

TRASPORTO DELL'ACQUA NELLA PIANTA

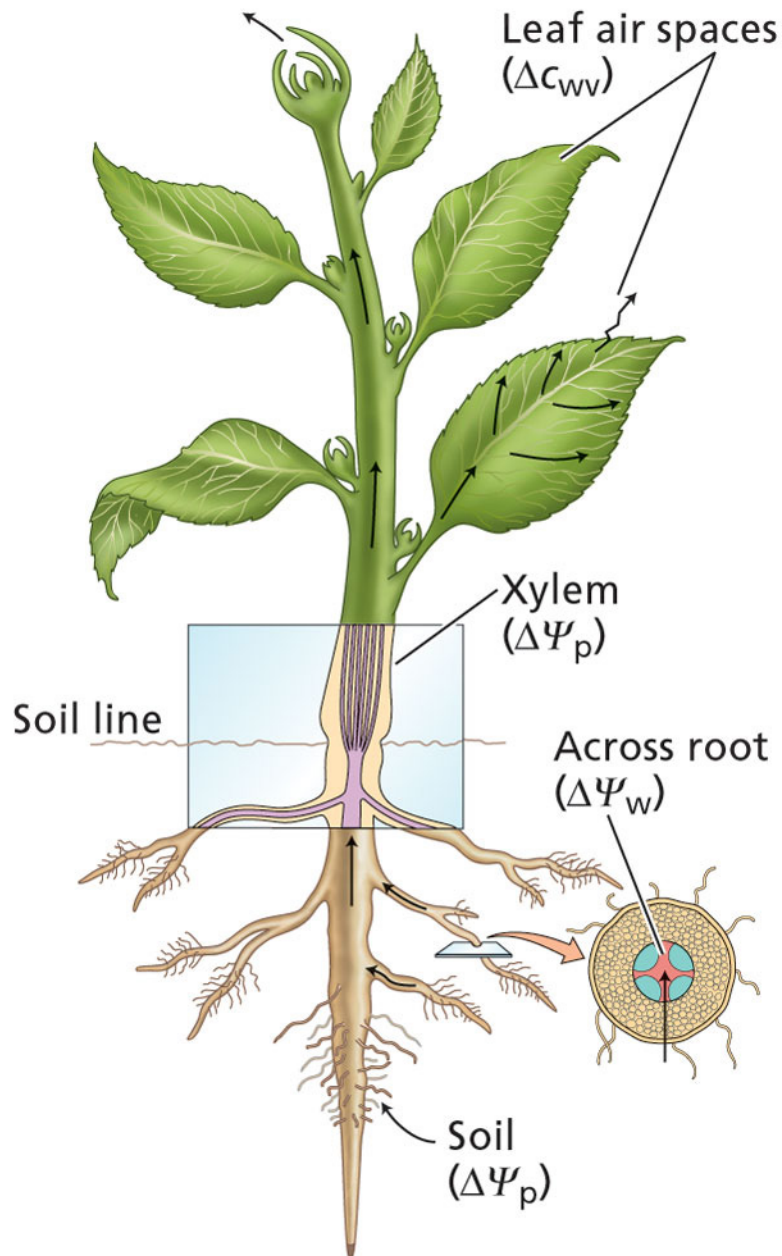
meccanismi e forze motrici per il trasporto dell'acqua

gradiente di concentrazione del vapor d'acqua nella traspirazione

gradiente di pressione nel trasporto a lunga distanza nello xilema

gradiente di potenziale idrico nella radice

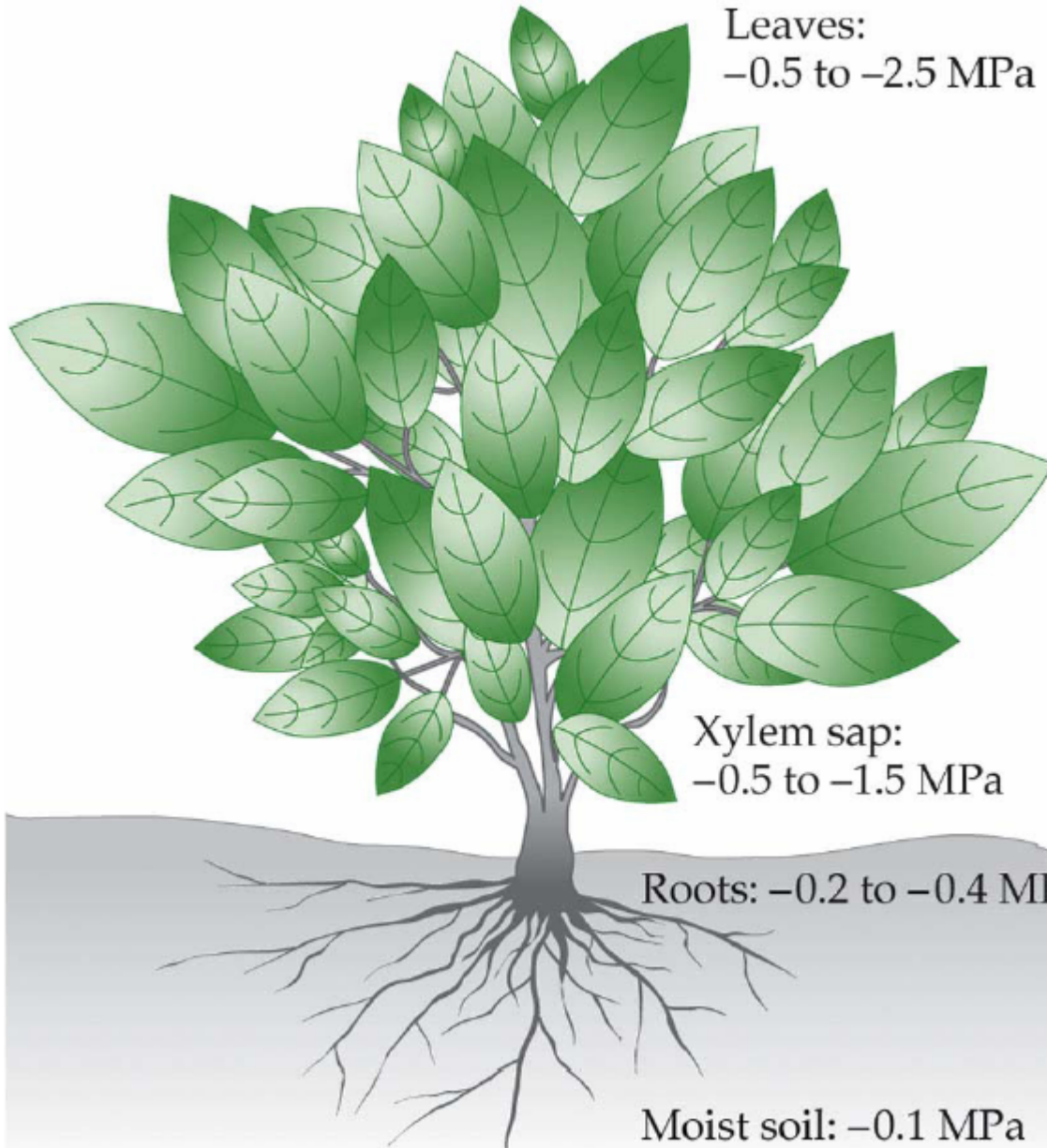
gradiente di pressione nel suolo



$\Psi_{\text{suolo}} > \Psi_{\text{radice}} > \Psi_{\text{fusto}} > \Psi_{\text{foglia}} > \Psi_{\text{aria}}$

Air (50% relative humidity): -68.5 MPa

Leaves:
 -0.5 to -2.5 MPa



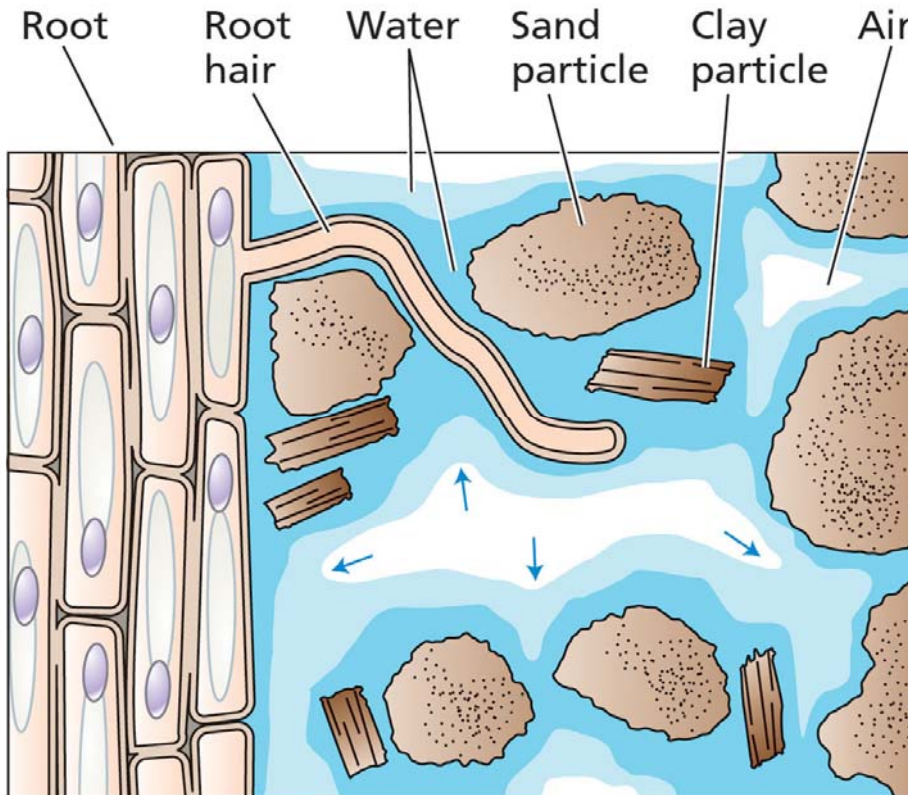
Xylem sap:
 -0.5 to -1.5 MPa

Roots: -0.2 to -0.4 MPa

Moist soil: -0.1 MPa

Potenziale idrico del suolo

- dipende da:
- π generalmente bassa (≈ 0.01 MPa, in suoli salini può raggiungere 0.2 MPa)
 - P l'acqua del suolo è sempre sotto tensione
 $P \leq 0$ (in suoli aridi può raggiungere -3 MPa)

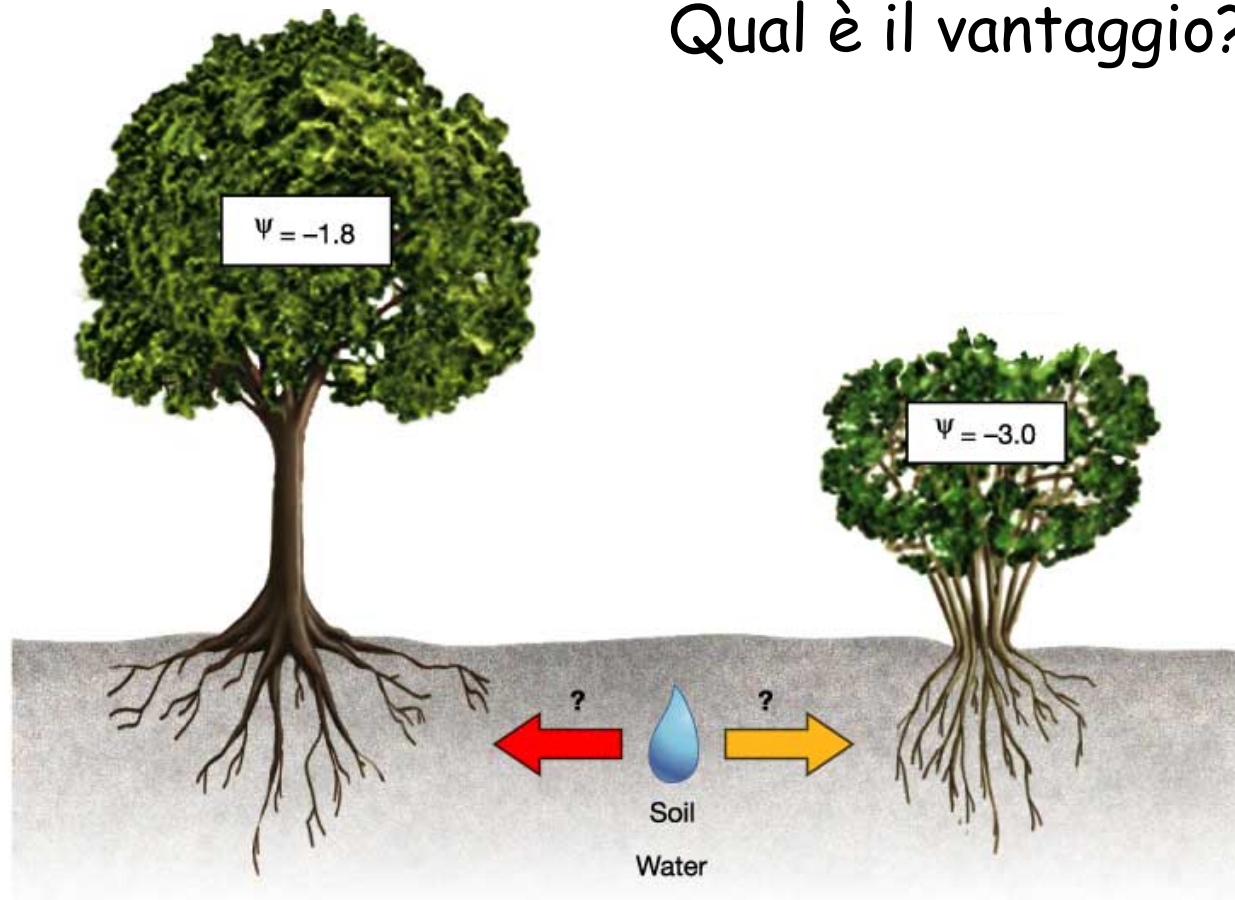


$$P = \frac{-2\tau}{r}$$

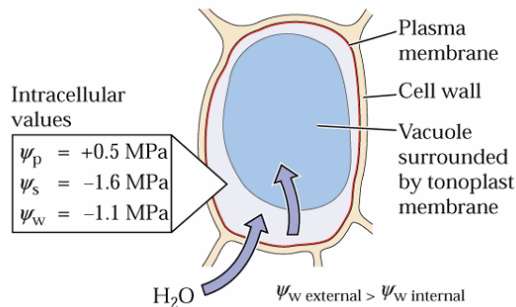
τ tensione superficiale
(7.28×10^{-8} MPa m)

Alcune piante possono tollerare valori di potenziale idrico molto bassi nelle loro cellule

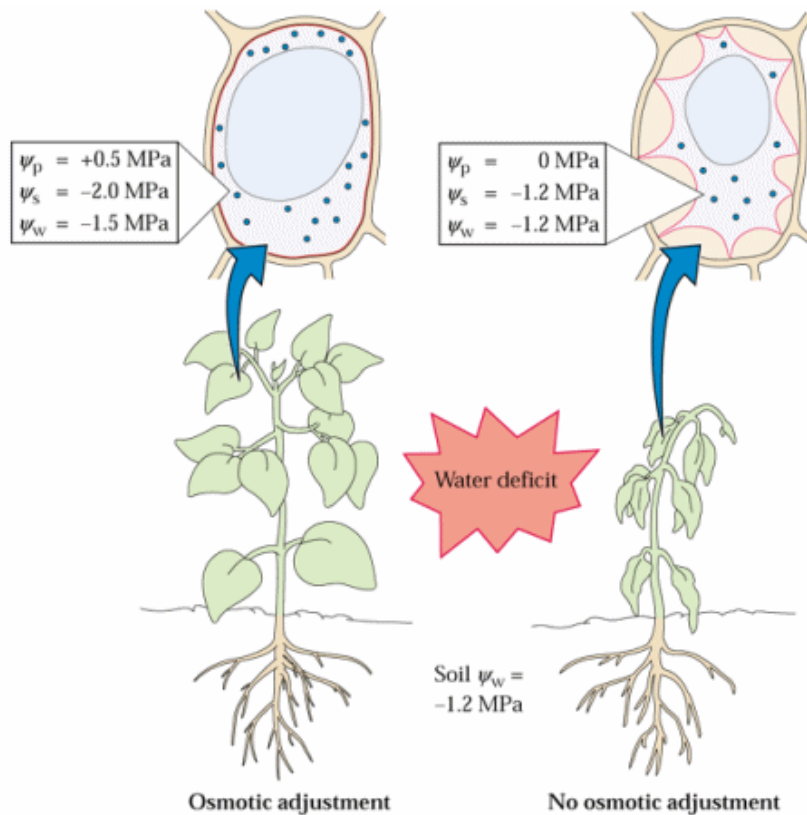
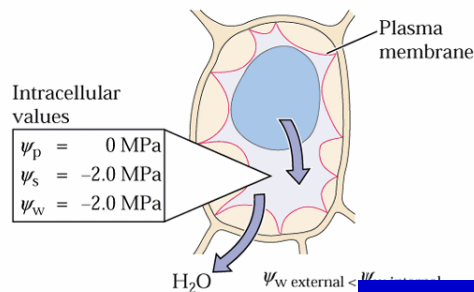
Qual è il vantaggio?



Turgid cell: $\psi_w \text{ external} = 0 \text{ MPa}$



Plasmolyzed cell: $\psi_w \text{ external} = -2.5 \text{ MPa}$

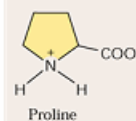


Aggiustamento osmotico

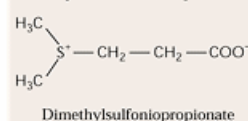
la pianta riesce ad abbassare il proprio potenziale idrico aumentando la concentrazione dei soluti ($\uparrow \pi$; $\downarrow \Psi_s$)

Compatible osmolytes

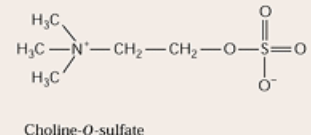
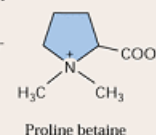
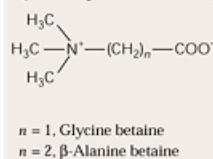
Amino acid:



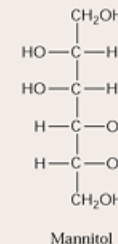
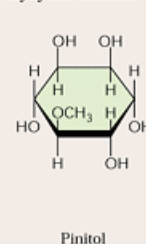
Tertiary sulfonium compound:



Quaternary ammonium compounds:



Polyhydric alcohols:

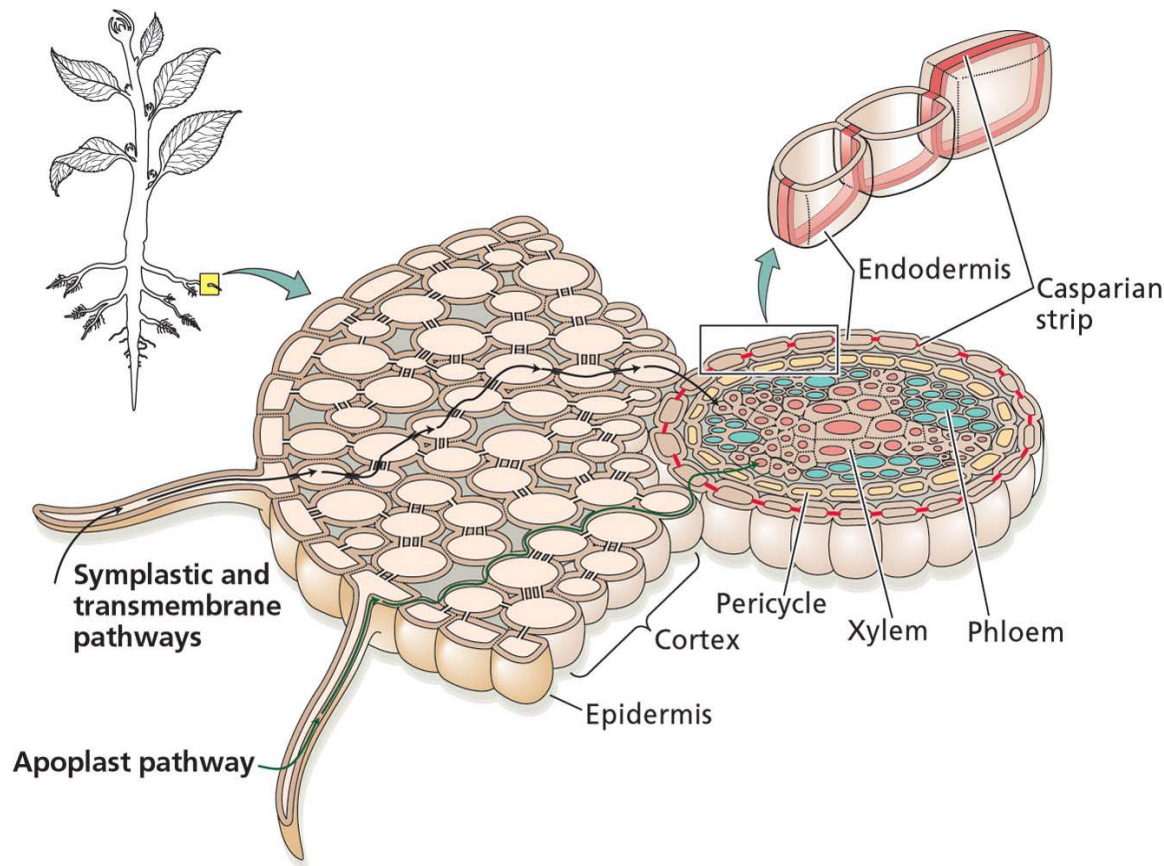


sintesi di osmoliti compatibili

Assorbimento dell'H₂O dalle radici

I peli radicali aumentano enormemente la superficie disponibile per l'assorbimento.

L'H₂O può seguire tre vie
apoplastica
transmembrana
simplastica



Banda di Caspary
parete cellulare
radiale
nell'endoderme
impregnata di
suberina

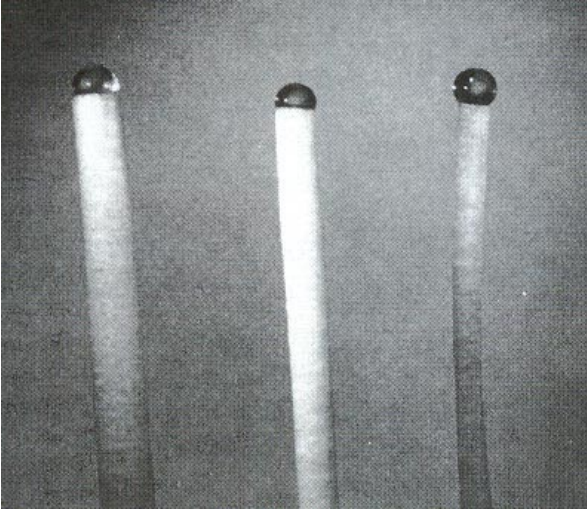
L'H₂O entra prevalentemente nella zona apicale che non è suberinizzata

PLANT PHYSIOLOGY, Third Edition, Figure 4.3 © 2002 Sinauer Associates, Inc.

Conduttanza idraulica radicale
$$L_{\text{root}} = \frac{J_v}{\Delta\Psi}$$

$\Delta\Psi$ è la differenza di potenziale idrico attraverso la radice

Pressione radicale



Pressione positiva 0.1 - 0.5 MPa

I soluti assorbiti dalle radici
abbassano il ψ_s dello xilema
determinando una diminuzione di Ψ



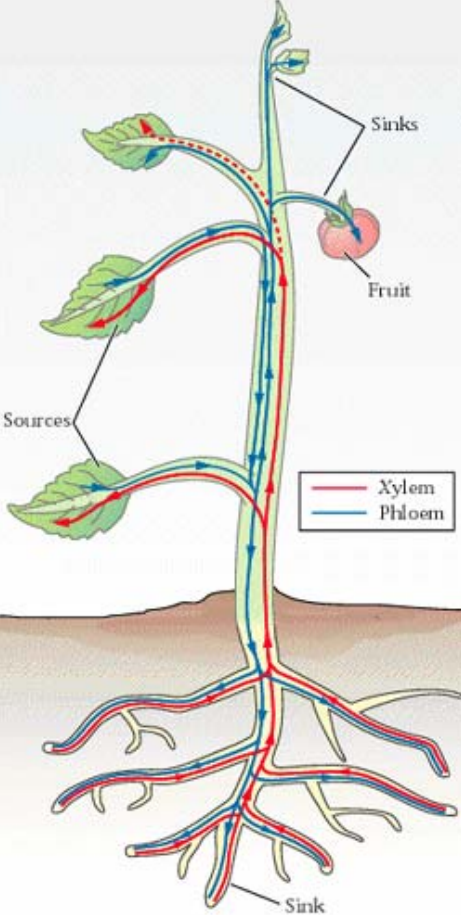
assorbimento di H_2O dalle radici



aumento di P nello xilema



si osserva guttazione dalle foglie



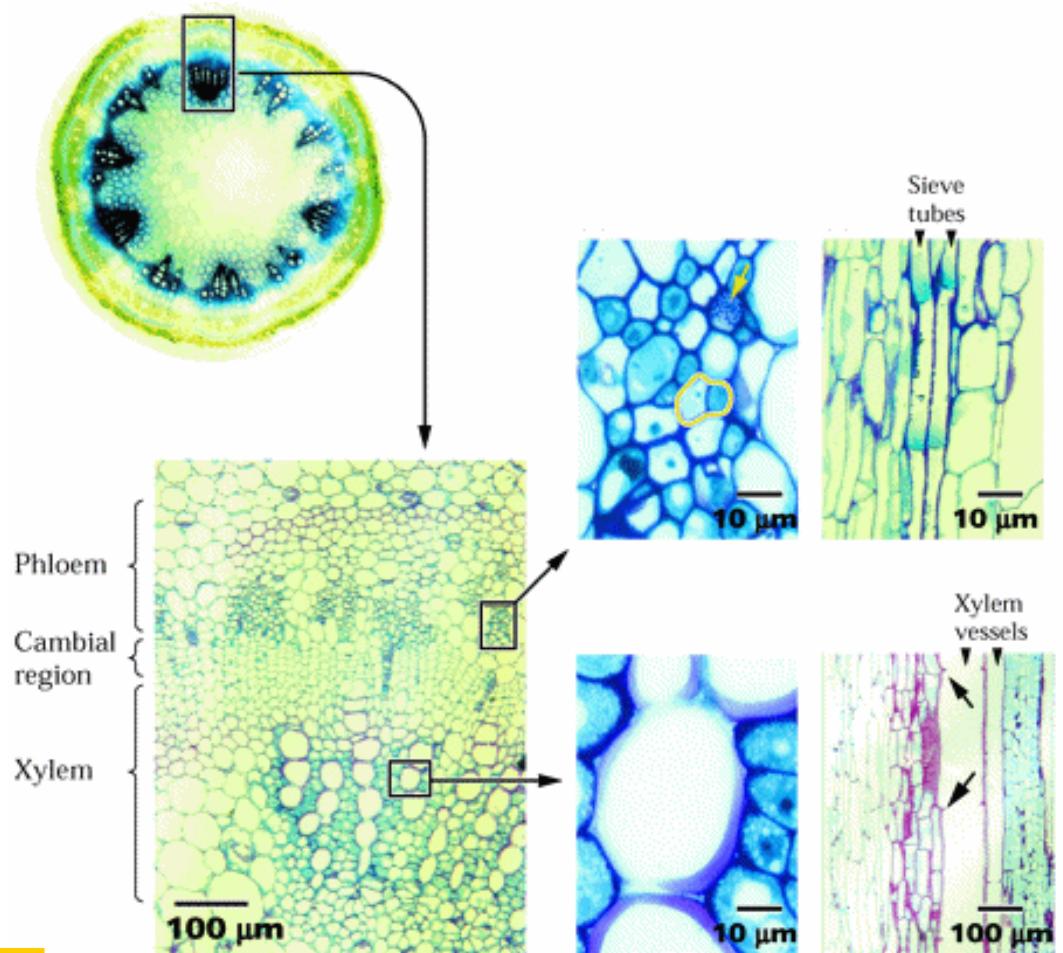
↪ tessuto vascolare ↪

xilema

responsabile
del trasporto
di H_2O e
nutrienti dalle
radici alle
foglie

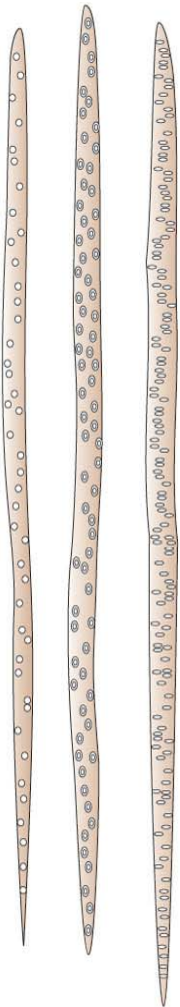
floema

responsabile
del trasporto
di H_2O e di
vari composti
nella pianta



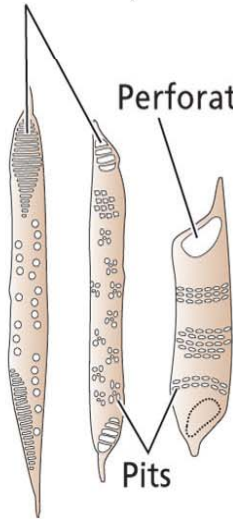
XILEMA struttura specializzata per il trasporto dell' H_2O con la massima efficienza

(A)



tracheidi

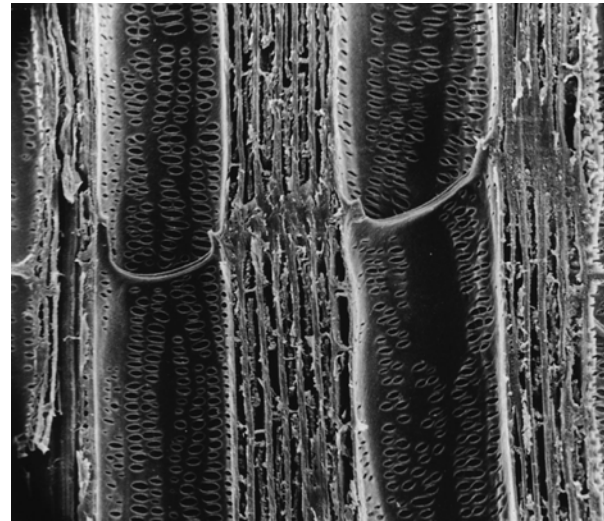
Perforation plate



Perforation plate

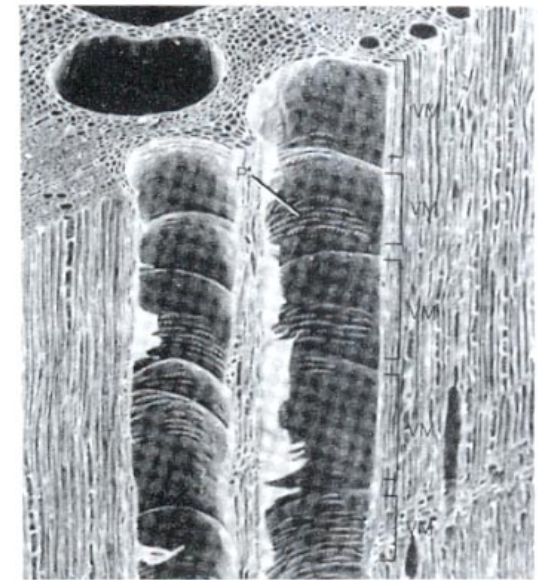
Pits

elementi vasali



(C)

a differenza delle tracheidi sono impaccati uno su l'altro

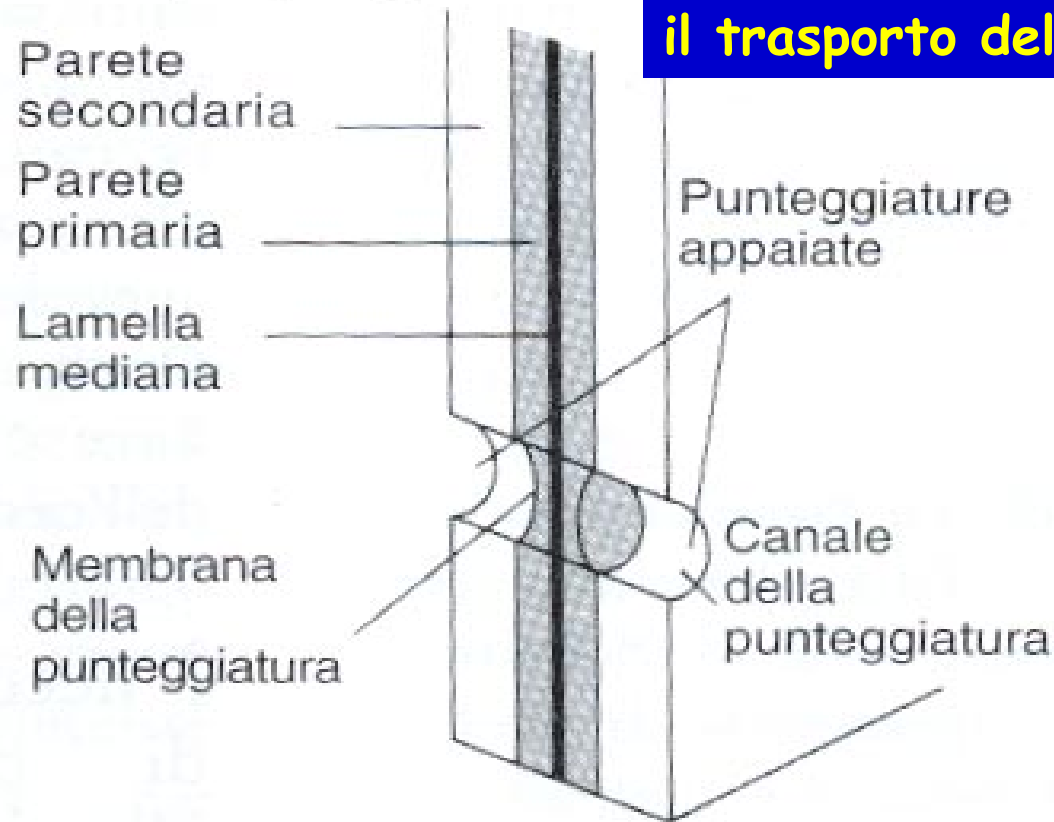


← sovrapposizione di elementi vasali a formare un **vaso**

le tracheidi e gli elementi vasali sono **cellule morte** che non possiedono membrane e organuli. Tubi cavi rinforzati da **pareti secondarie lignificate**

Tracheidi: angiosperme, gimnosperme
Vasi: angiosperme

**punteggiature appaiate
vie a bassa resistenza per
il trasporto dell' H_2O**



Spostamento dell' H_2O nello xilema

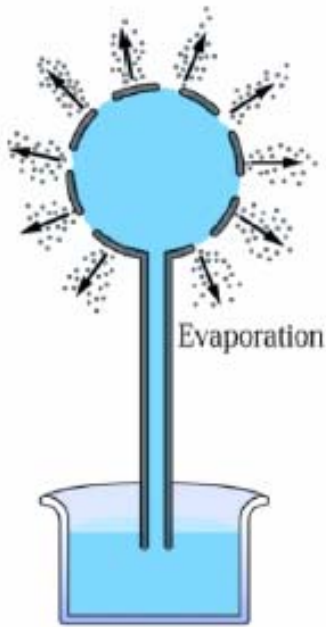
Flusso di massa

Pressione radicale?

non è sufficiente

(0.1 MPa e si annulla se la traspirazione è elevata)

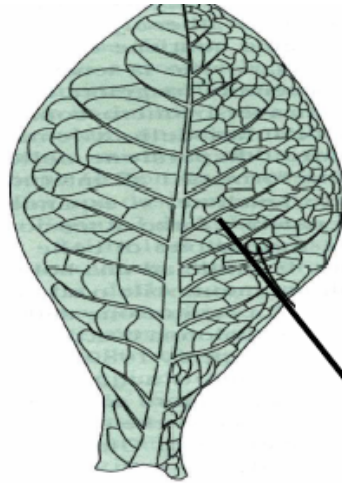
TEORIA DELLA COESIONE-TENSIONE



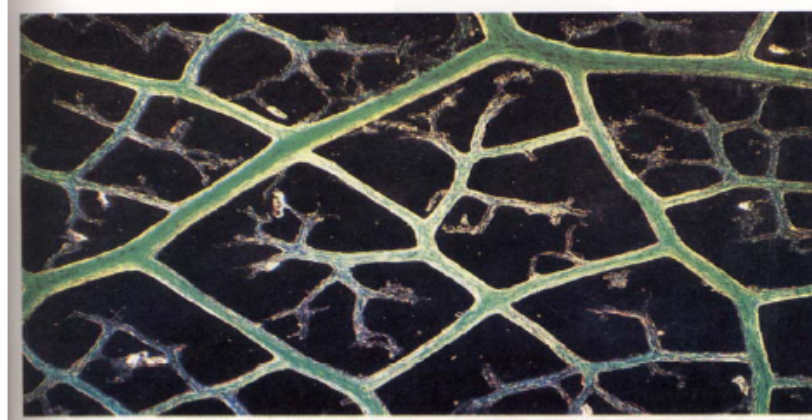
Le forze di coesione/adesione delle molecole di acqua consentono la trasmissione della tensione sviluppata in seguito alla TRASPIRAZIONE e la formazione di colonne di acqua intatte che determinano la risalita dell'acqua nello xilema

L'acqua nello xilema si trova sotto tensione (Ψ_p negativo)

Parete secondaria necessaria per evitare il collasso dello xilema a causa della forza esercitata sulle pareti dall' H_2O sotto tensione



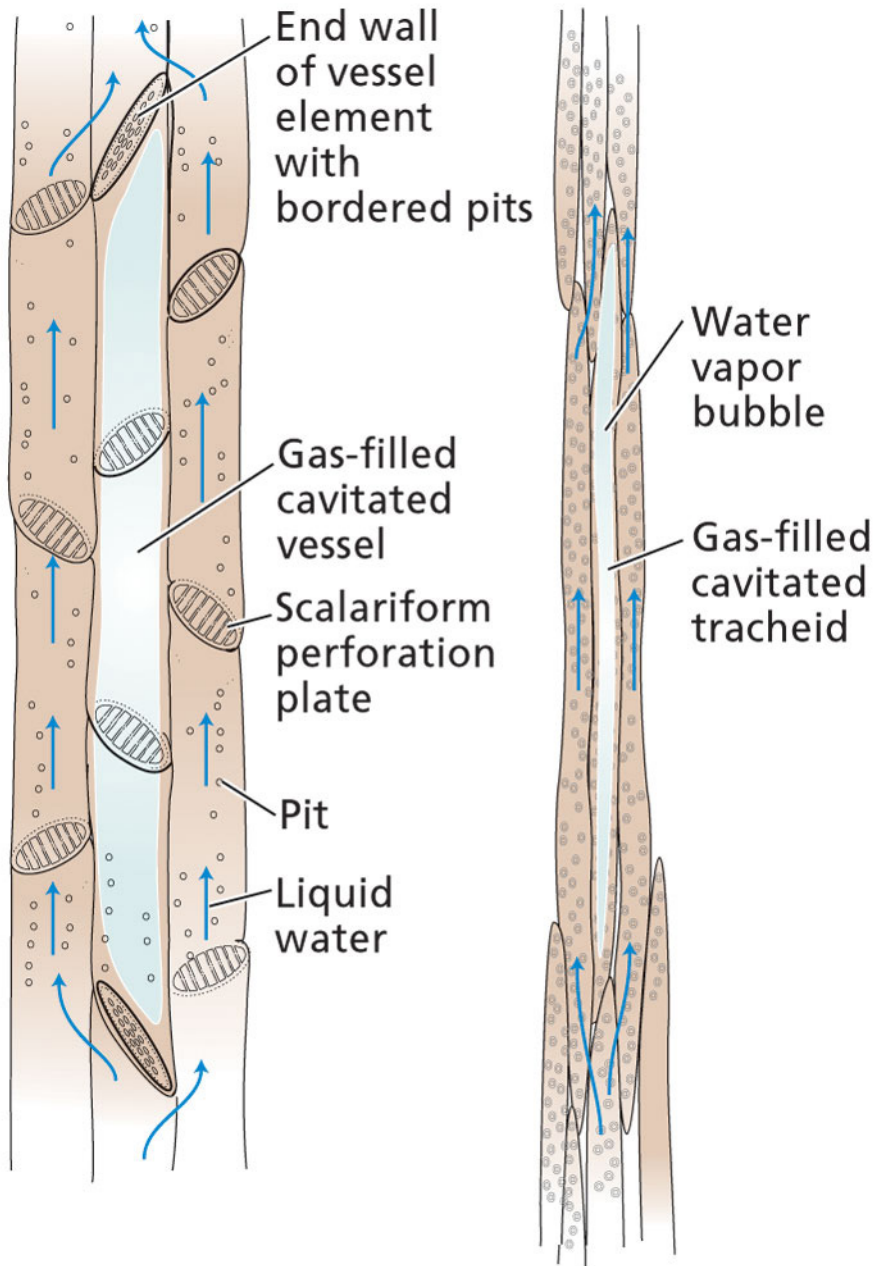
La tensione può
trasmettersi fino allo
xilema delle piccole
nervature



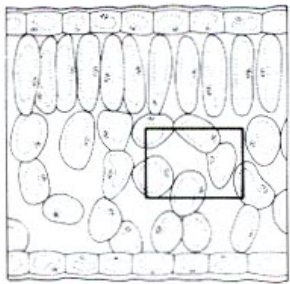
Cavitazione

I gas disciolti nell' H_2O sotto tensione tendono a passare nella fase vapore formando bolle che si espandono.

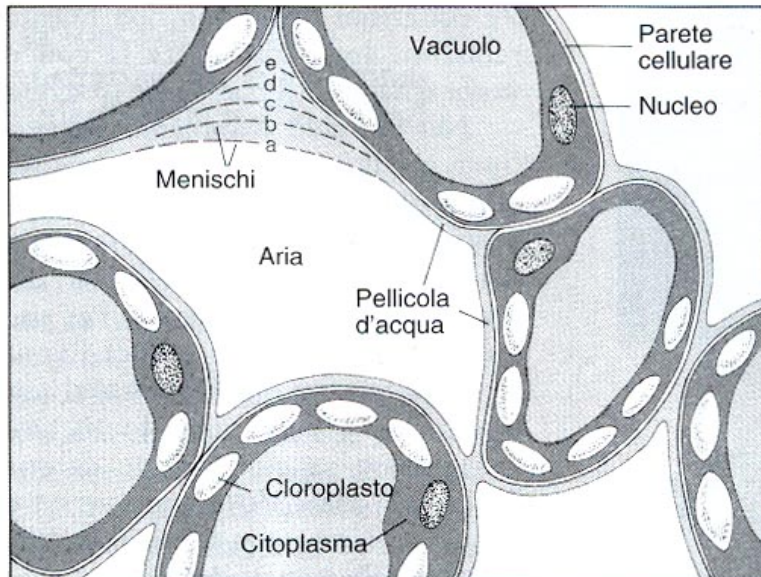
La notte, quando la traspirazione è bassa, diminuisce la tensione nello xilema e i gas si ridisciolgono. Anche la presenza di una pressione radicale limita la cavitazione.



In seguito all'evaporazione dell'H₂O, si sviluppa sulla superficie delle pareti cellulari una **pressione negativa (tensione)** che permette al succo xilematico di raggiungere la foglia

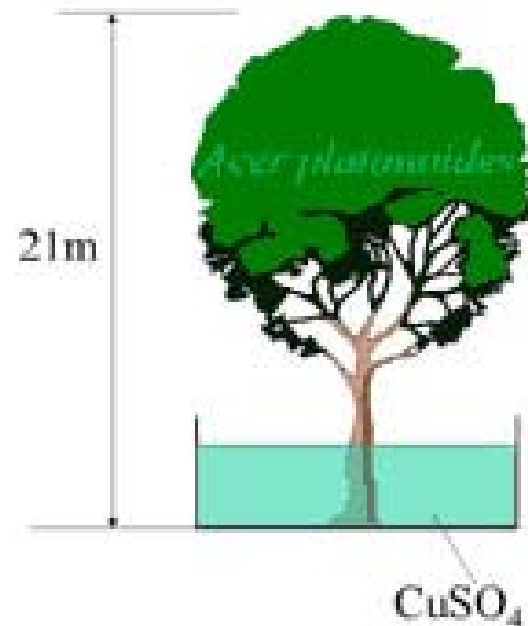


Raggio di curvatura (μm)	Pressione idrostatica (MPa)
(a) 5,0	-0,03
(b) 0,5	-0,3
(c) 0,05	-3
(d) 0,01	-15
(e) 0,005	-30



$$P = - \frac{2 \tau}{r}$$

Il trasporto dell'acqua non richiede cellule vive



- 30 liters/14 days
- wood impregnated up to 20 m

TEORIA DELLA COESIONE-TENSIONE

- L'acqua all'interno della pianta forma una colonna di liquido continua dalle radici alle foglie. Tale continuità idraulica permette il trasferimento istantaneo delle variazioni di P
- La forza motrice per il movimento dell'acqua è la tensione superficiale che si sviluppa a livello della superficie di evaporazione
- Il raggio dei menischi ricurvi è sufficientemente piccolo da supportare colonne di acqua molto alte ($r = 0.12 \mu\text{m}$ supporta una colonna di 120 m)
- L'evaporazione determina un gradiente di pressione o tensione lungo la via di traspirazione. Ciò causa un influsso di acqua dal suolo alla superficie di traspirazione
- L'acqua nello xilema è in uno stato metastabile e può dar luogo al fenomeno della cavitazione

TRASPIRAZIONE

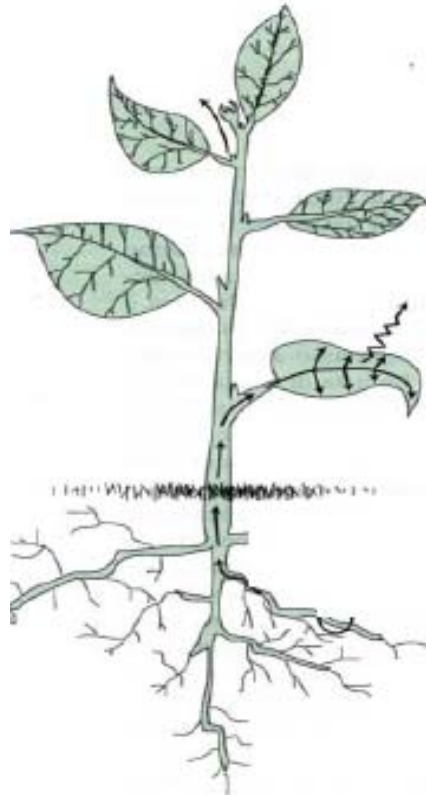
atmosfera



pianta



suolo



H_2O_{vapore}



H_2O

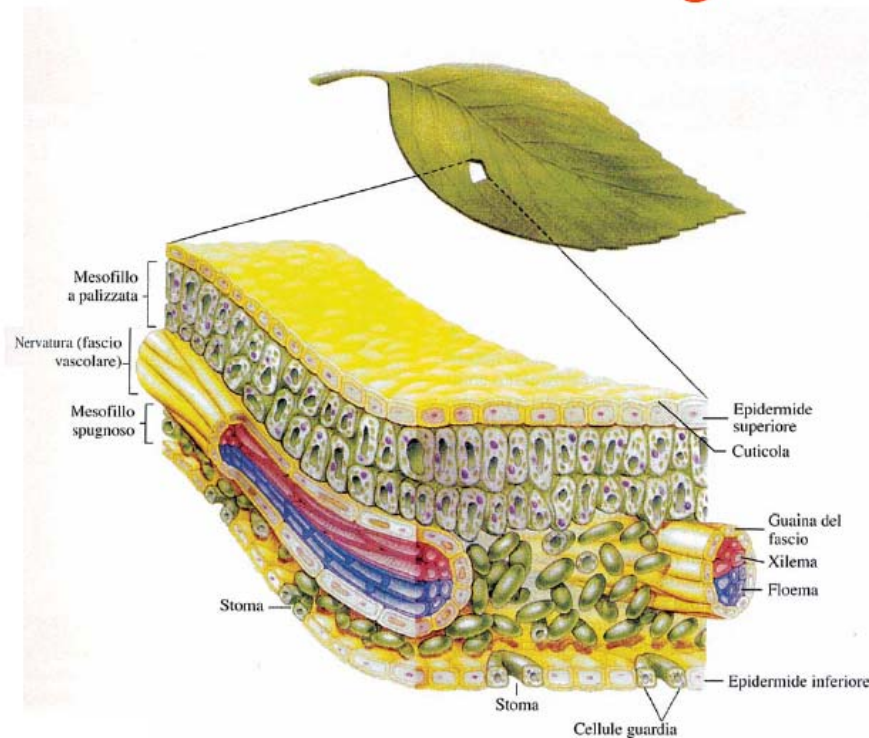
La traspirazione consiste:

- nell'evaporazione dell'acqua a livello delle superfici acqua-aria dei tessuti vegetali
- nel movimento delle molecole di vapore acqueo dagli spazi intercellulari all'esterno

Il 95% della traspirazione avviene a livello degli
STOMI

Solo il restante 5% attraverso la cuticola

Anatomia della Foglia



$$\text{VELOCITA' DI FLUSSO} = \frac{\text{FORZA MOTRICE}}{\text{RESISTENZA}}$$

Qual è la forza motrice
della traspirazione?

E' il gradiente di concentrazione del vapor d'acqua tra la foglia e l'aria

$$-[C_{wv(aria)} - C_{wv(foglia)}]$$

l'H₂O, evaporata dalla superficie delle cellule negli spazi aeriferi, esce dalla foglia per **diffusione**

$$t_{c=1/2} = \frac{d^2}{D_w} \longrightarrow \frac{(10^{-3} \text{ m})^2}{2.4 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}} = 0.042 \text{ s}$$

$$- [C_{wv(aria)} - C_{wv(foglia)}]$$

$C_{wv(foglia)}$ viene stimata assumendo che negli spazi aeriferi il potenziale idrico sia in equilibrio con quello delle superfici dalle quali l'acqua evapora

Potenziale idrico dell'aria

$$\psi = \frac{RT}{V_w} \ln(RH)$$

RH umidità relativa dell'aria

$$RH = \frac{C_{wv}}{C_{wv(sat.)}}$$

$$0 < RH < 1$$

TABLE 4.2

Representative values for relative humidity, absolute water vapor concentration, and water potential for four points in the pathway of water loss from a leaf

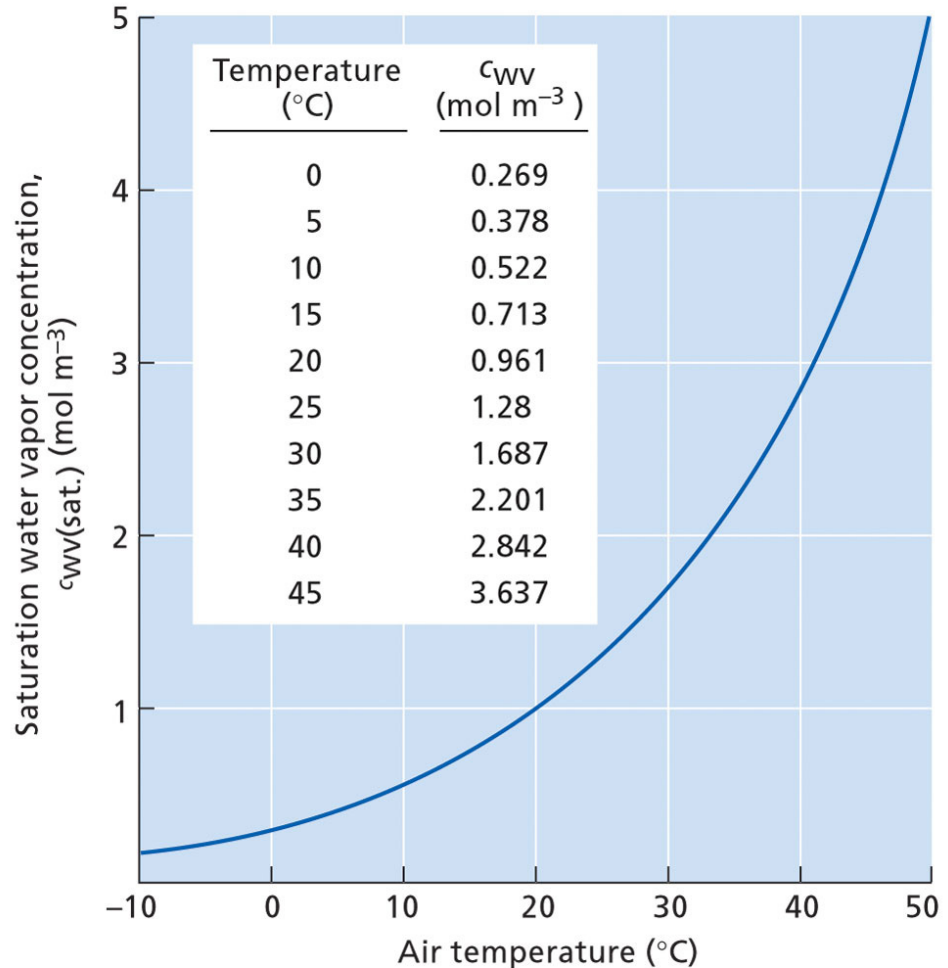
Location	Relative humidity	Water vapor	
		Concentration (mol m ⁻³)	Potential (MPa) ^a
Inner air spaces (25°C)	0.99	1.27	-1.38
Just inside stomatal pore (25°C)	0.95	1.21	-7.04
Just outside stomatal pore (25°C)	0.47	0.60	-103.7
Bulk air (20°C)	0.50	0.50	-93.6

$C_{wv(sat)}$ varia al variare della T

un aumento di T
determina la
diminuzione di RH



diminuisce Ψ e altra
acqua evaporerà dalla
superficie fogliare



$$\text{VELOCITA' DI FLUSSO} = \frac{\text{FORZA MOTRICE}}{\text{RESISTENZA}}$$

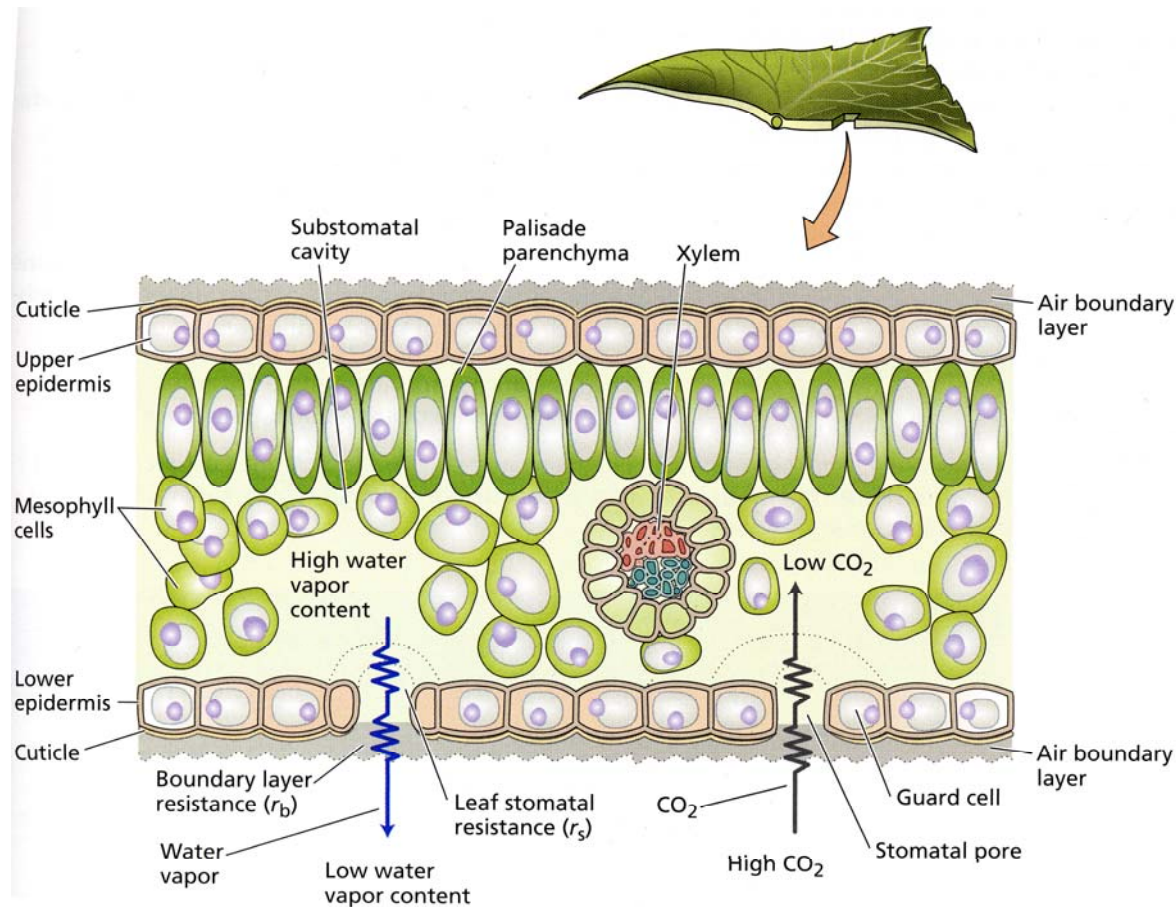
Resistenza alla diffusione del vapore d'acqua



Resistenza dello strato limite (r_b)



Resistenza stomatica (r_s)



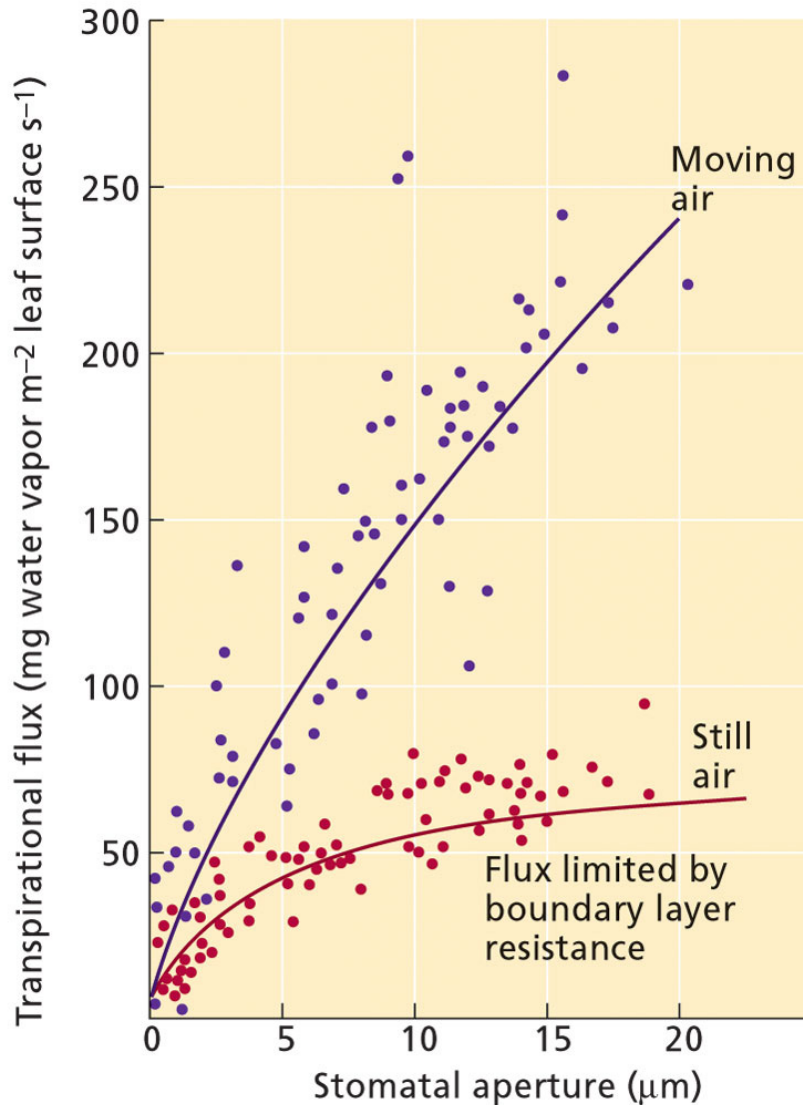
$$\text{VELOCITA' DI FLUSSO} = \frac{\text{FORZA MOTRICE}}{\text{RESISTENZA}}$$

$$E = \frac{C_{wv(\text{foglia})} - C_{wv(\text{aria})}}{r_s + r_b}$$

E [mol m⁻² s⁻¹]

r [m⁻¹ s]

C_w [mol m⁻³]



PLANT PHYSIOLOGY, Third Edition, Figure 4.12 © 2002 Sinauer Associates, Inc.

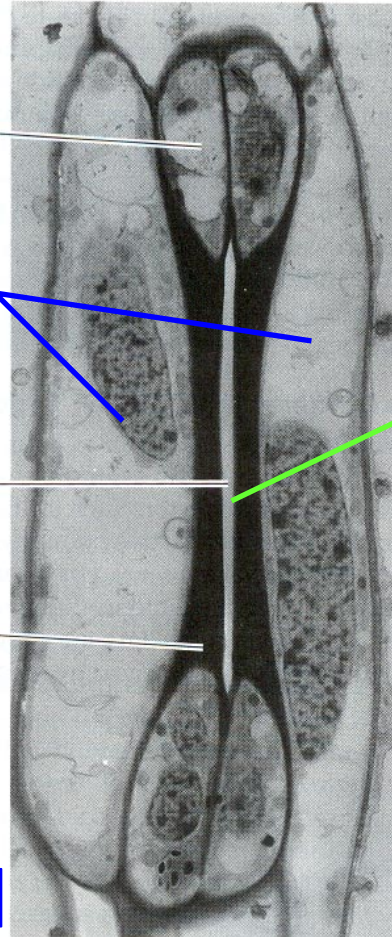
quando l'**aria è ferma**,
l'apertura degli stomi non
determina una grande
variazione del flusso di
traspirazione

quando l'**aria è in movimento**
(vento), l'apertura degli stomi
comporta un forte incremento
della traspirazione

cellule di guardia a manubrio

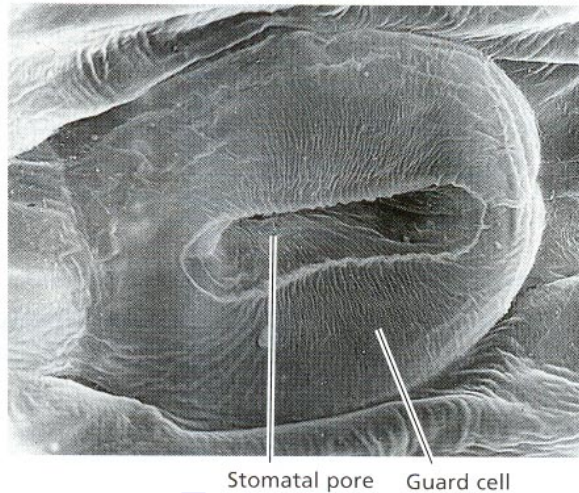
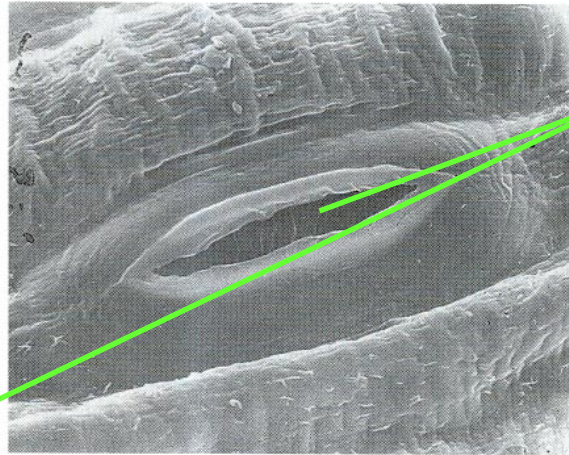
complesso dello stoma

**cellule
sussidiarie**



**presenti nelle graminacee e
in poche altre monocotiledoni**

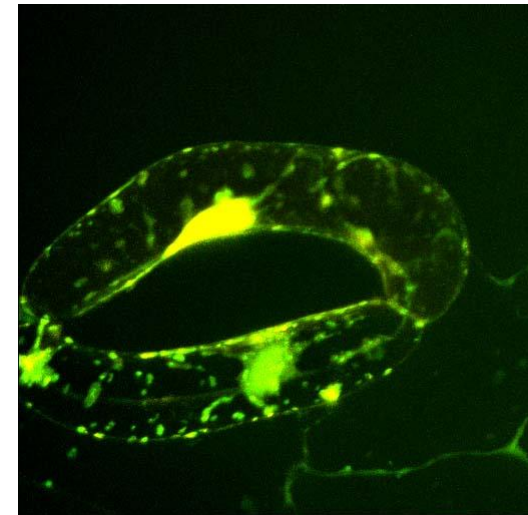
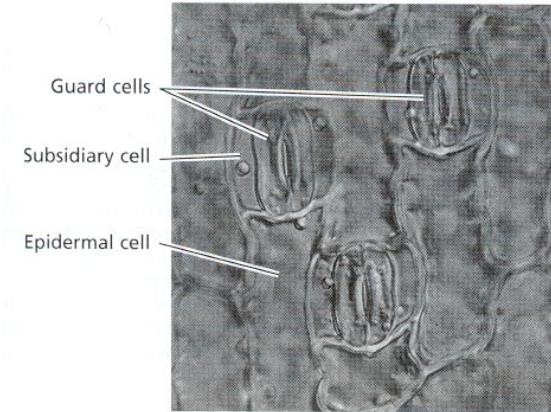
**cellule di guardia
reniformi**



**presenti nelle dicotiledoni e
nelle altre monocotiledoni**

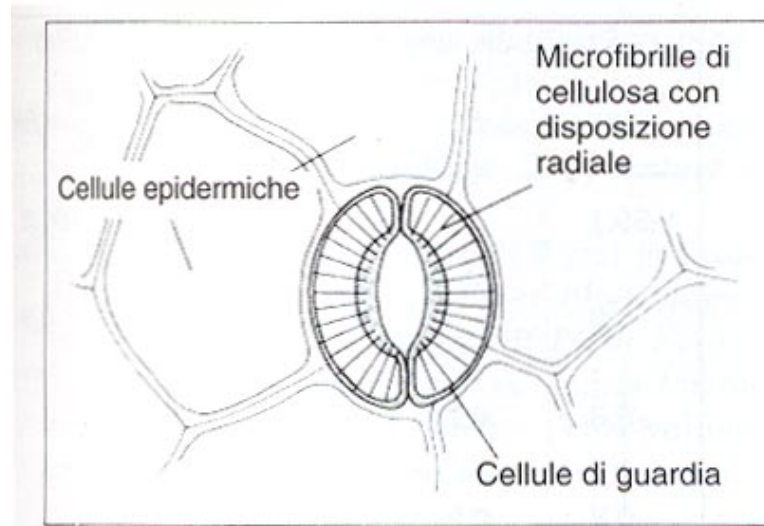
STOMI

rima stomatica

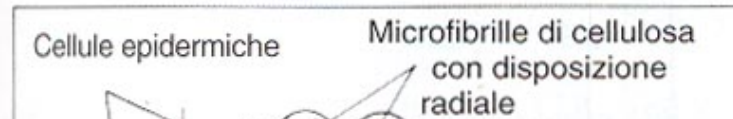


le pareti delle cellule di guardia sono ispessite ($\approx 5 \mu\text{m}$)
rispetto a quelle delle altre cellule epidermiche ($\approx 1-2 \mu\text{m}$)

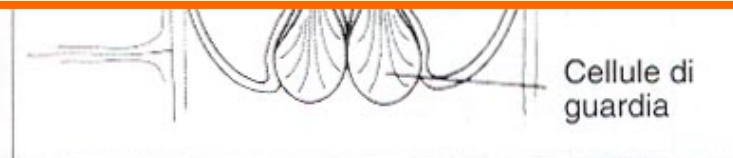
orientamento
delle microfibrille
di cellulosa
in cellule normali
sono orientate
trasversalmente
rispetto all'asse
principale della
cellula



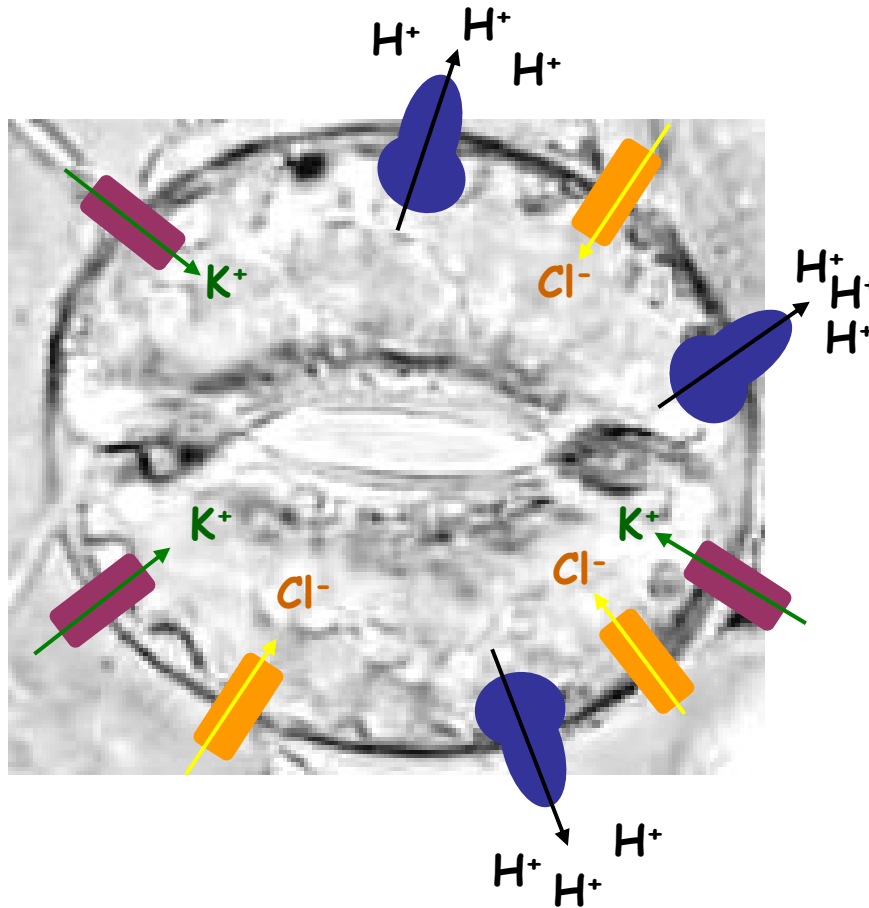
nelle cellule reniformi
le microfibrille si
aprono a ventaglio
l'ingrandimento cellulare
è rinforzato e le cellule
si curvano verso
l'esterno



L'apertura degli stomi è causata da un aumento di turgore delle cellule di guardia



luce blu



Iperpolarizzazione della
membrana



apertura canali del K^+



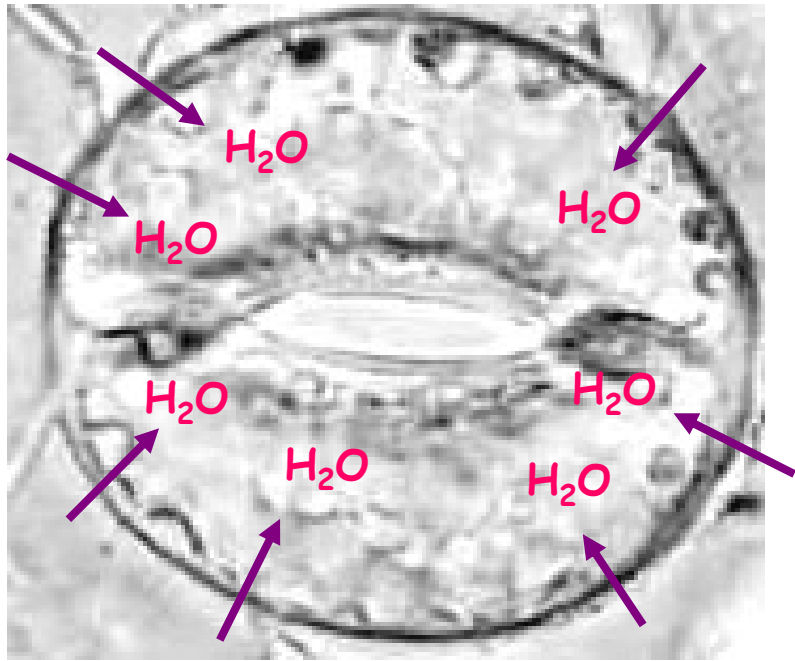
ingresso del Cl^-



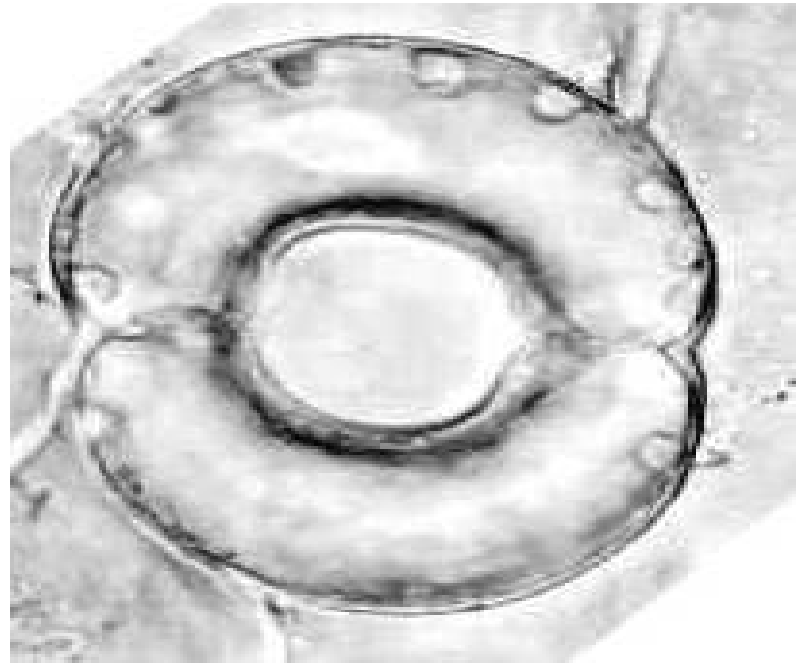
aumento della π



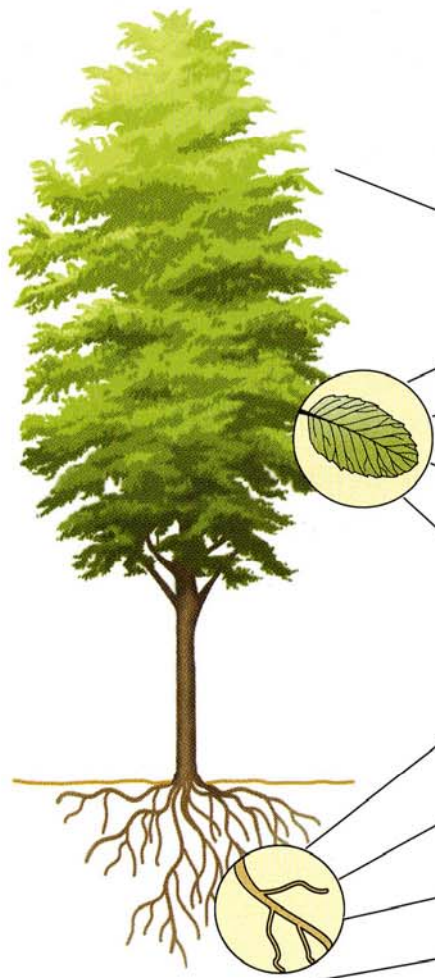
diminuzione di Ψ



**AUMENTO DELLA
PRESSIONE DI TURGORE**



20 m



Location	Water potential and its components (in MPa)				
	Water potential (Ψ_w)	Pressure (Ψ_p)	Osmotic potential (Ψ_s)	Gravity (Ψ_g)	Water potential in gas phase ($\frac{RT}{V_w} \ln [RH]$)
Outside air (relative humidity = 50%)	-95.2				-95.2
Leaf internal air space	-0.8				-0.8
Cell wall of mesophyll (at 10 m)	-0.8	-0.7	-0.2	0.1	
Vacuole of mesophyll (at 10 m)	-0.8	0.2	-1.1	0.1	
Leaf xylem (at 10 m)	-0.8	-0.8	-0.1	0.1	
Root xylem (near surface)	-0.6	-0.5	-0.1	0.0	
Root cell vacuole (near surface)	-0.6	0.5	-1.1	0.0	
Soil adjacent to root	-0.5	-0.4	-0.1	0.0	
Soil 10 mm from root	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	

Come si misura il potenziale idrico?

PSICROMETRO

