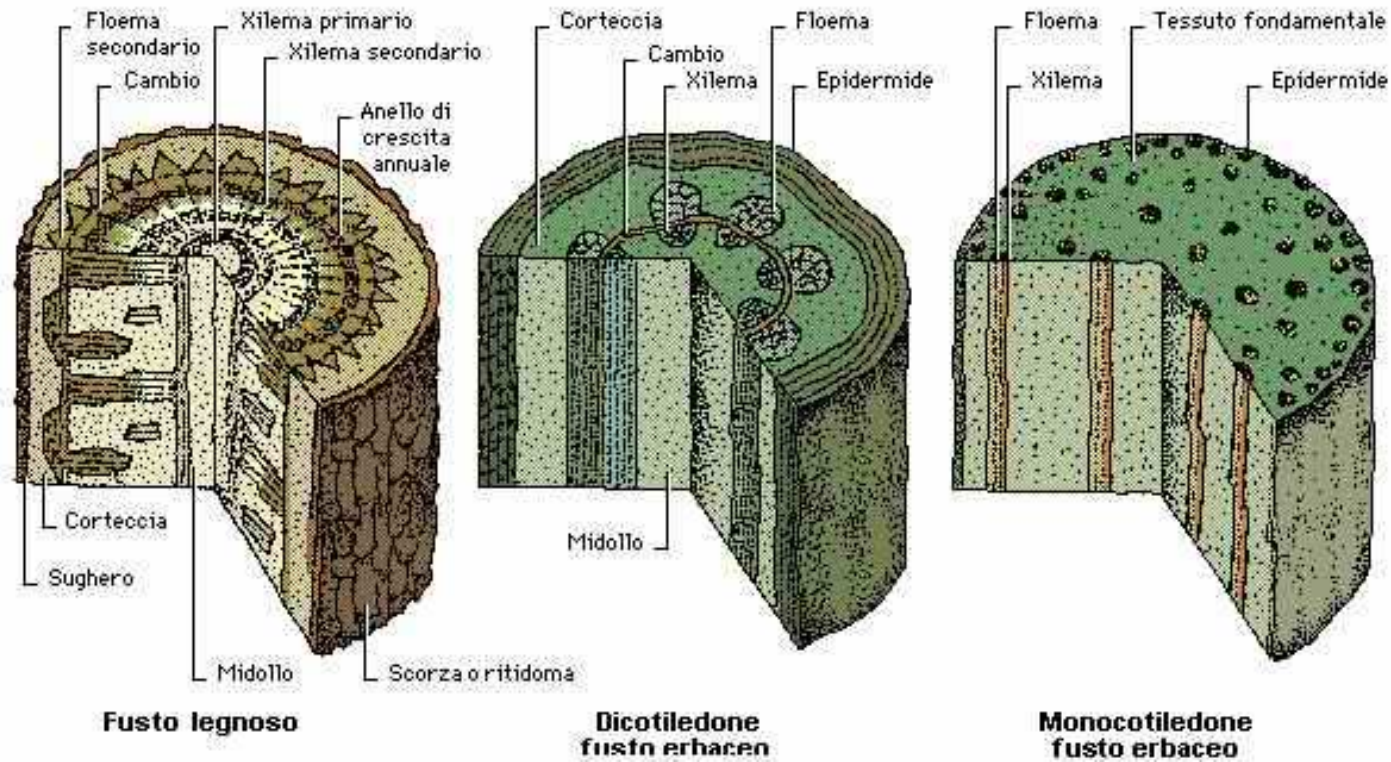


IL TRASPORTO DELL'ACQUA NELLA PIANTA



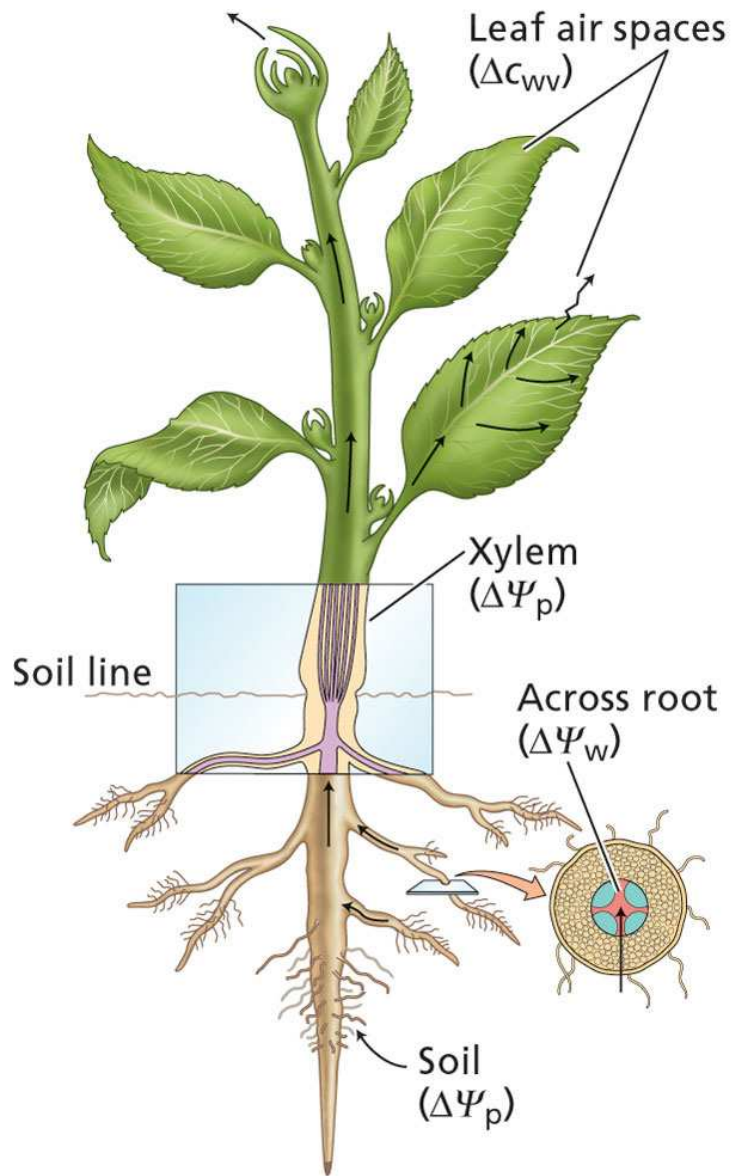
Dal suolo, nella pianta fino all'atmosfera, l'acqua fluisce attraverso mezzi diversi e spinta da forze motrici diverse

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

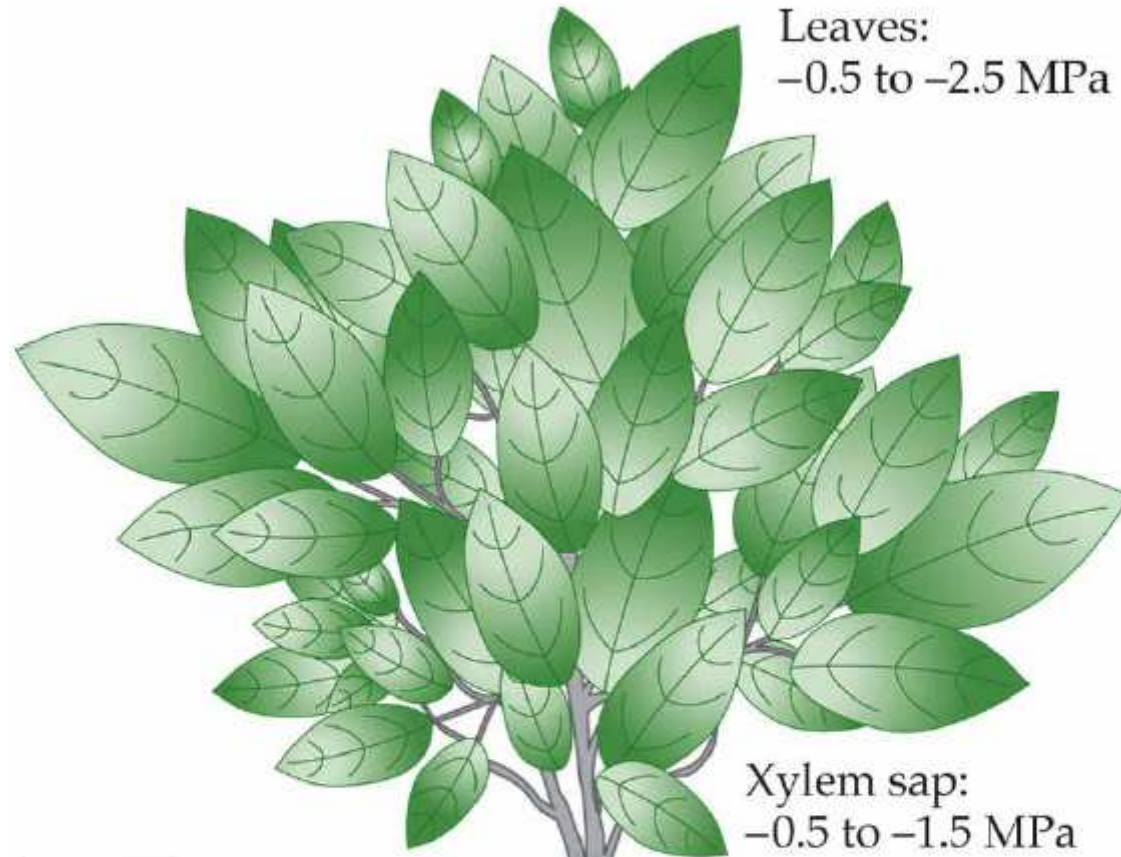
gradiente di pressione nel suolo



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

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

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

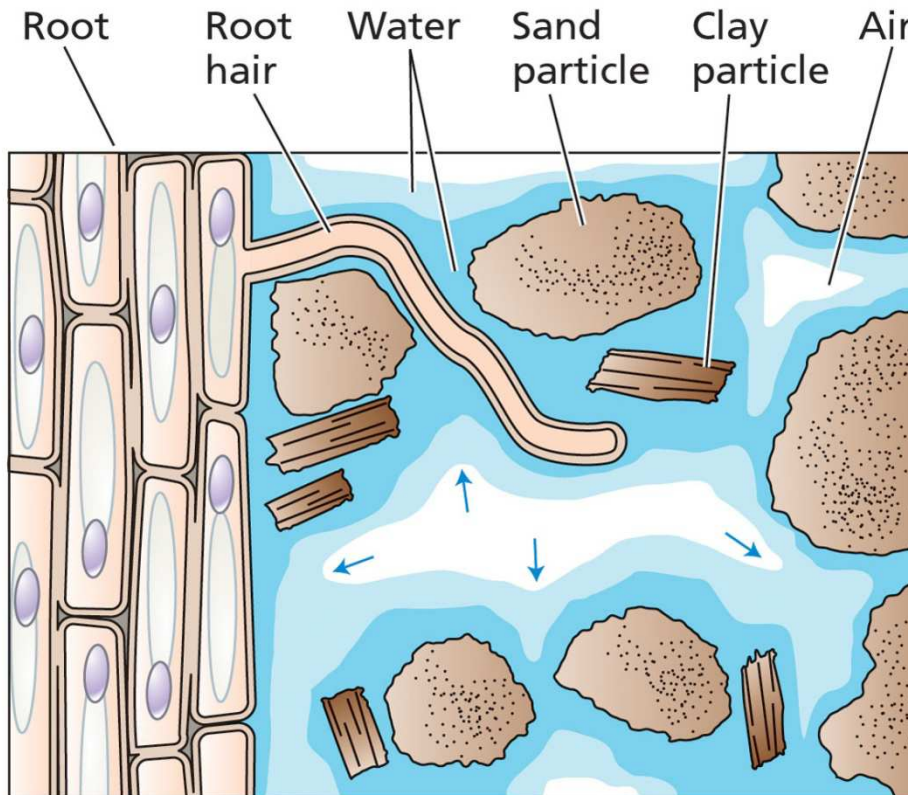
argilla: piccole particelle, grande area di superficie, piccoli canali tra le particelle → bassa CONDUTTIVITA' IDRAULICA

TABELLA 4.1.
Caratteristiche fisiche di suoli diversi

Suolo	Diametro della particella (μm)	Area della superficie per grammo (m^2)
Sabbia normale	2000-200	< 1-10
Sabbia fine	200-20	
Fango	20-2	10-100
Argilla	< 2	100-1000

Potenziale idrico del suolo

dipende da: Ψ_s generalmente basso (≈ -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)



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

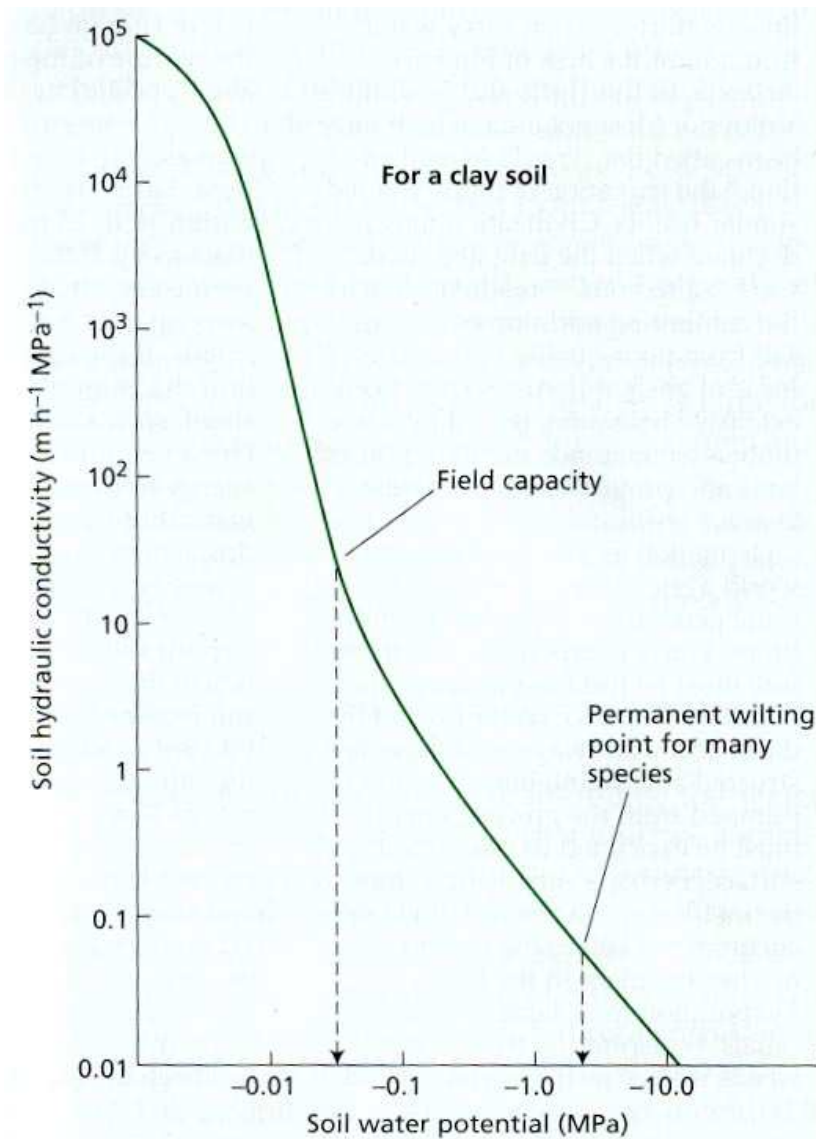
T = tensione superficiale

il potenziale idrico del suolo è negativo

IL MOVIMENTO DELL'ACQUA NEL SUOLO AVVIENE
PER FLUSSO DI MASSA, IN RISPOSTA AD UN
GRADIENTE DI PRESSIONE

A PARITA' DI GRADIENTE PRESSORIO, LA VELOCITA' DEL
FLUSSO IDRICO NEL SUOLO DIPENDE DALLA CONDUTTIVITA'
IDRAULICA

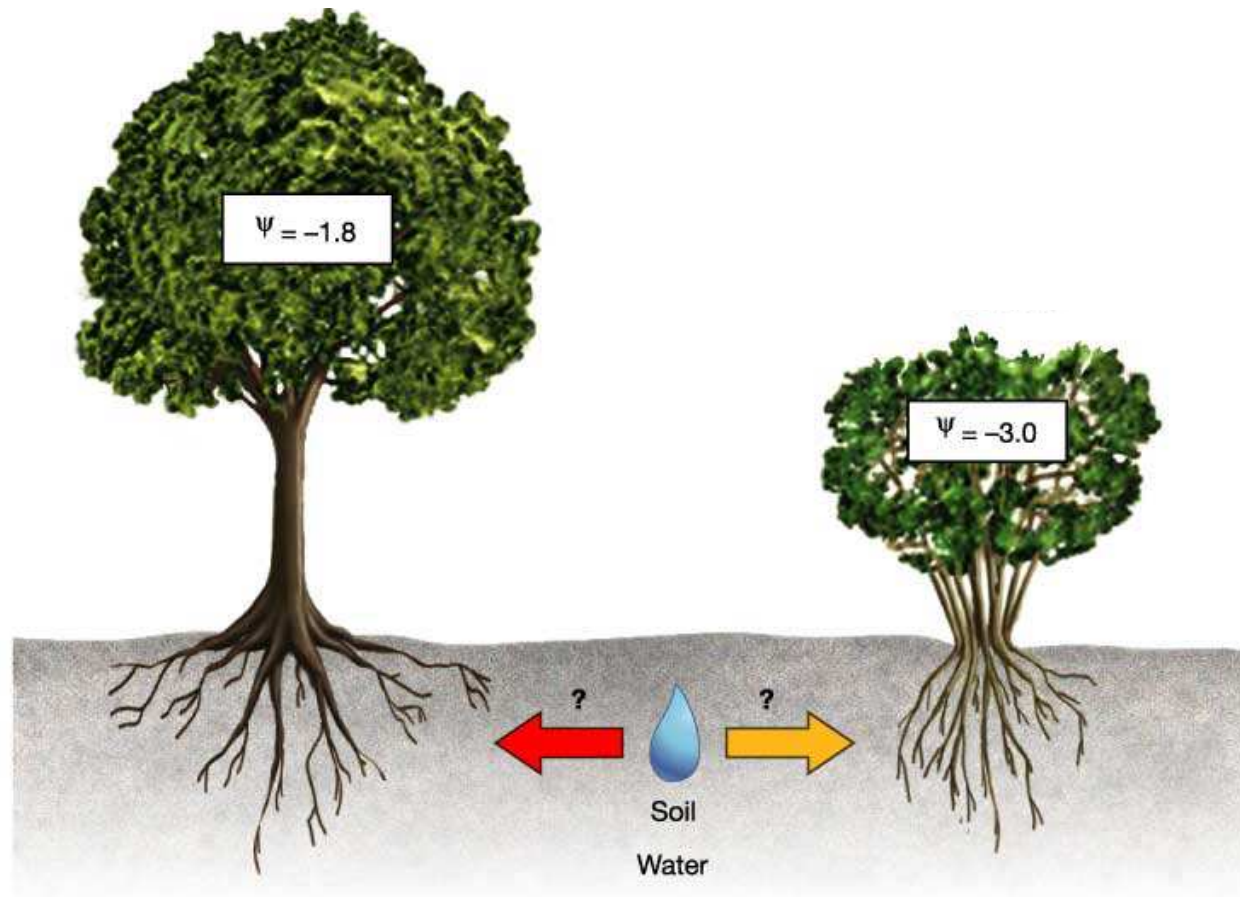
SABBIE: ALTA CONDUTTIVITA'
ARGILLE: BASSA CONDUTTIVITA'



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

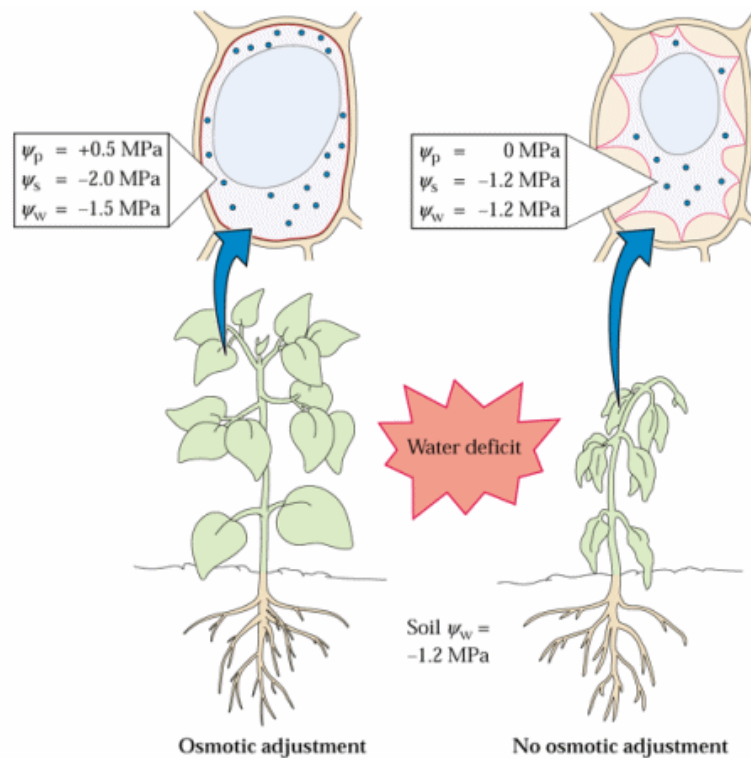
punto permanente di appassimento: valore del Ψ del suolo al quale le piante non possono recuperare la P di turgore anche in assenza di traspirazione

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



Aggiustamento osmotico

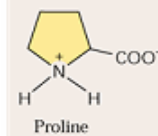
la pianta riesce ad abbassare il proprio potenziale idrico aumentando la concentrazione dei soluti ($\uparrow \pi$ $\downarrow \Psi_s$)



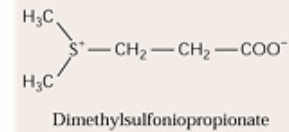
sintesi di osmoliti compatibili

Compatible osmolytes

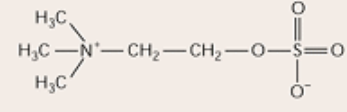
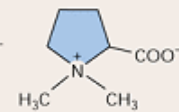
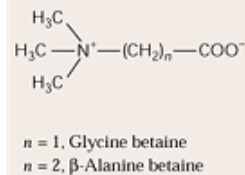
Amino acid:



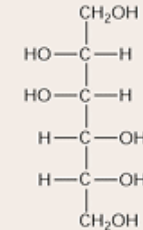
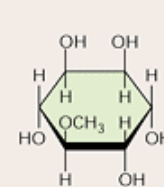
Tertiary sulfonium compound:



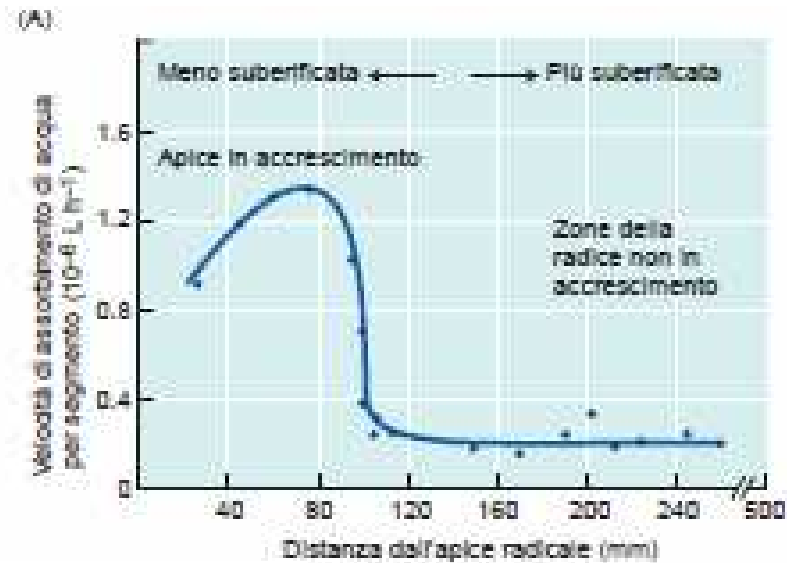
Quaternary ammonium compounds:



Polyhydric alcohols:

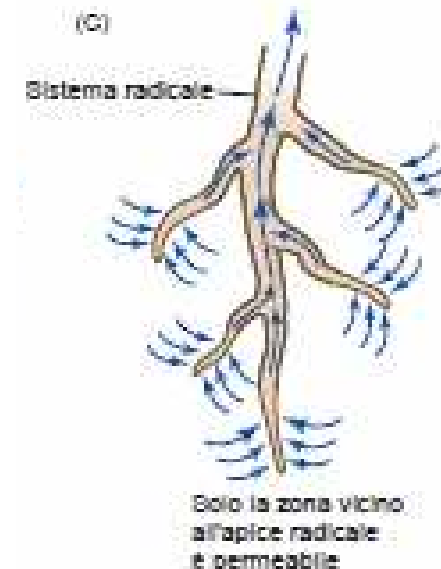


Assorbimento dell' H_2O dalle radici



L'assorbimento è maggiore in corrispondenza degli apici radicali.

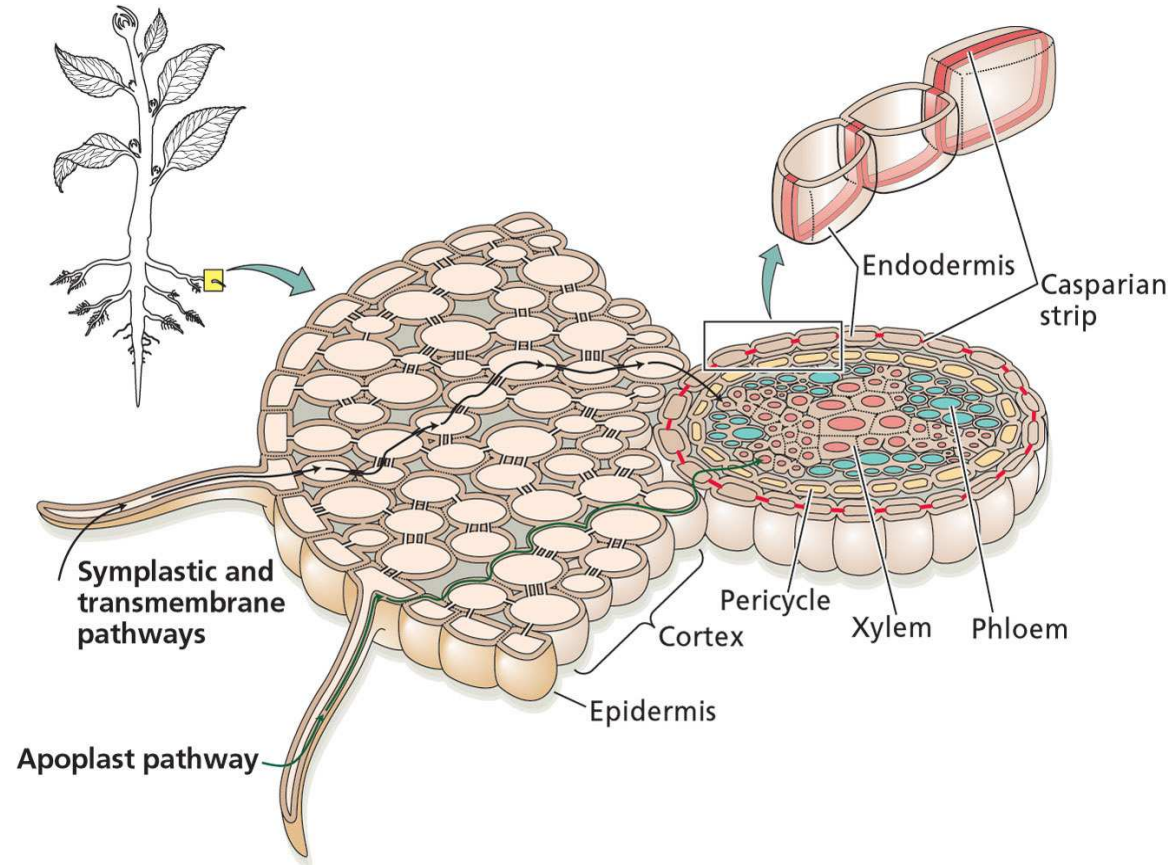
I peli radicali aumentano la superficie di assorbimento



Assorbimento dell'H₂O dalle radici

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

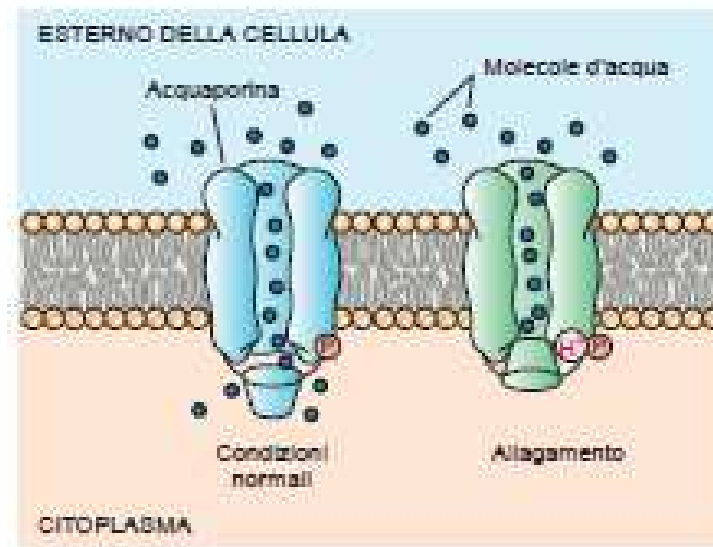
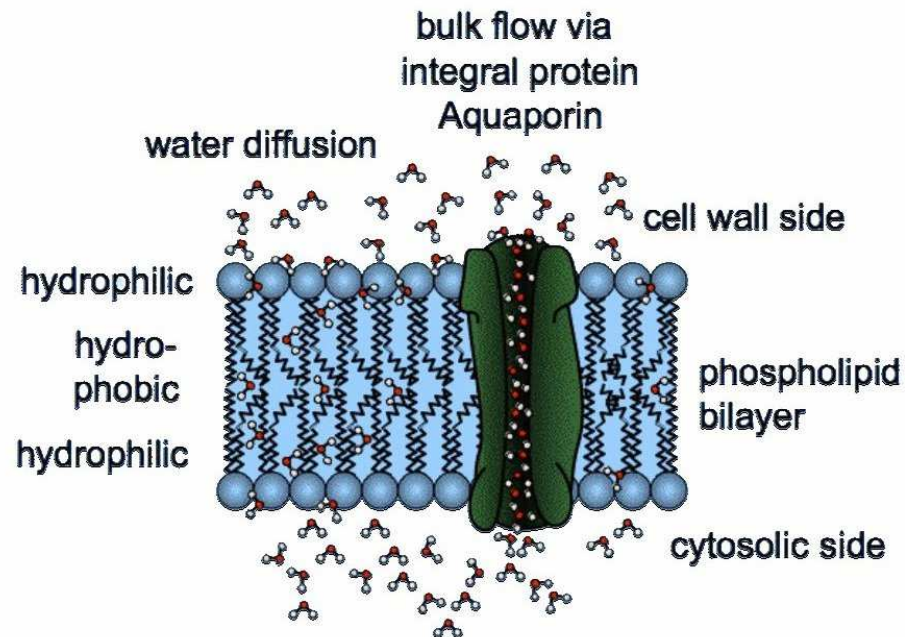
L'H₂O può seguire tre vie
apoplastica
transmembrana
simplastica



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

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

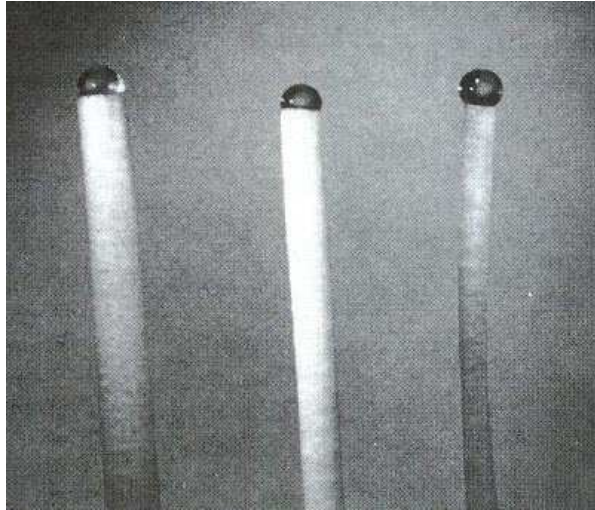
L'assorbimento dell'acqua da parte delle radici diminuisce se sono sottoposte a basse T o a condizioni anaerobiche (allagamento, inibitori della respirazione)



Le acquaporine regolano la permeabilità della radice all'acqua

Le acquaporine sono regolate dal pH citoplasmatico che aumenta se la respirazione è inibita

In alcune condizioni nelle radici può svilupparsi una pressione positiva



Pressione positiva 0.1 – 0.5 MPa

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



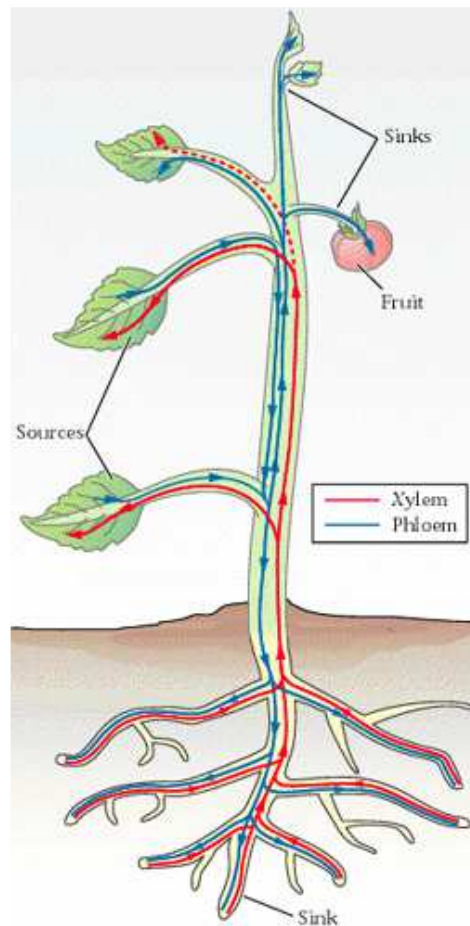
assorbimento di H_2O



aumento di P nello xilema



si osserva guttazione dalle foglie



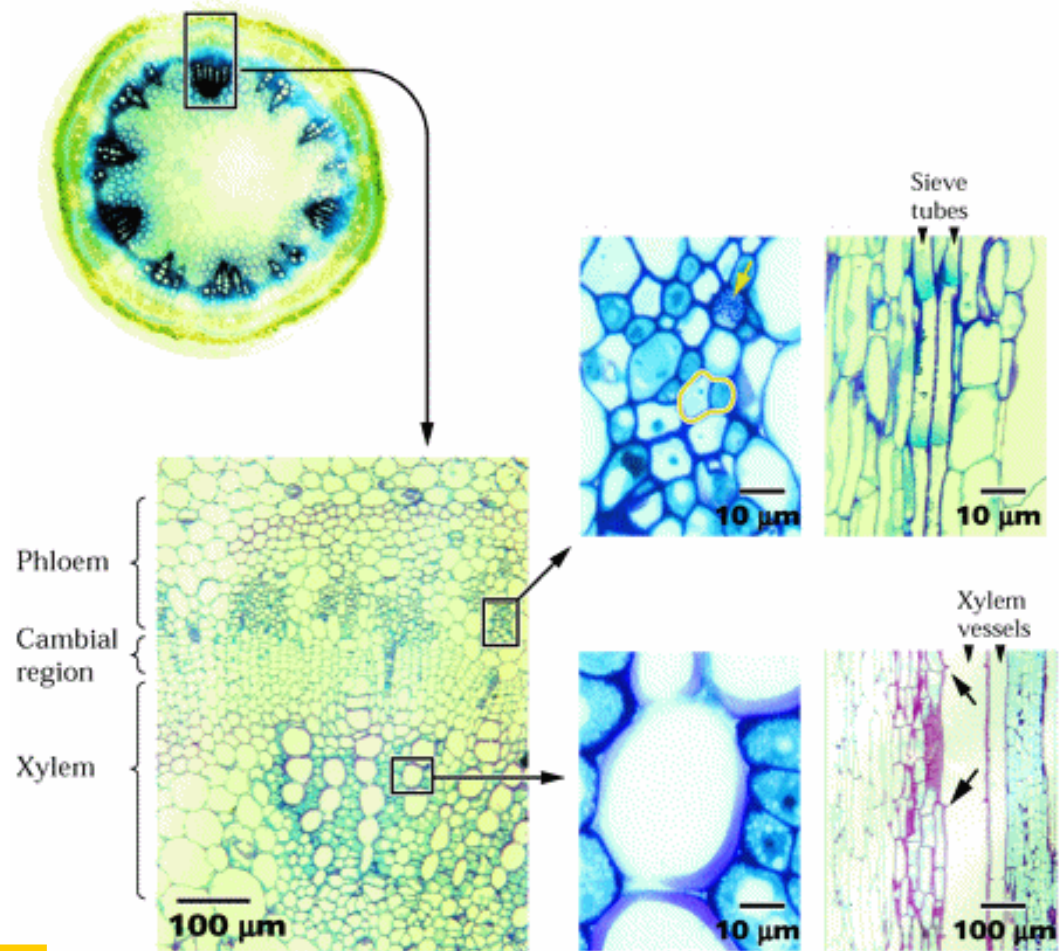
↪ tessuto vascolare ↪

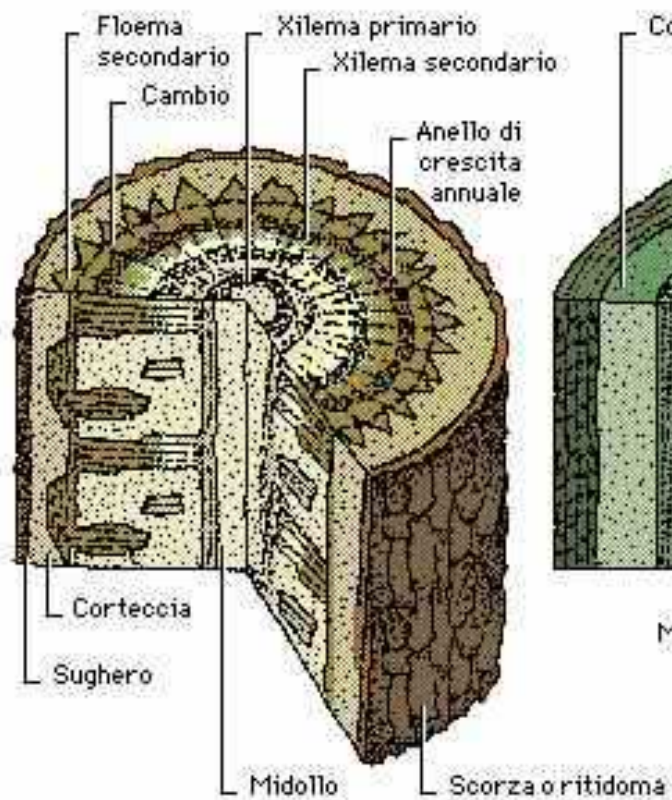
xilema

responsabile
del trasporto
di H_2O e
nutrienti dalle
radici alle
foglie

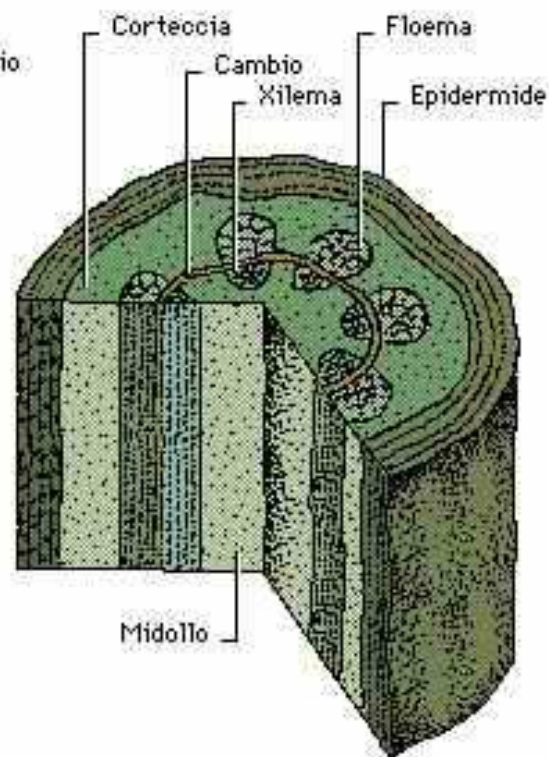
floema

responsabile
del trasporto
di H_2O e di
vari composti
nella pianta

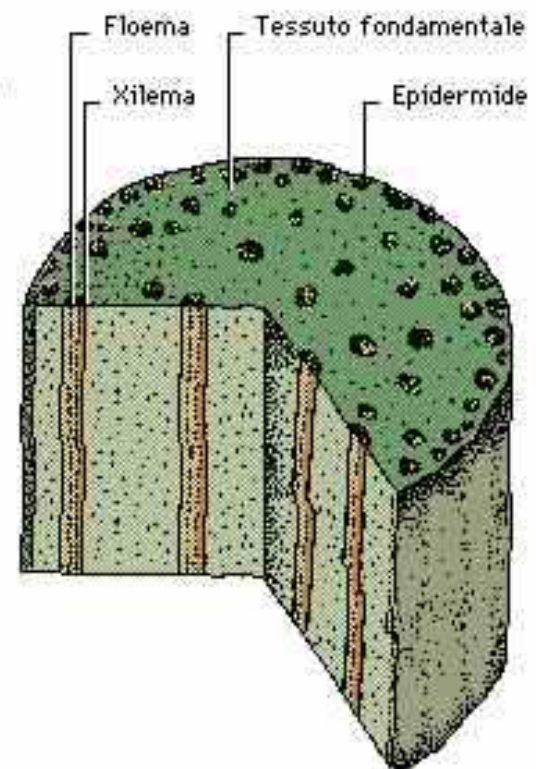




Fusto legnoso



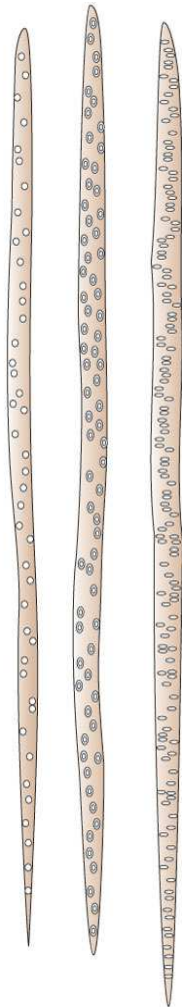
**Dicotiledone
fusto erbaceo**



**Monocotiledone
fusto erbaceo**

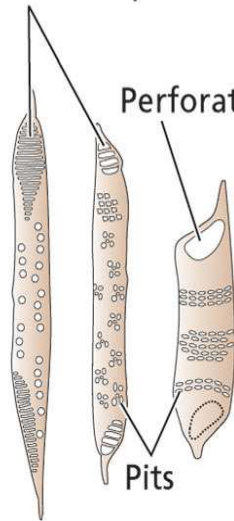
XILEMA struttura specializzata per il trasporto dell' H_2O con la massima efficienza

(A)

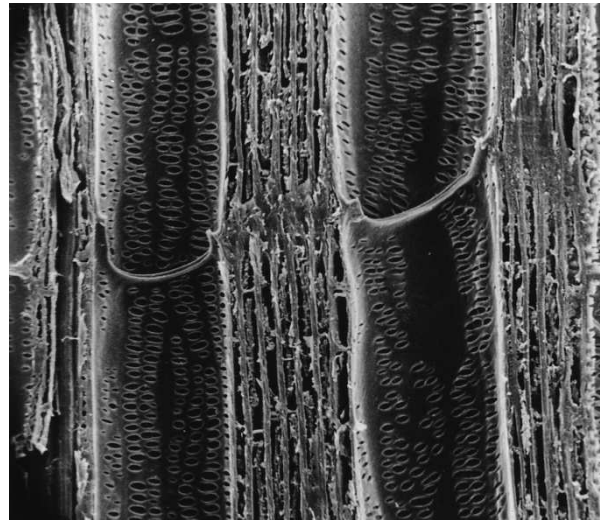


tracheidi

Perforation plate

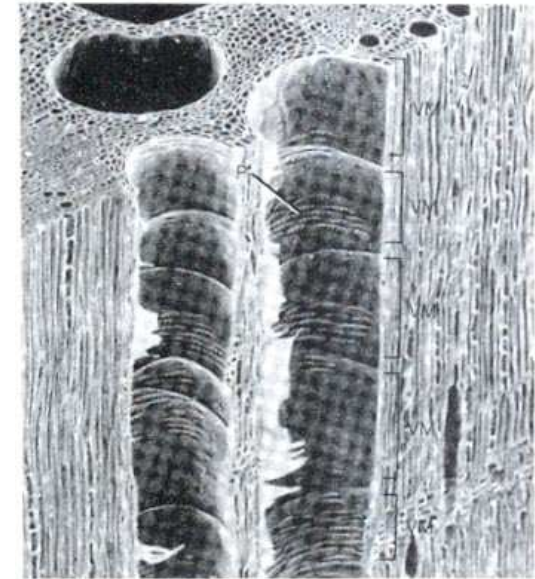


elementi vasali



(C)

a differenza delle tracheidi sono impaccati uno su l'altro

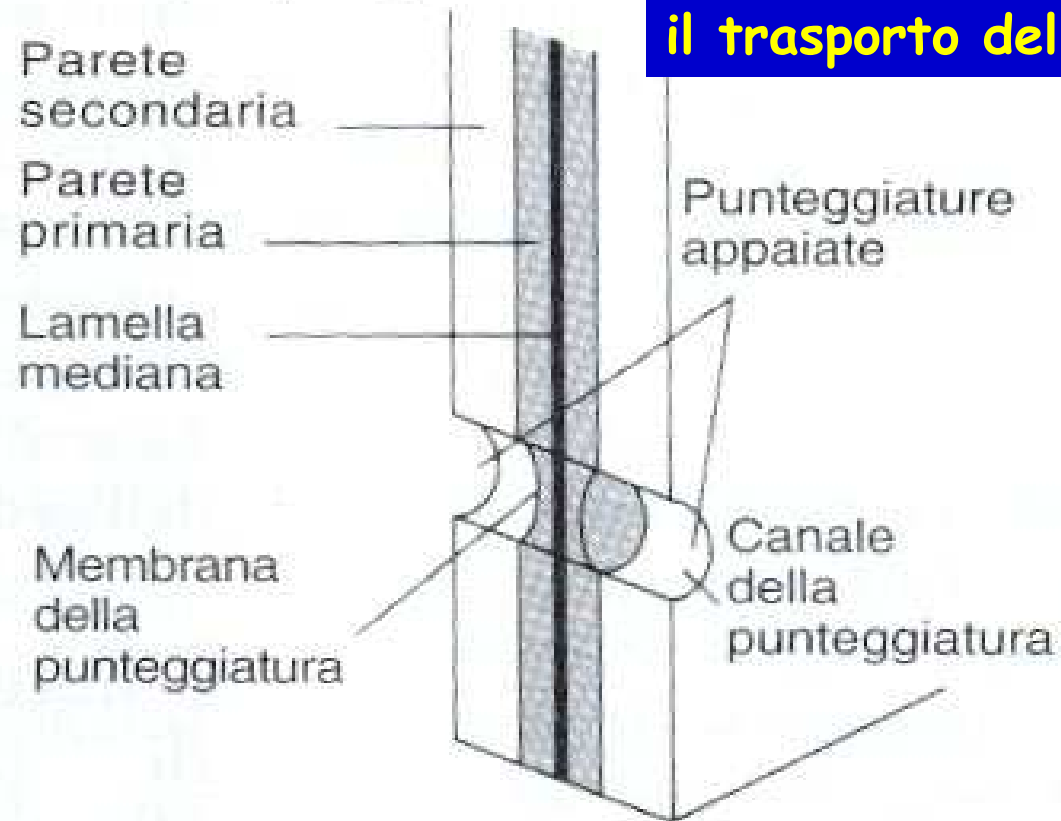


sovrapposizione di elementi vasali a formare un **vaso**

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**



Movimento dell'H₂O nello xilema: forza motrice

4 mm s⁻¹ vaso 40 μm

Flusso di massa

$$\Delta P = 0,02 \text{ Mpa m}^{-1}$$

$$J = \frac{\pi r^4}{8 \eta} \frac{\Delta P}{\Delta x}$$

4 mm s⁻¹ vaso 40 μm

Diffusione

$$\Delta P = 2 \times 10^8 \text{ Mpa m}^{-1}$$

$$J = L_p (\Delta \Psi)$$

Per un albero di 100 m = 2 Mpa + gravità (0,01 × 100) = **3 Mpa**

Spostamento dell' H_2O nello xilema

Flusso di massa

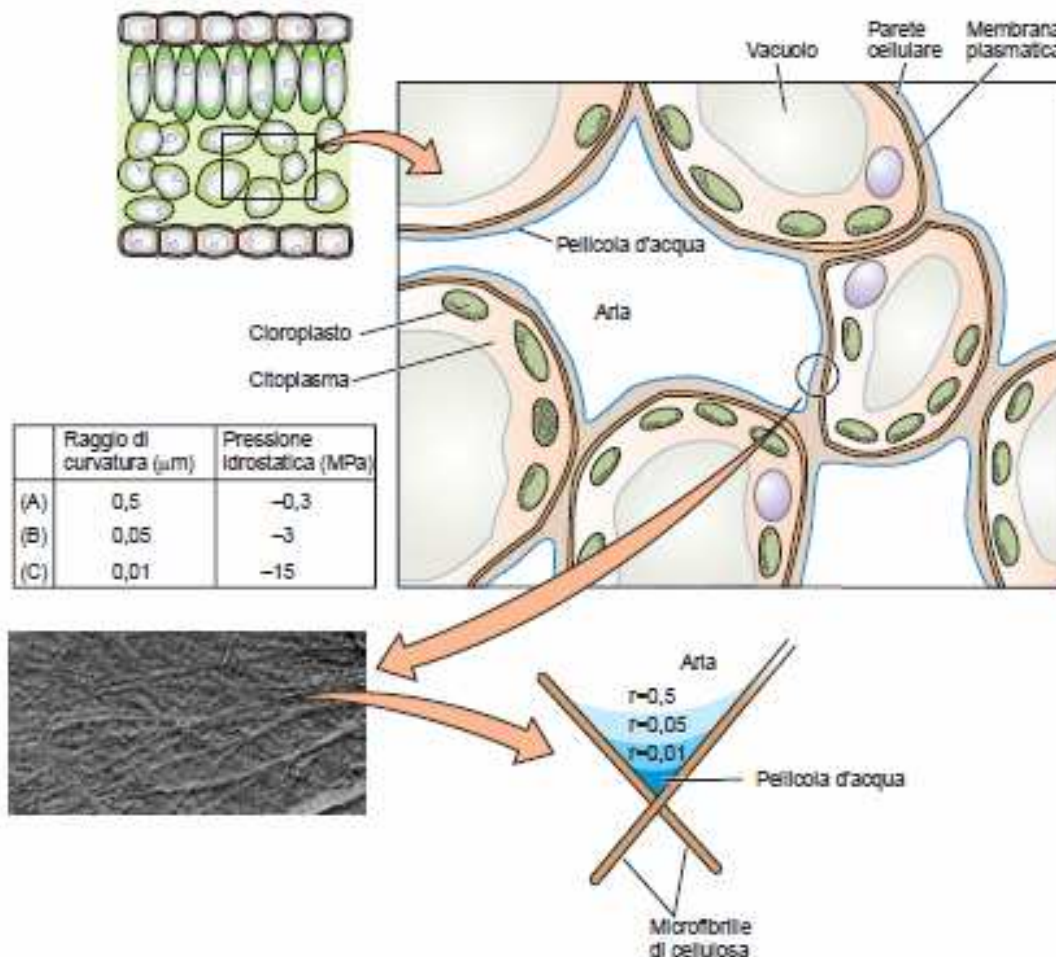
Pressione radicale?

non è sufficiente

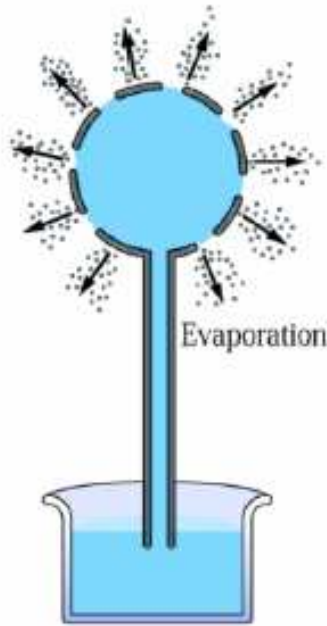
(0.1 MPa e si annulla se la traspirazione è elevata)

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



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



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

L'acqua sotto tensione nello xilema è in uno stato metastabile

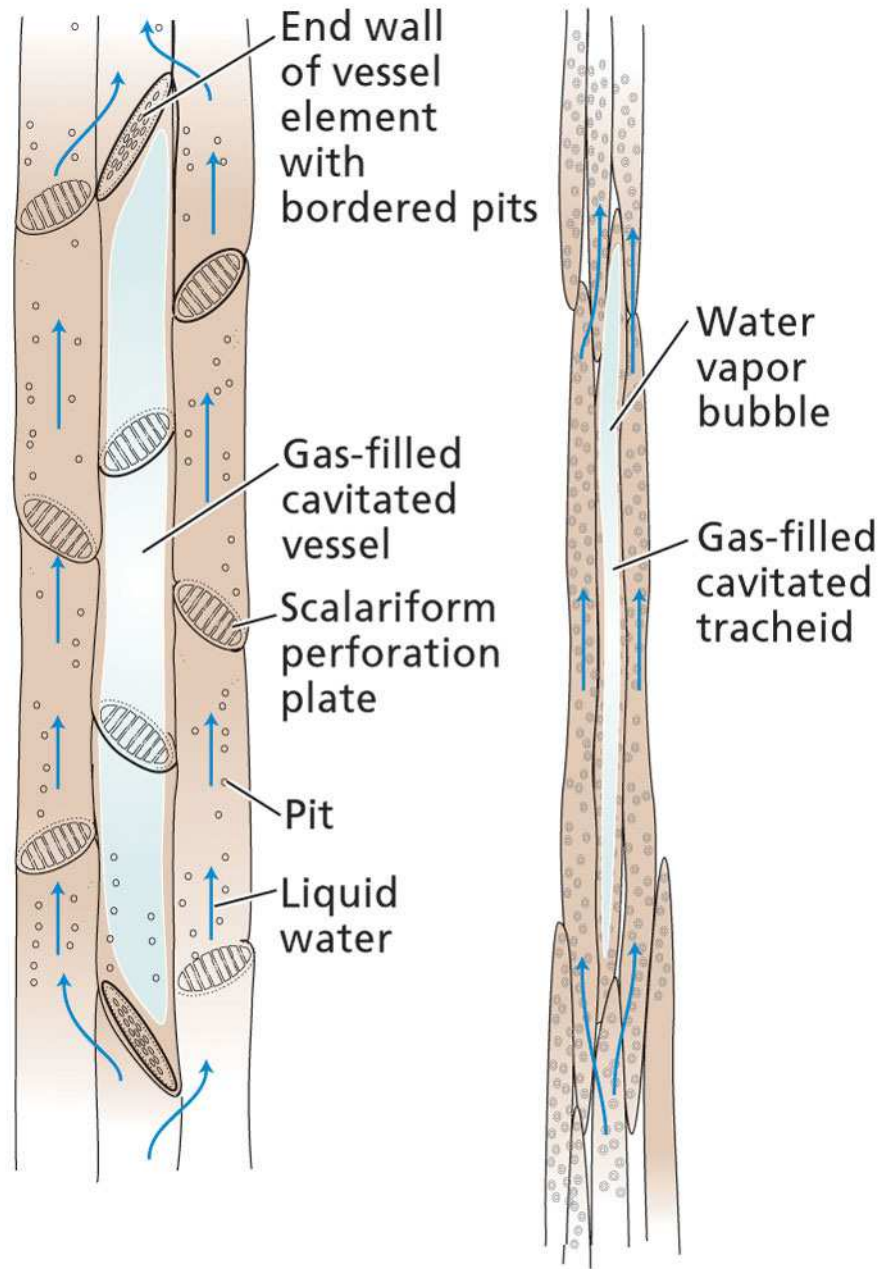
Quando $P_{H_2O \text{ liquida}} = P_{\text{di vapore saturo}}$ si ha ebollizione

Nello xilema questo effetto è minimizzato

1) Interazioni di adesione con le pareti

2) Effetto filtrante radici che riduce la presenza di bolle
come punti di nucleazione

Tuttavia a volte si può verificare la **CAVITAZIONE**



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.

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 sostenere colonne di acqua molto alte ($r = 0.12 \mu\text{m}$ sostiene 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

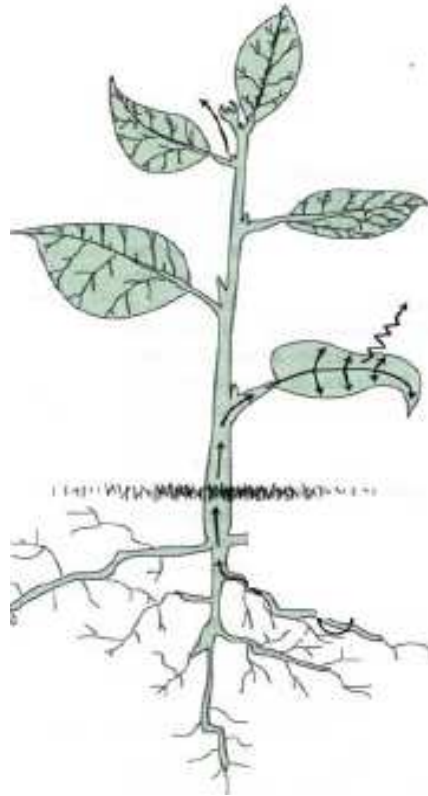
atmosfera



pianta



suolo



H_2O_{vapore}



H_2O

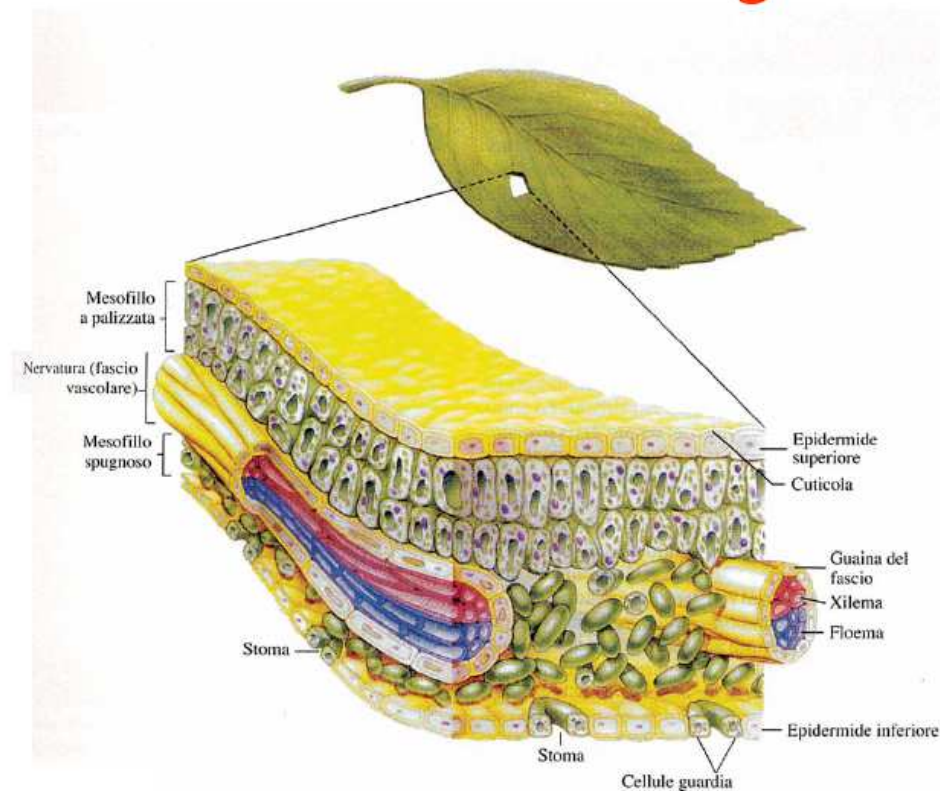
La traspirazione consiste:

- 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

$$-[C_{wv(aria)} - C_{wv(s.aeriferi)}]$$

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

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

$$-[C_{wv(aria)} - C_{wv(s.aeriferi)}]$$

$C_{wv(foglia)}$ viene stimata assumendo che negli spazi aeriferi il potenziale idrico dell'aria sia in equilibrio con quello della foglia

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

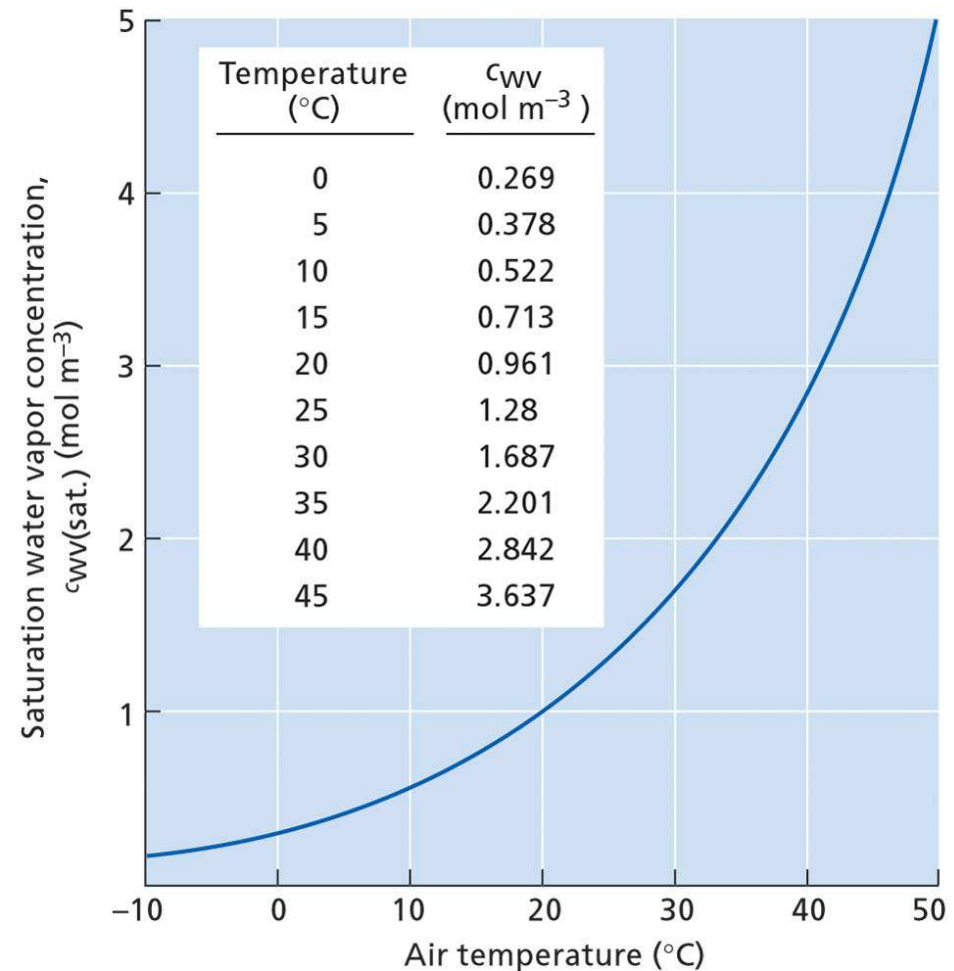
$C_{wv(sat)}$ aumenta con la T

un aumento di T
determina la
diminuzione di RH

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



altra acqua evaporerà
dalla superficie fogliare
incrementando il ΔC_w tra
aria interna ed esterna



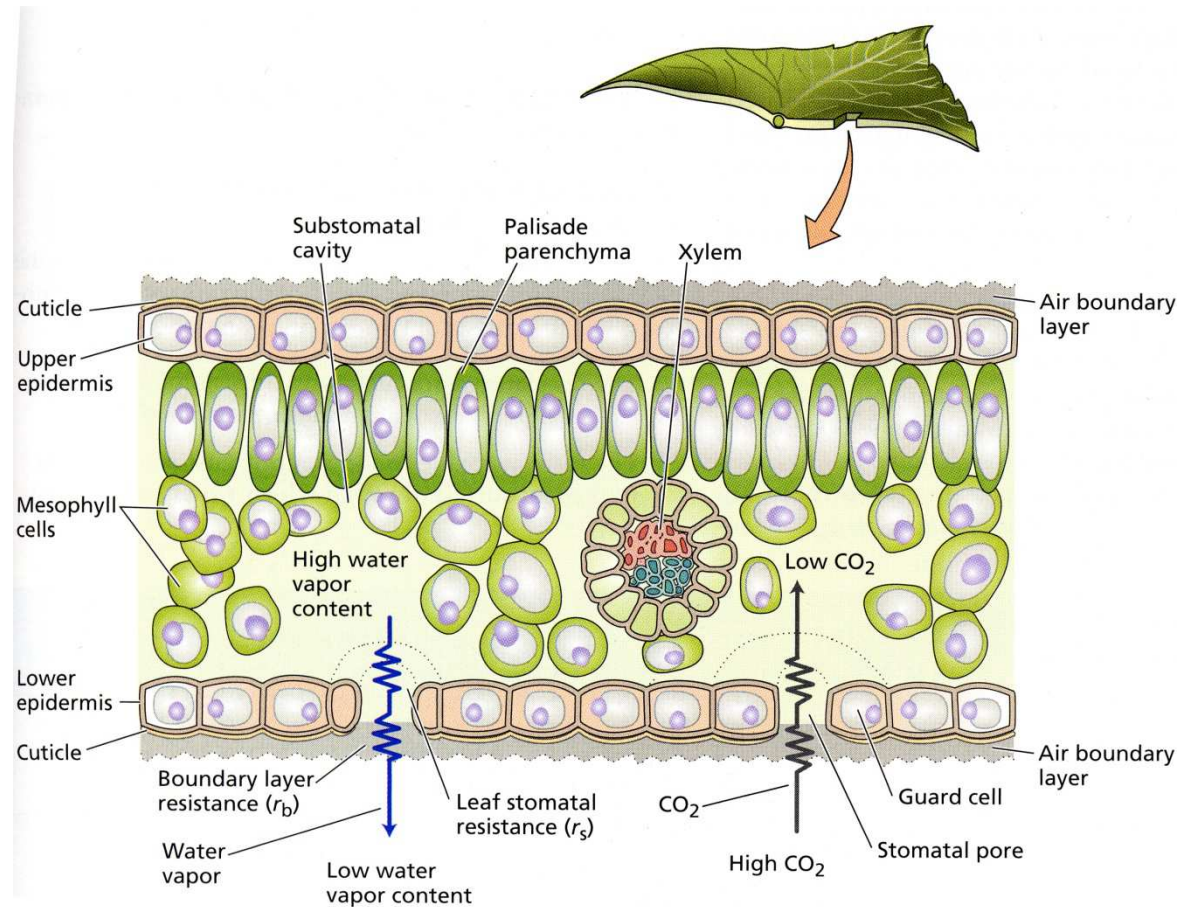
Resistenza alla diffusione del vapore d'acqua



Resistenza dello strato limite (r_b)



Resistenza stomatica (r_s)



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

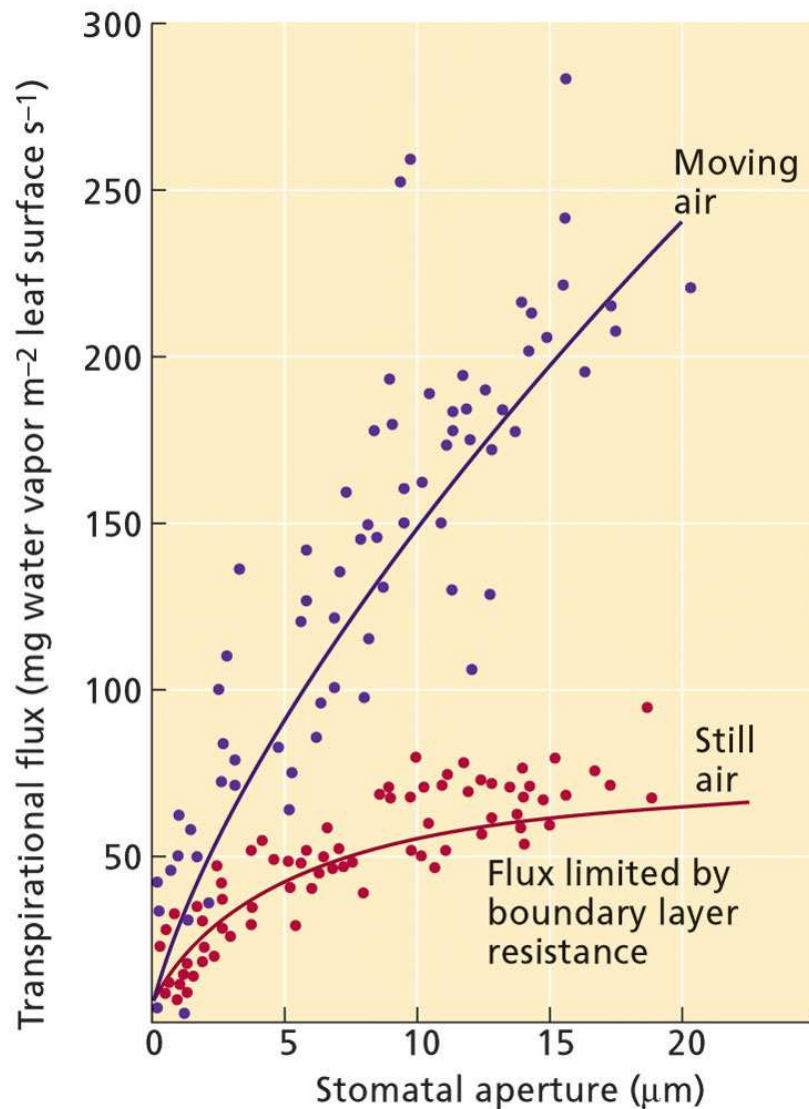
$$\text{VELOCITA' DI FLUSSO} = \frac{\text{FORZA MOTRICE}}{\text{RESISTENZA}}$$

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

$E \text{ [mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}]$

$r \text{ [m}^{-1} \text{ s]}$

$C_w \text{ [mol m}^{-3}]$



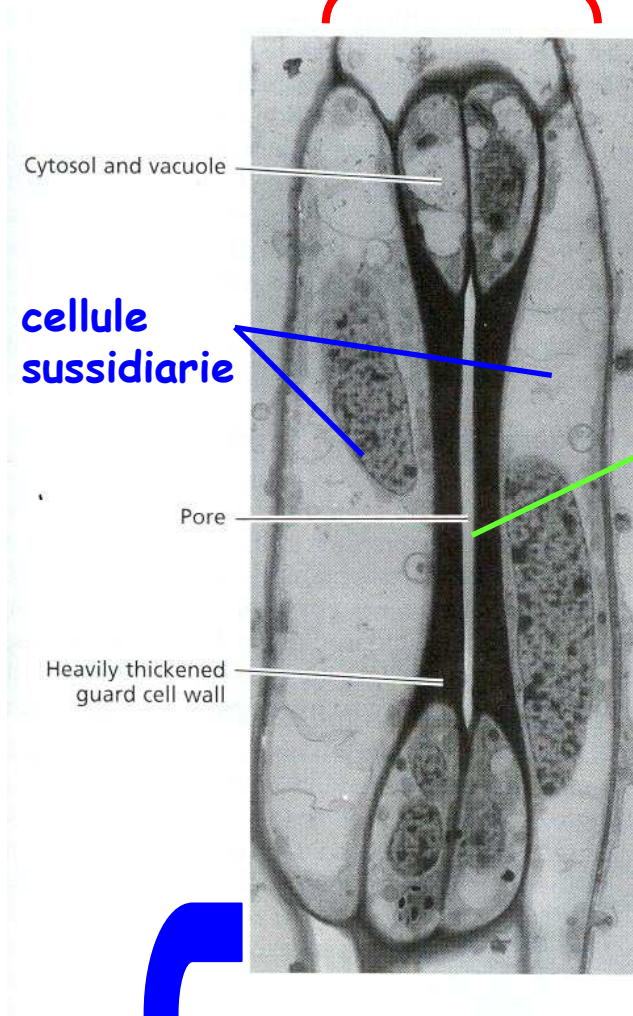
PLANT PHYSIOLOGY, Third Edition, Figure 4.12 © 2002 Sinauer Associates, Inc.

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

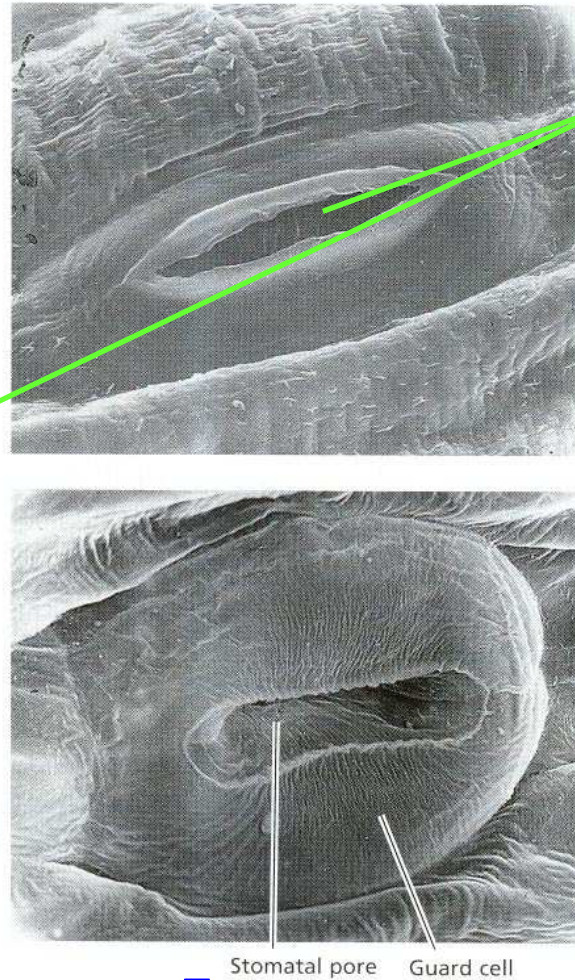
cellule di guardia a manubrio

complesso dello stoma



presenti nelle graminacee e in poche altre monocotiledoni

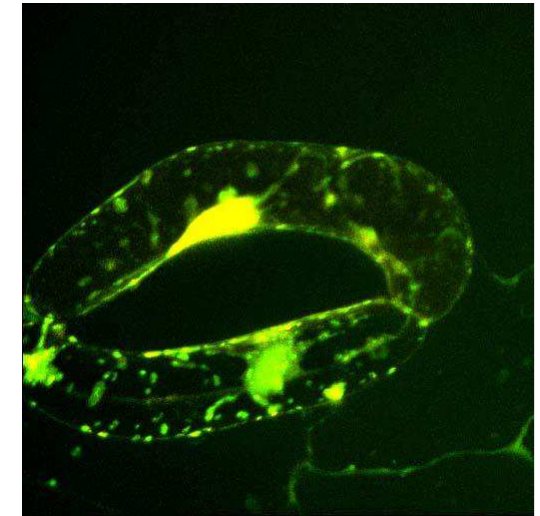
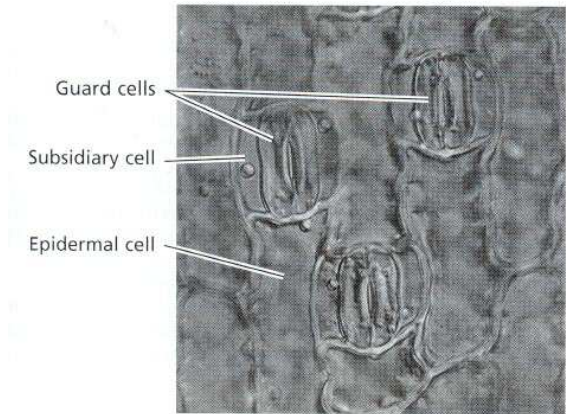
cellule di guardia reniformi



presenti nelle dicotiledoni e nelle altre monocotiledoni

STOMI

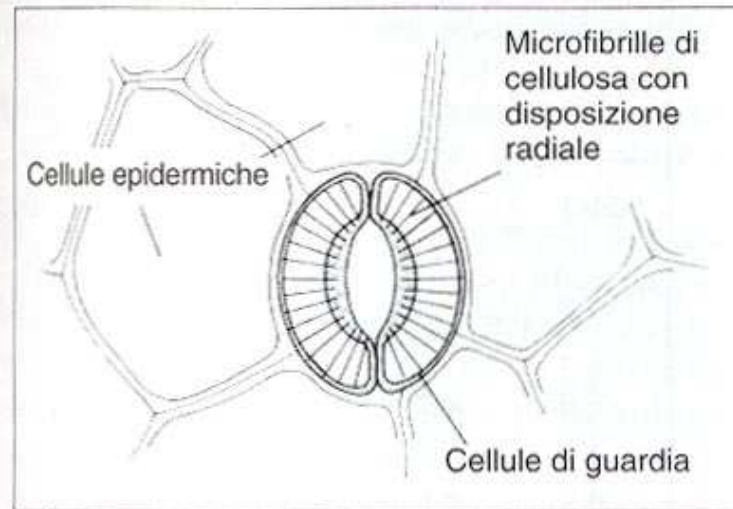
rima stomatica



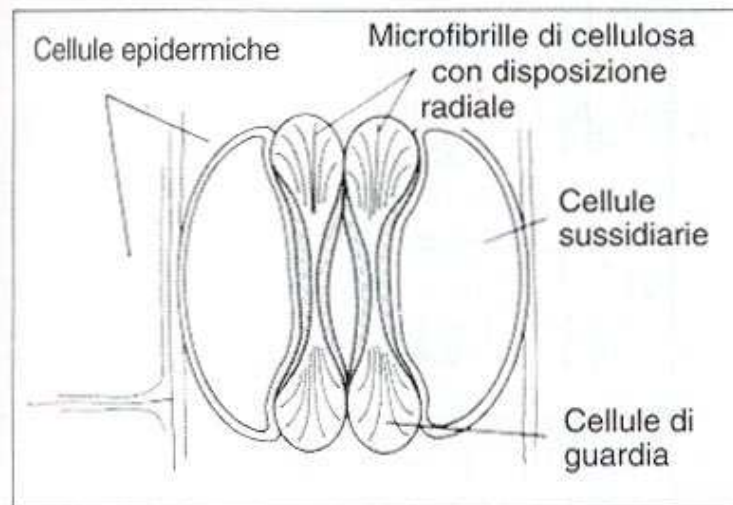
le pareti delle cellule di guardia sono ispessite ($\approx 5 \mu\text{m}$)
rispetto a quelle delle altre cellule epidermiche ($\approx 1-2 \mu\text{m}$)

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



COME SI APRONO GLI STOMI?

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

L'ispessimento radiale delle **pareti cellulari** delle cellule di guardia determina l'allontanamento delle due cellule quando si rigonfiano

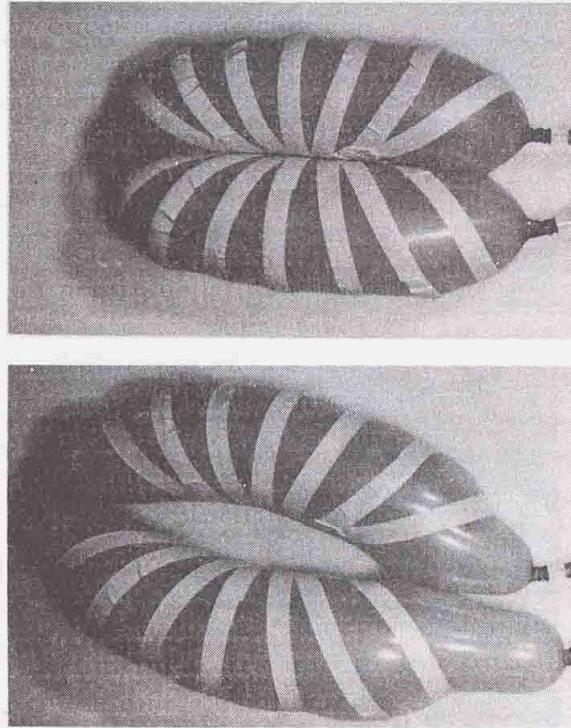
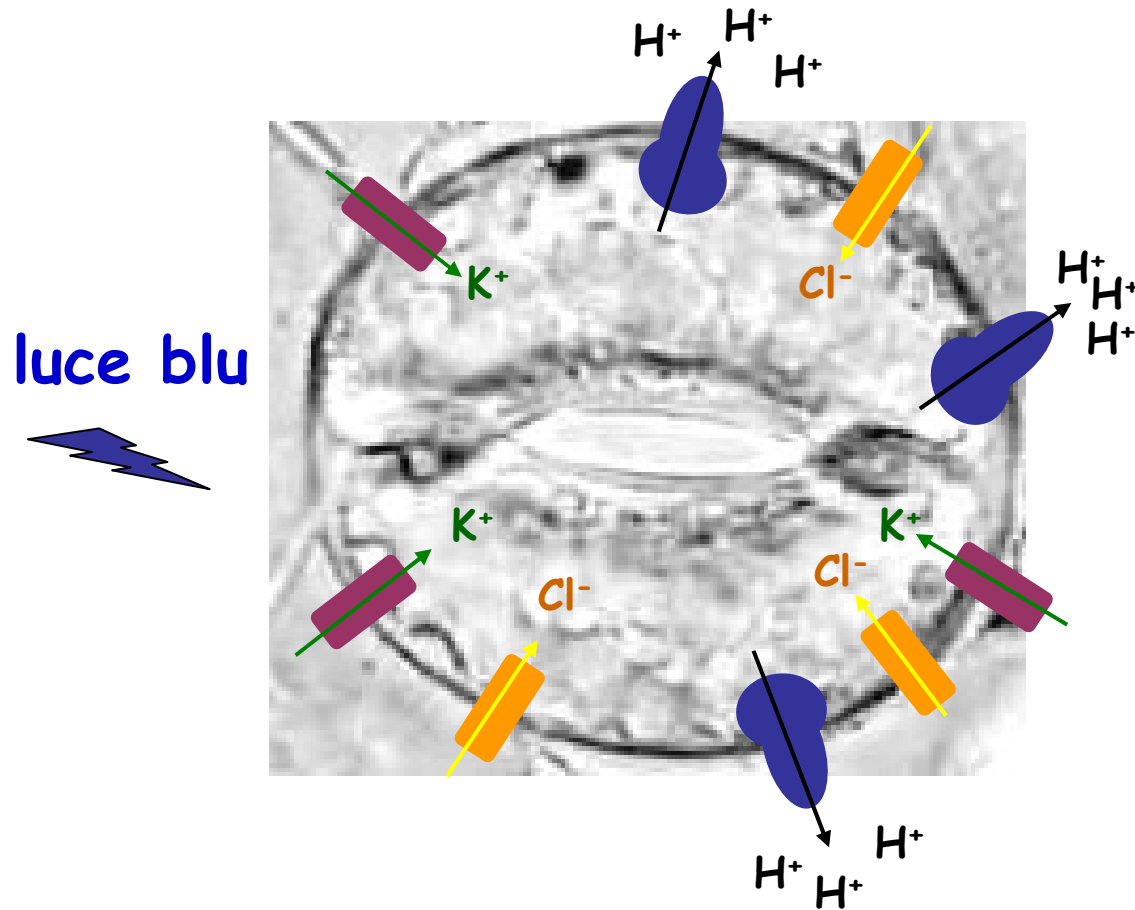


Figura 3.7. I due palloncini rappresentano una coppia di cellule di guardia. La foto in alto mostra i palloncini nel loro stato «rilassato». Il nastro adesivo avvolto su di essi rappresenta sia la «micellazione radiale», che l'ispessimento lungo la parte ventrale della parete. La fotografia in basso mostra la coppia di palloncini gonfiati. I palloncini erano stati collegati in precedenza alle loro estremità con mastice per gomma (ciò aveva indebolito la zona adiacente alla saldatura e provocato durante il rigonfiamento lo scoppio di ben otto paia di palloncini, prima di ottenere quelli fotografati!).



Iperpolarizzazione della
membrana



apertura canali del K^+



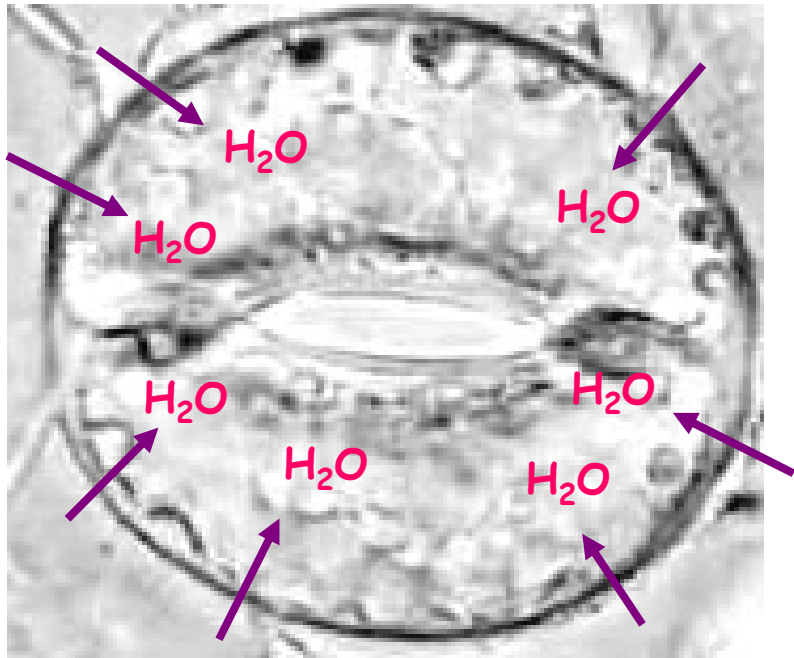
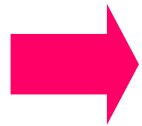
ingresso del Cl^-



aumento della π



diminuzione di Ψ



**AUMENTO DELLA
PRESSIONE DI TURGORE**

