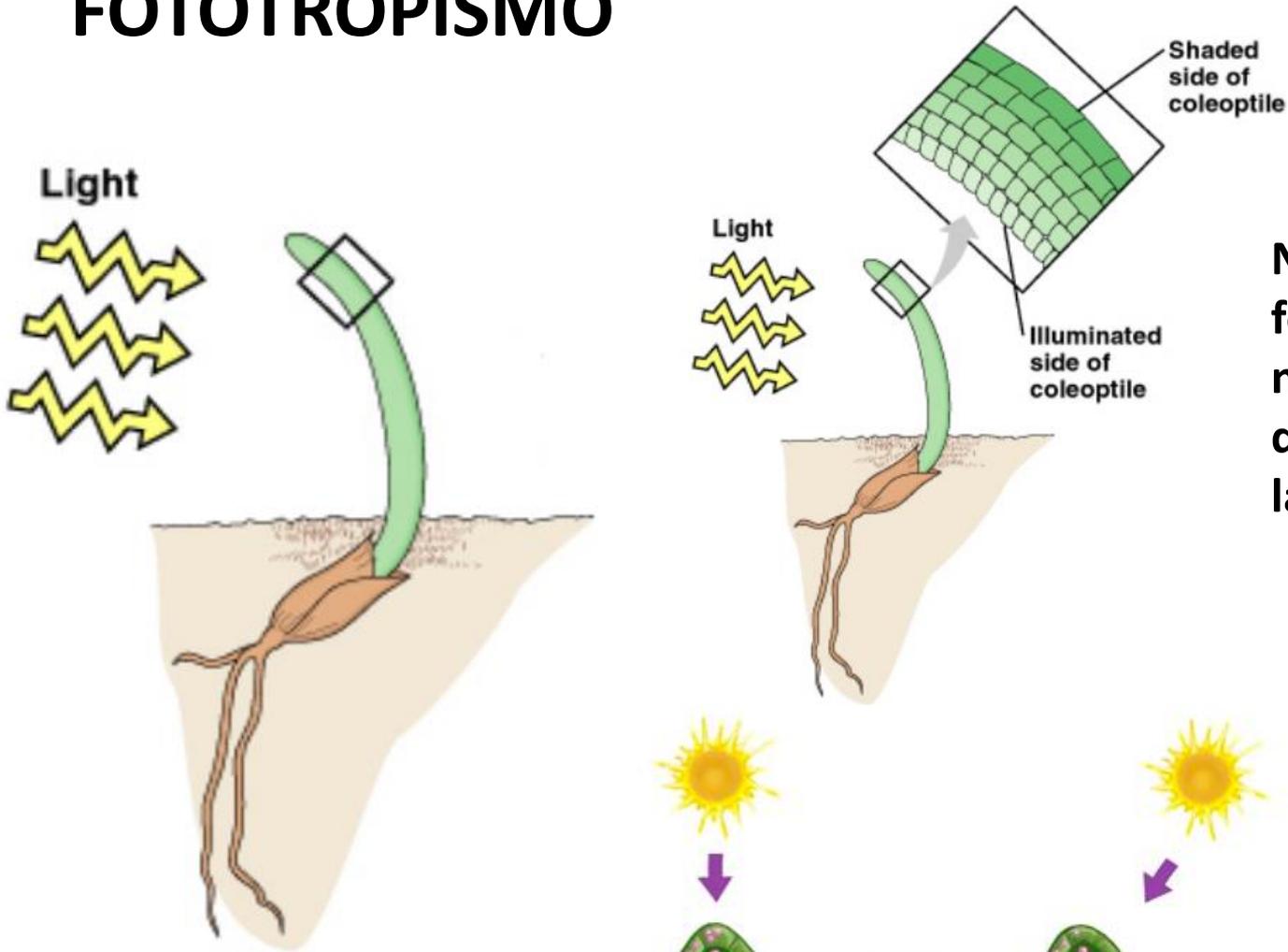


All'inizio si pensava che gli enzimi responsabili del fenomeno fossero delle **idrolasi** che tagliavano i collegamenti tra microfibrille di cellulosa e gli altri polisaccaridi.

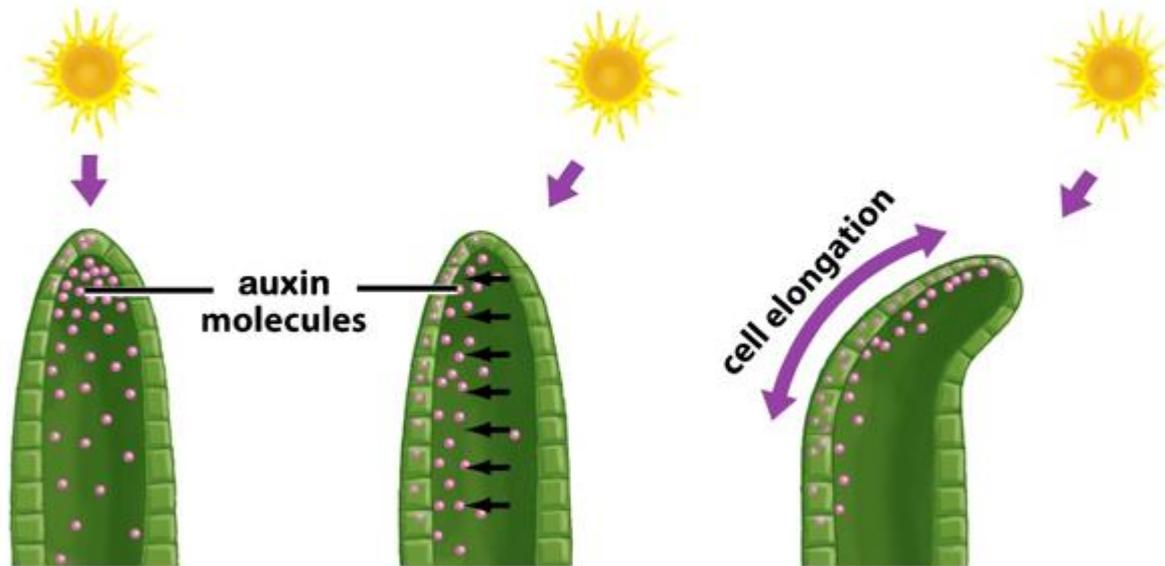
Le **idrolasi** identificate a livello di parete sono però pH-indipendenti.

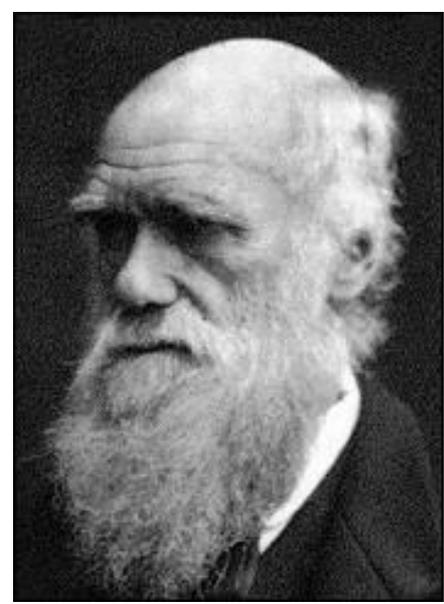


FOTOTROPISMO

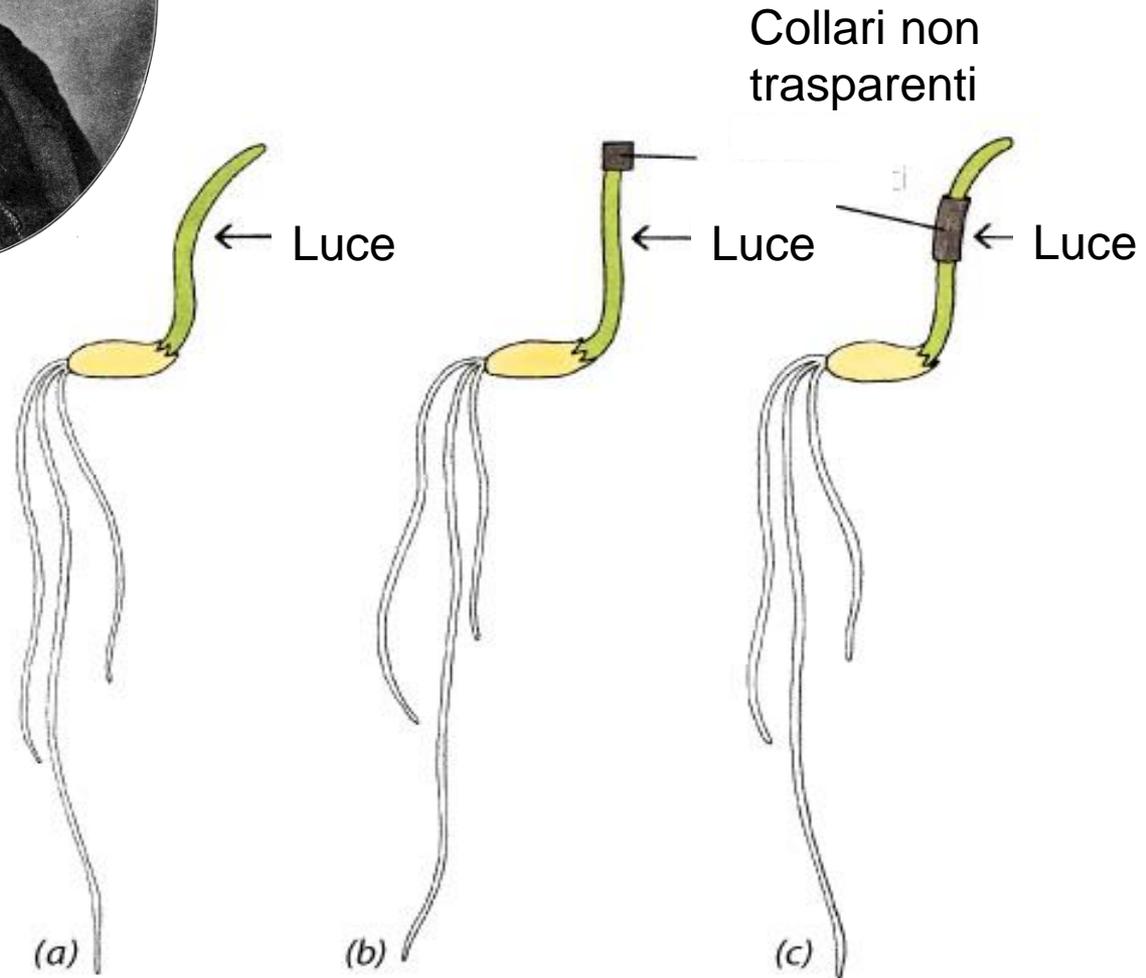


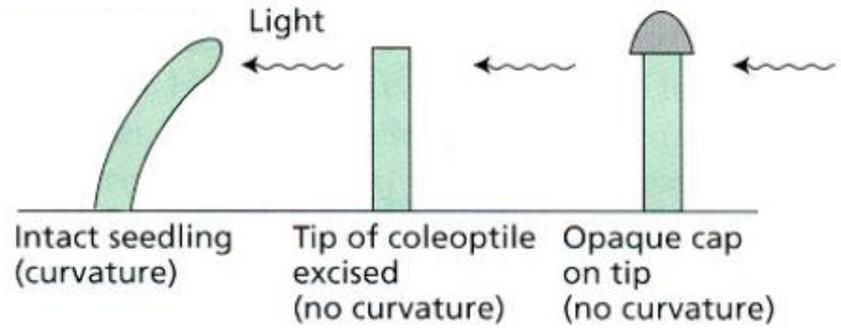
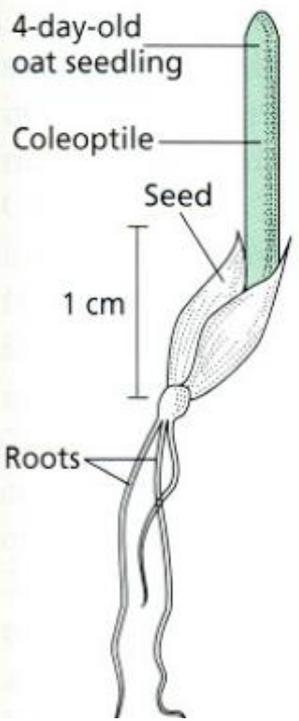
Nei coleottili il fototropismo è mediato dalla redistribuzione laterale dell'auxina





Charles & Francis Darwin





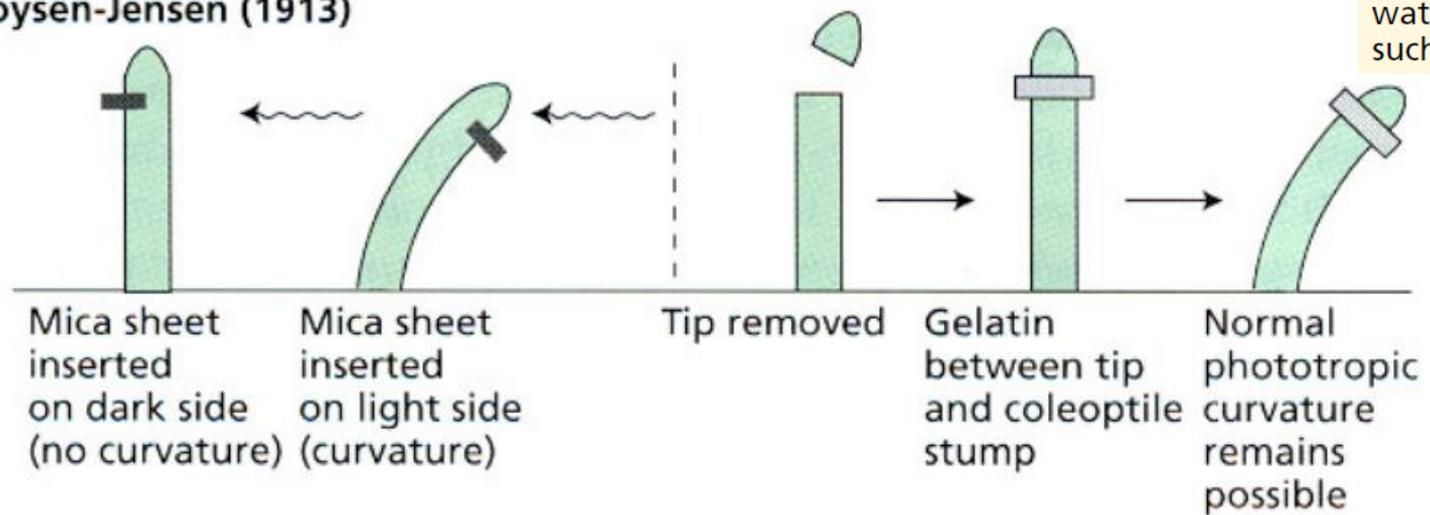
From experiments on coleoptile phototropism, Darwin concluded in 1880 that a growth stimulus is produced in the coleoptile tip and is transmitted to the growth zone.

la zona di accrescimento è lontana dall'apice



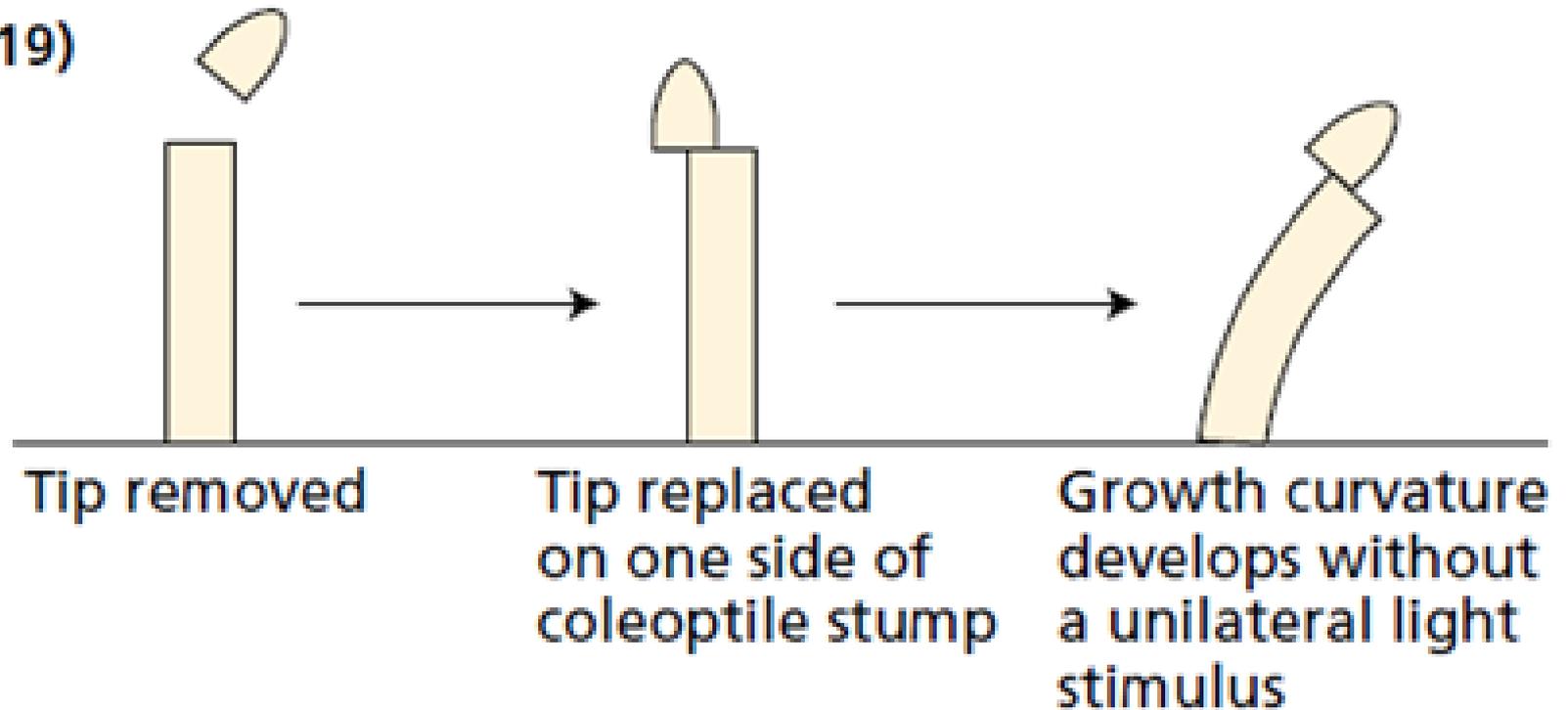
segnale?

Boysen-Jensen (1913)



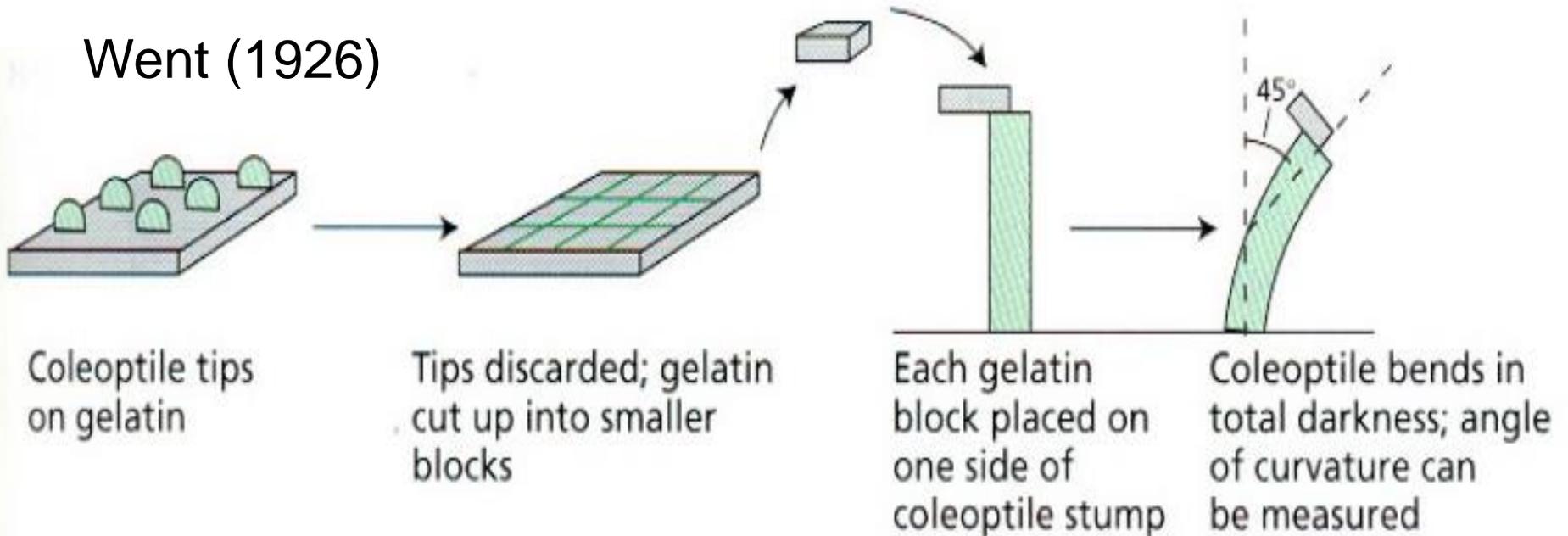
In 1913, P. Boysen-Jensen discovered that the growth stimulus passes through gelatin but not through water-impermeable barriers such as mica.

Paál (1919)



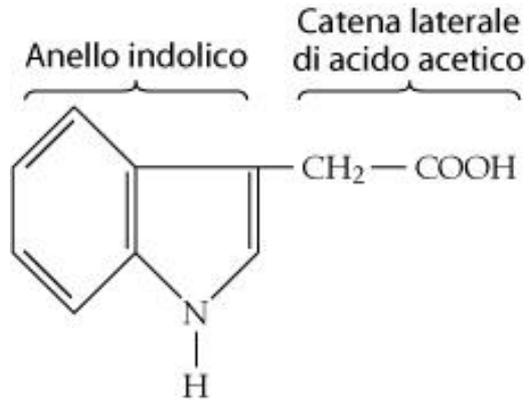
In 1919, A. Paál provided evidence that the growth-promoting stimulus produced in the tip was chemical in nature.

Went (1926)

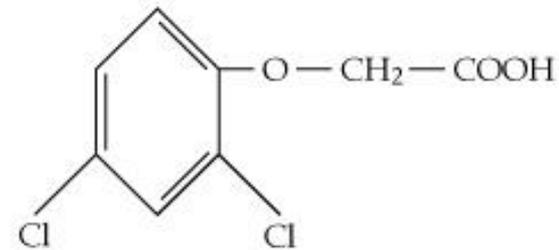


In 1926, F. W. Went showed that the active growth-promoting substance can diffuse into a gelatin block. He also devised a coleoptile-bending assay for quantitative auxin analysis.

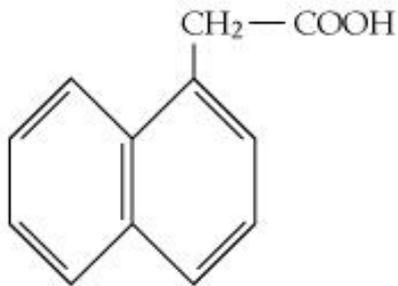
Fitormoni della crescita: auxine



(a) Acido indolacetico (IAA)



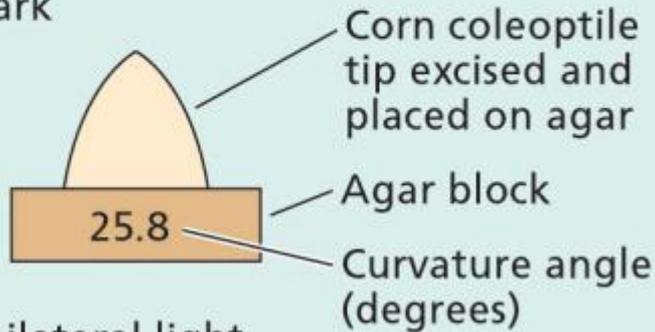
(b) Acido 2,4-diclorofenossiacetico (2,4-D)



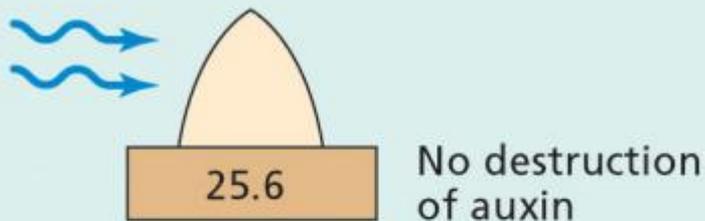
(c) Acido 1-naftalenacetico (NAA)

Undivided agar block

(A) Dark



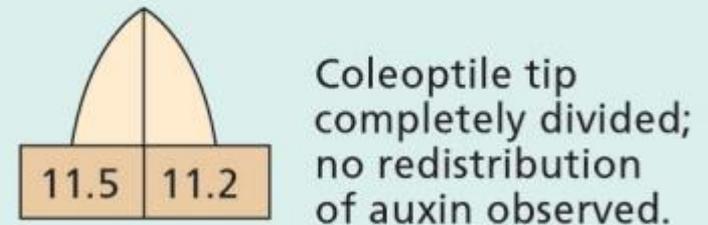
(B) Unilateral light



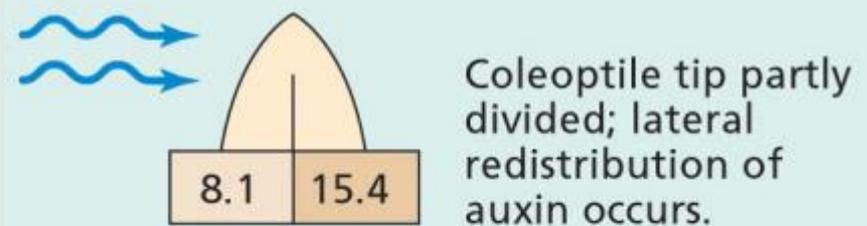
Unilateral light does not cause photodestruction of auxin on illuminated side.

Divided agar block

(C)



(D)

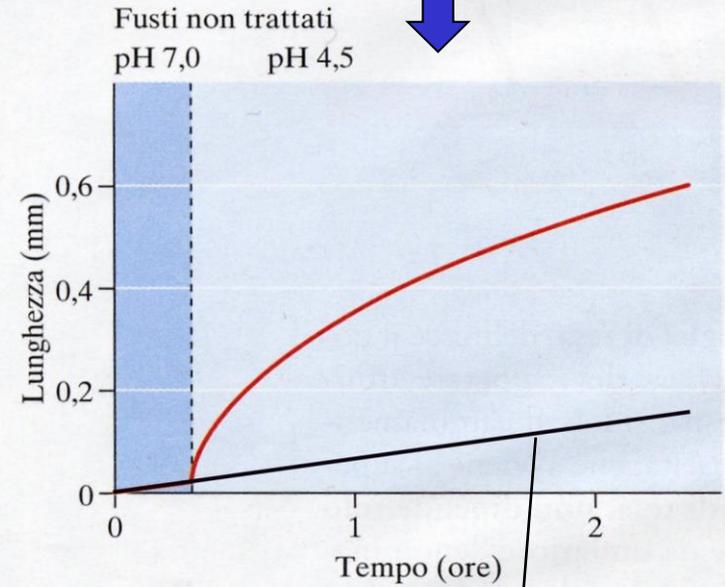
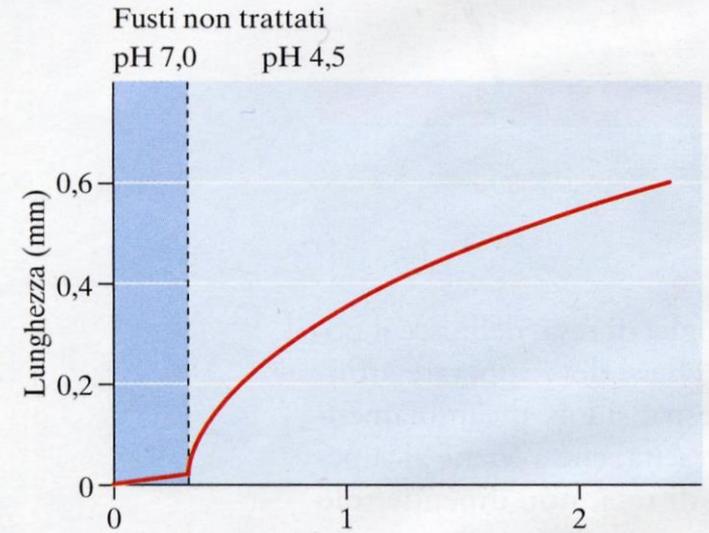
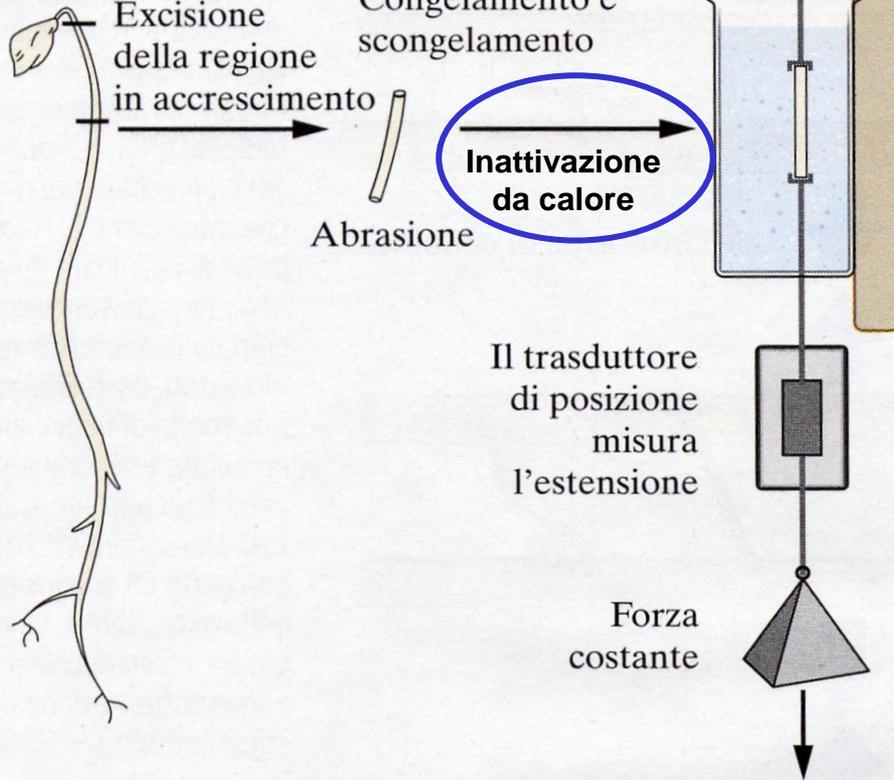


Auxin is transported laterally to the shaded side in the tip.

la [IAA] è maggiore nella parte dell'apice non illuminata

(A) Crescita acida

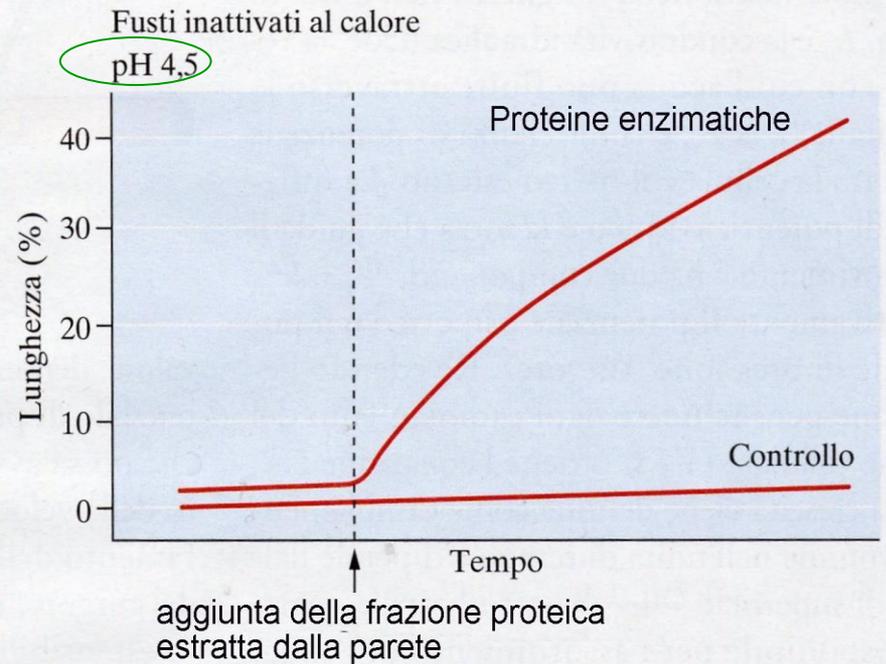
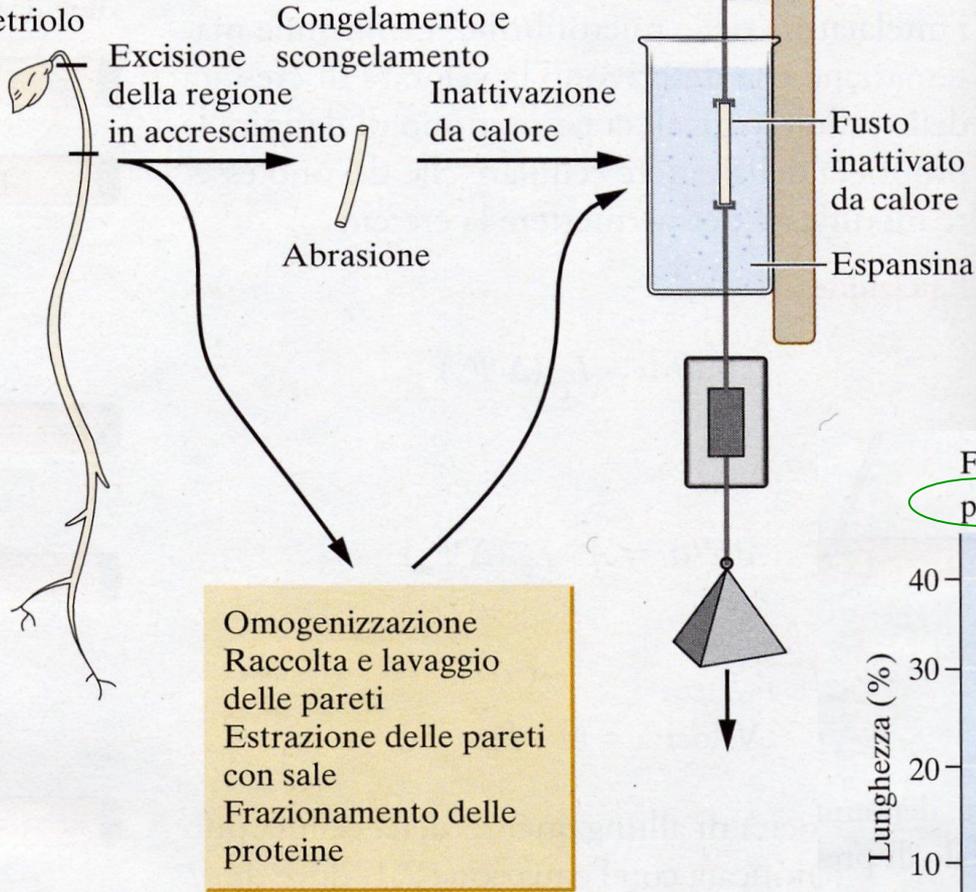
Plantula eziolata di cetriolo



Materiale inattivato

(B) Espansina

Plantula eziolata di cetriolo





Orange agent

2,4-D acido-2,4-diclorofenossiacetico

2,4,5,-T acido-2,4,5-triclorofenossiacetico

TCDD 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-diossina

Analogo artificiale
dell'auxina

Concentrazioni
supraottimali inducono
la biosintesi di etilene
**(causa abscissione
fogliare)**

Guerra del Vietnam: irrorato da esercito USA dal 1961 al 1971