

TRASPORTO DELL'ACQUA NELLA PIANTA

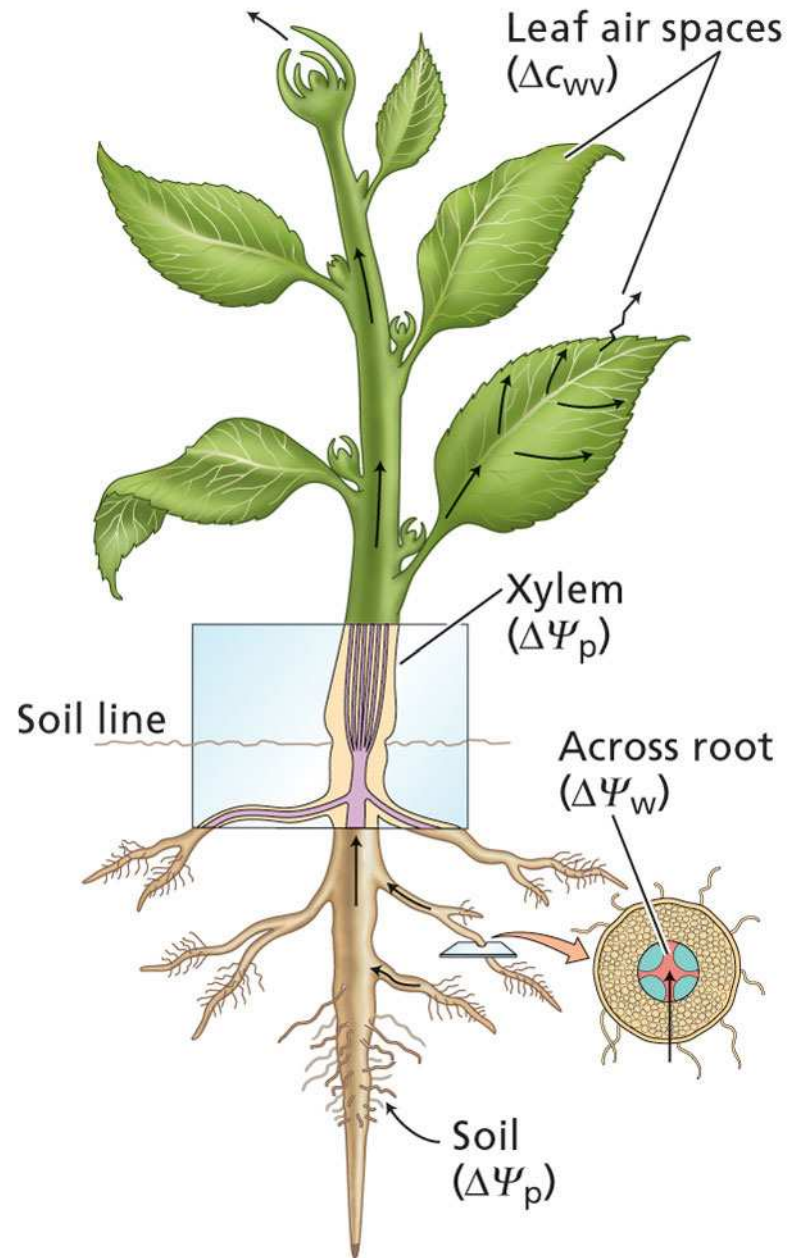
meccanismi e forze motrici per il trasporto dell'acqua

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

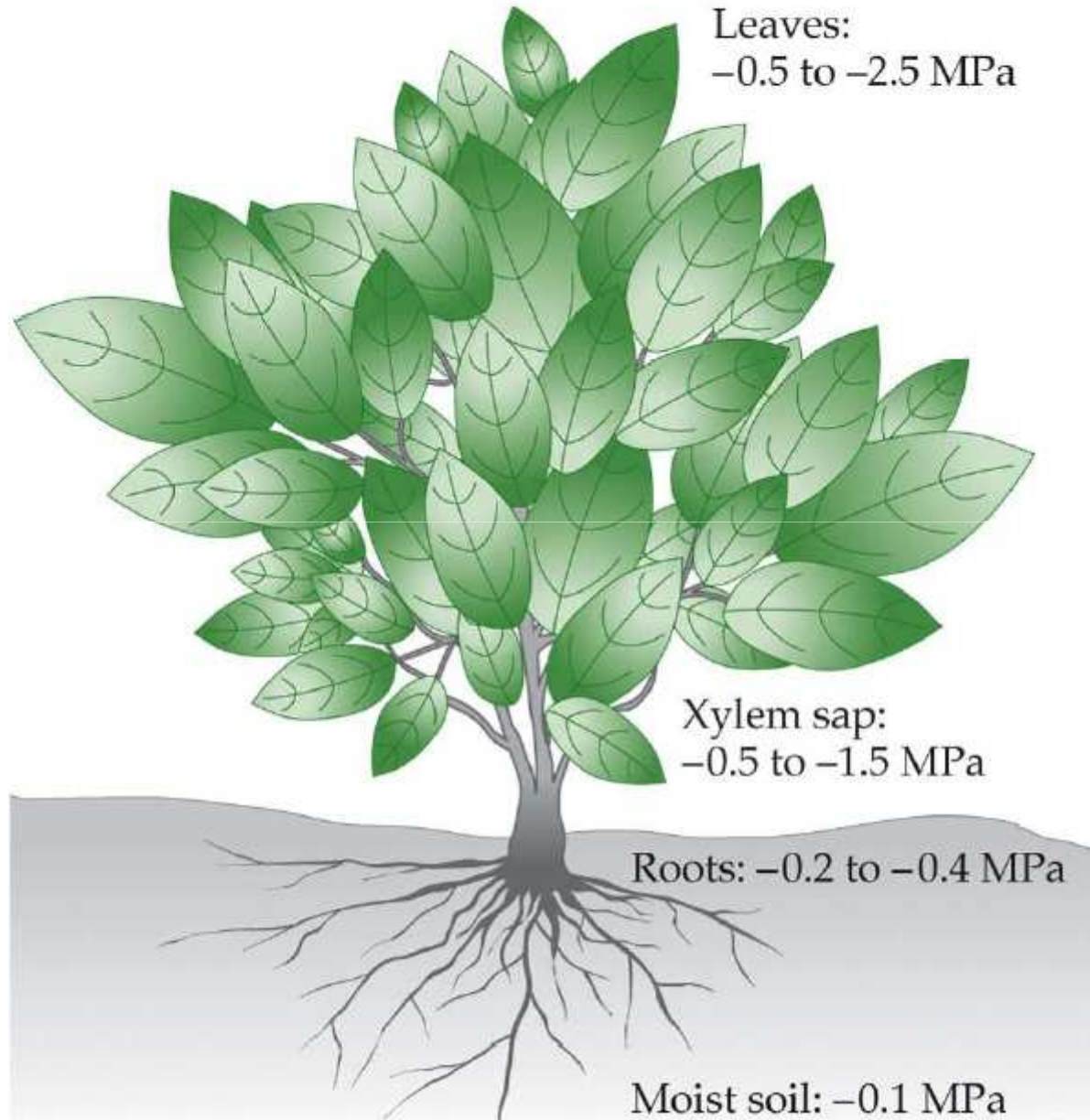
gradiente di pressione nel suolo



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

Air (50% relative humidity): -68.5 MPa

Leaves:
 -0.5 to -2.5 MPa

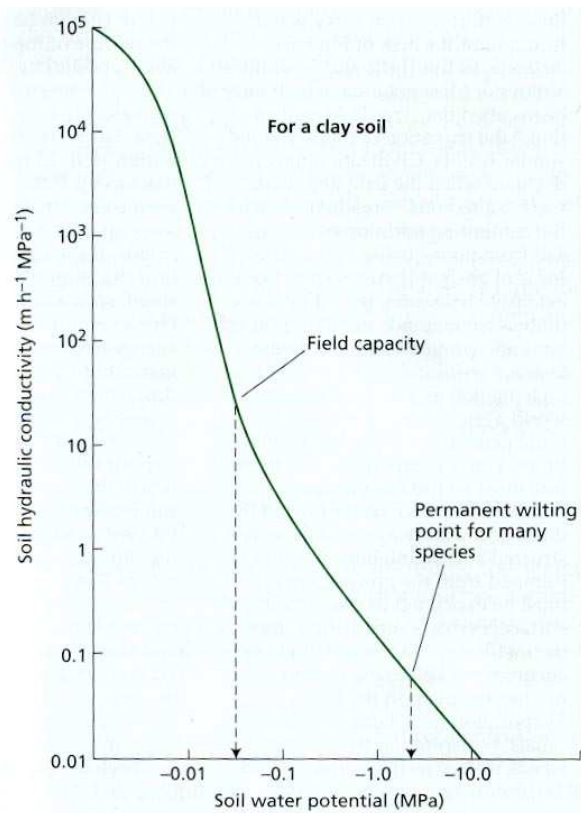


SUOLO

la capacità di trattenere e cedere acqua dipende dal tipo di suolo

sabbia: grandi particelle, piccola area di superficie, grandi canali tra le particelle → elevata CONDUTTIVITA' IDRAULICA

argilla: piccole particelle, grande area di superficie, piccoli canali tra le particelle → bassa CONDUTTIVITA' IDRAULICA



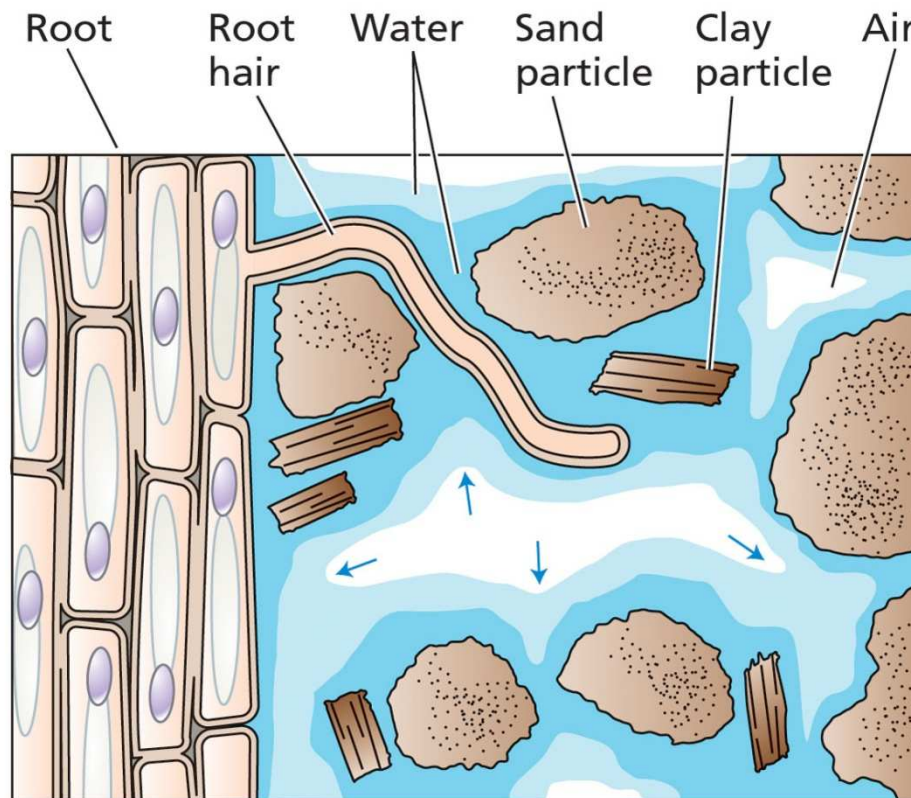
il potenziale idrico del suolo è negativo

capacità di campo: quantità di acqua che un suolo può trattenere

punto permanente di appassimento: valore del Ψ del suolo al quale le piante non possono recuperare la P di turgore anche in assenza di traspirazione

Potenziale idrico del suolo

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

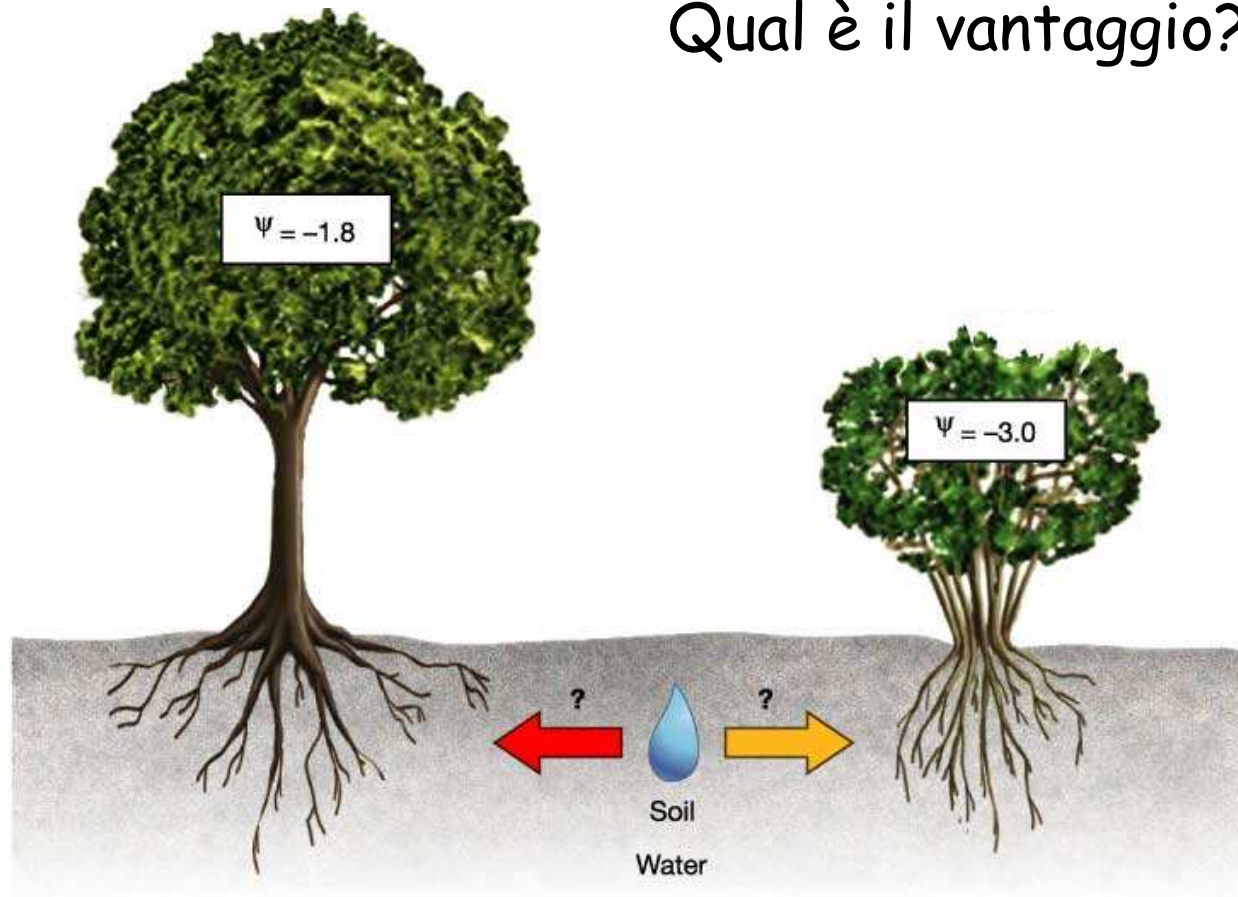


$$P = \frac{-2\tau}{r}$$

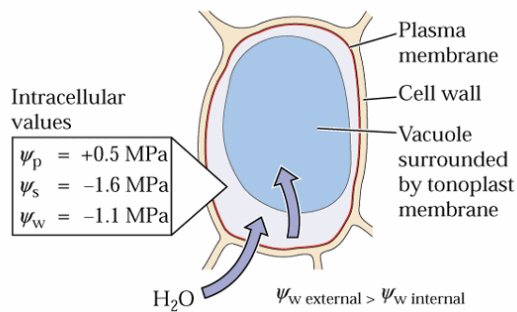
τ tensione superficiale
(7.28×10^{-8} MPa m)

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

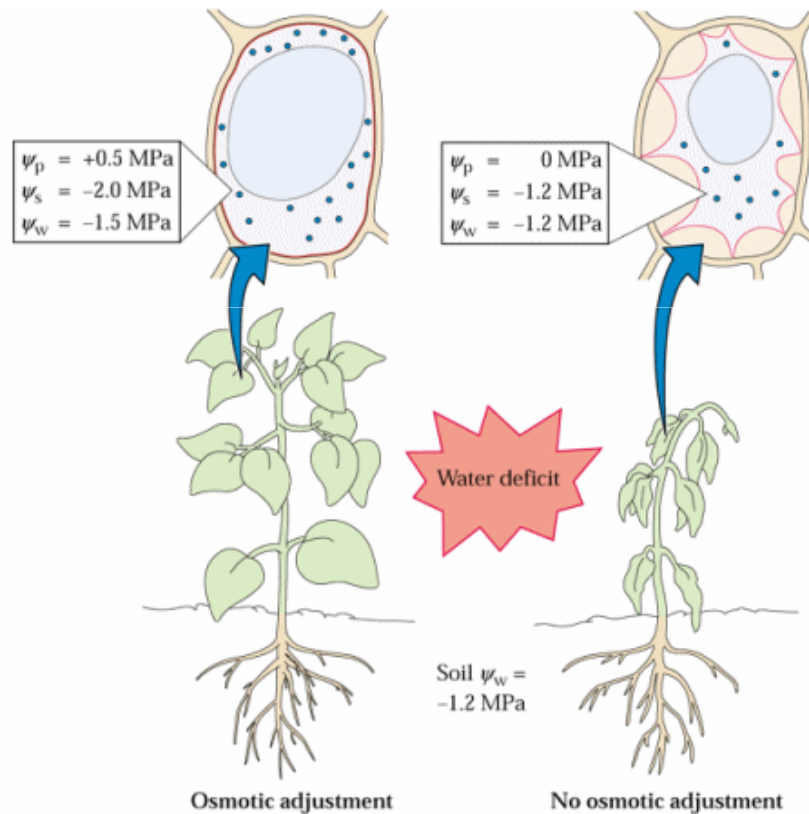
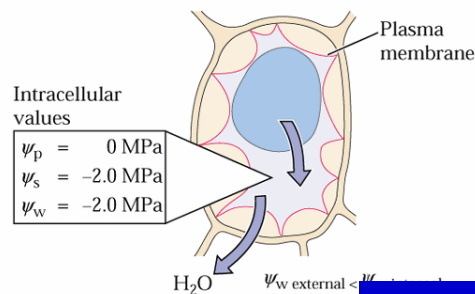
Qual è il vantaggio?



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



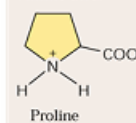
Plasmolyzed cell: $\psi_w \text{ external} = -2.5 \text{ MPa}$



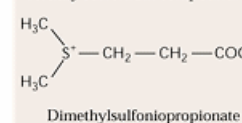
Aggiustamento osmotico
la pianta riesce ad abbassare il proprio potenziale idrico aumentando la concentrazione dei soluti ($\uparrow \pi$ $\downarrow \Psi_s$)

Compatible osmolytes

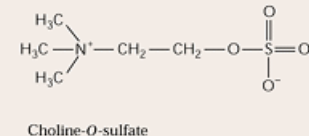
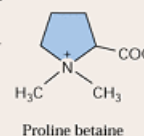
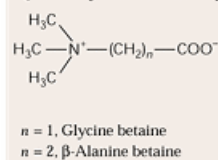
Amino acid:



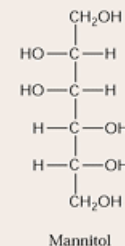
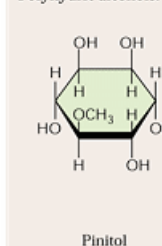
Tertiary sulfonium compound:



Quaternary ammonium compounds:



Polyhydric alcohols:

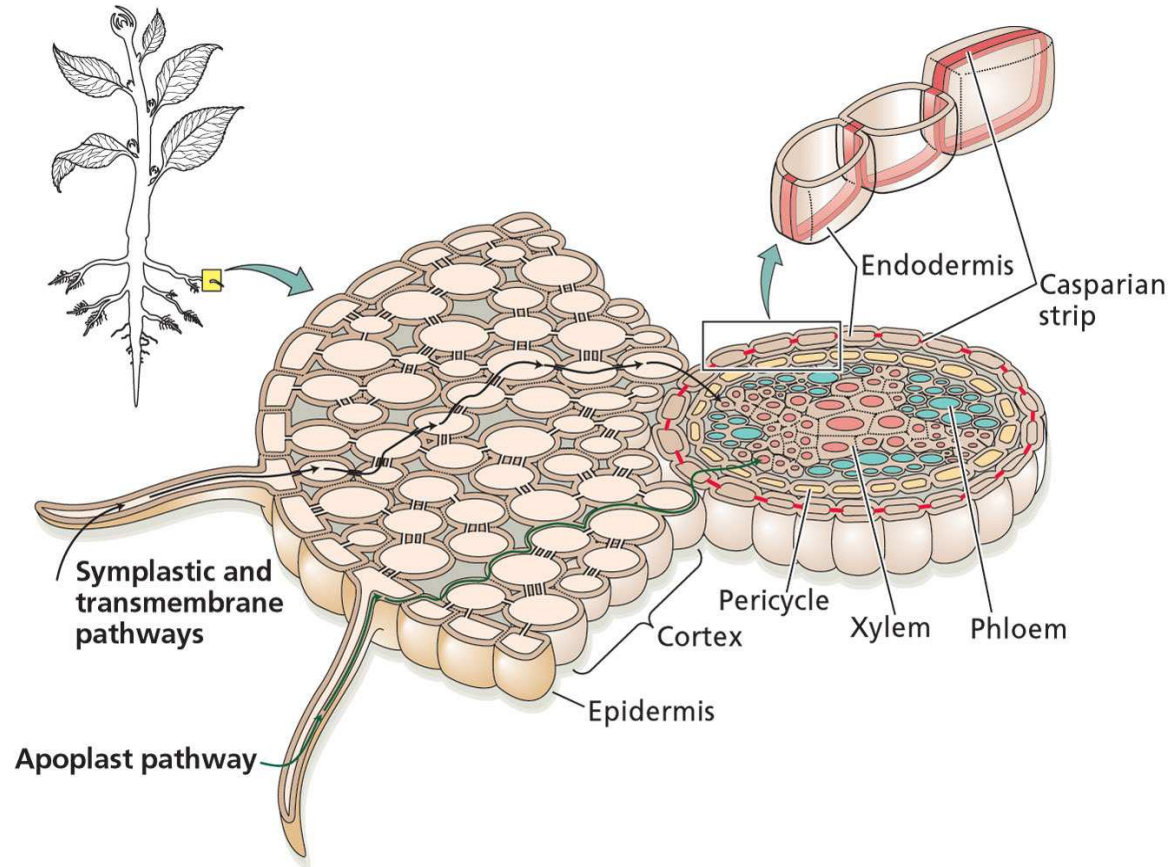


sintesi di osmoliti compatibili

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 del 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

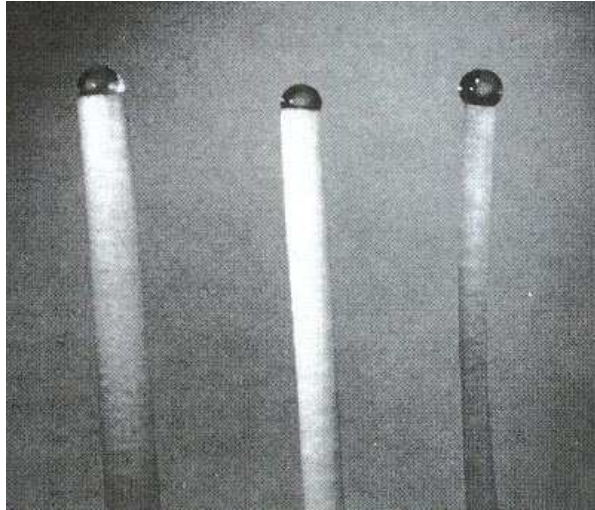
Ruolo delle acquaporine

La riduzione della loro espressione genica determina una riduzione della conduttività idraulica della radice

Condizioni anaerobiche e basse temperature riducono l'assorbimento di acqua dalle radici

Effetto dell'allagamento

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



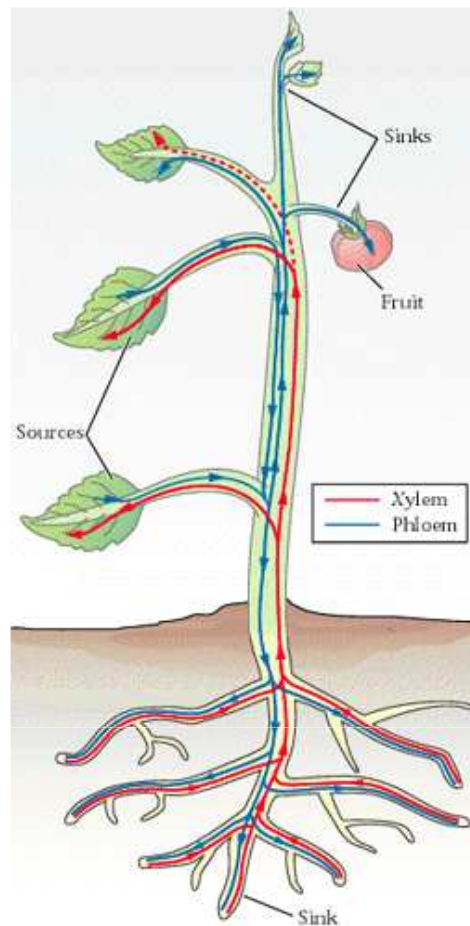
assorbimento di H_2O



aumento di P nello xilema



si osserva guttazione dalle foglie



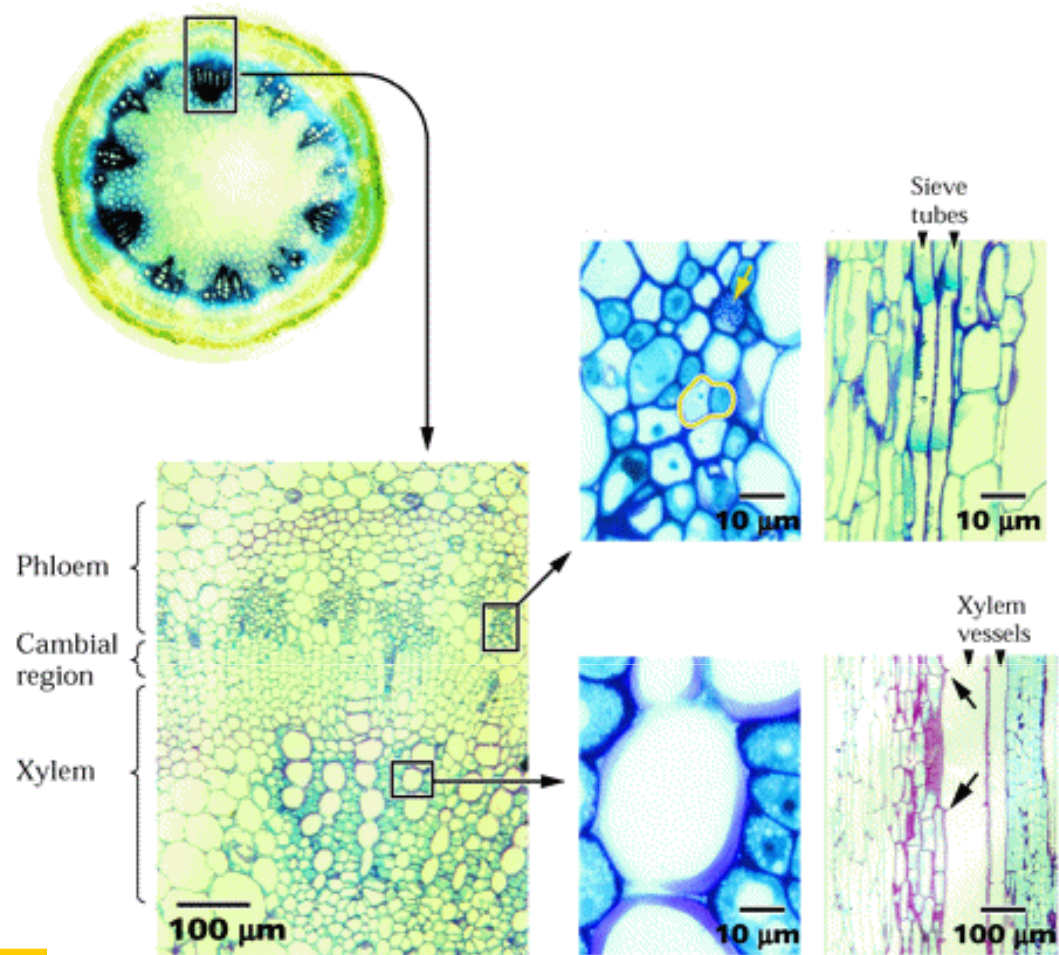
↪ tessuto vascolare ↪

xilema

responsabile
del trasporto
di H_2O e
nutrienti dalle
radici alle
foglie

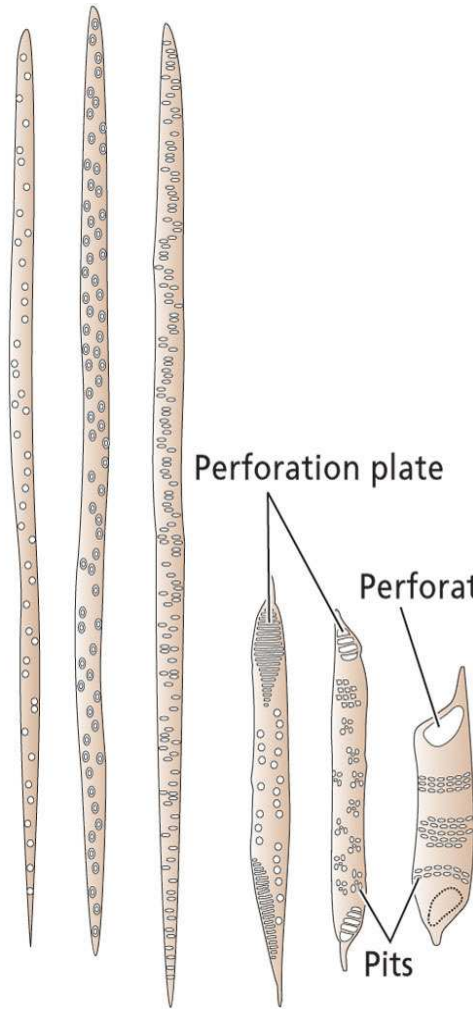
floema

responsabile
del trasporto
di H_2O e di
vari composti
nella pianta



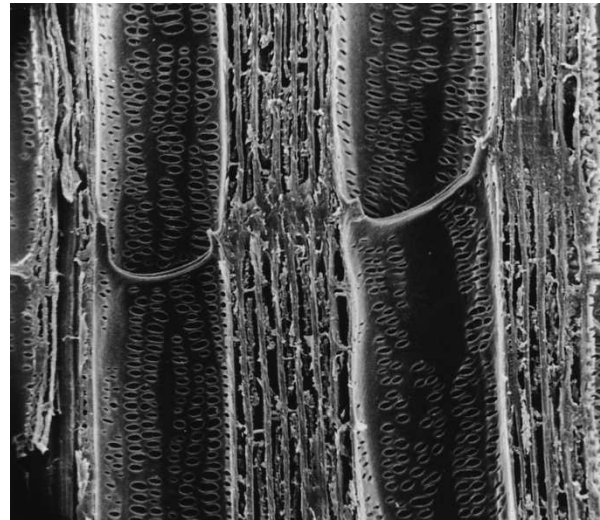
XILEMA struttura specializzata per il trasporto dell'H₂O con la massima efficienza

(A)



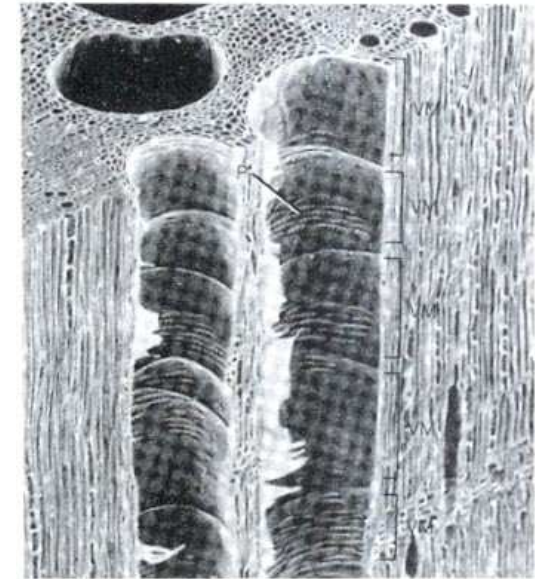
tracheidi

elementi vasali



(C)

a differenza delle tracheidi sono impaccati uno su l'altro

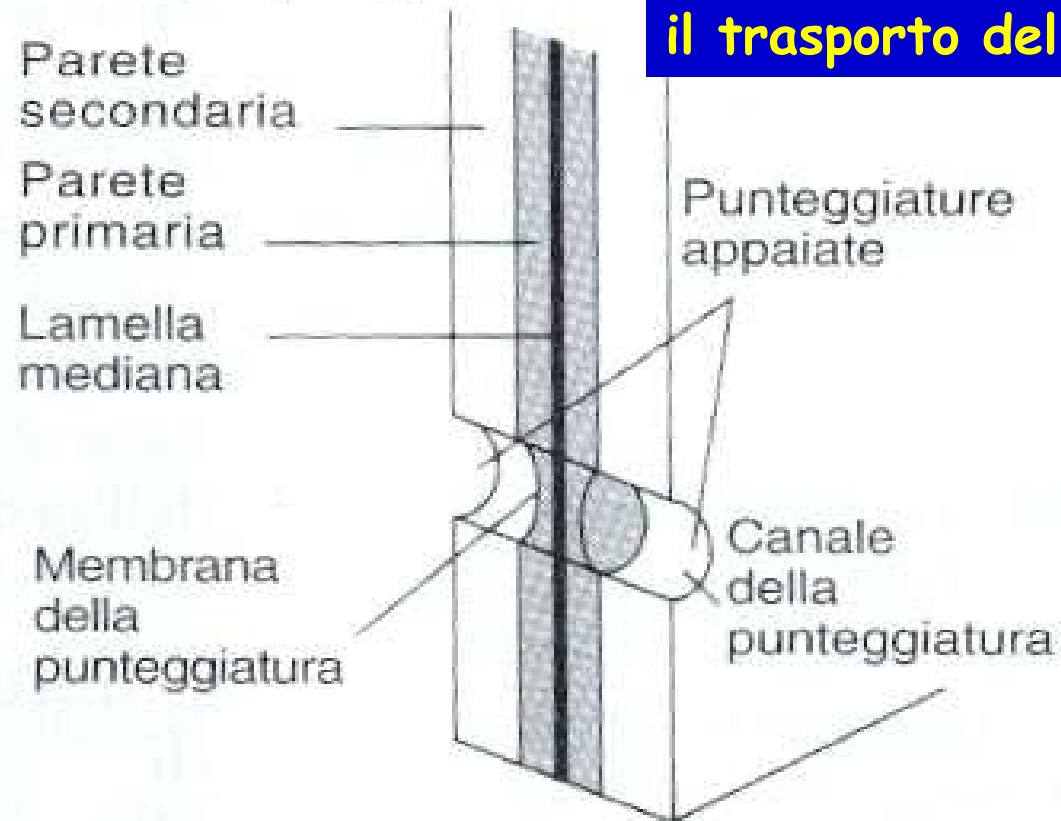


sovrapposizione di elementi vasali a formare un **vaso**

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

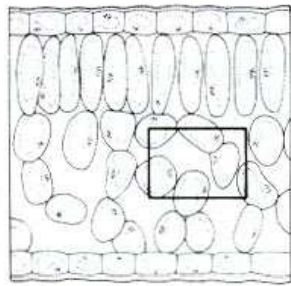
Pressione radicale?

non è sufficiente

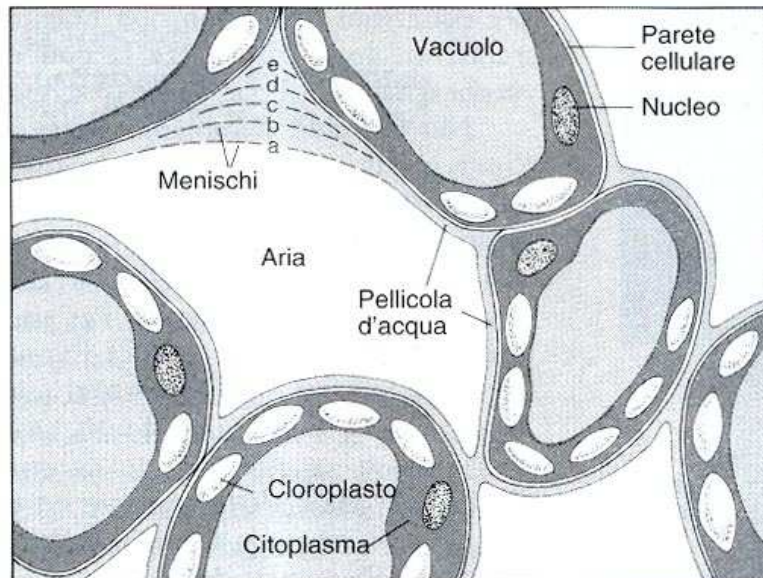
(0.1 MPa e si annulla se la traspirazione è elevata)

TEORIA DELLA COESIONE-TENSIONE

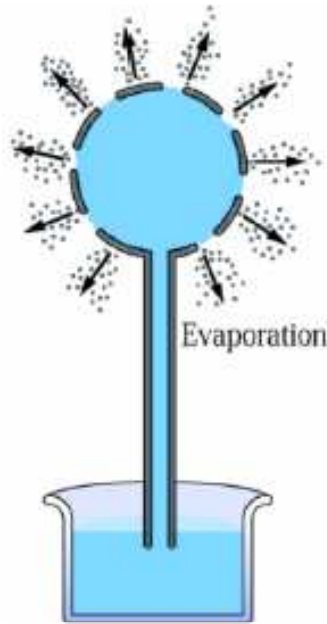
In seguito all'evaporazione dell'H₂O, si sviluppa sulla superficie delle pareti cellulari una **pressione negativa (tensione)** che permette al succo xilematico di raggiungere la foglia



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



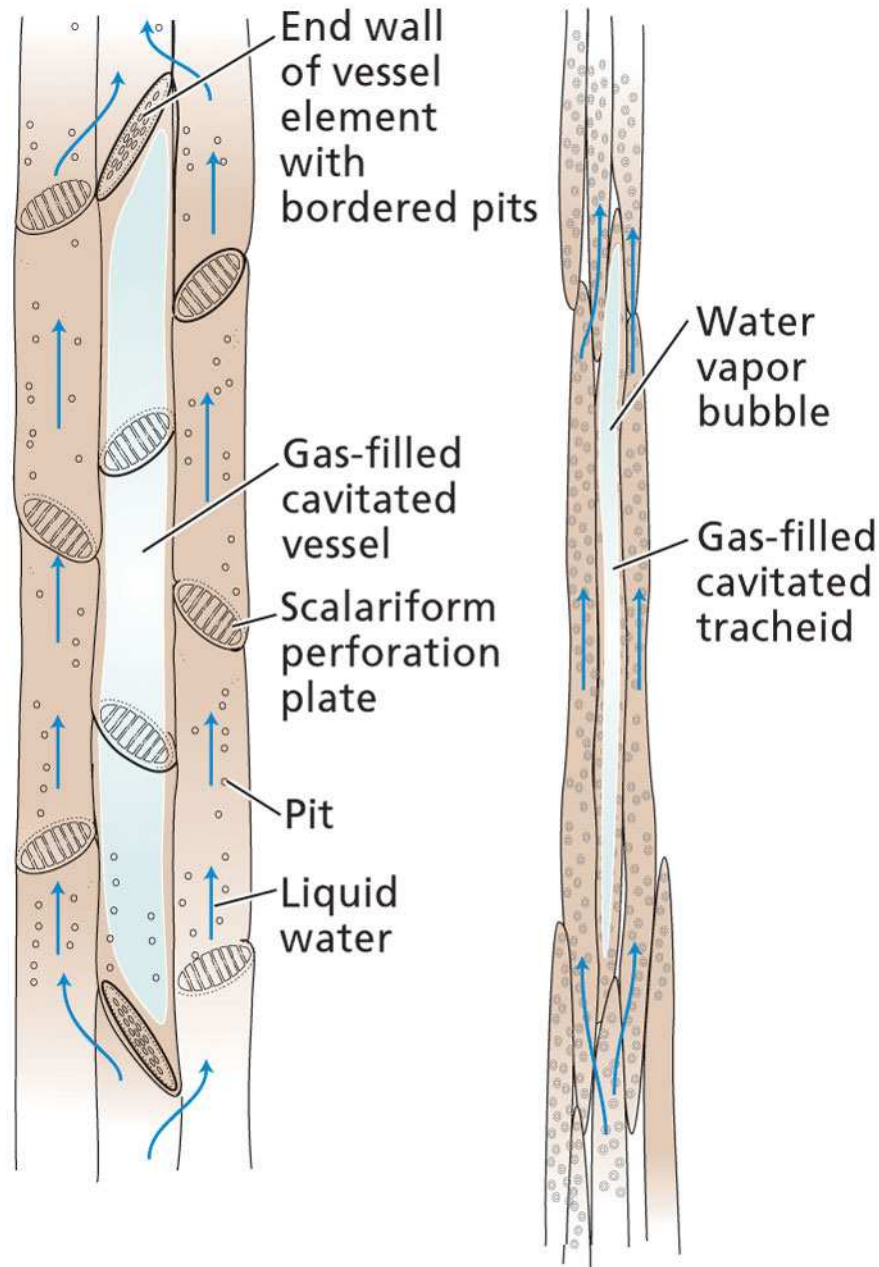
$$p = - \frac{2 \tau}{r}$$



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



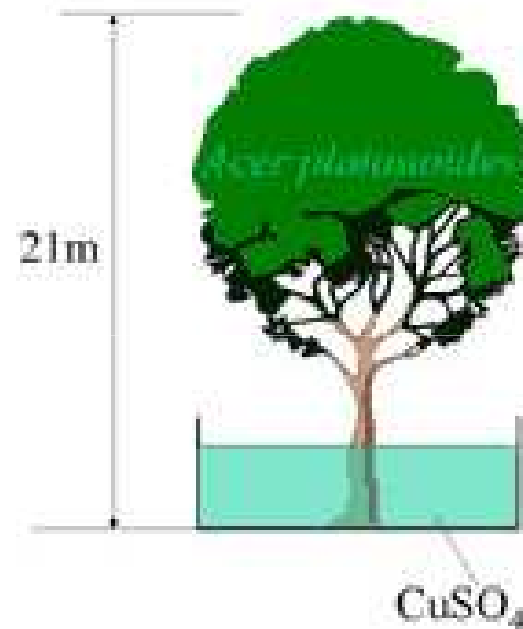
PLANT PHYSIOLOGY, Third Edition, Figure 4.7 © 2002 Sinauer Associates, Inc.

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.

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 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

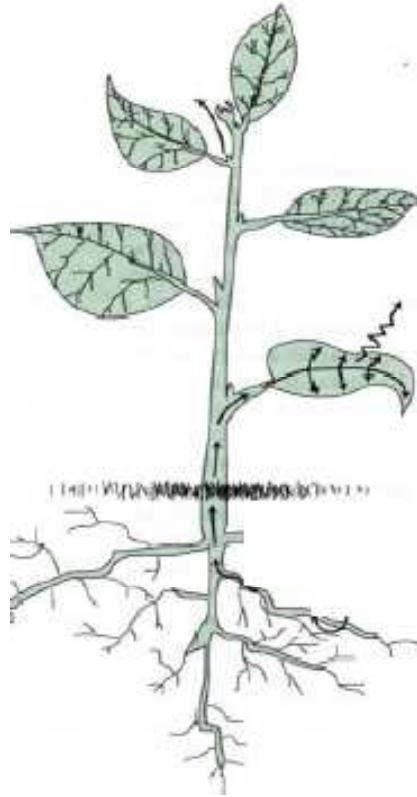
atmosfera



pianta



suolo



H_2O_{vapore}



H_2O

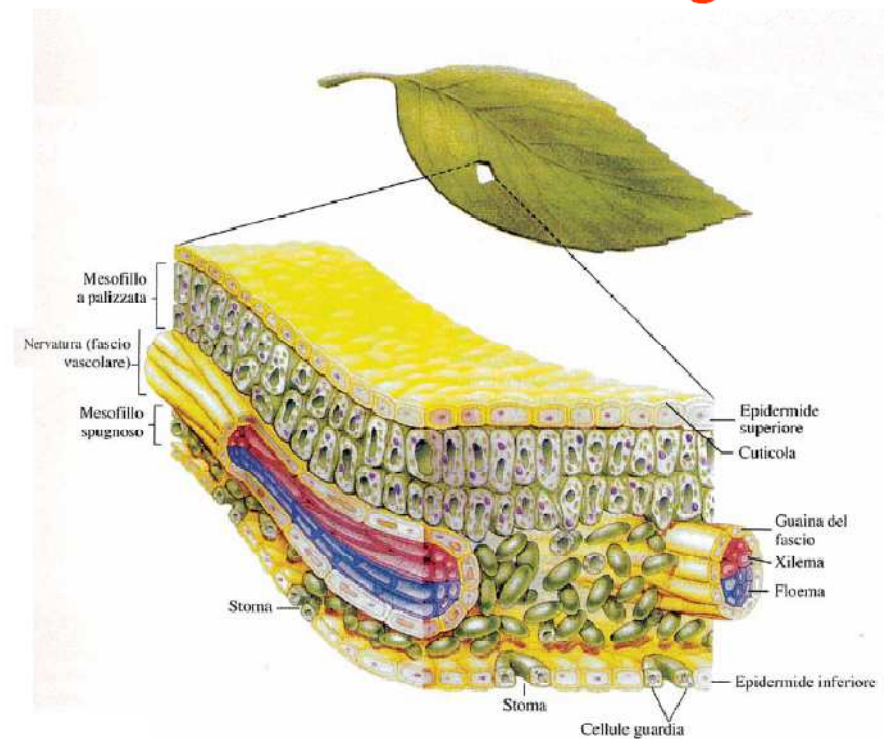
La traspirazione consiste:

- 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**

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

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

$C_{wv(foglia)}$ 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

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

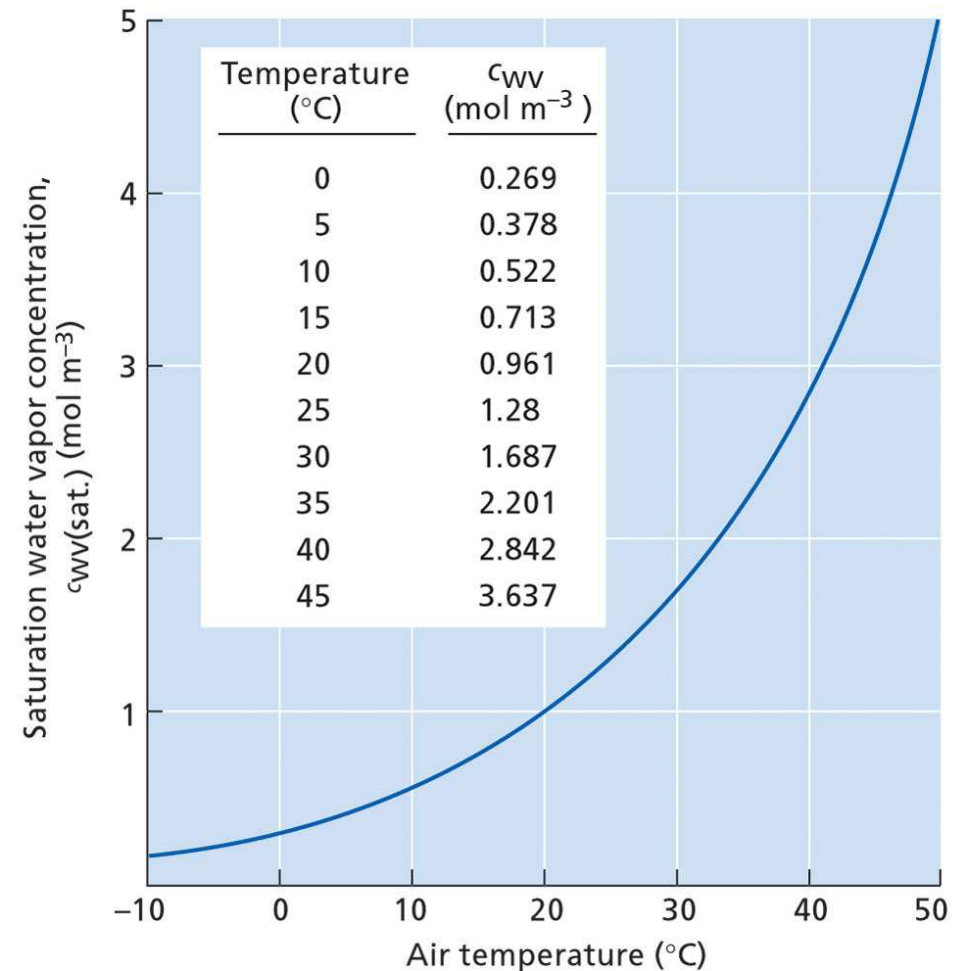
$$RH = \frac{C_{wv}}{C_{wv(sat.)}}$$

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

un aumento di T
determina la
diminuzione di RH



diminuisce ψ e altra
acqua evaporerà dalla
superficie fogliare



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

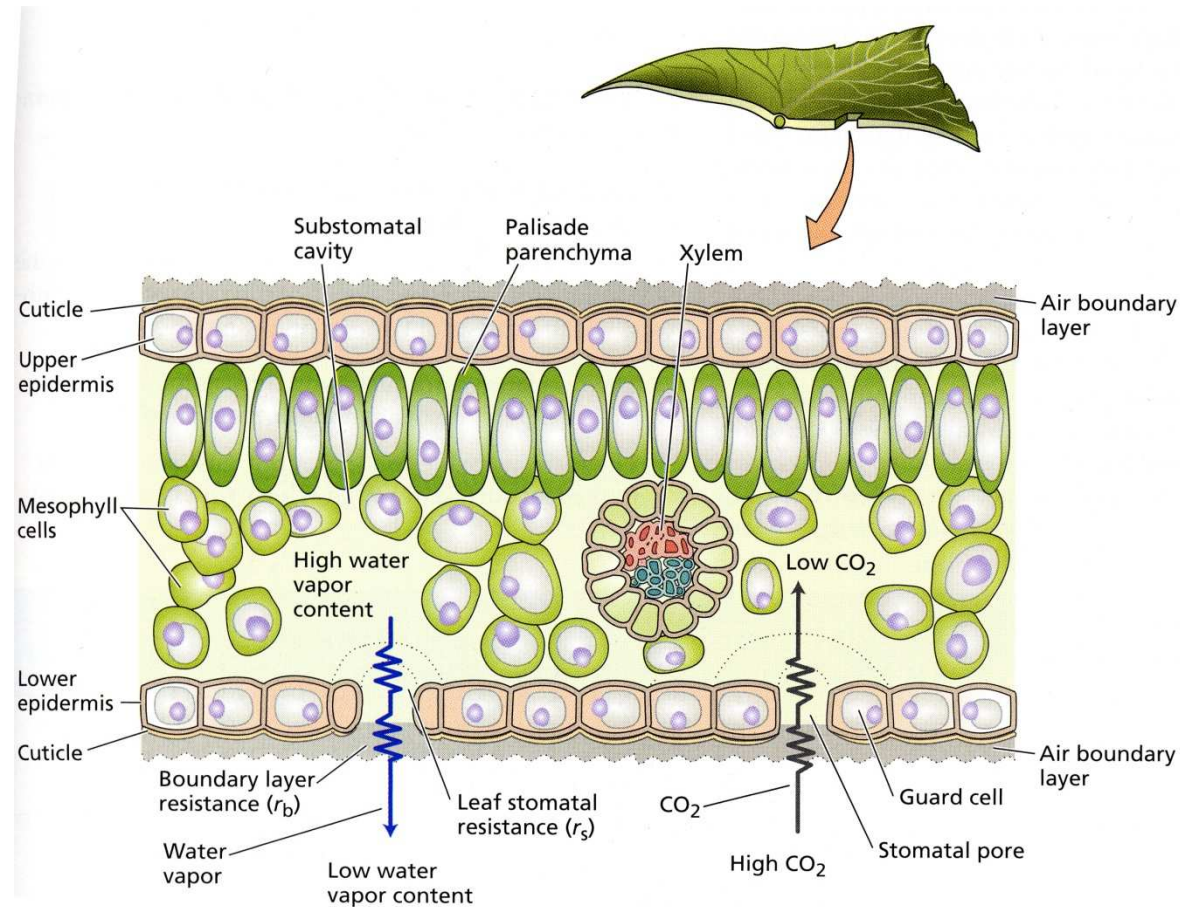
Resistenza alla diffusione del vapore d'acqua



Resistenza dello strato limite (r_b)



Resistenza stomatica (r_s)



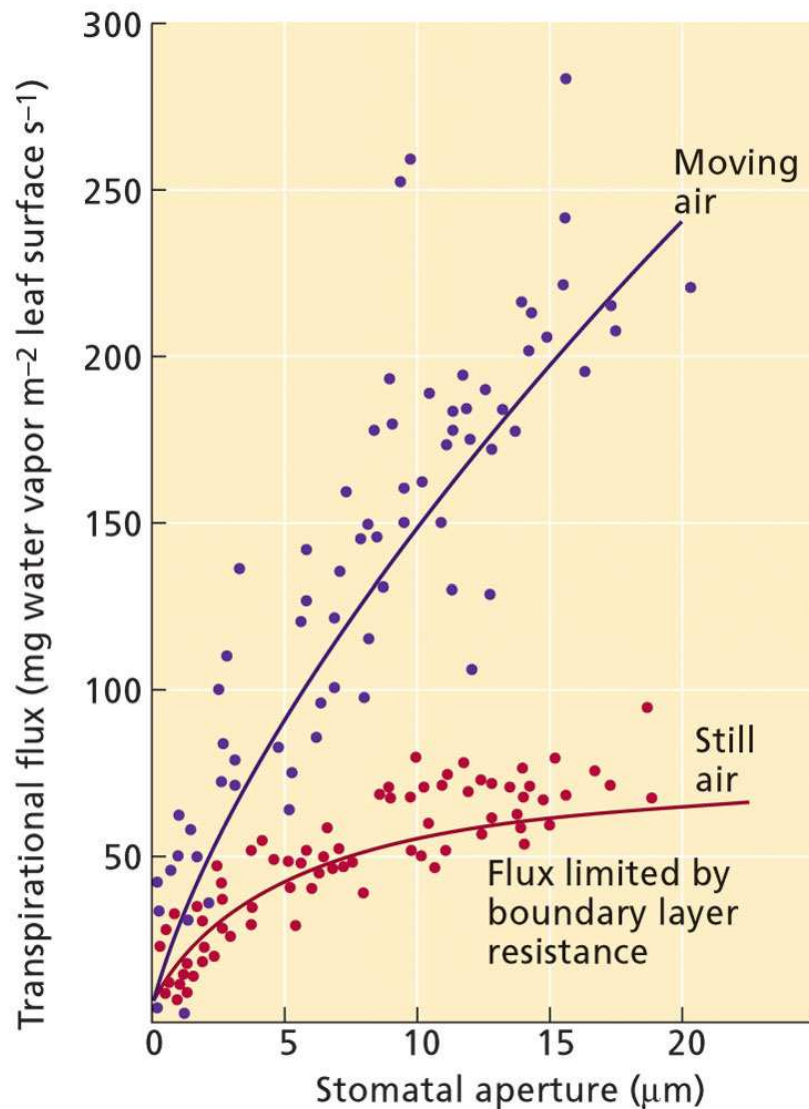
$$\text{VELOCITA' DI FLUSSO} = \frac{\text{FORZA MOTRICE}}{\text{RESISTENZA}}$$

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

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

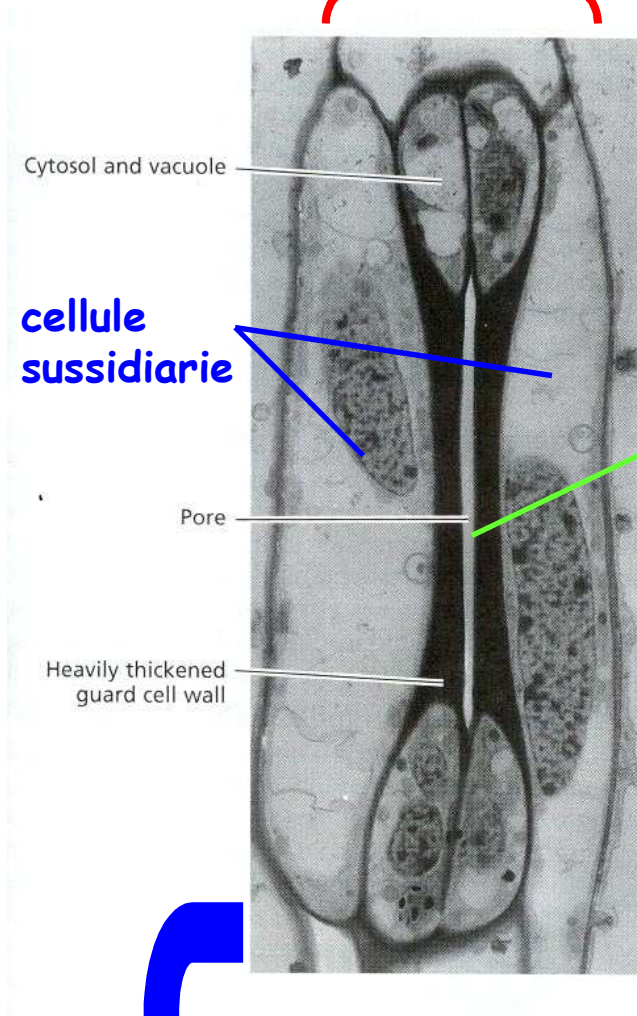
quando l'**aria è in movimento**
(vento), l'apertura degli stomi
comporta un forte incremento
della traspirazione

cellule di guardia a manubrio

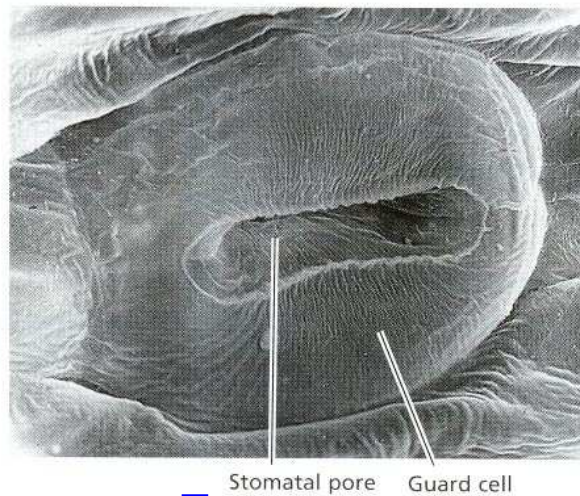
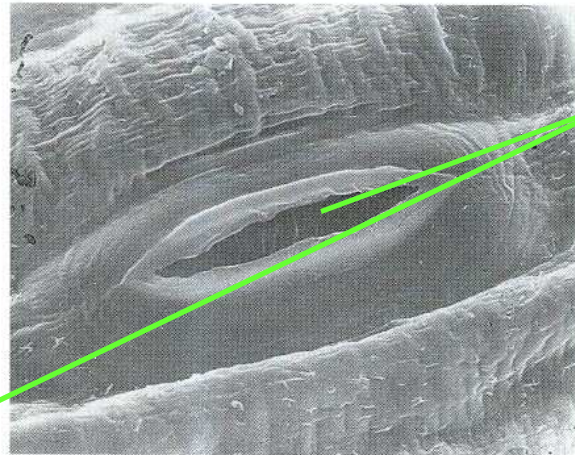
complesso dello stoma

cellule di guardia reniformi

STOMI

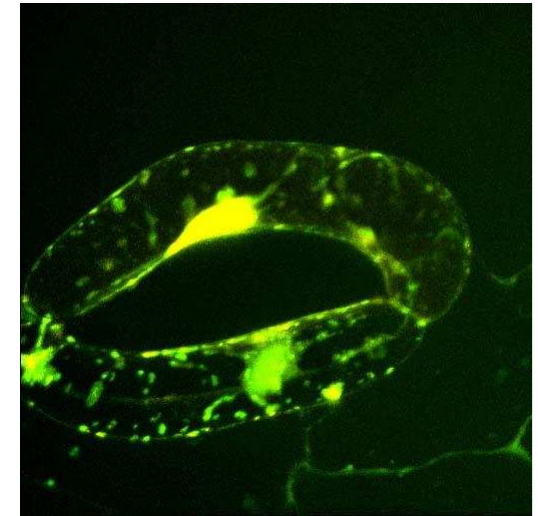
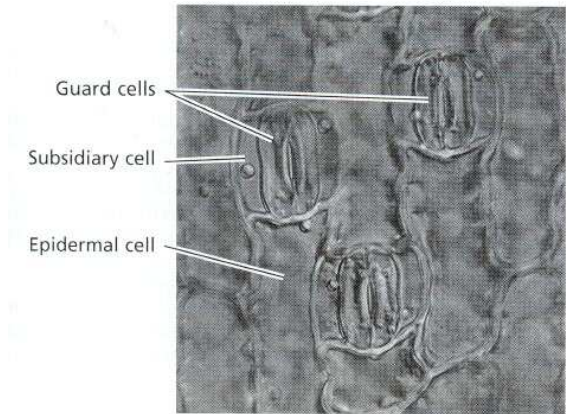


presenti nelle graminacee e in poche altre monocotiledoni



presenti nelle dicotiledoni e nelle altre monocotiledoni

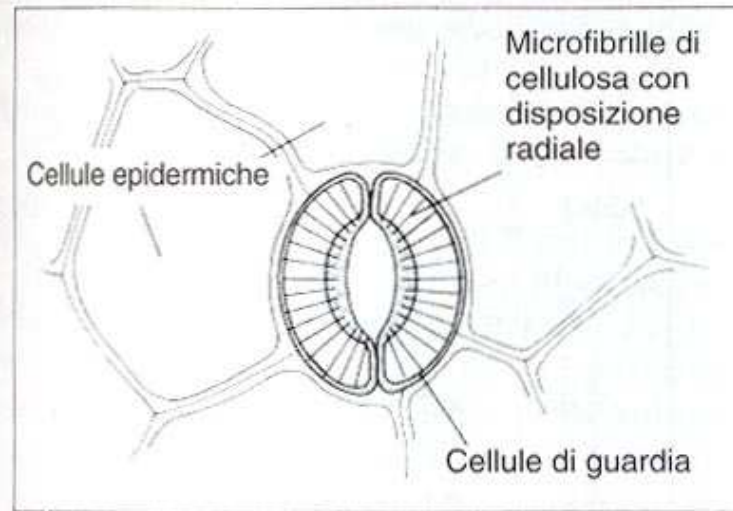
rima stomatica



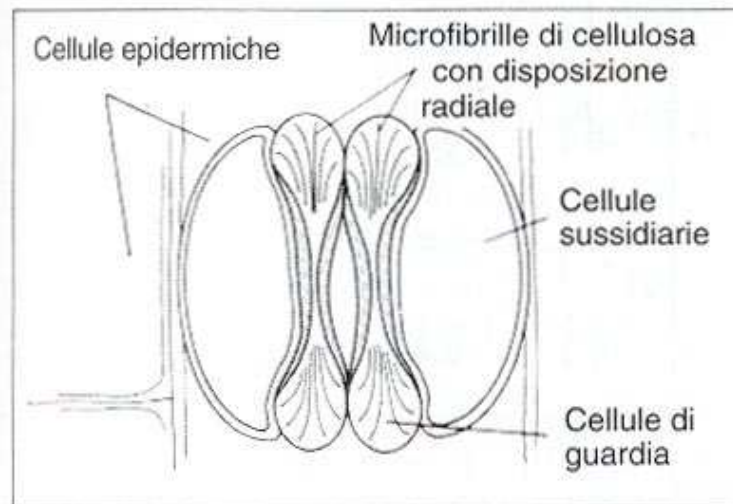
le pareti delle cellule di guardia sono ispessite ($\approx 5 \mu\text{m}$)
rispetto a quelle delle altre cellule epidermiche ($\approx 1-2 \mu\text{m}$)

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



COME SI APRONO GLI STOMI?

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

Aumenta la
concentrazione di
soluti



aumento della π



diminuzione di Ψ



Entra l'acqua

AUMENTO DELLA
PRESSIONE DI TURGORE

