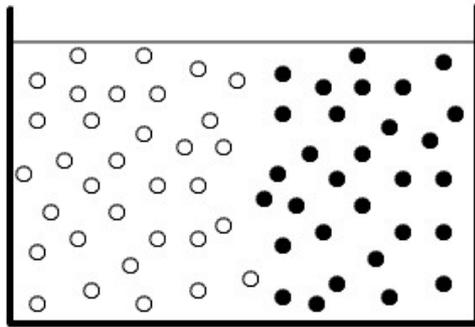


L'acqua si muove per diffusione, osmosi o per flusso di massa da punti a potenziale dell'acqua maggiore verso punti a potenziale dell'acqua minore

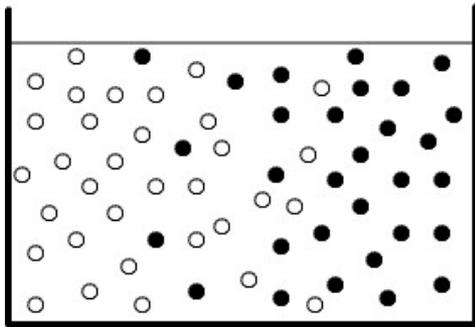
**Flusso di massa:** tutte le molecole di acqua (e i soluti in essa disciolti) si muovono in gruppo in risposta a potenziali di pressione



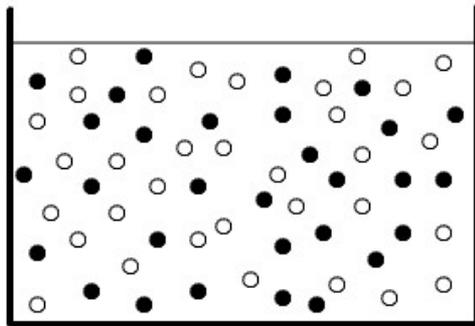
(A)



Stato iniziale



Stato intermedio



Stato finale

- Sostanza A
- Sostanza B

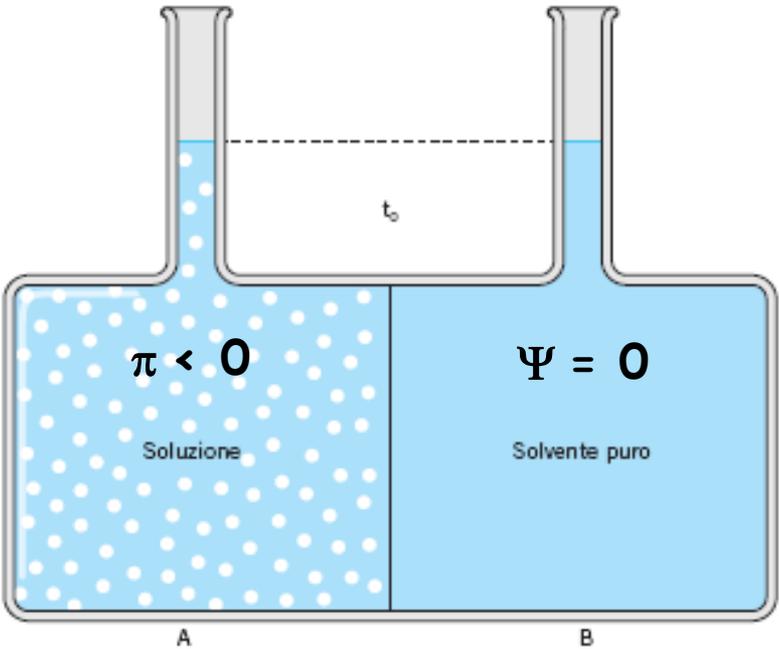
## Diffusione

Descrizione quantitativa del processo di diffusione:  
**Prima legge di Fick**

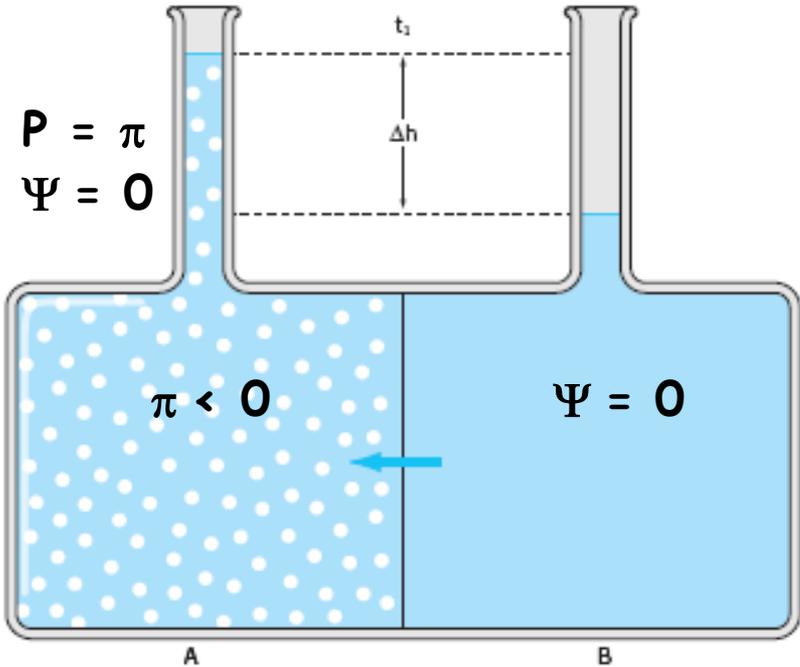
$$F = -D A \frac{\Delta C}{\Delta x}$$

D= coefficiente di diffusione  
 $\Delta C$ = gradiente di concentrazione  
 $\Delta x$ = lunghezza del cammino di diffusione

# Osmosi



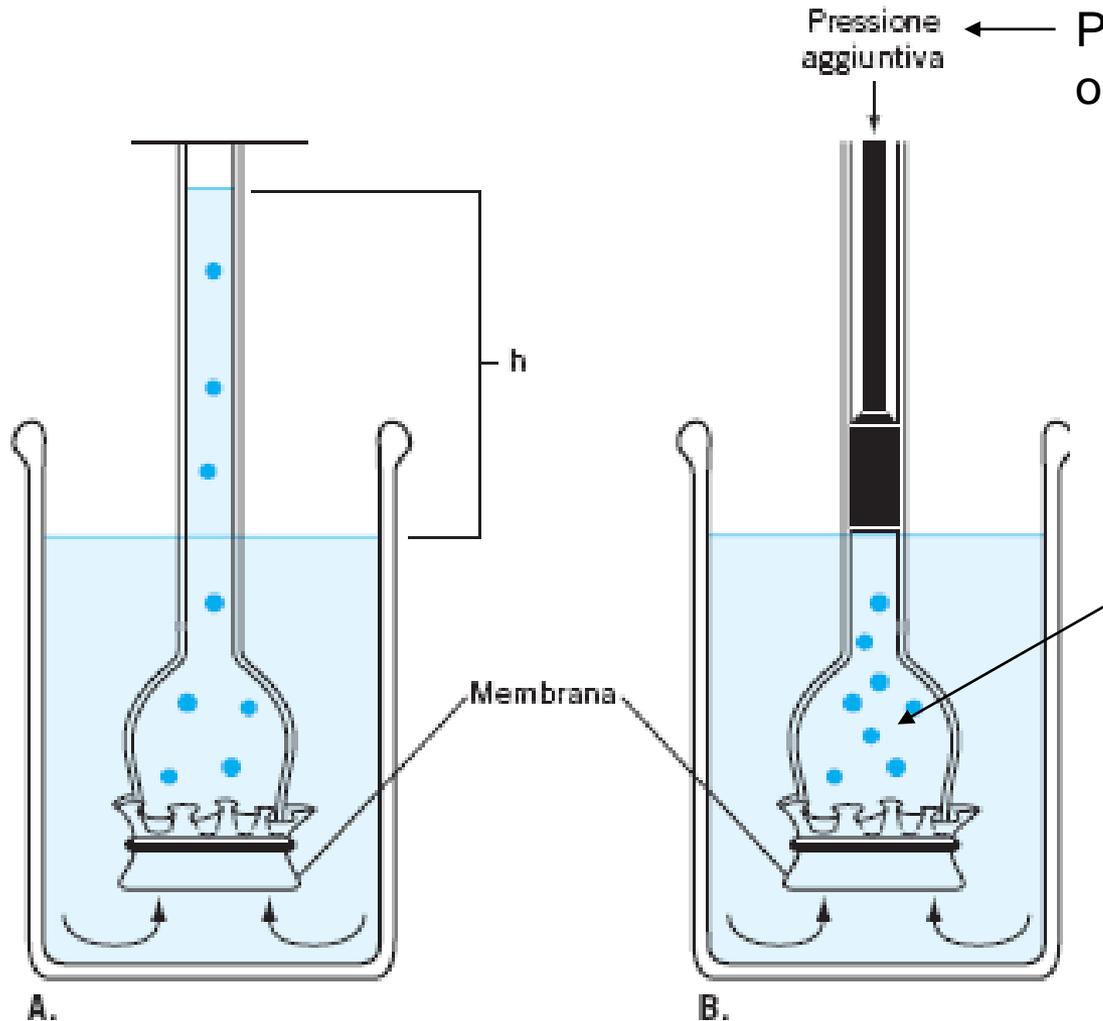
$$\Psi = P - \pi$$



Tutte le membrane cellulari sono membrane selettivamente permeabili

Problema terminologico: pressione osmotica ( $\pi$ ) e potenziale osmotico ( $\Psi_s$ )

$$\pi = -\Psi_s$$



Pressione aggiuntiva ← Pressione osmotica ( $\pi$ ) > 0

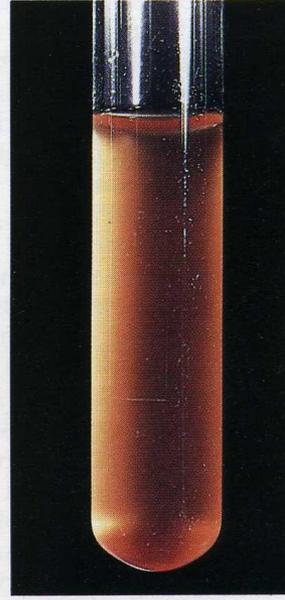
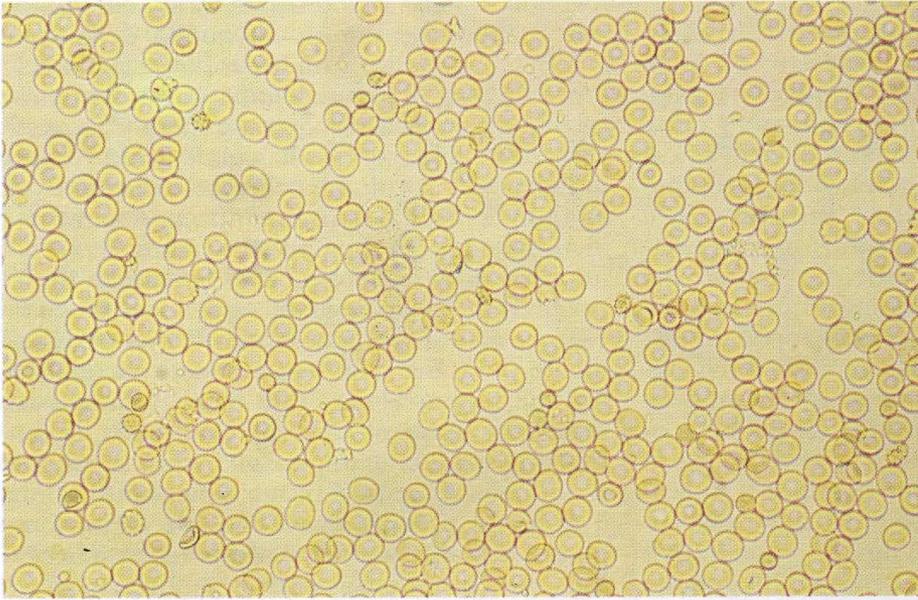
La soluzione possiede un potenziale osmotico ( $\Psi_s$ ), non una pressione osmotica

**A livello di singola cellula,  $\Psi_g$  è trascurabile e pertanto:**

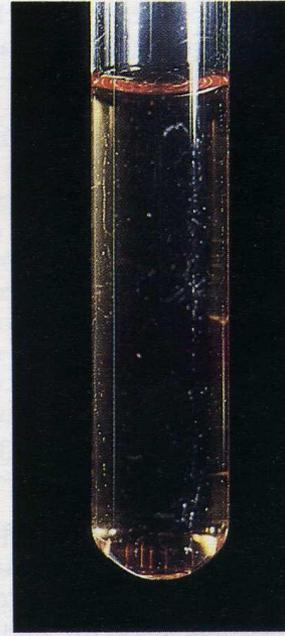
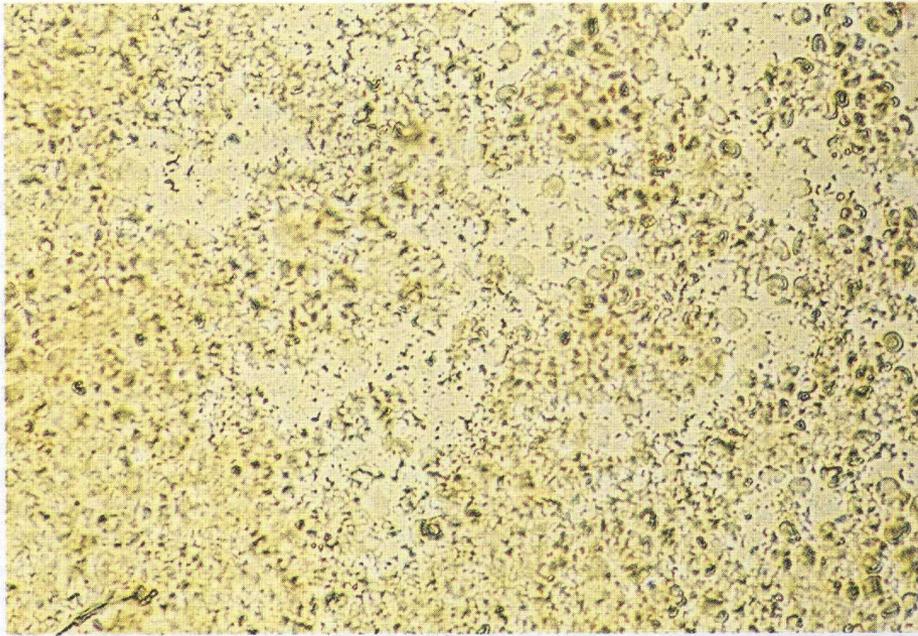
$$\Psi_{\text{cell}} = \Psi_p + \Psi_s = P - \pi$$

Tranne in casi particolari (es: pressione radicale), nelle piante  $\Psi \leq 0$ , cioè la sommatoria delle componenti del potenziale dell'acqua è pari a 0 o negativa

Da cosa sono determinati P e  $\pi$  a livello cellulare?



Soluzione isotonica

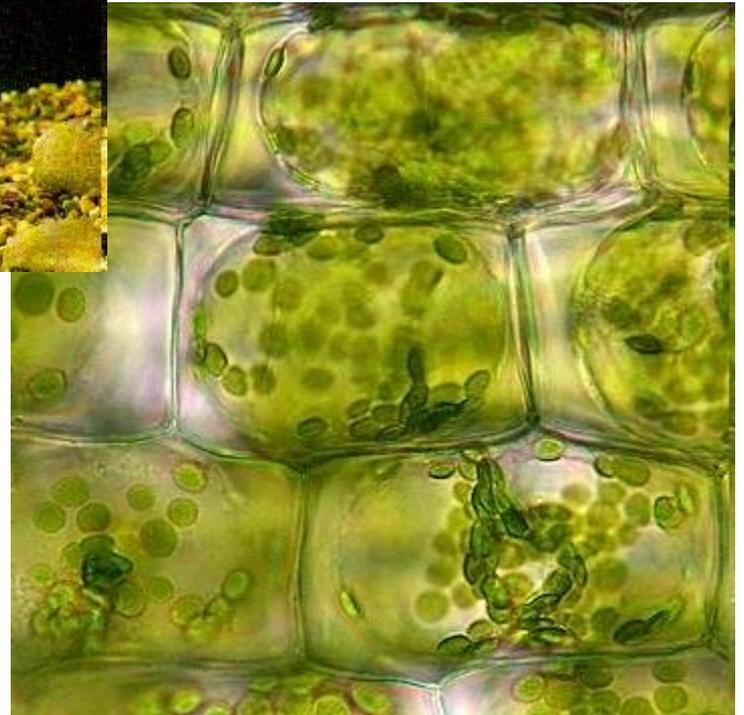


Acqua distillata

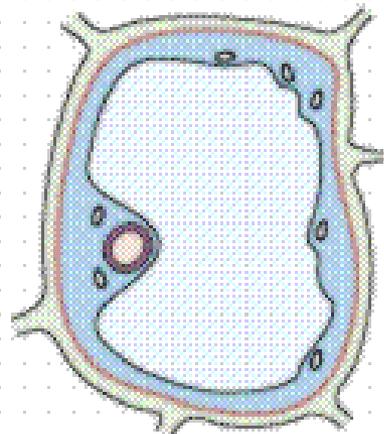
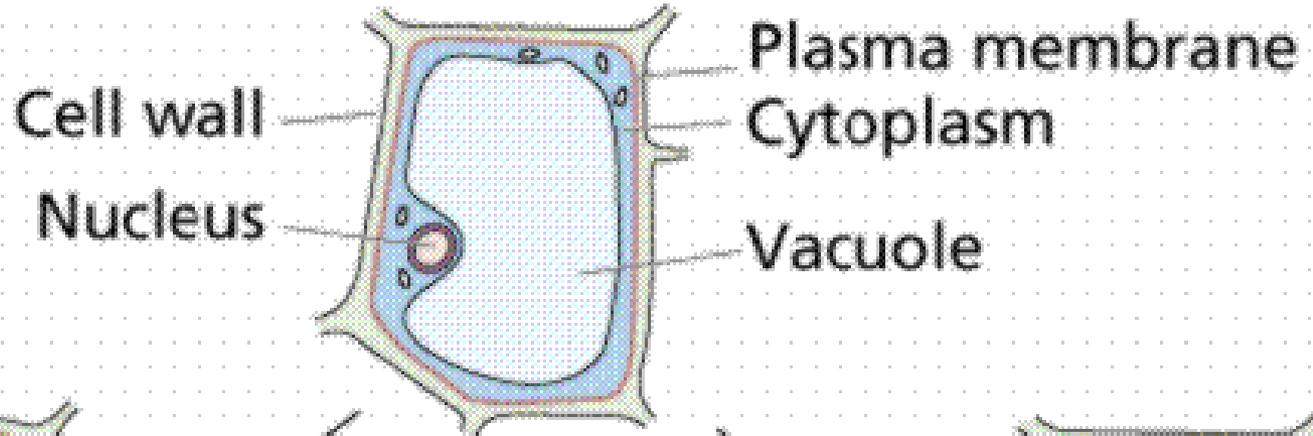
Cellule di foglia  
di *Elodea canadensis*



Acqua distillata



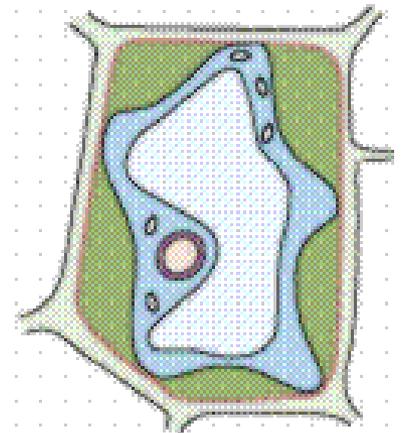
Soluzione di saccarosio al 20%



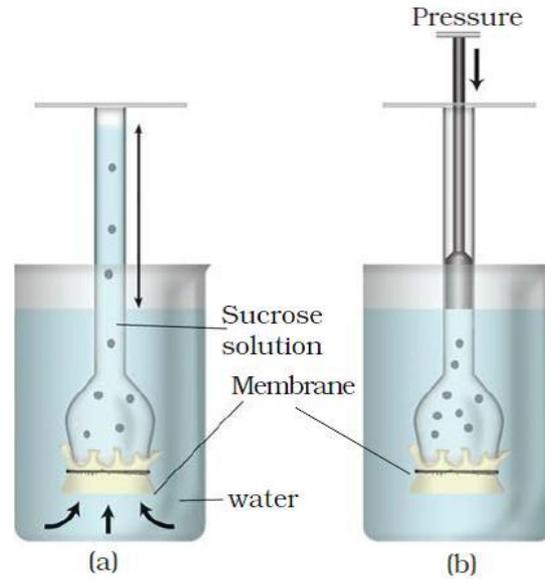
Plant cell placed in distilled water

Cell stiffens but generally retains shape

Plant cell placed in concentrated salt solution



Cell body shrinks and pulls away from cell wall



Cellula 'flaccida'

$$\Psi_p = 0 \text{ MPa}$$

$$\Psi_\pi = -1.5 \text{ MPa}$$

$$\Psi = -1.5 \text{ MPa}$$

Cellula turgida

$$\Psi_p = 1.4 \text{ MPa}$$

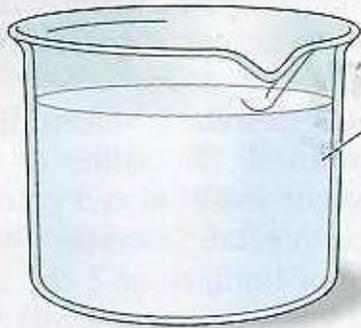
$$\Psi_\pi = -1.4 \text{ MPa}$$

$$\Psi = 0 \text{ MPa}$$



( $\Psi_\pi$  è quello che abbiamo chiamato  $\Psi_s$ )

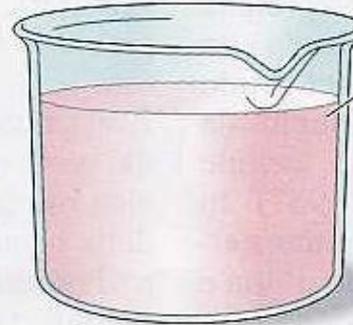
(A) Acqua pura



Acqua pura

$$\begin{aligned}\Psi_p &= 0 \text{ MPa} \\ \Psi_s &= 0 \text{ MPa} \\ \Psi_w &= \Psi_p + \Psi_s \\ &= 0 \text{ MPa}\end{aligned}$$

(B) Soluzione contenente saccarosio 0,1 M



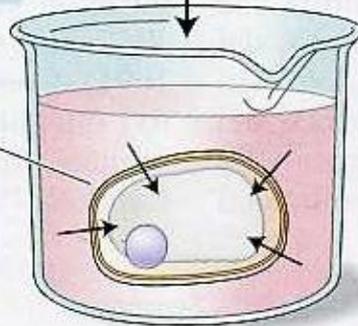
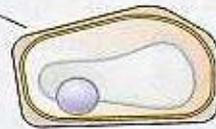
Soluzione di saccarosio 0,1 M

$$\begin{aligned}\Psi_p &= 0 \text{ MPa} \\ \Psi_s &= -0.244 \text{ MPa} \\ \Psi_w &= \Psi_p + \Psi_s \\ &= 0 - 0.244 \text{ MPa} \\ &= -0.244 \text{ MPa}\end{aligned}$$

(C) Cellula flaccida immersa in una soluzione di saccarosio

Cellula flaccida

$$\begin{aligned}\Psi_p &= 0 \text{ MPa} \\ \Psi_s &= -0.732 \text{ MPa} \\ \Psi_w &= -0.732 \text{ MPa}\end{aligned}$$



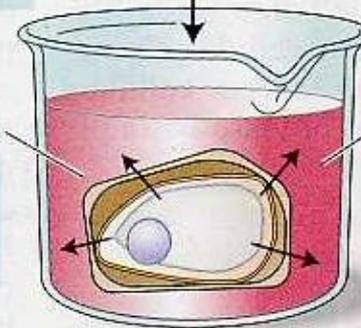
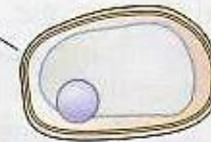
Cellula all'equilibrio

$$\begin{aligned}\Psi_w &= -0.244 \text{ MPa} \\ \Psi_s &= -0.732 \text{ MPa} \\ \Psi_p &= \Psi_w - \Psi_s = 0.488 \text{ MPa}\end{aligned}$$

(D) Aumento della concentrazione di saccarosio

Cellula turgida

$$\begin{aligned}\Psi_p &= 0.488 \text{ MPa} \\ \Psi_s &= -0.732 \text{ MPa} \\ \Psi_w &= -0.244 \text{ MPa}\end{aligned}$$



Soluzione di saccarosio 0,3 M

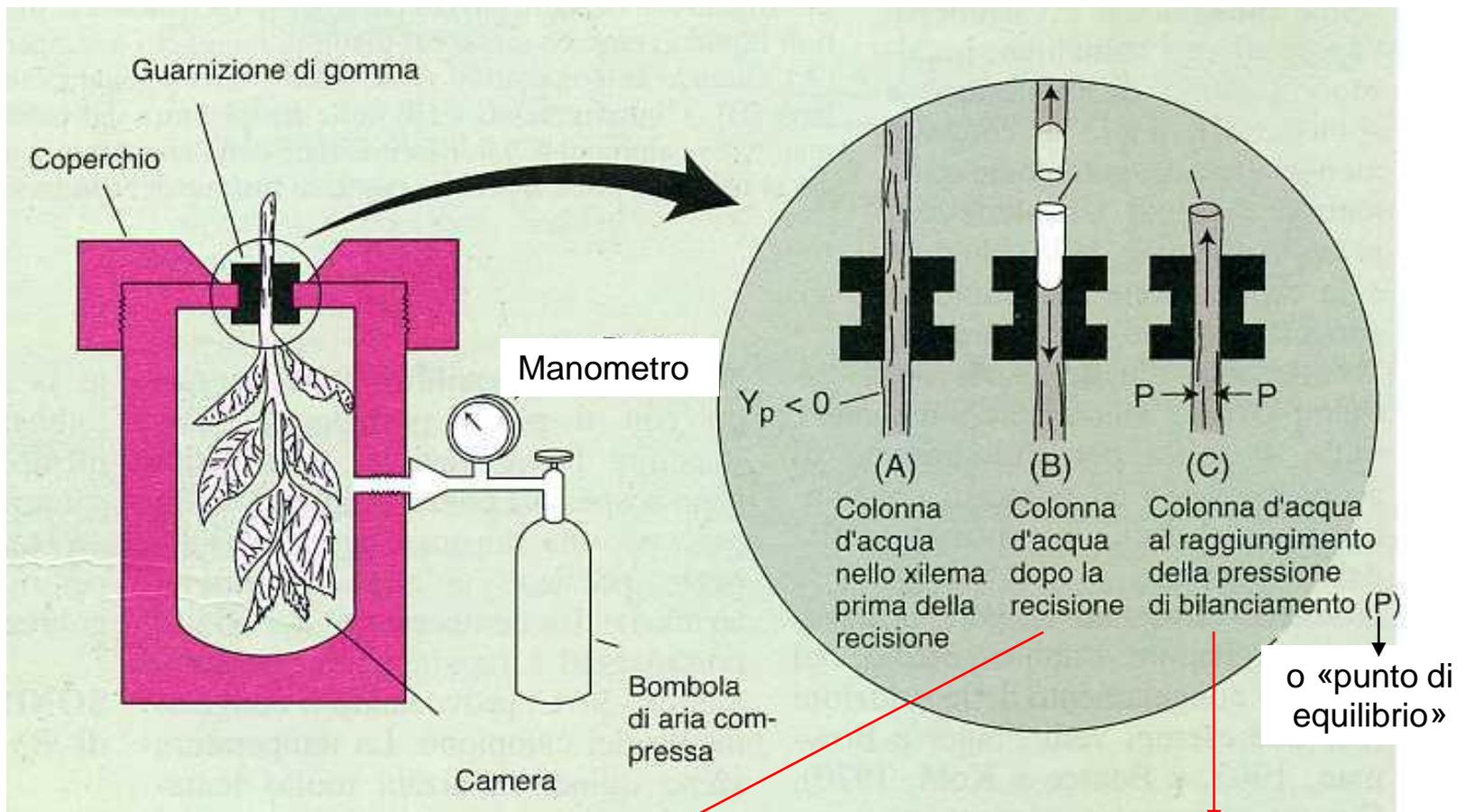
Cellula all'equilibrio

$$\begin{aligned}\Psi_w &= -0.732 \text{ MPa} \\ \Psi_s &= -0.732 \text{ MPa} \\ \Psi_p &= \Psi_w - \Psi_s = 0 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Psi_p &= 0 \text{ MPa} \\ \Psi_s &= -0.732 \text{ MPa} \\ \Psi_w &= -0.732 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Metodi di misura del potenziale dell'acqua di organi vegetali:

**1 – Camera di Scholander** (oppure camera a pressione/ bomba a pressione)



$$\Psi_w = P_T - \pi$$

$$\Psi_{net} = P_T - \pi + P_B$$

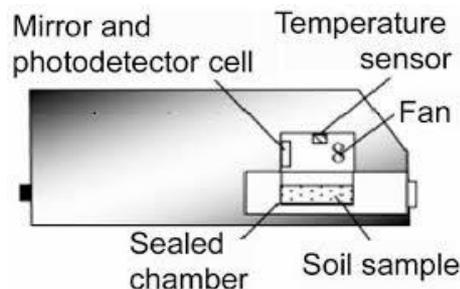
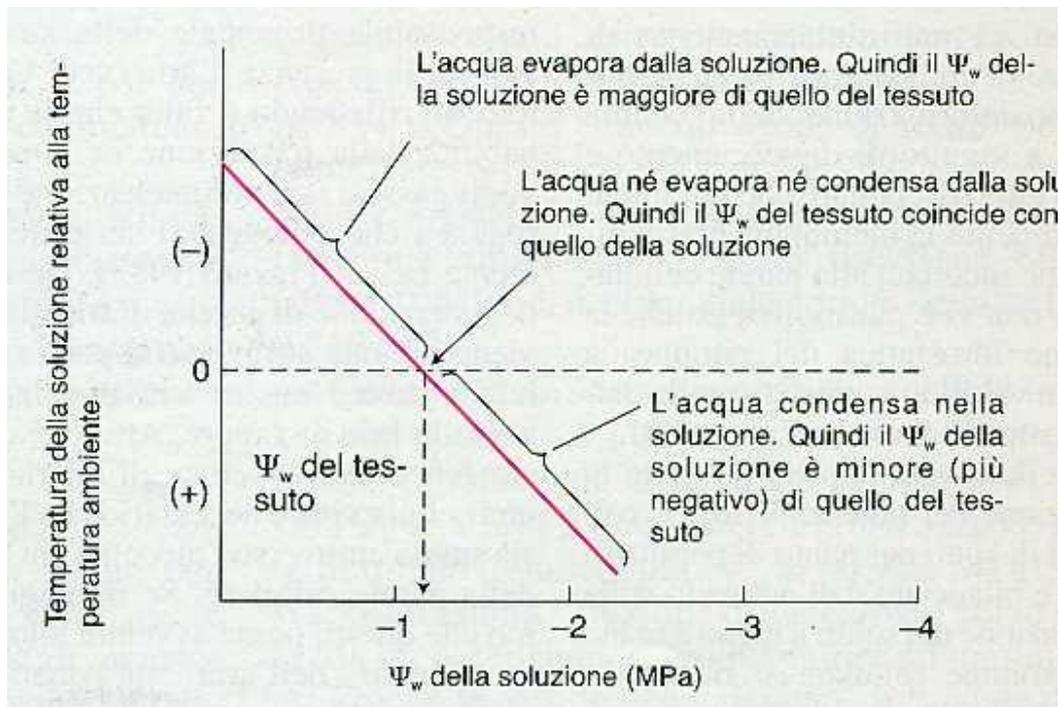
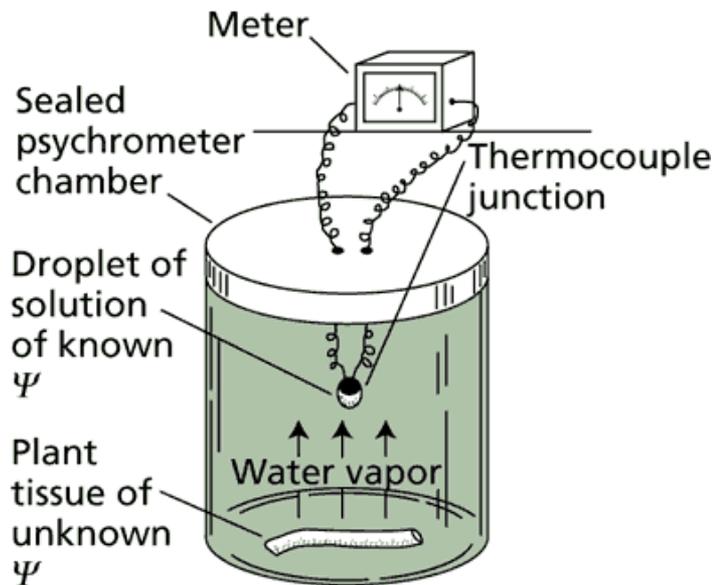
All'equilibrio:  $\Psi_{net} = P_T - \pi + P_B = 0$   
 Cioè:  $P_B = -\Psi_w$

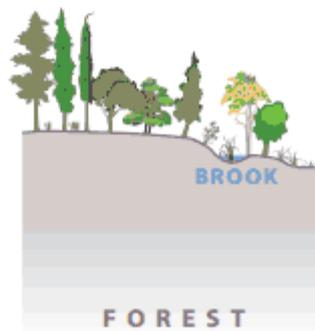
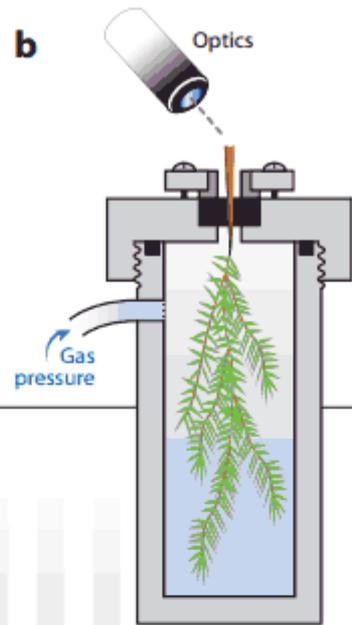
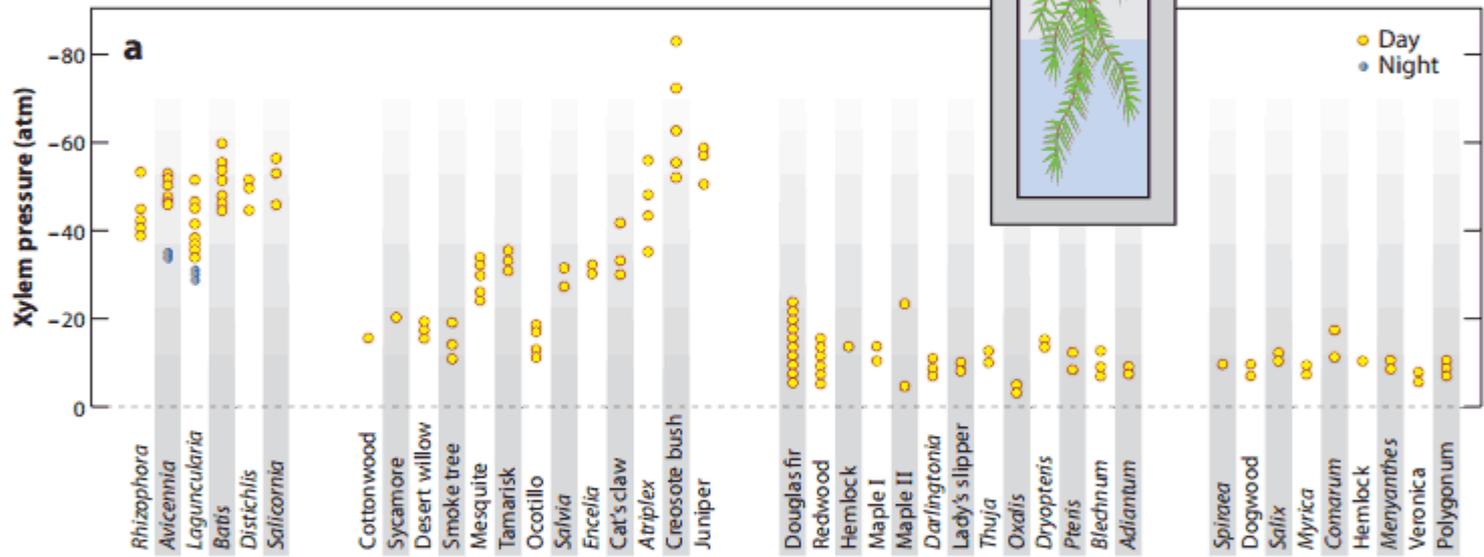
# CAMERA DI SCHOLANDER



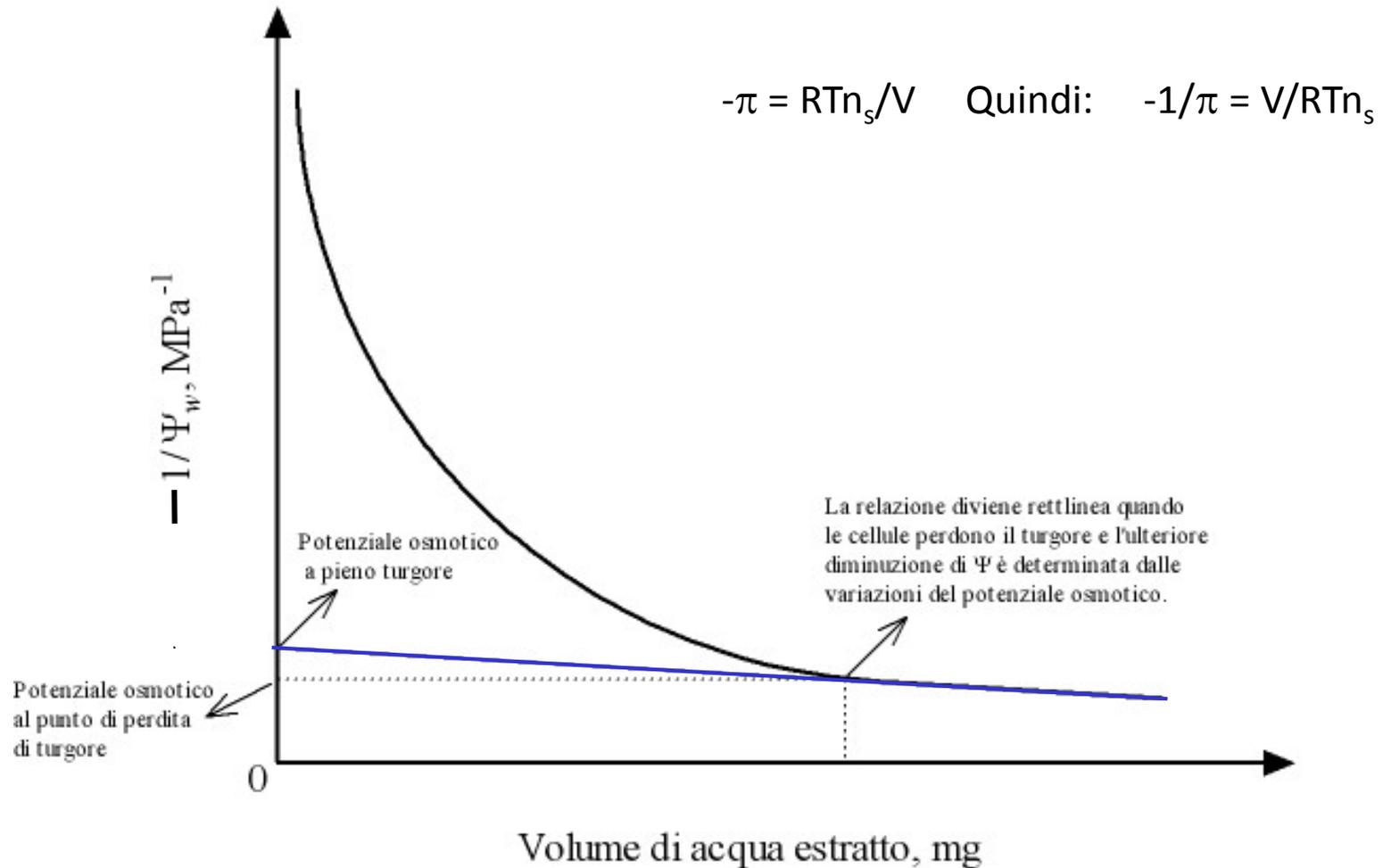
# Metodi di misura del potenziale dell'acqua di organi vegetali:

## 2 – Psicrometro a termocoppia



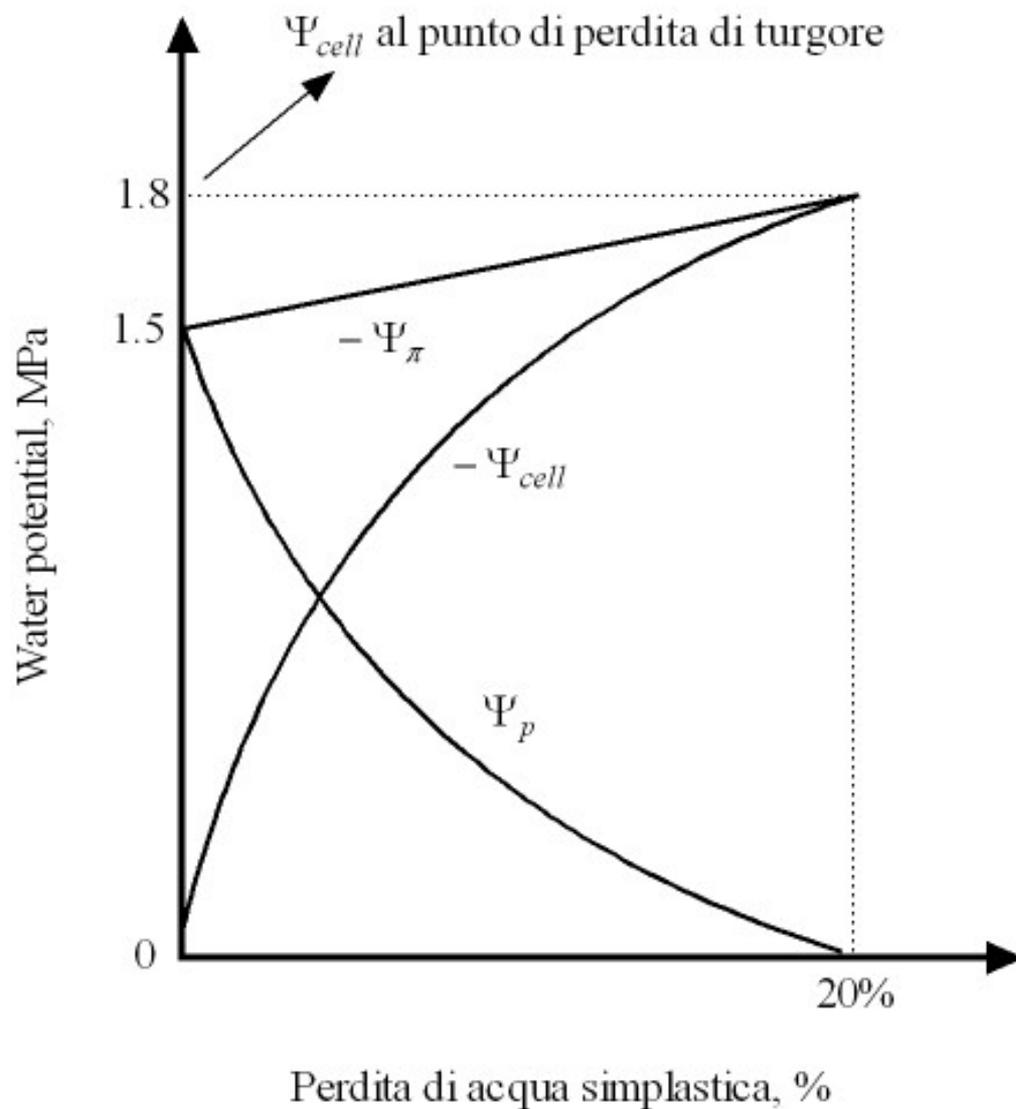


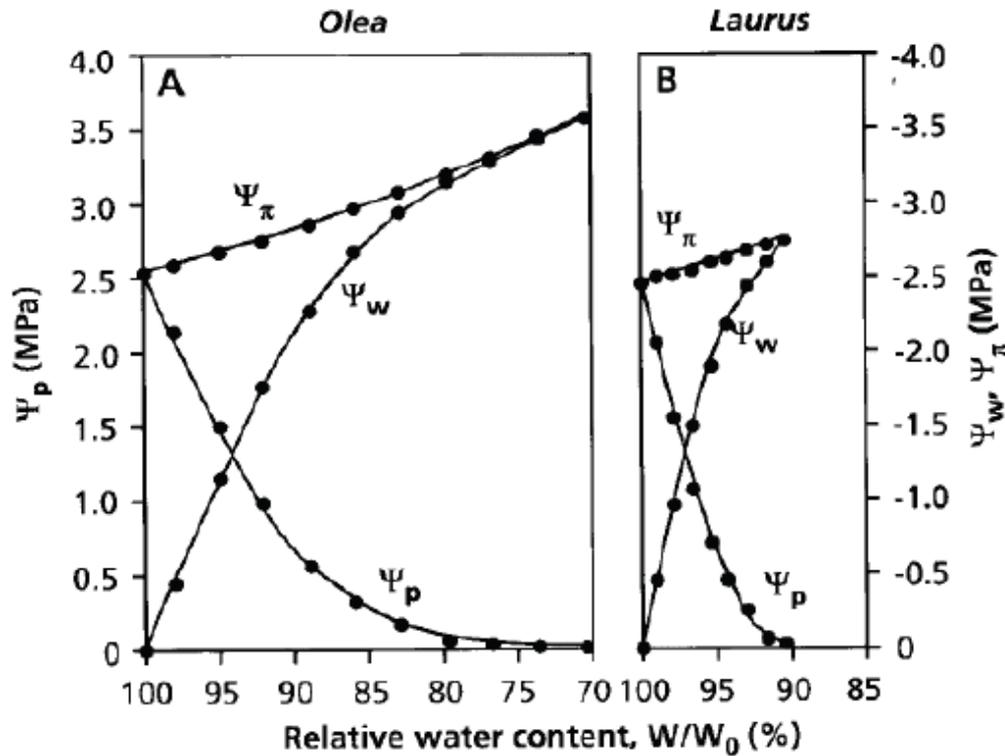
## 'Curve pressione-volume' o 'isoterme del potenziale dell'acqua'



- La curva descrive le variazioni di  $1/\Psi$  in funzione del contenuto di acqua
- La retta **blu** descrive le variazioni di  $1/\pi$  in funzione del contenuto di acqua
- Ricalcolando i valori di  $\Psi$  e  $\pi$  e ricordando che  $\Psi = P - \pi$ , è possibile ricavare le variazioni di  $P$  in funzione del contenuto di acqua come  $P = \Psi + \pi$

## Diagramma di Höfler

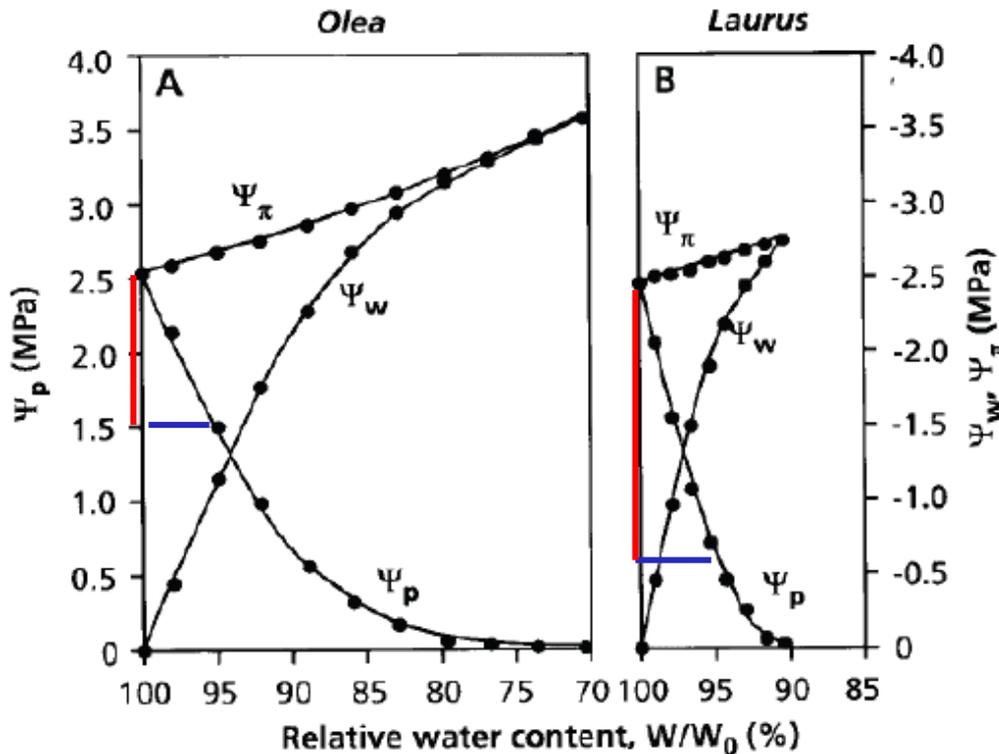




**Figure 3**  
 A second version of the Hoefler diagram showing turgor pressure ( $\Psi_p$ ) on the first Y-axis and total water potential ( $\Psi_w$ ) and osmotic potential ( $\Psi_\pi$ ) on the second Y-axis. Note that the first Y-axis is positive and goes from 0 – 4 MPa, while the second Y-axis is negative and goes from 0 – -4 MPa.



Maggiore è  $\epsilon$ ,  
 maggiore è la  
 resistenza della parete  
 alla deformazione



*Modulo elastico della parete ( $\epsilon$ ):*

$$\epsilon = d\Psi_p / \left( \frac{dV}{V} \right)$$

$d\Psi_p$  indica la variazione nella  
 pressione di turgore, che esprime la  
 «forza deformante» necessaria per  
 generare una certa variazione in  
 volume cellulare

*Laurus* possiede una minore  
 elasticità della parete (= un  $\epsilon$   
 maggiore) rispetto ad *Olea*



## Fusti di Cactus

Il modulo elastico ( $\epsilon$ ) delle cellule interne del fusto (con funzione di riserva d'acqua) è inferiore ad  $\epsilon$  dei tessuti fotosintetici esterni

Durante periodi siccitosi, per un dato decremento di  $\Psi_w$ , le cellule di riserva perderanno molta più acqua rispetto alle cellule esterne

# Osmoregolazione

$$\Psi = P_T - \pi$$

$$P_T = \Psi + \pi$$

Se  $\Psi = -1.5$  MPa e  $\pi = -1.5$  MPa, allora  $P_T = 0$  MPa (Punto di perdita di turgore = -1.5 MPa)

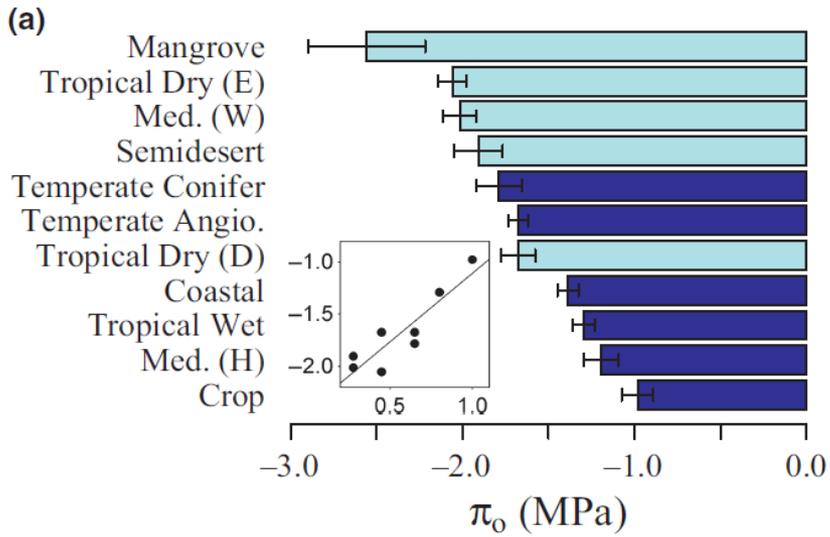
Ma se la pianta diminuisce  $\pi = -2.0$  MPa, allora  $P_T = 0.5$  MPa (Punto di perdita di turgore = -2.0 MPa)

L'accumulo/sintesi di soluti (osmoregolazione) permette alle piante di assorbire acqua dal suolo in luoghi aridi, mantenendo una pressione di turgore  $> 0$

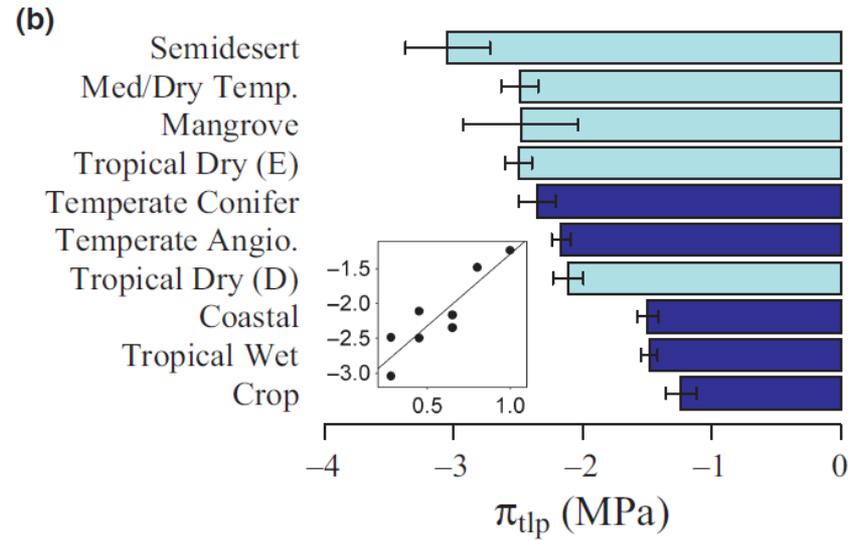
Ciò ha costi energetici

Problemi associati a tossicità ioni e stabilità membrane

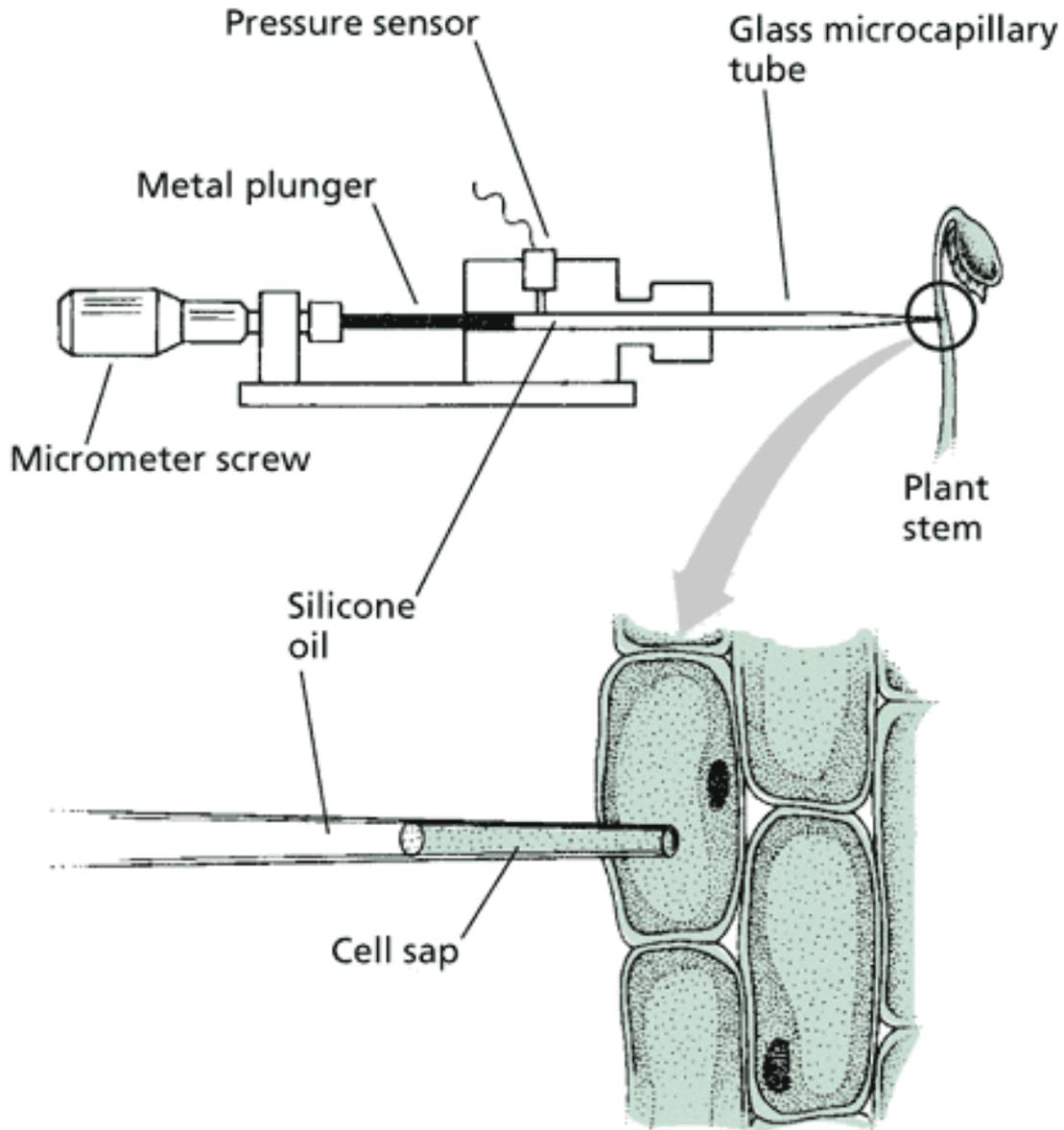
Potenziale osmotico a pieno turgore



Potenziale dell'acqua al punto di perdita di turgore

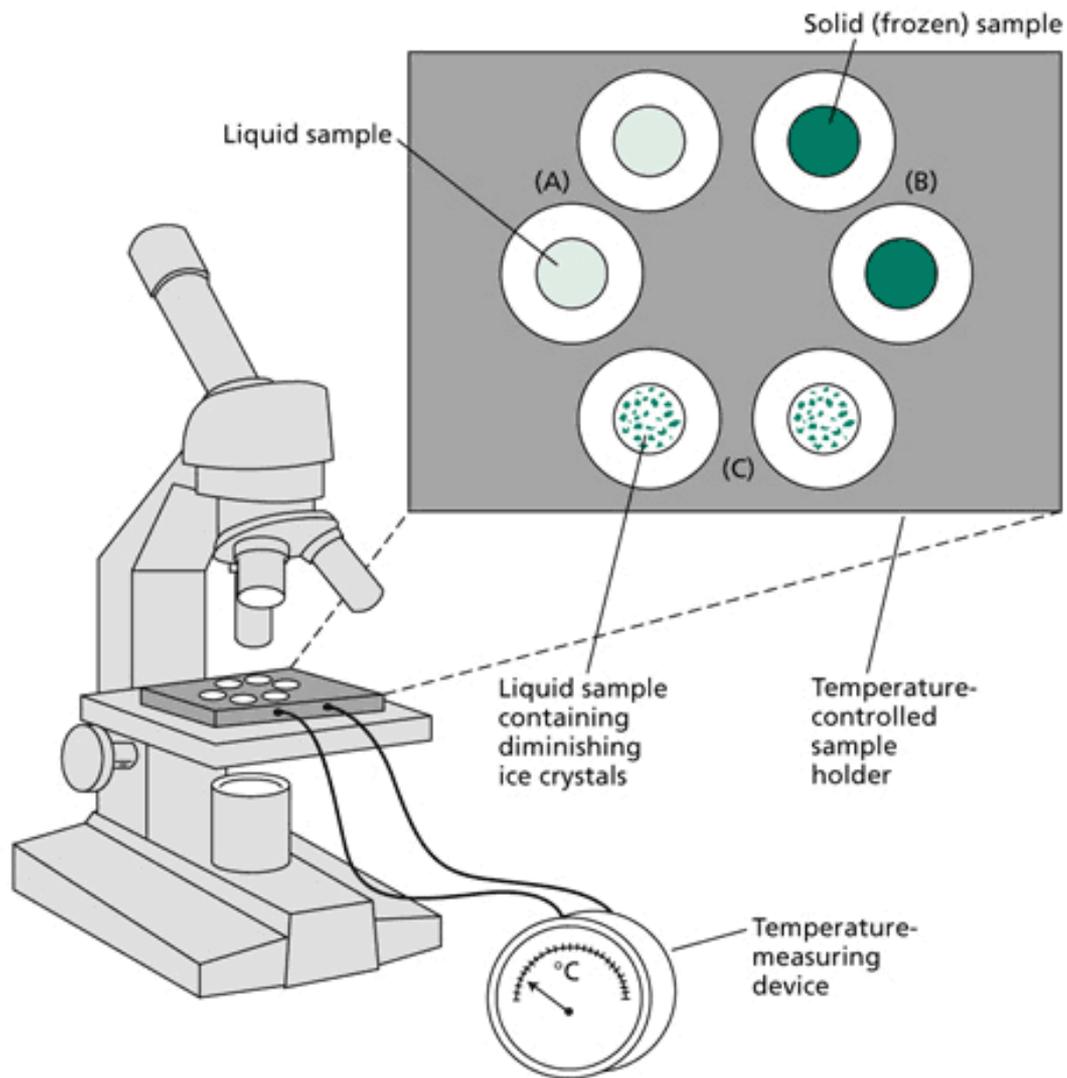


*Pressure probe (sonda a pressione), misura di  $P_T$*



Misura la pressione necessaria a riportare il succo cellulare (cell sap) nella cellula, quindi la pressione di turgore

## Osmometro crioscopico, misura di $\pi$



Misura il punto di congelamento del campione (liquido)

L'acqua si sposta in risposta a differenze di potenziale dell'acqua, secondo modalità di flusso di massa, diffusione, osmosi.

La differenza di potenziale permette di prevedere in che direzione si sposta l'acqua

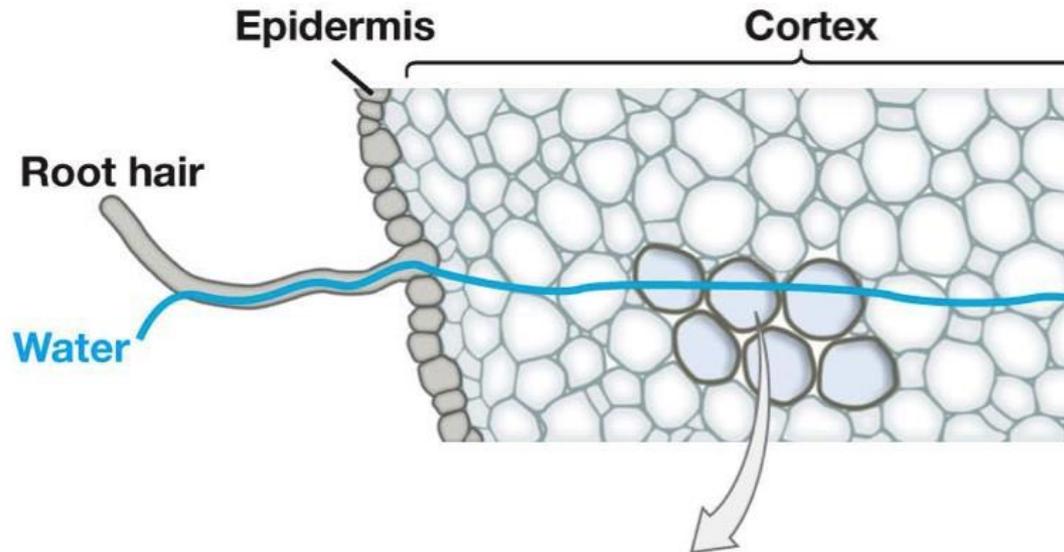
La velocità di trasporto dipende dalla forza motrice (**gradiente di  $\Psi$** ) e dalle caratteristiche fisiche del mezzo

**Flusso = forza motrice / resistenza**

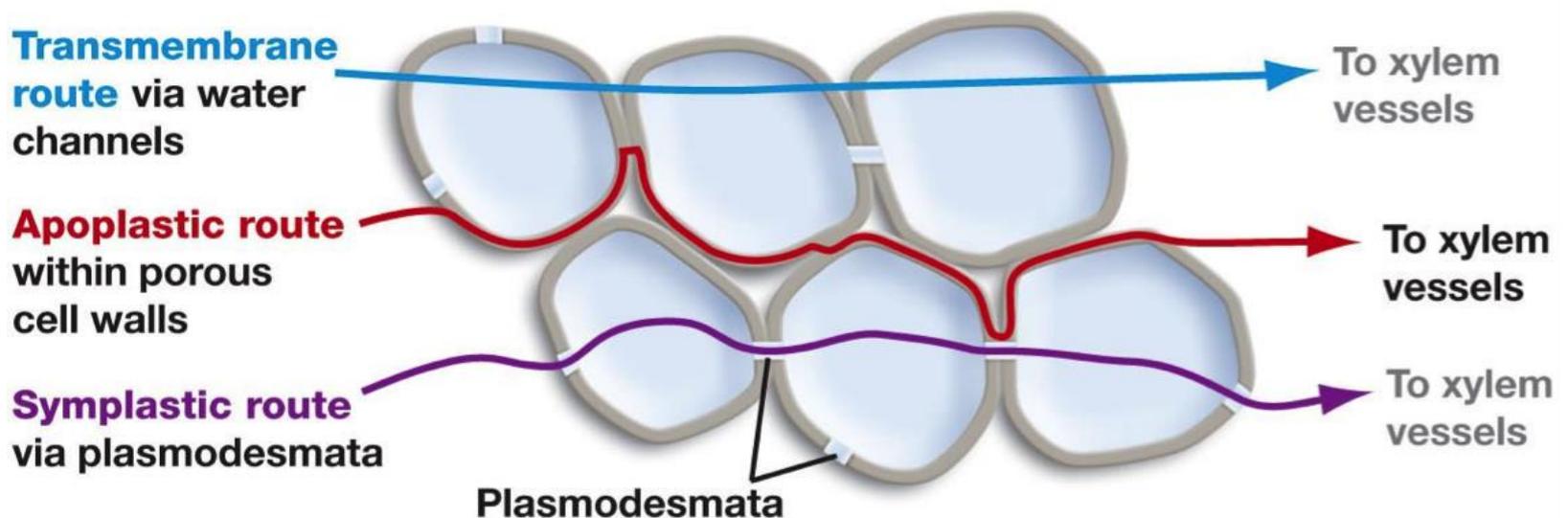
**Flusso = forza motrice x conduttanza**

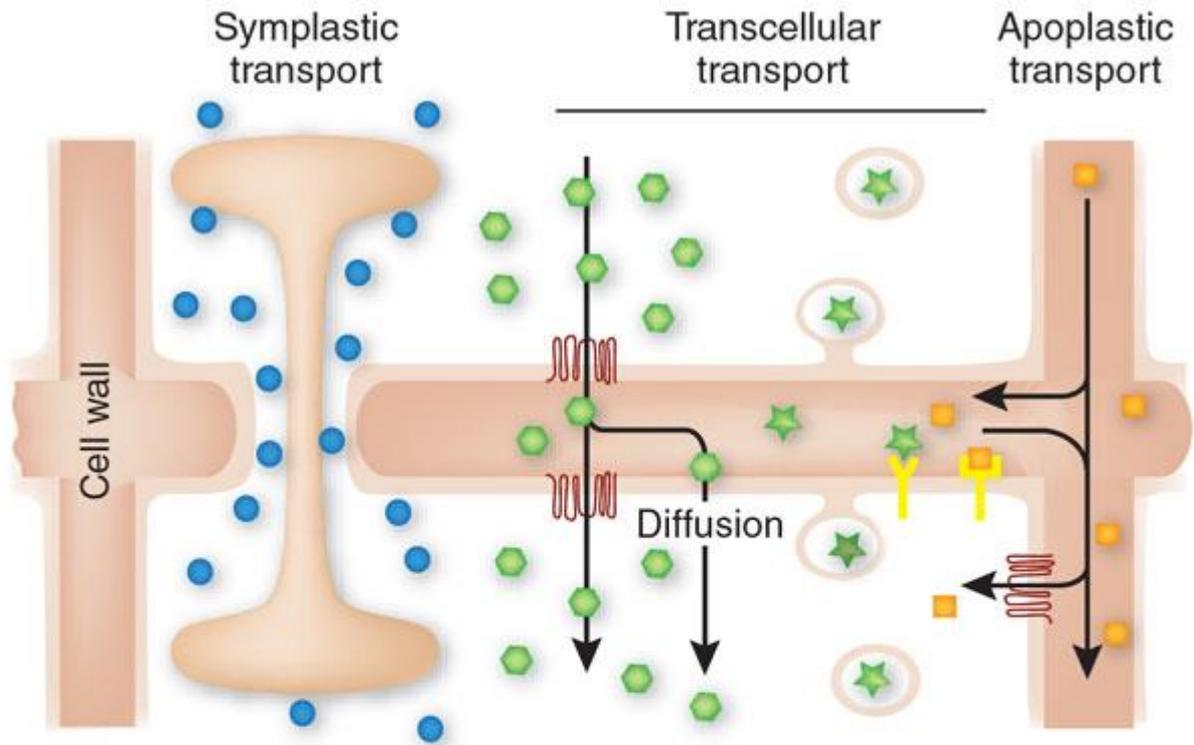
$$\mathbf{F} = \mathbf{K} \times \Delta\Psi$$

Trasporto di acqua a livello cellulare:  
plasmodesmi e aquaporine

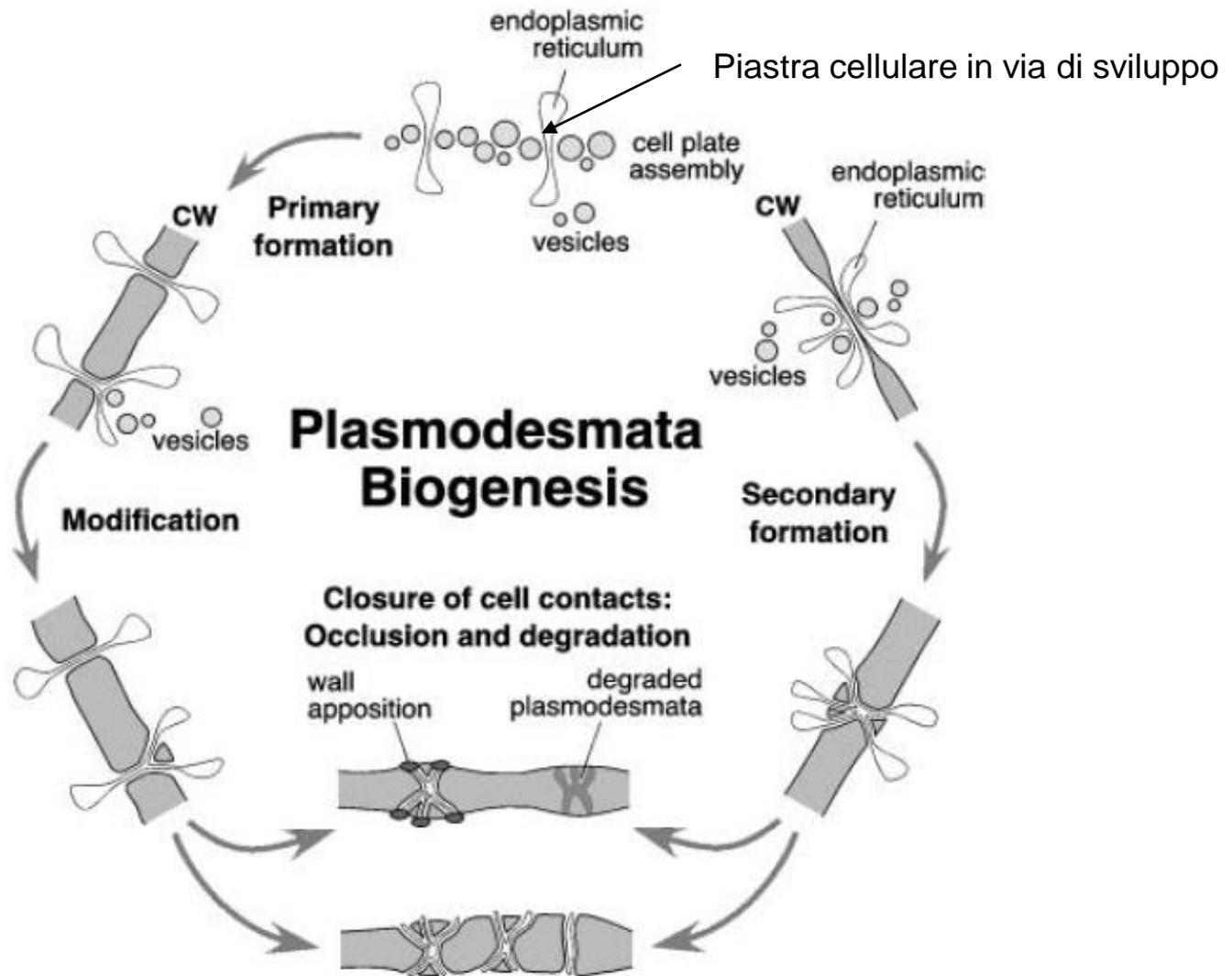


**(a) Water travels from root hairs to xylem via three routes.**





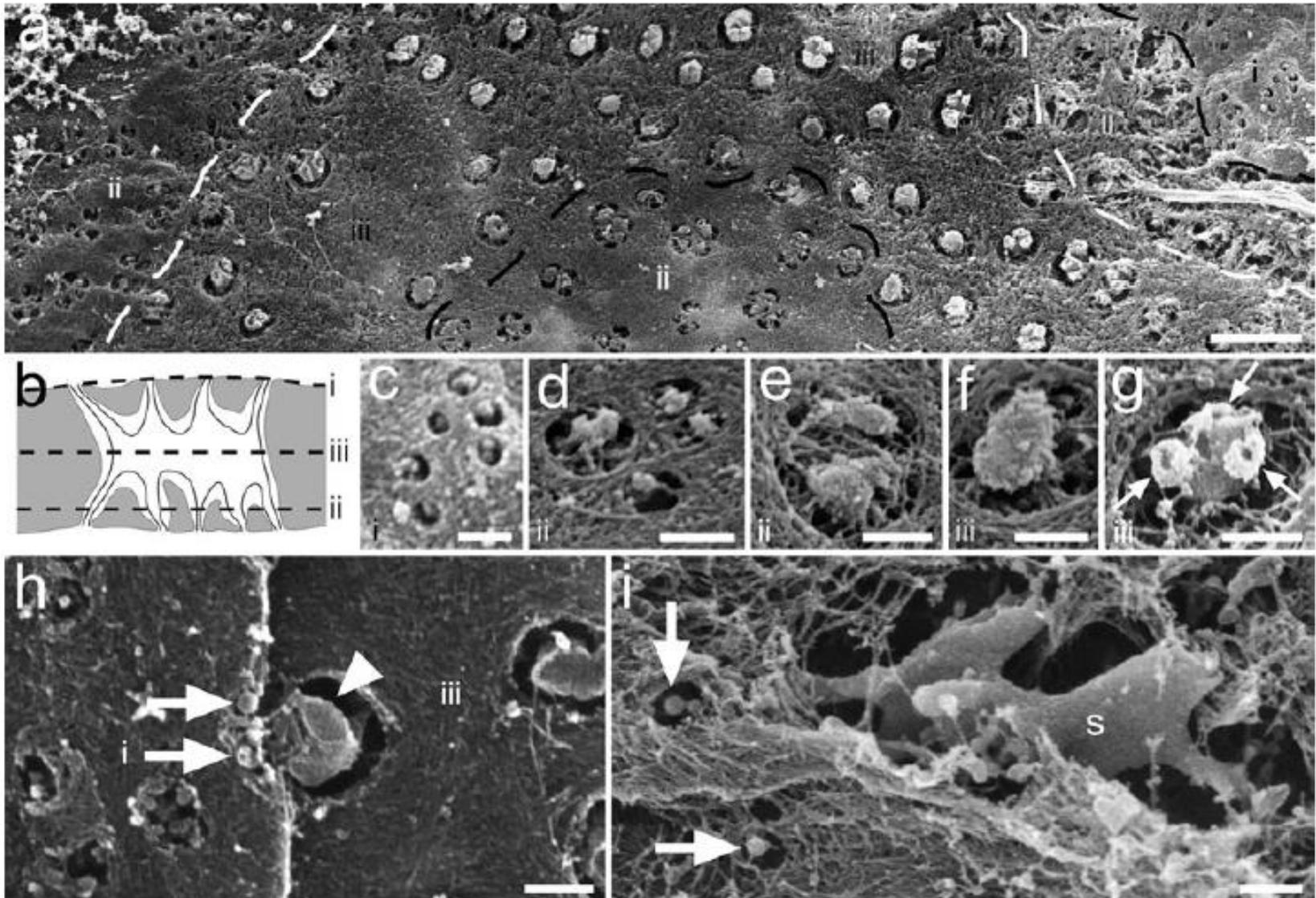
	ER complex/plasmodesmata		Transporter/permease/carrier
	Receptors		Vesicular-mediated secretion
	Symplastic transport		Transcellular transport
			Apoplastic transport



**Figure 1.** Formation of Primary and Secondary PD.

Formation of primary and secondary PD, in conjunction with PD occlusion and degradation, allows the plant to adjust the extent of the symplasmic/supracellular pathway interconnecting the cells of a tissue. CW, cell wall. (Adapted from Kragler et al., 1998a.)

## Punteggiature



Densità comprese tra 0.1 e 10-60 plasmodesmi  $\mu\text{m}^{-2}$

## Casi particolari di assenza di connessioni via plasmodesmi tra cellule adiacenti:

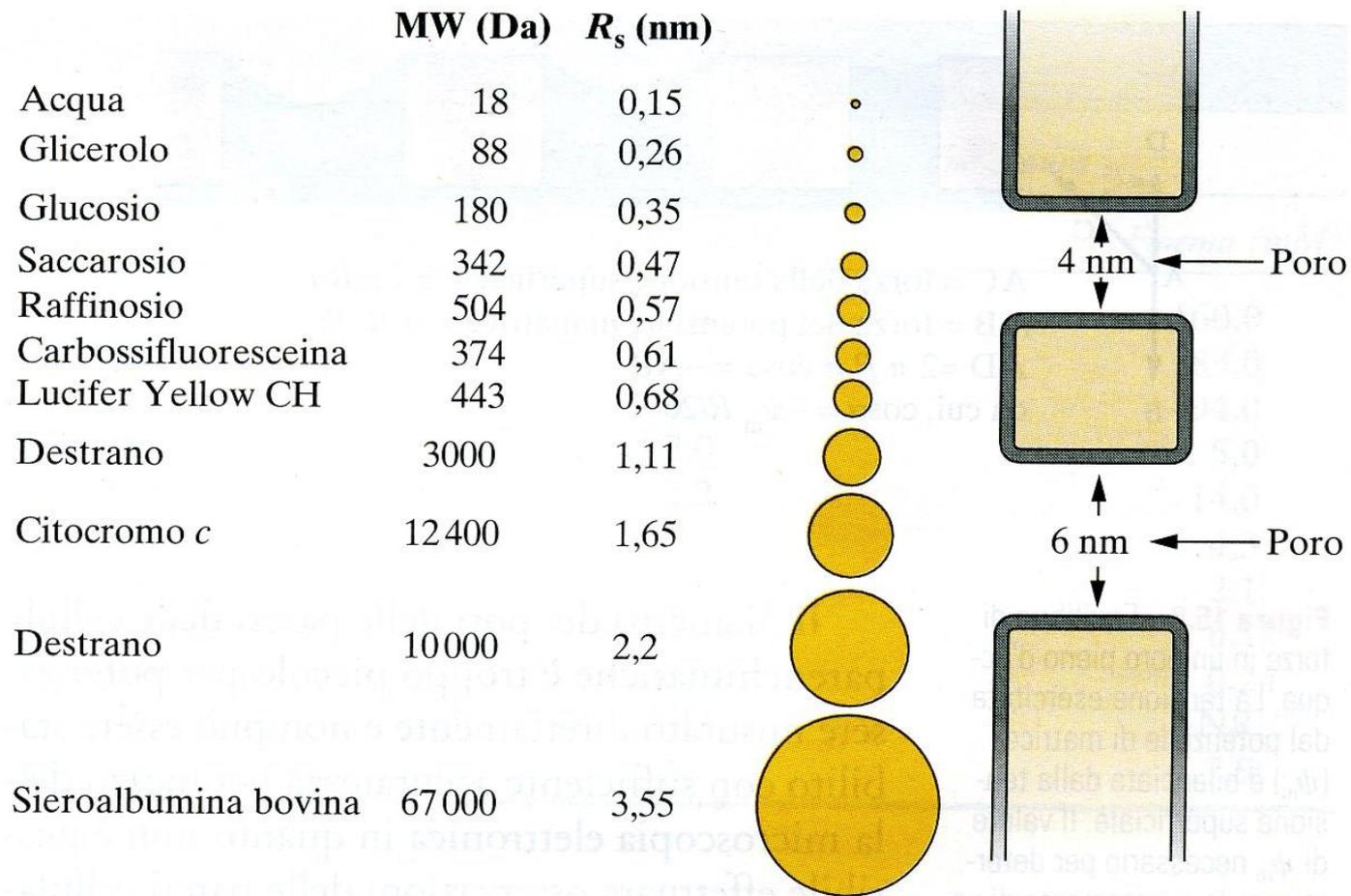
Cellule di guardia – Cellule epidermiche

Peli radicali – Cellule del rizoderma

Apice radicale – Cuffia radicale

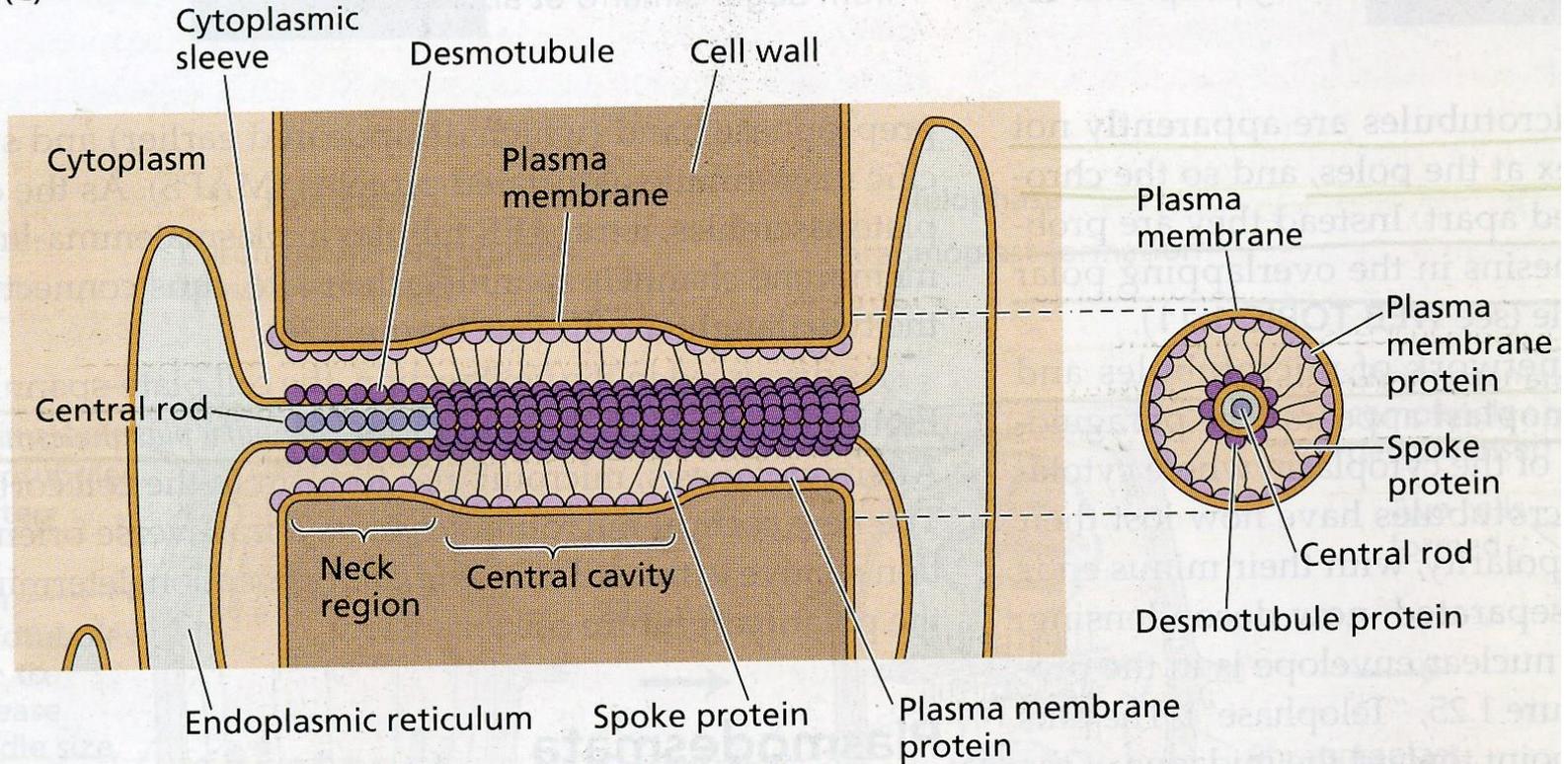
Fusto – Picciolo

Sacco embrionale - Ovulo



**Figura 15.6** Valori del raggio di Stokes di alcune molecole di diverso peso molecolare. I valori di  $R_s$  sono messi a confronto con pori del diametro di 4 nm e 6 nm, valori limite della grandezza dei pori nel simplasto. Nelle pareti cellulari la grandezza dei pori è compresa tra 5 e 7 nm. MW, peso molecolare.

(C)

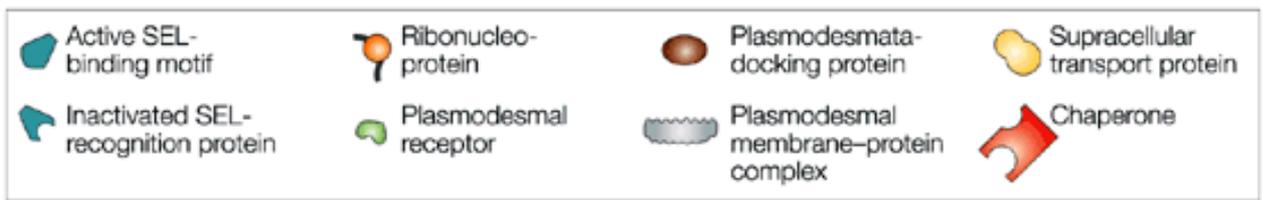
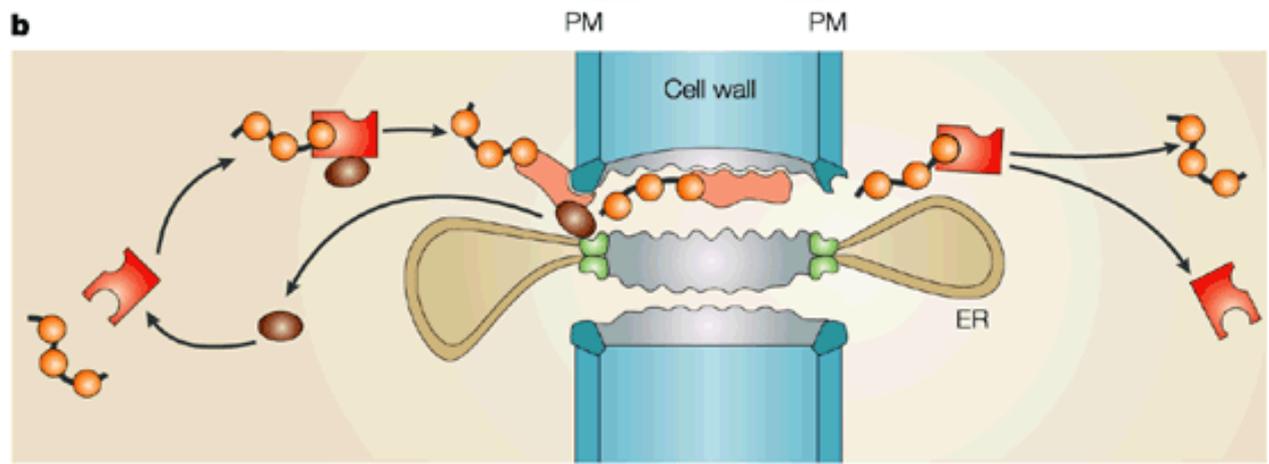
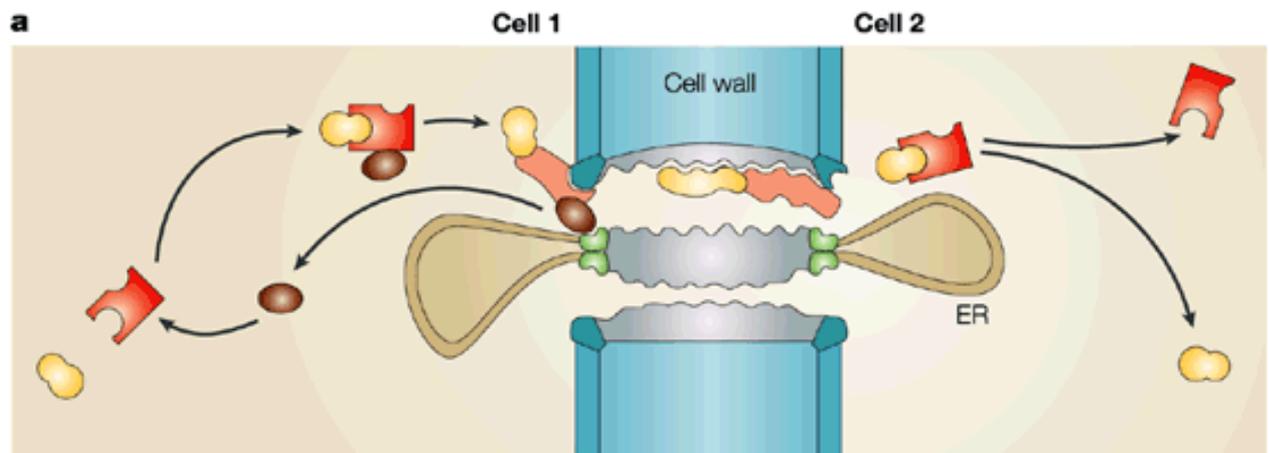


Limite di esclusione di massa: 700-1000 Da (molecole di 1.5-2.0 nm)

Tuttavia, il virus del mosaico del tabacco riesce a passare attraverso i plasmodesmi, pur avendo massa pari a 30 kDa

Il limite di esclusione di massa (SEL= size exclusion limit) dei plasmodesmi può essere regolato

In ogni caso, l'acqua attraversa liberamente i plasmodesmi

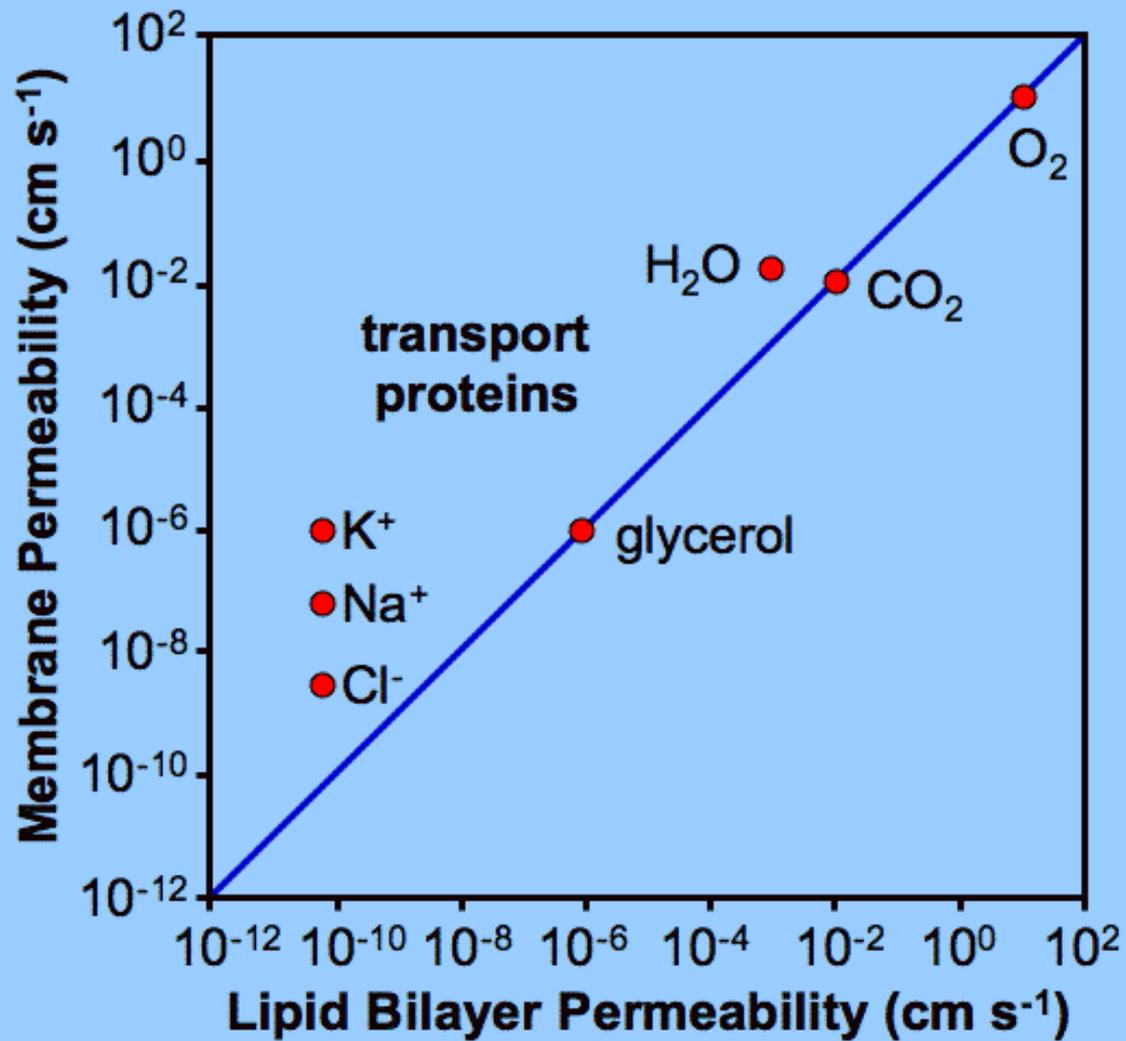


L'acqua può muoversi a livello cellulare seguendo una via simplastica attraverso i plasmodesmi.

Tuttavia, l'area disponibile per il passaggio di acqua attraverso plasmodesmi è relativamente piccola rispetto all'area complessiva della membrana cellulare.

L'acqua può attraversare le membrane cellulari?

## Membranes are differentially permeable to solutes



# Solute movement across a membrane

