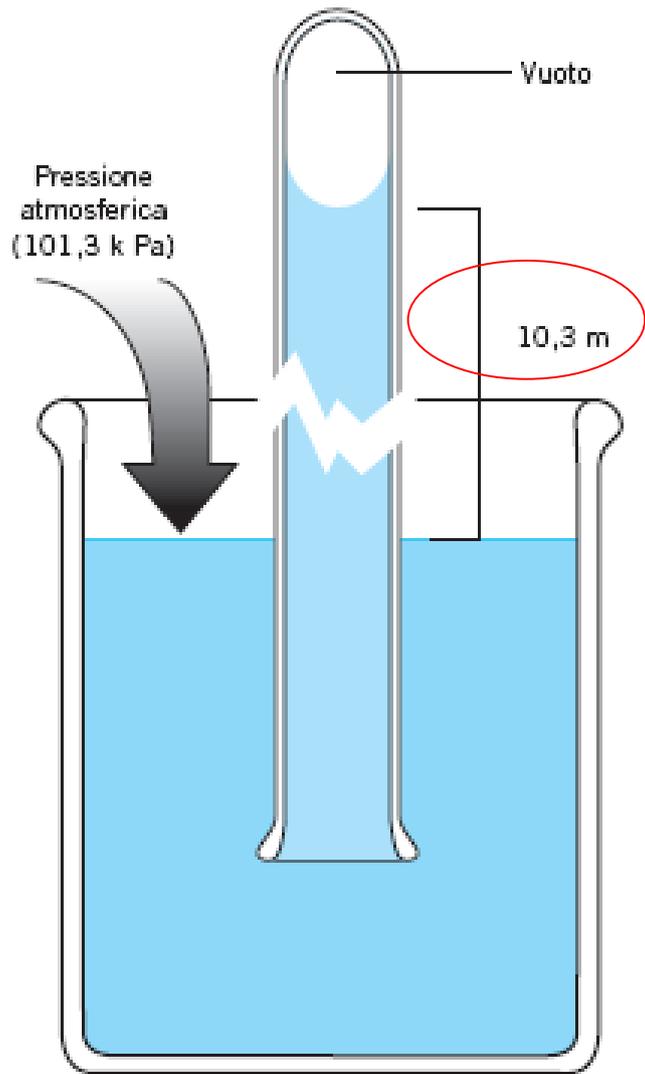


Trasporto verticale di acqua: la teoria della Tensione-Coesione



Sequoia sempervirens, 112 m



Eucalyptus regnans, 150 m

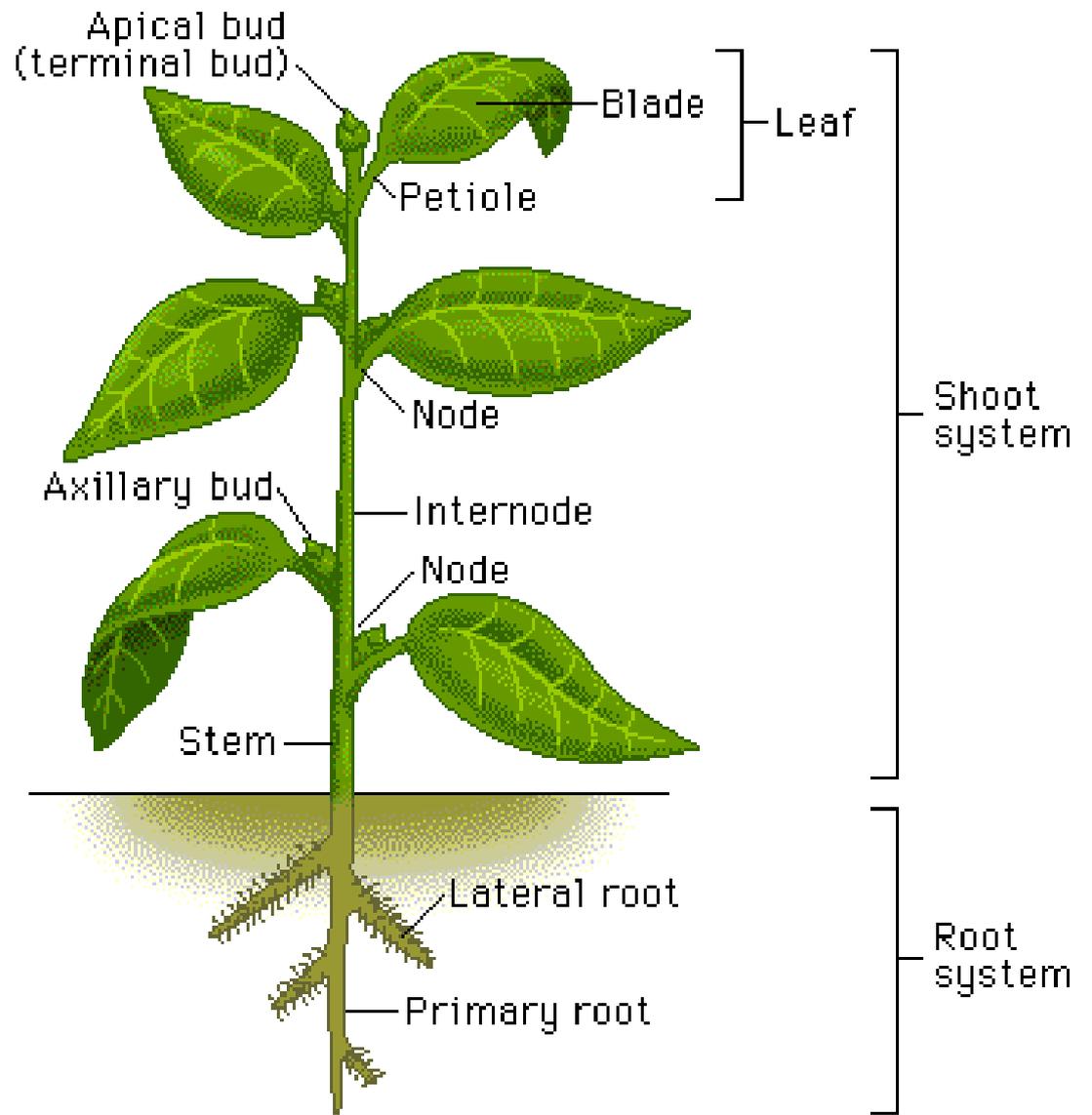
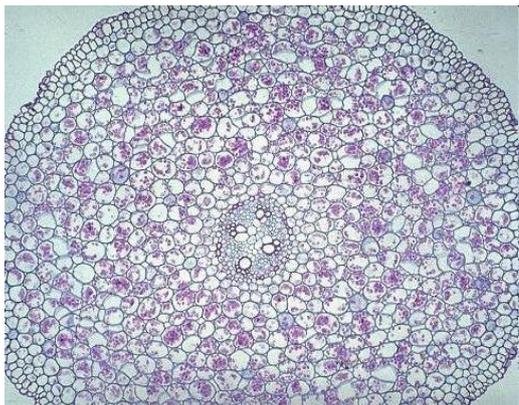
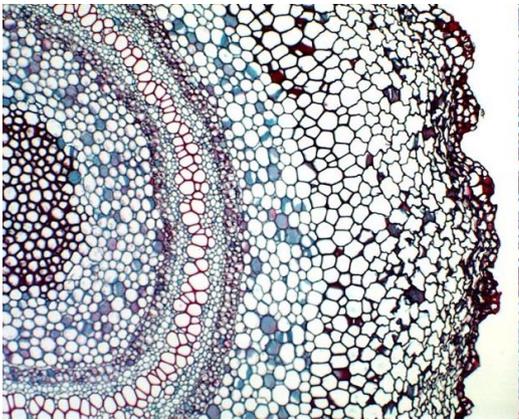
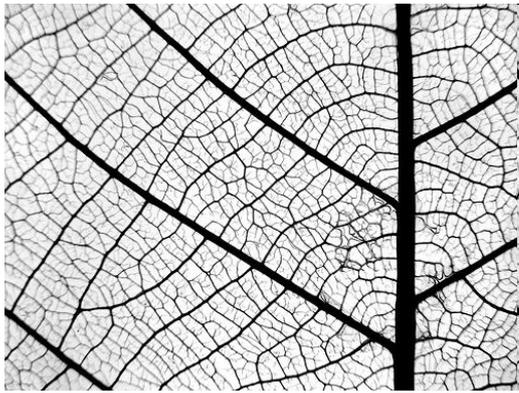
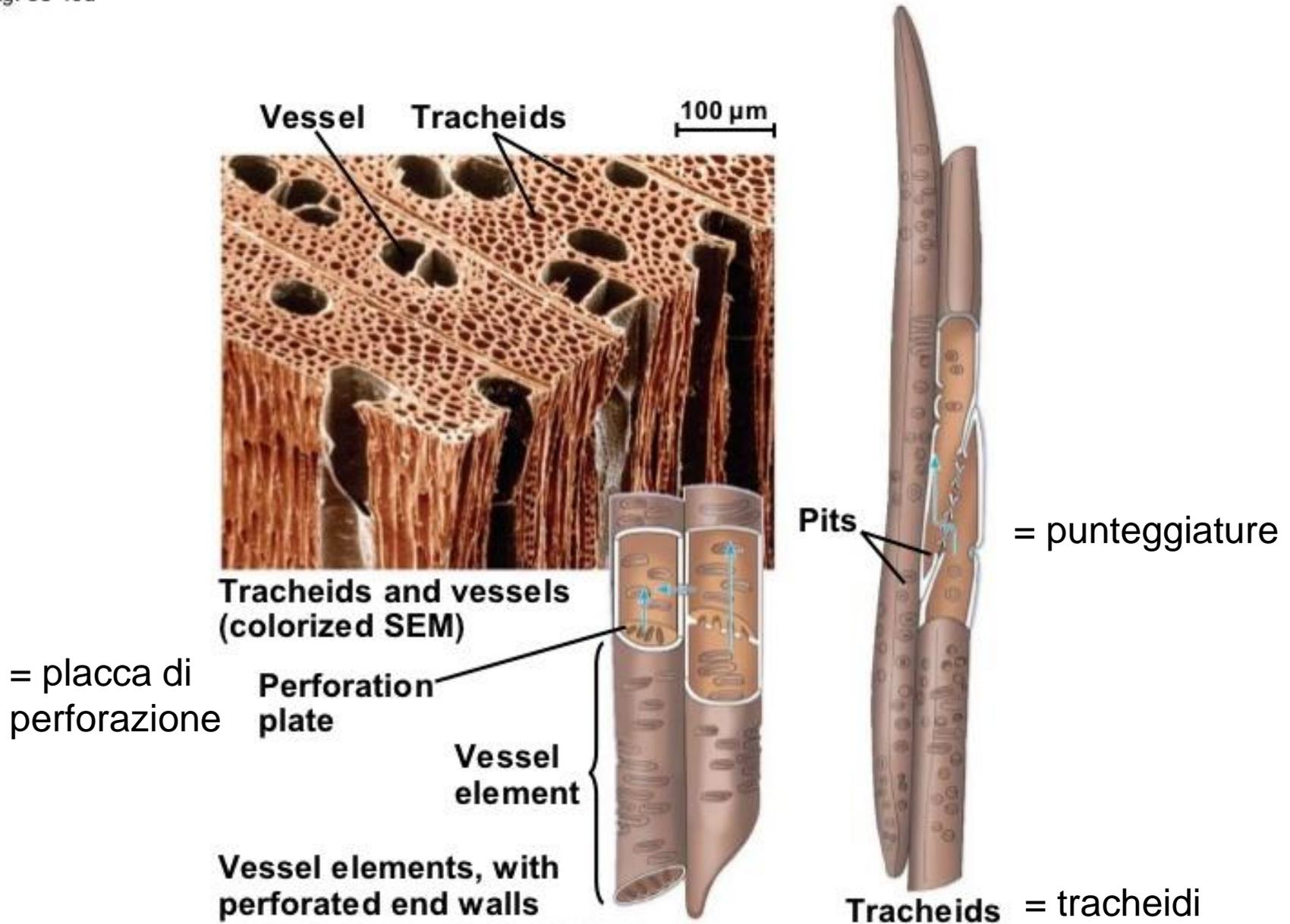


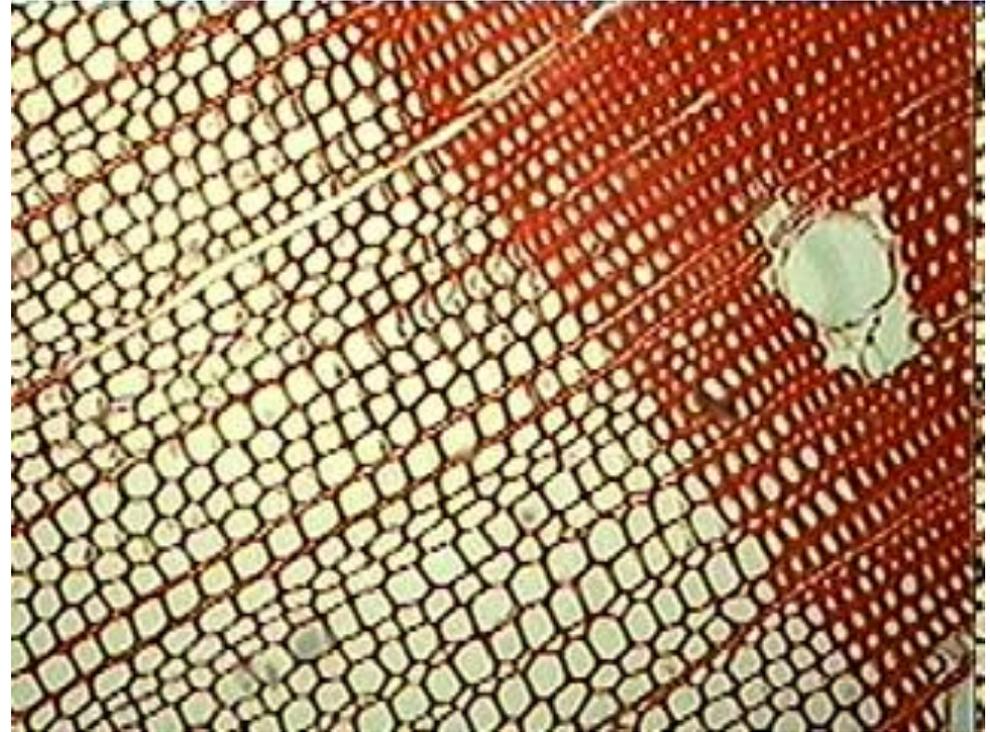
Fig. 35-10d



Gimnosperme:

Fibrotracheidi

Singole cellule
Diametro da 5 a 80 μm
Lunghezza < 3 cm
Legno omoxilo

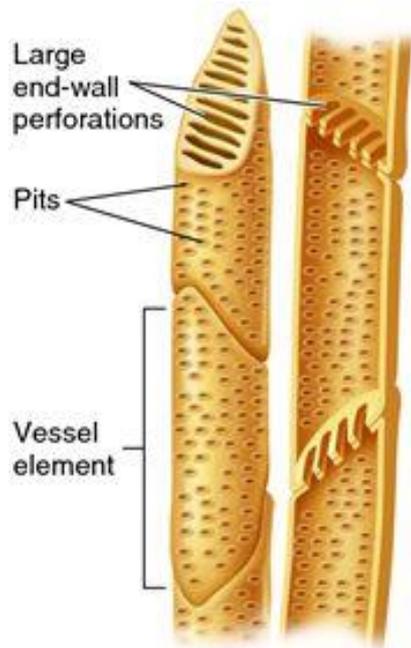


Angiosperme:

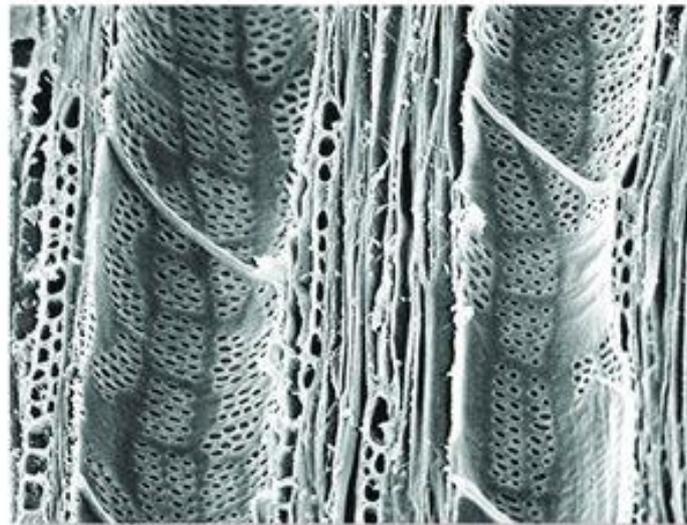
Trachee dette anche 'vasi' (+ Tracheidi)

Costituite da più cellule sovrapposte
(elementi del vaso)
Diametro da 10 a 500 μm
Lunghezza sino a 10-20 m
(ma più comunemente 2-20 cm)
Legno eteroxilo

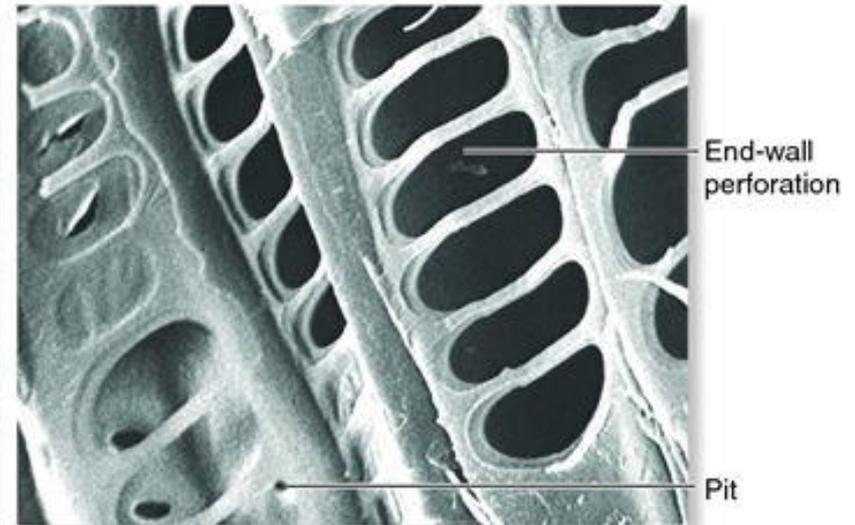




(a) Vessels made up of vessel elements



(b) Vessel elements in a walnut tree



(c) Perforations in a vessel element end wall

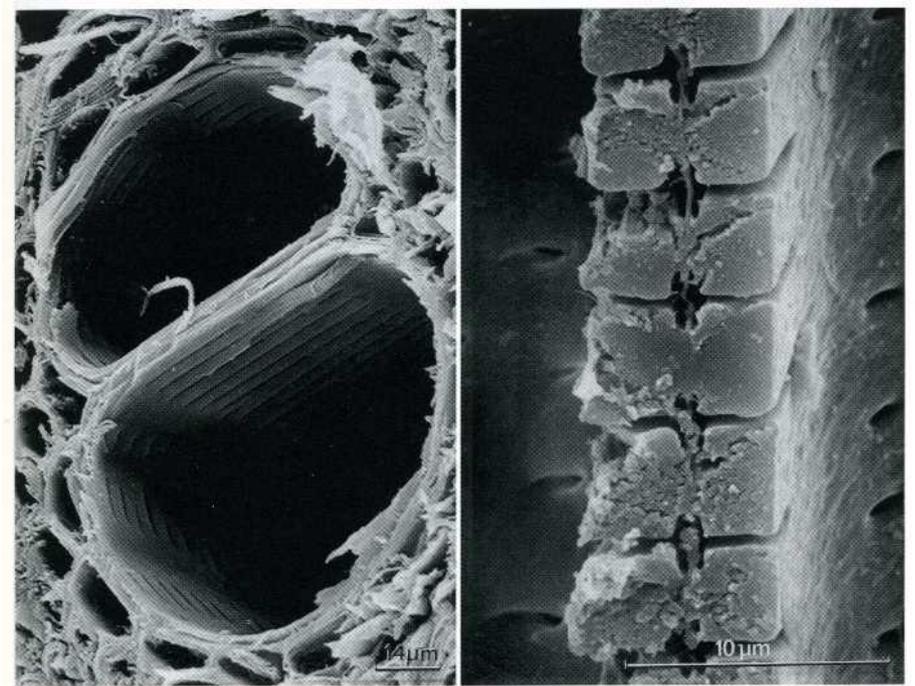
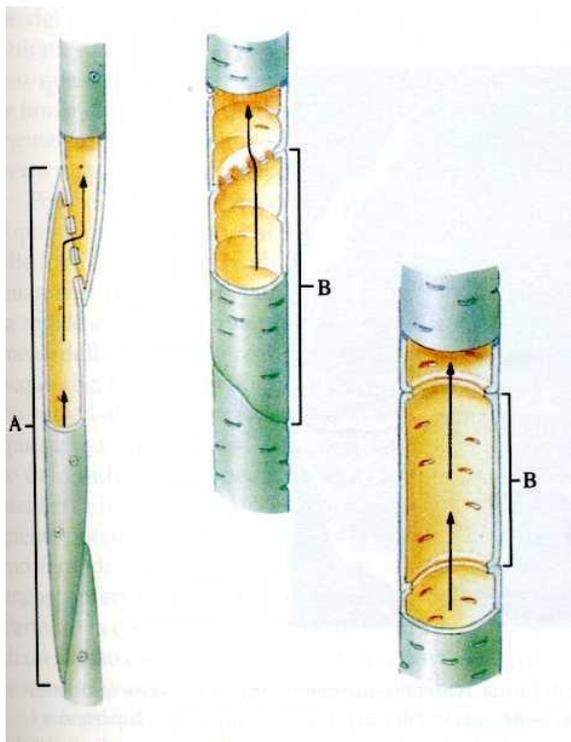
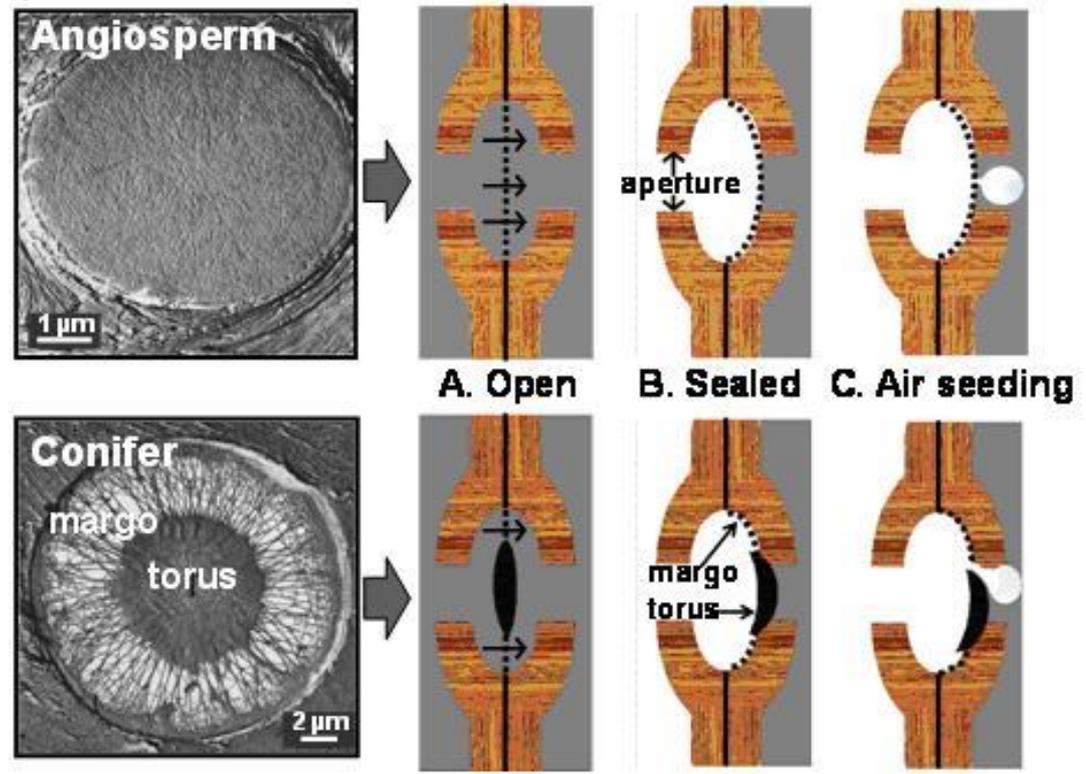


Fig. 2.9. Scanning electron micrographs of metaxylem vessels in the stem of *Rhaps excelsa*. Left Transversely cut stem showing interessel pit area. Right Intersessel pits in longitudinal section (cutting across the wall). (Zimmermann et al. 1982)



Equazioni che descrivono la capacità di trasporto di acqua attraverso la pianta

$$F = V/t$$

dove F = flusso, V = volume, t = tempo

$$F = K \times \Delta\Psi$$

dove K = conduttanza idraulica, $\Delta\Psi = \Psi_{\text{suolo}} - \Psi_{\text{foglia}}$

$$K = 1/R$$

dove R = resistenza idraulica

$$F = \Delta\Psi/R$$

$$k = K \times l$$

dove k = conduttività idraulica,
l = lunghezza del conduttore

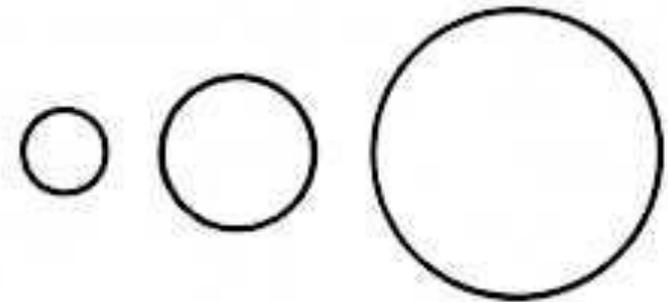
K, mmol s⁻¹ MPa⁻¹

R, MPa s mmol⁻¹

k, mmol s⁻¹ m MPa⁻¹

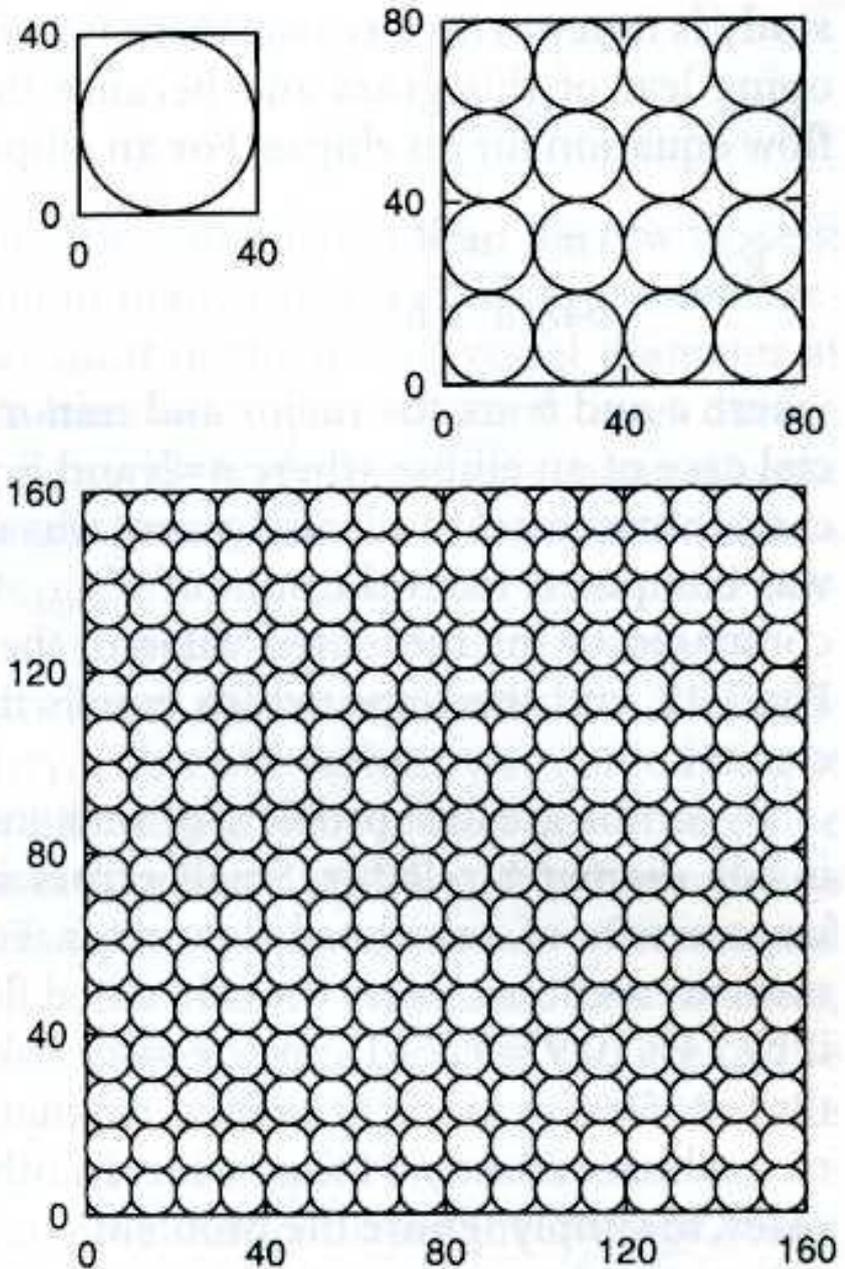
Legge di Hagen-Poiseuille

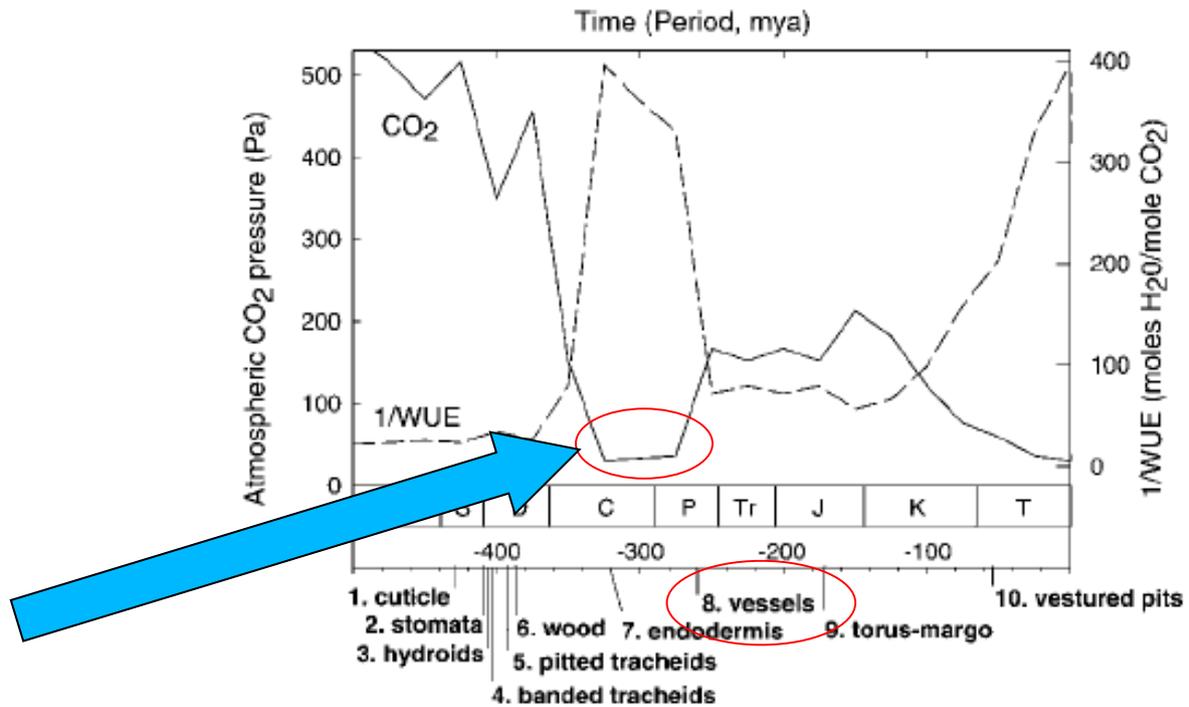
$$\text{Flusso} = \frac{\pi r^4}{8\eta L} \Delta\Psi$$



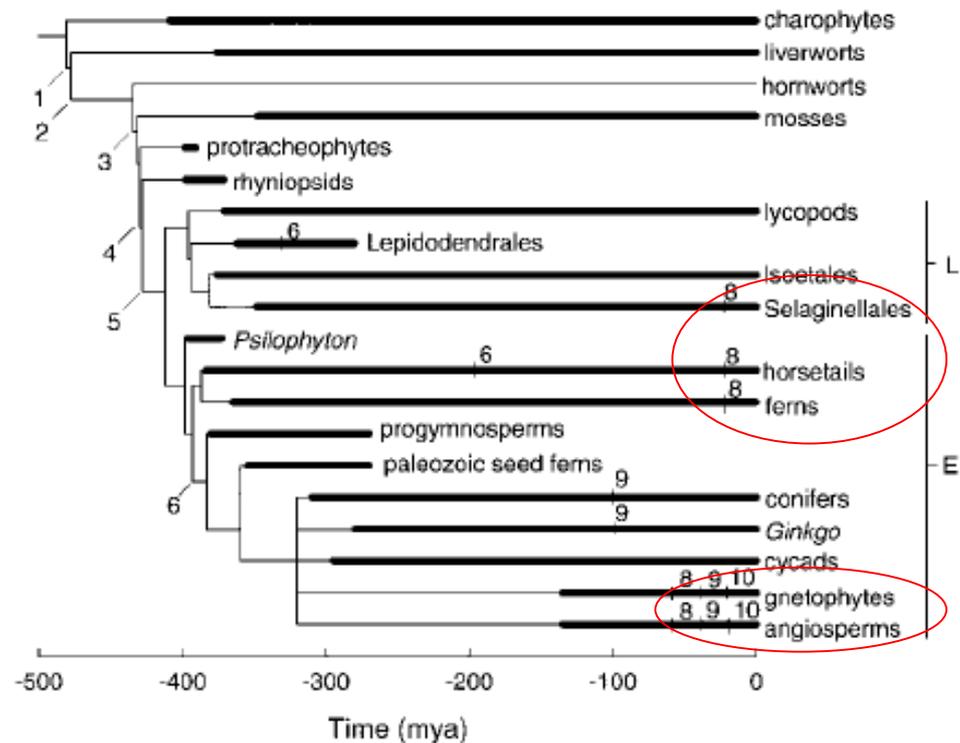
REL. DIAMETER	1	2	4
REL. T. S. AREA	1	4	16
REL. FLOW RATE	1	16	256
% FLOW RATE	0.4	5.9	93.7

Fig. 1.11. Hagen-Poiseuille law prediction of relationship between conduit diameter and conductance. The vessel blocks in A, B, and C have equal conductance, i.e., one vessel 40 μm diameter (A) is as conductive as 16 vessels 20 μm diameter (B), or as conductive as 256 vessels 10 μm diameter (C). Note that more wood cross section is needed to contain many small vessels having a combined conductance of a few large vessels





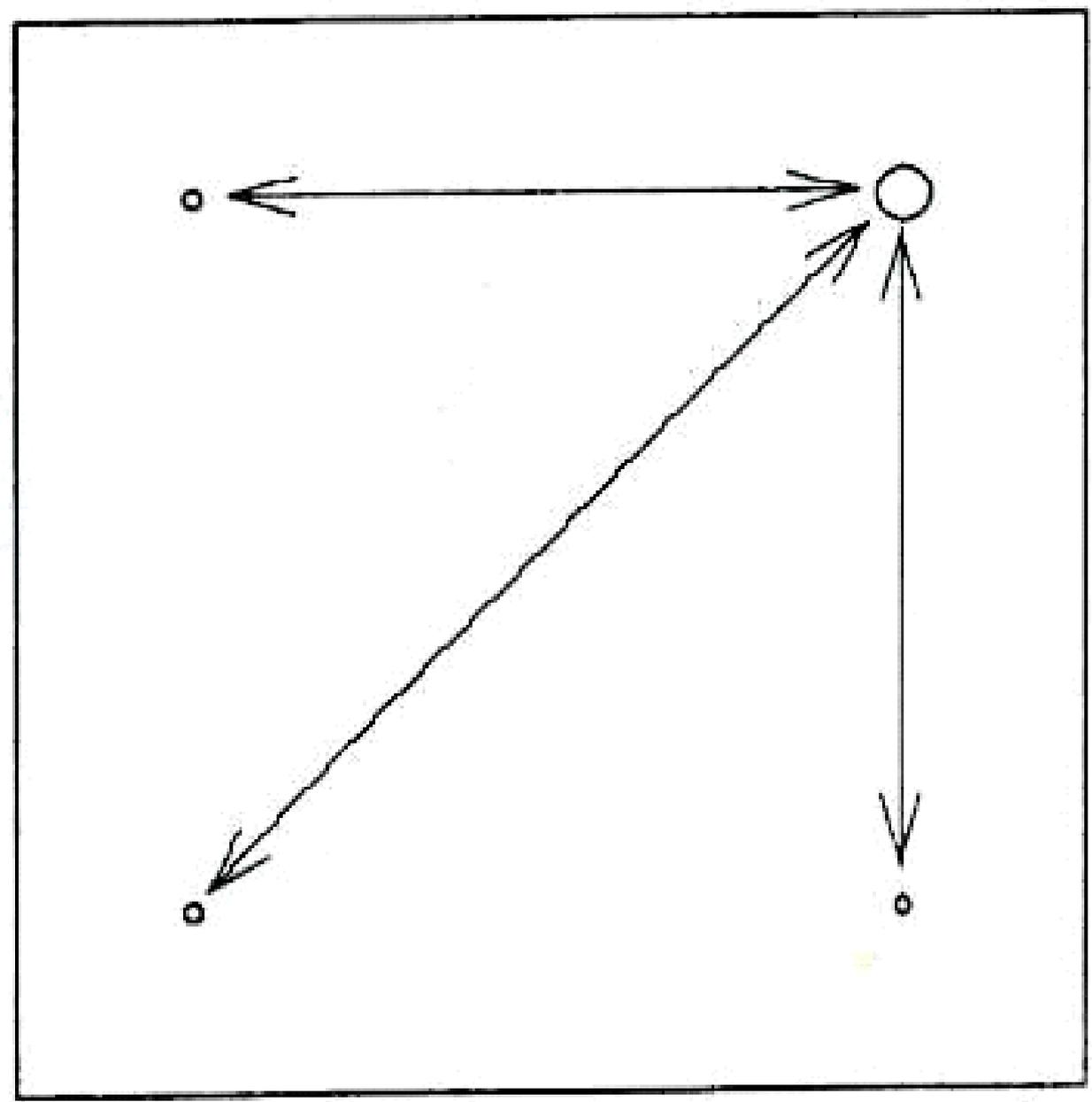
Diminuzione
concentrazione CO₂
atmosferico e successiva
comparsa dei vasi
(aumento efficienza del
trasporto dell'acqua)



tropical

Increasing Temperature ->

alpine/
boreal



xeric

mesic

Increasing Moisture ->

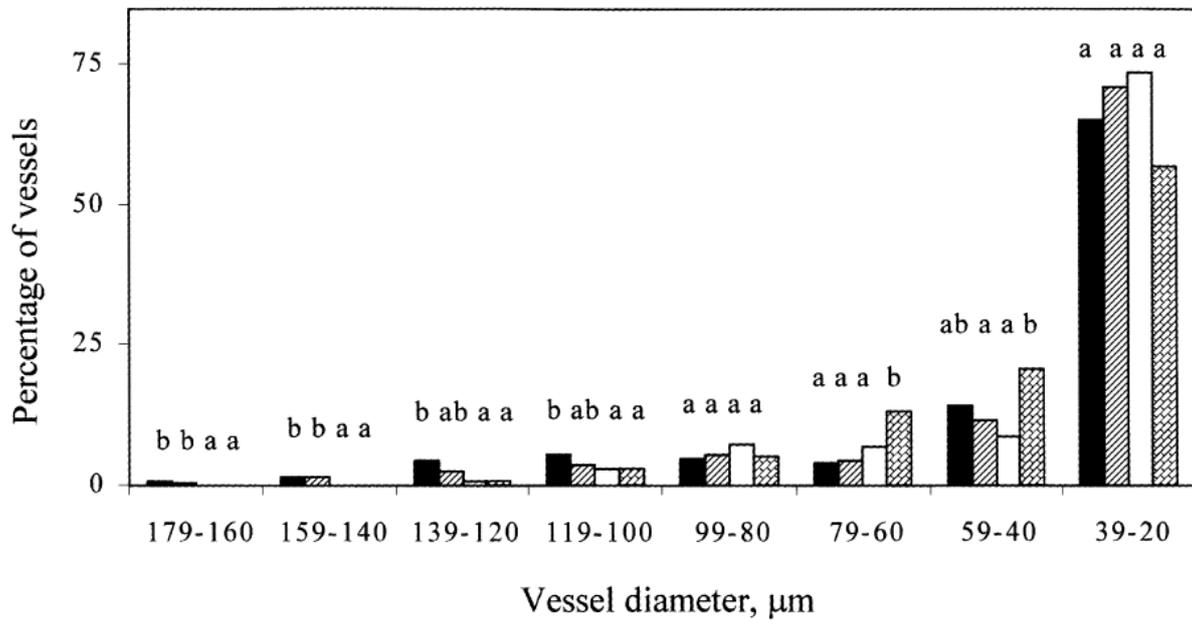
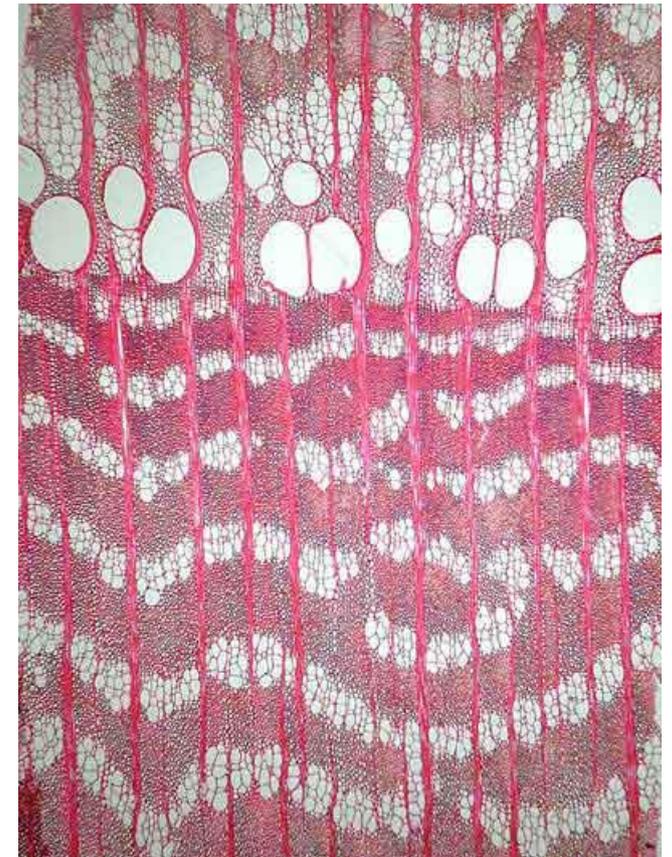
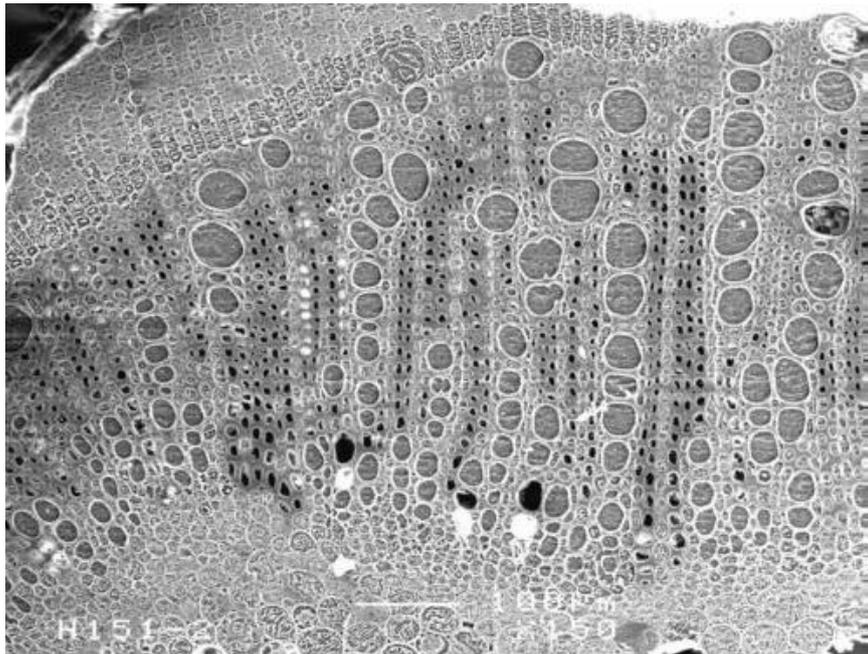
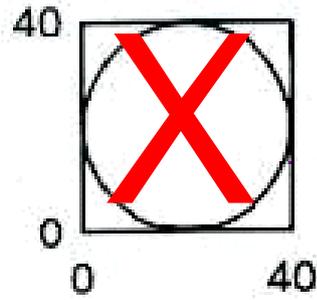


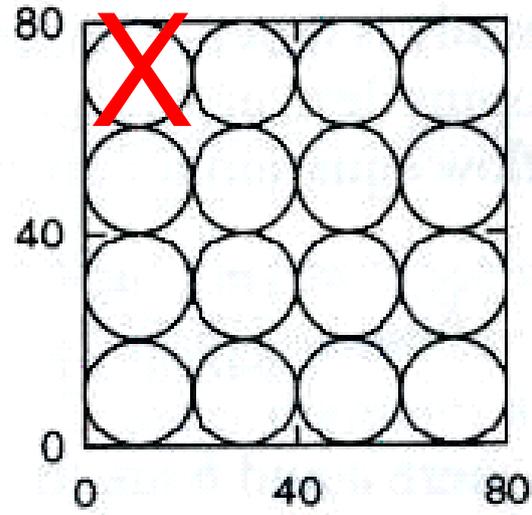
Fig. 1. Distribution of third year ring vessels (in diametric classes of 20 μm) from *U. minor* trees with high (■; n = 3), medium (▨; n = 2) and low (□; n = 2) susceptibility to DED, and from low susceptibility *U. minor* × *U. pumila* trees (▩; n = 2). Groups with a different letter differed significantly ($p \leq 0.05$, LSD)



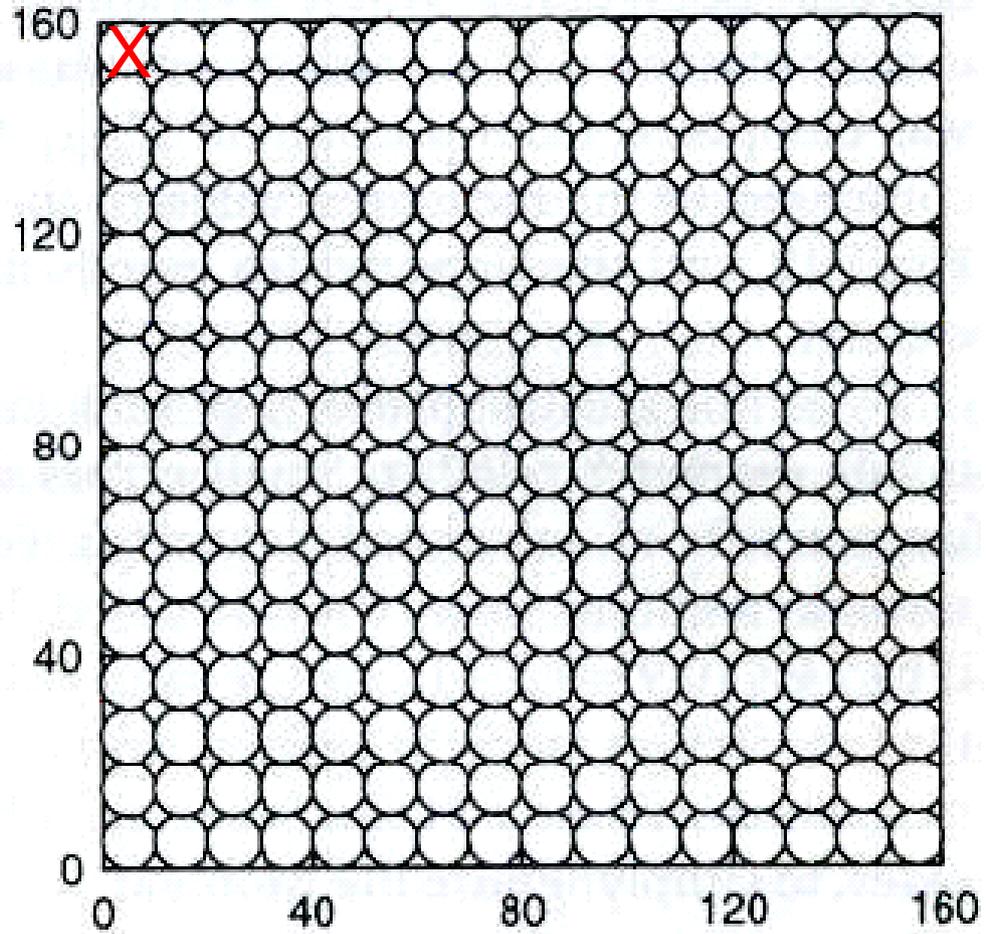
100%



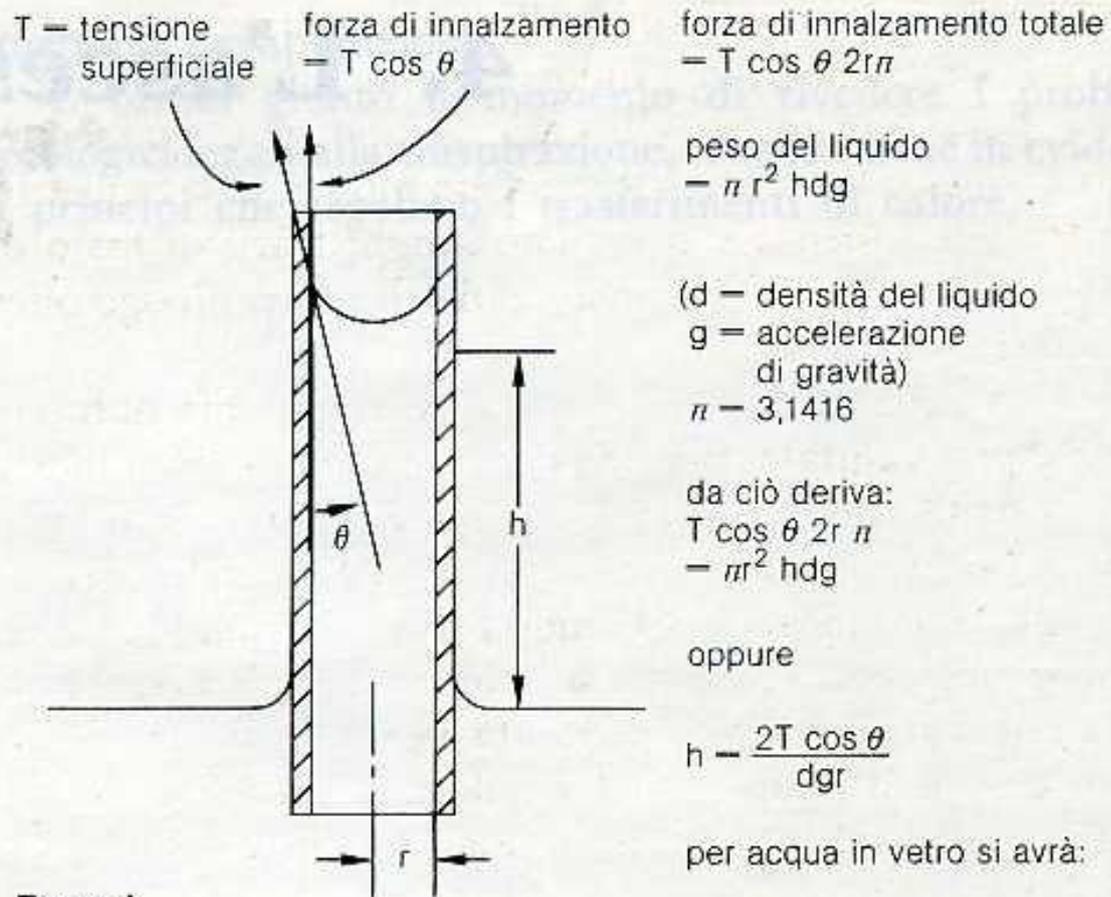
6.25%



0.39%



Come si genera la forza traente necessaria per il trasporto a lunga distanza dell'acqua nelle piante?



Esempi

raggio del capillare (r) cm	micron	altezza cm	(la cellulosa è simile al vetro)
0,0001	1	1 530,0	
0,001	10	153,0	
0,01	100	15,3	
0,1	1 000	1,53	
0,004	40	38,3	tracheide tipica
$5,0 \times 10^{-9}$	0,005	$3,0 \times 10^5 = 3 \text{ km}$	microcapillari della parete cellulare

Il fenomeno della capillarità non può spiegare l'ascesa dell'acqua xilematica ad altezze superiori a 50 cm !!!

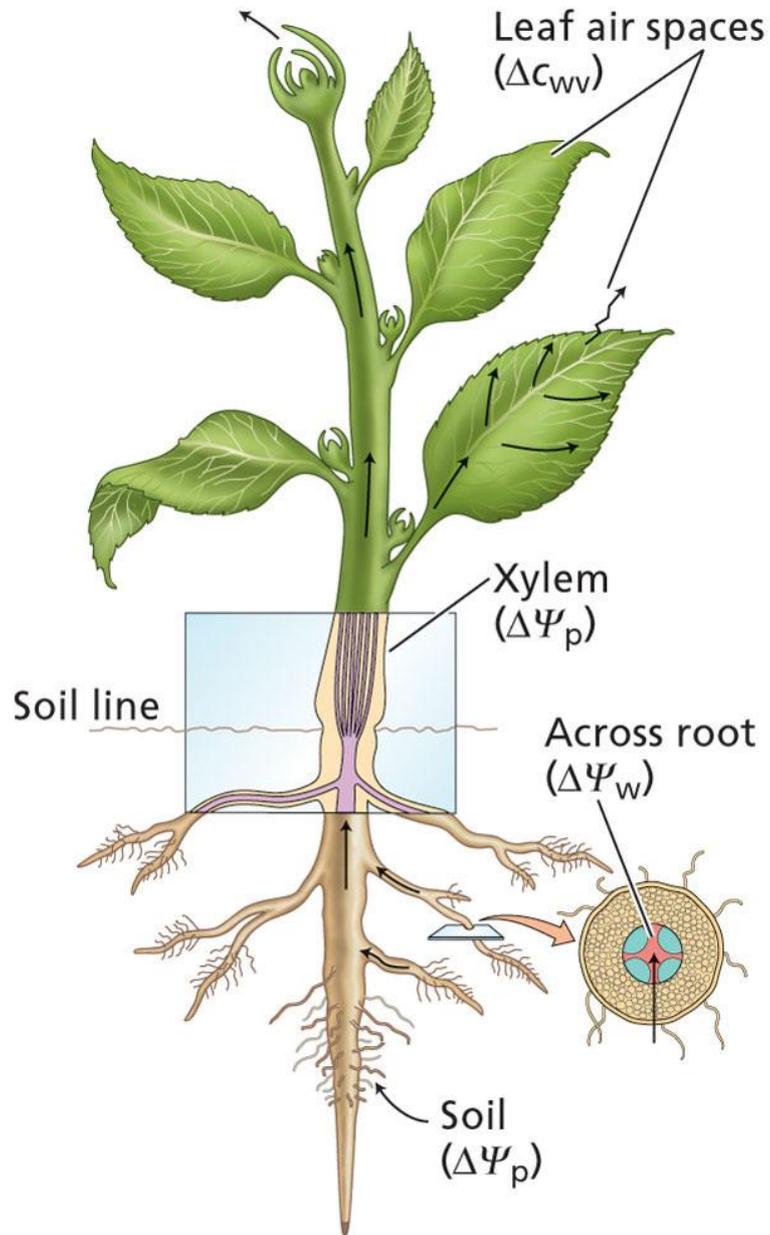
Meccanismi e forze motrici per il trasporto dell'acqua

gradiente di concentrazione del vapor d'acqua nella traspirazione

gradiente di pressione idrostatica nel trasporto a lunga distanza nello xilema

gradiente di potenziale dell'acqua nella radice

gradiente di potenziale dell'acqua nel suolo



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



Direzione del flusso di H₂O

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

$$\Psi_{w_aria} = (RT/V_w) \times \ln (RH/100)$$

Tables 4.1. Relative air humidity (RH) and osmotic potential of a solution (MPa) as the two phases equilibrate in a closed system at 20 °C. (Recomputed from Walter 1931)

% RH	-MPa	% RH	-MPa
100	0	93.0	9.8
99.5	0.67	92.0	11.2
99.0	1.35	91.0	12.6
98.5	2.03	90.0	14.1
98.0	2.72	80.0	30.1
97.5	3.41	70.0	48.1
97.0	4.10	60.0	68.7
96.0	5.50	50.0	93.3
95.0	6.91	0	∞
94.0	8.32		

Ascesa dell'acqua

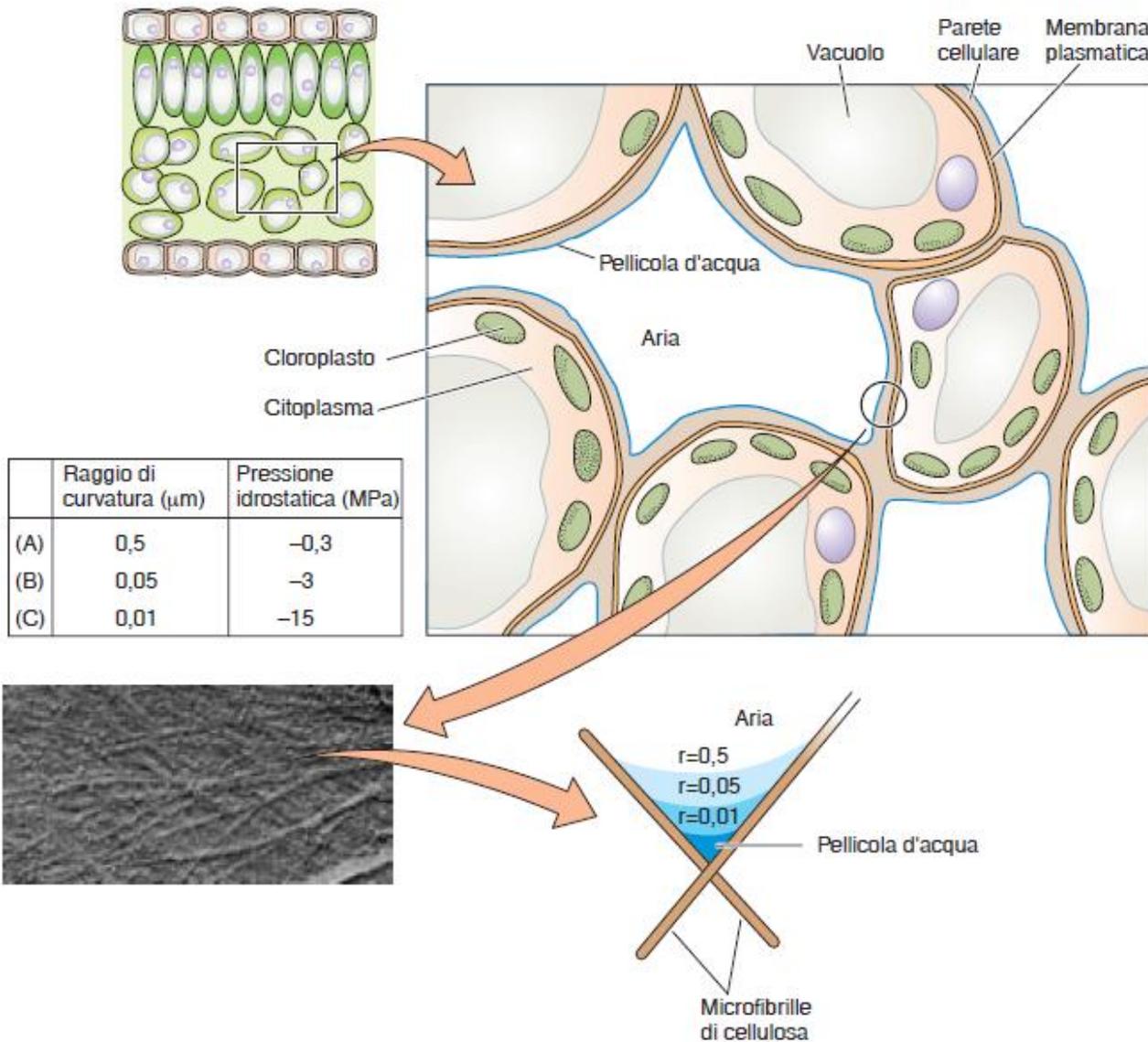
Teoria della Tensione-Coesione

1. L'acqua ha un'elevata forza di coesione
2. L'acqua nella pianta forma un sistema continuo attraverso le pareti cellulari e gli elementi xilematici
3. L'evaporazione dell'acqua dalle cellule del mesofillo fogliare determina una diminuzione del potenziale dell'acqua, che a sua volta causa una riduzione del potenziale dell'acqua dello xilema e produce una tensione (= pressione idrostatica negativa) nel sistema idraulico della pianta
4. La riduzione di potenziale dell'acqua a livello della foglia viene così trasmessa alle radici, dove determina l'ingresso di acqua dal suolo alla radice

Non c'è dispendio energetico diretto da parte della pianta!

L'energia per il trasporto dell'acqua viene in definitiva fornita dal sole, che riscaldando l'aria determina una diminuzione di RH, e riscaldando la foglia contribuisce alla perdita di acqua per evaporazione





Equazione di Young-Laplace

$$\Psi_p = -2T/r$$

$T = 7.28 \times 10^{-8} \text{ MPa m}$
(tensione superficiale dell'acqua)

r = raggio di curvatura dell'acqua negli interstizi della parete cellulare all'interfaccia aria-acqua

$$r = 0.5 \mu\text{m} \rightarrow \Psi_p = -0.3 \text{ MPa}$$

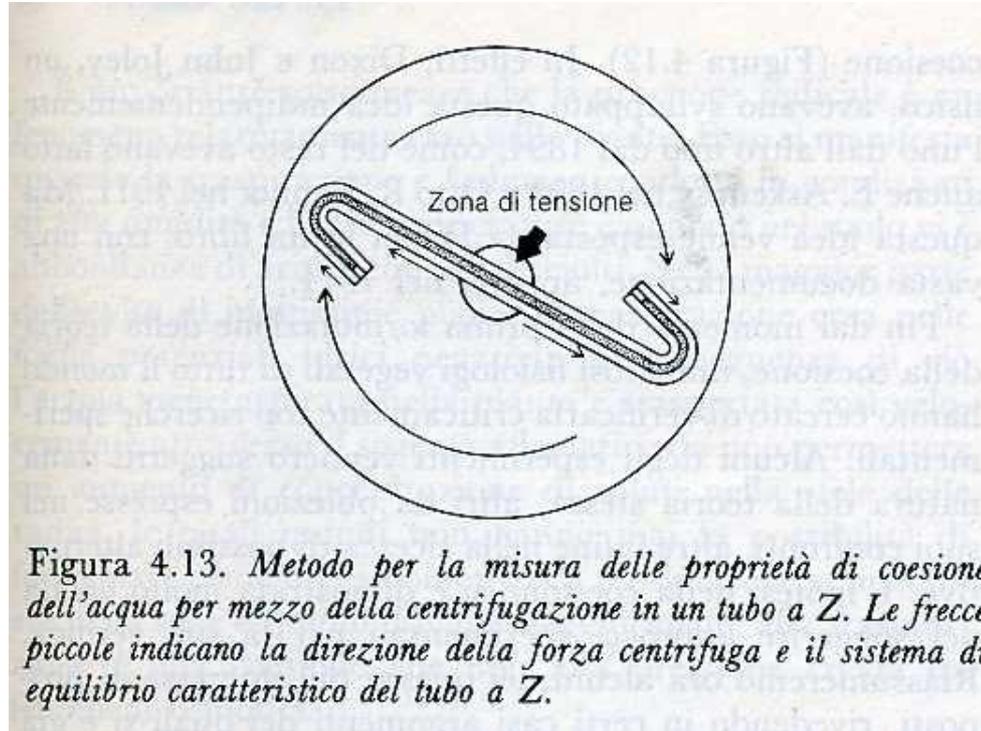
$$r = 0.05 \mu\text{m} \rightarrow \Psi_p = -3.0 \text{ MPa}$$

Figura 4.9 La forza motrice per il movimento dell'acqua attraverso la pianta ha origine nelle foglie. Man mano che l'acqua evapora dalla pellicola superficiale che copre le pareti cellulari del mesofillo, essa si ritira negli interstizi della parete cellulare. Poiché la cellulosa è idrofila (angolo di contatto = 0°) le forze che risultano dalla tensione superficiale portano alla pressione negativa della fase liquida. Come il raggio di curvatura di questa interfaccia aria:acqua diminuisce la pressione idrostatica diventa più negativa, come si può calcolare dall'Equazione 4.1. (Micrografia di Gunning e Steer 1966).

La traspirazione genera pressioni idrostatiche negative che si trasmettono dalle foglie alle radici lungo lo xilema

Prove a supporto della teoria della tensione-coesione:

1- L'acqua possiede una sufficiente forza di coesione per resistere alle tensioni necessarie per il trasporto a lunga distanza?

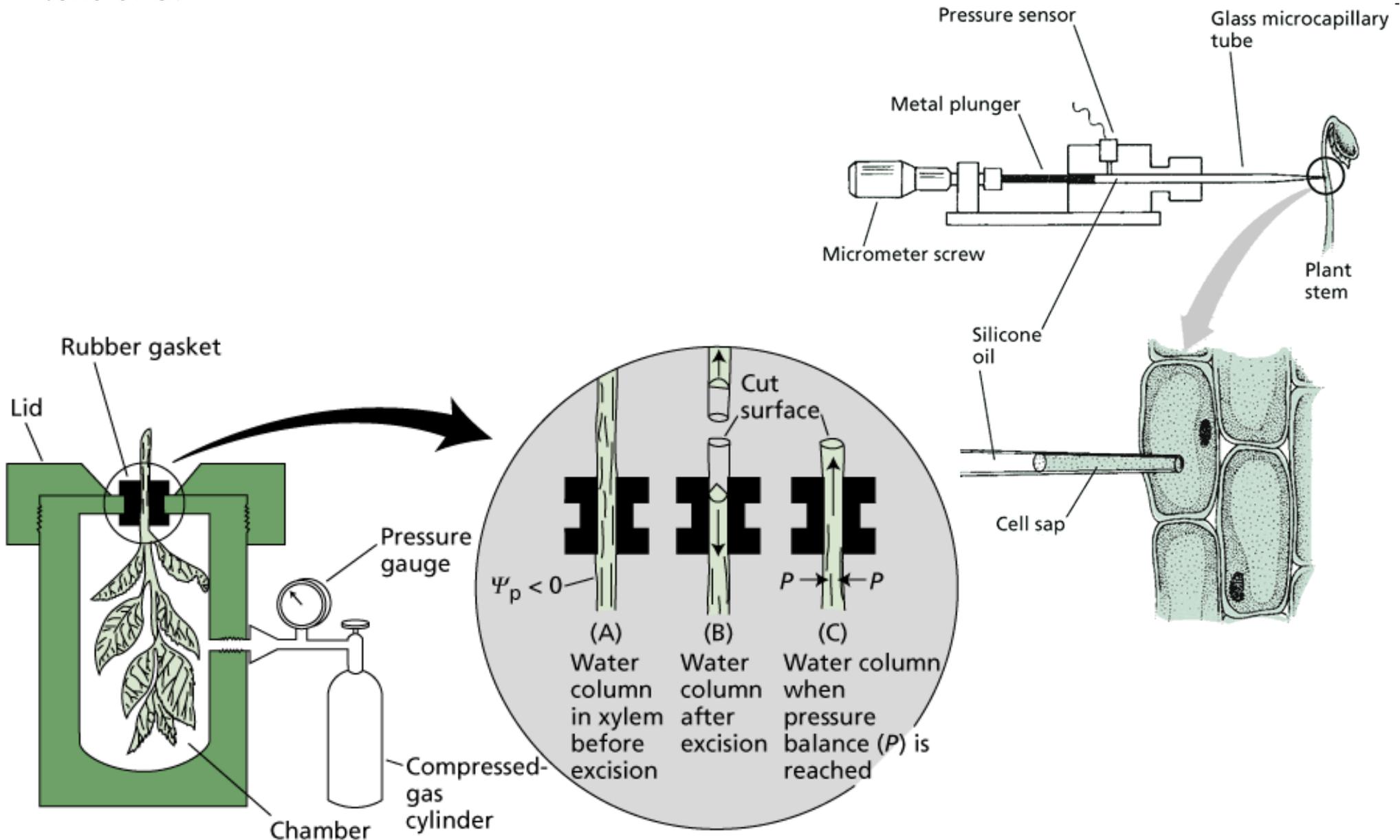


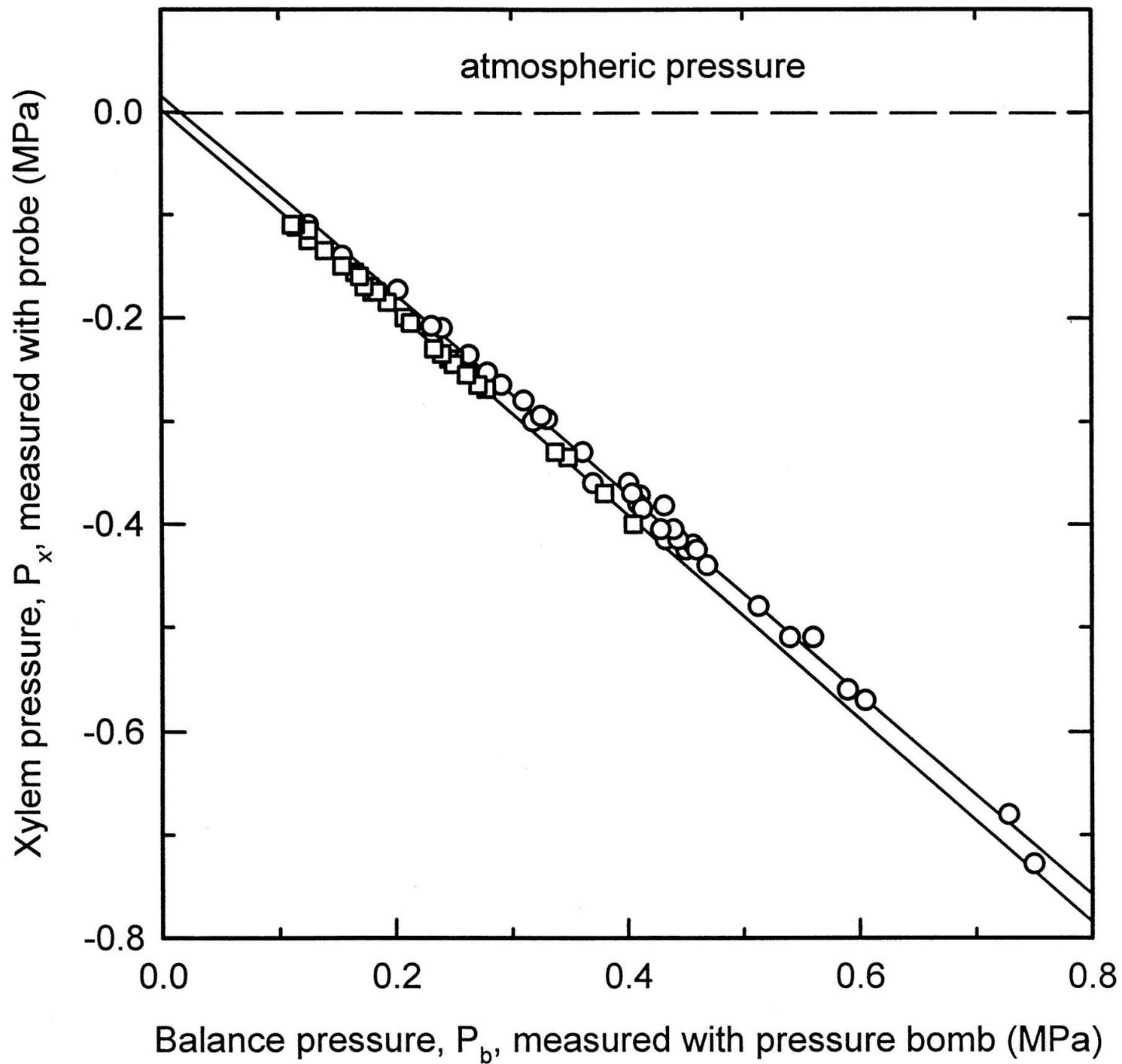
Capillari sottili: forza di tensione pari a -26.5 MPa

Tubi con diametro di 0.5 mm (= 500 μ m): forza di tensione pari a -2.0 MPa

Prove a supporto della teoria della tensione-coesione:

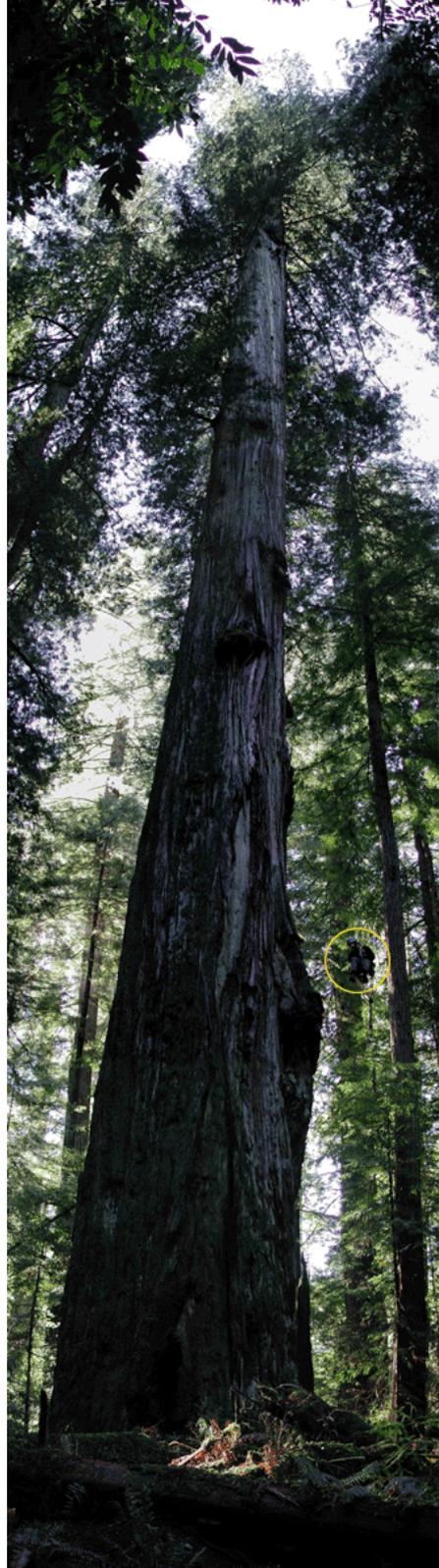
2- L'acqua nei vasi xilematici delle piante si trova effettivamente in uno stato di tensione?





Prove a supporto della teoria della tensione-coesione:

3- Se la teoria della tensione-coesione è vera, allora possiamo ipotizzare che il potenziale dell'acqua sia progressivamente più negativo mano a mano che aumenta l'altezza del punto di misura in un grande albero (compensazione dell'effetto gravitazionale). In particolare, ci si attende un gradiente di almeno 0.01 MPa m^{-1} (cioè variazioni di 0.1 MPa ogni 10 m di altezza).



(a)

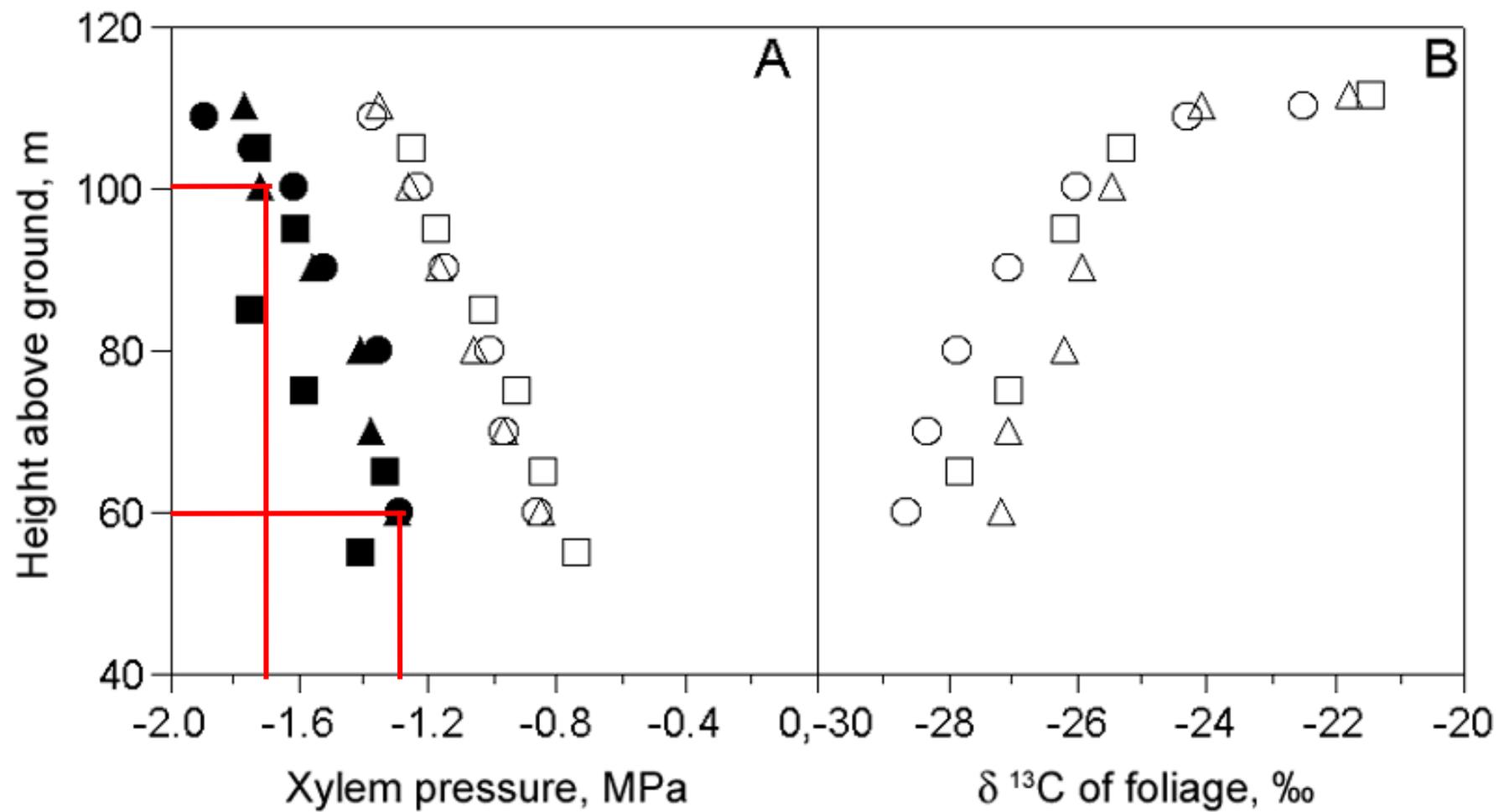


(b)



(c)





Da 60 a 100 m ($\Delta h = 40$ m), Ψ varia di 0.4 MPa (cioè 0.1 MPa ogni 10 m, come previsto dalla teoria)

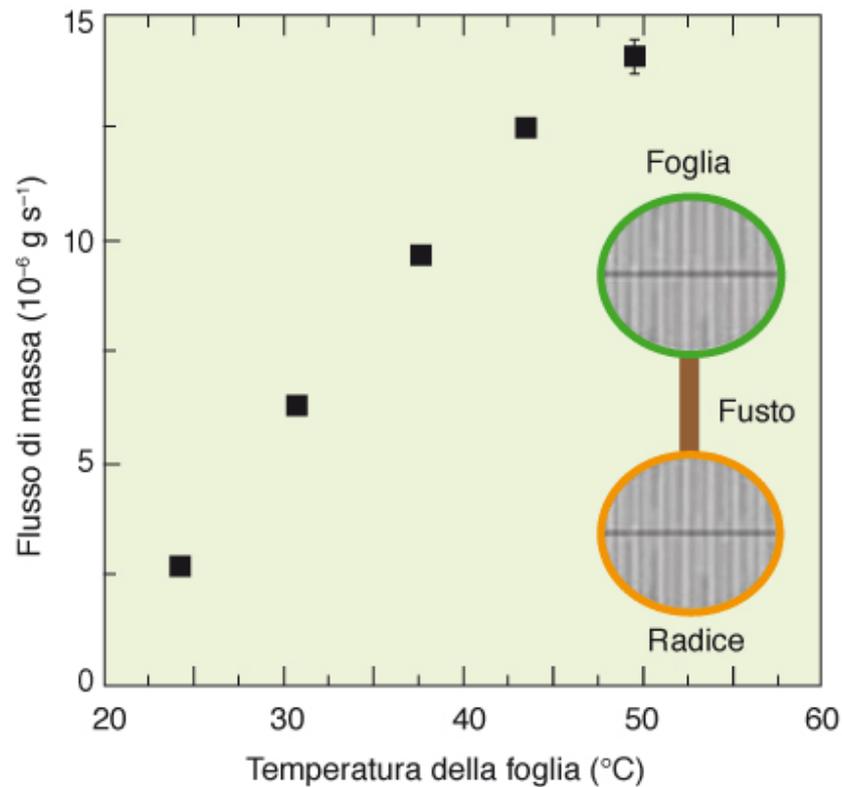


Figura S2.2C Un esempio di "albero sintetico", realizzato con due fogli di materiale polimerico microporoso collegati da un microcapillare. Riscaldando la "foglia", l'evaporazione dell'acqua genera pressioni negative (tensione) che si propagano al "fusto" e alla "radice", permettendo quindi l'assorbimento di acqua e il suo trasporto attraverso l'albero sintetico.

Tree-Inspired Design for High-Efficiency Water Extraction

<http://www.advmat.de>

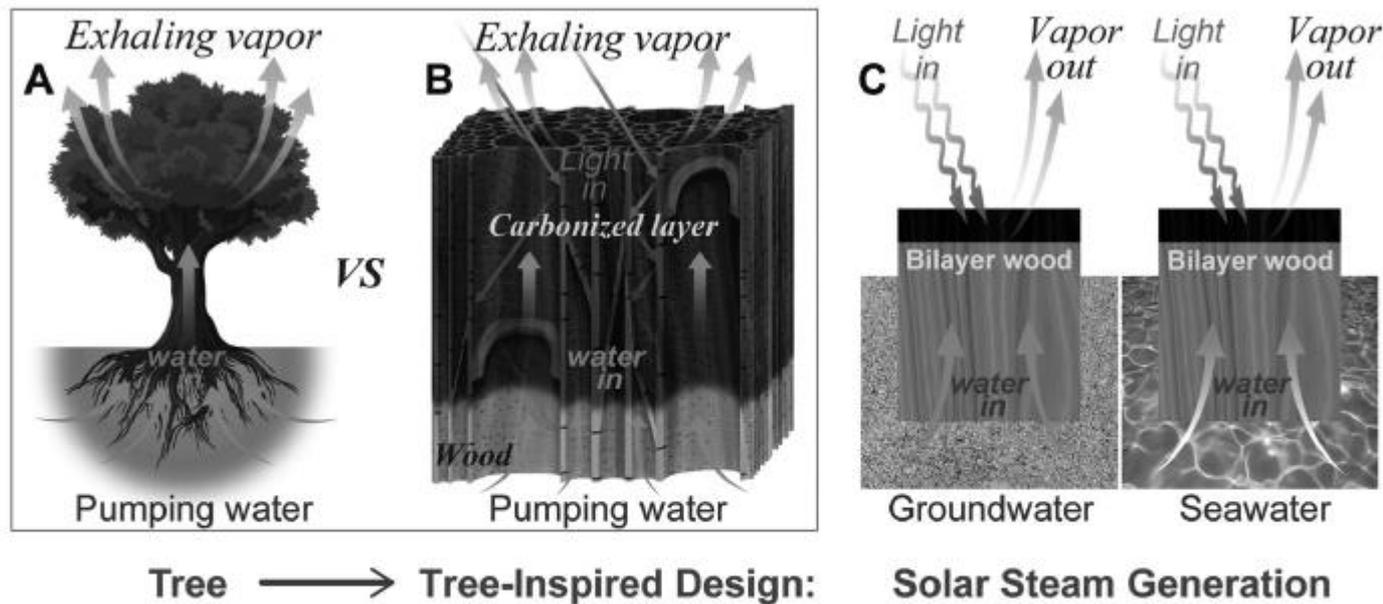
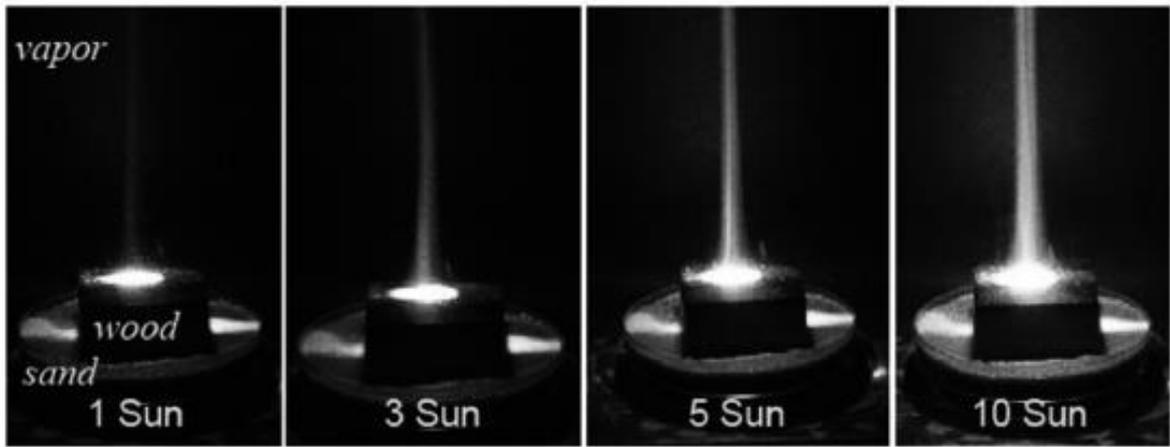
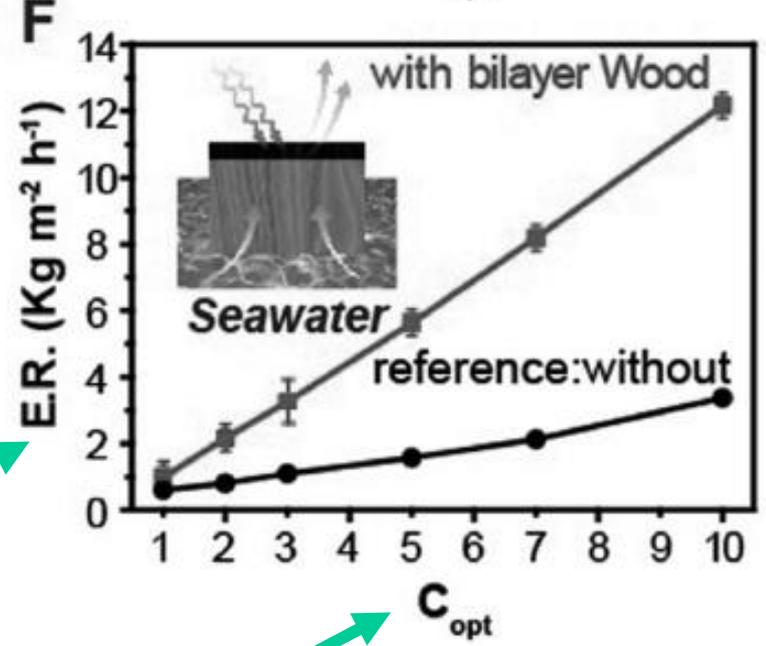
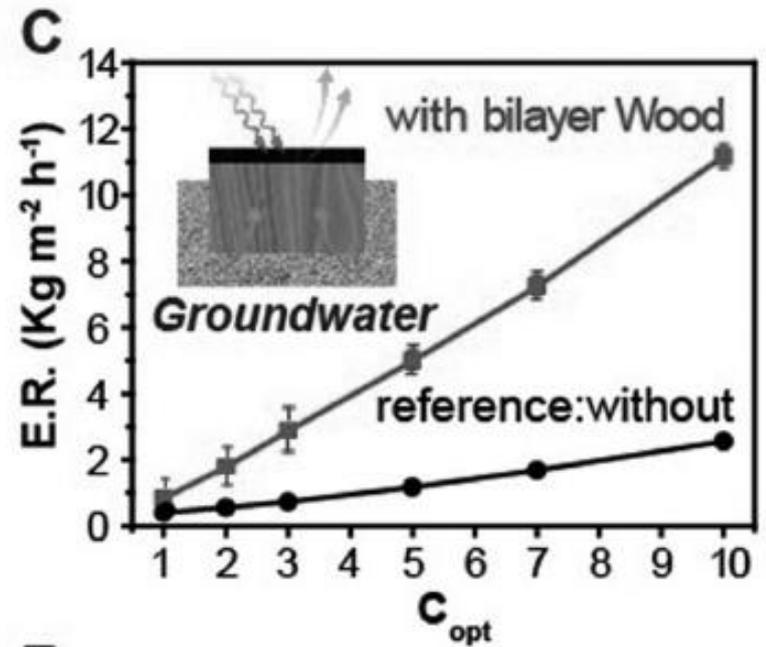


Figure 1. Schematic demonstrating the working principle of bilayer wood as an inexpensive, scalable, and efficient solar-driven water desalination material. A) Schematic of a tree pumping water from the ground to the treetop to sustain photosynthesis. B) Illustration of the tree-inspired design using a bilayer wood structure. The top carbonized portion acts as an efficient 3D light absorber layer while the pristine wood portion is hydrophilic, which promotes rapid water transport for continuous solar steam operation. Note that the wood is cut perpendicular to the growth direction so that the natural wood channels are preserved. C) Water extraction capabilities of the bilayer wood with different media: groundwater (from sand or soil) and seawater. The bilayer structure provides an efficient means of steam generation by solar-driven desalination.

A



Tasso di evaporazione



Intensità della radiazione incidente (kW m⁻²)