

Ascesa dell'acqua

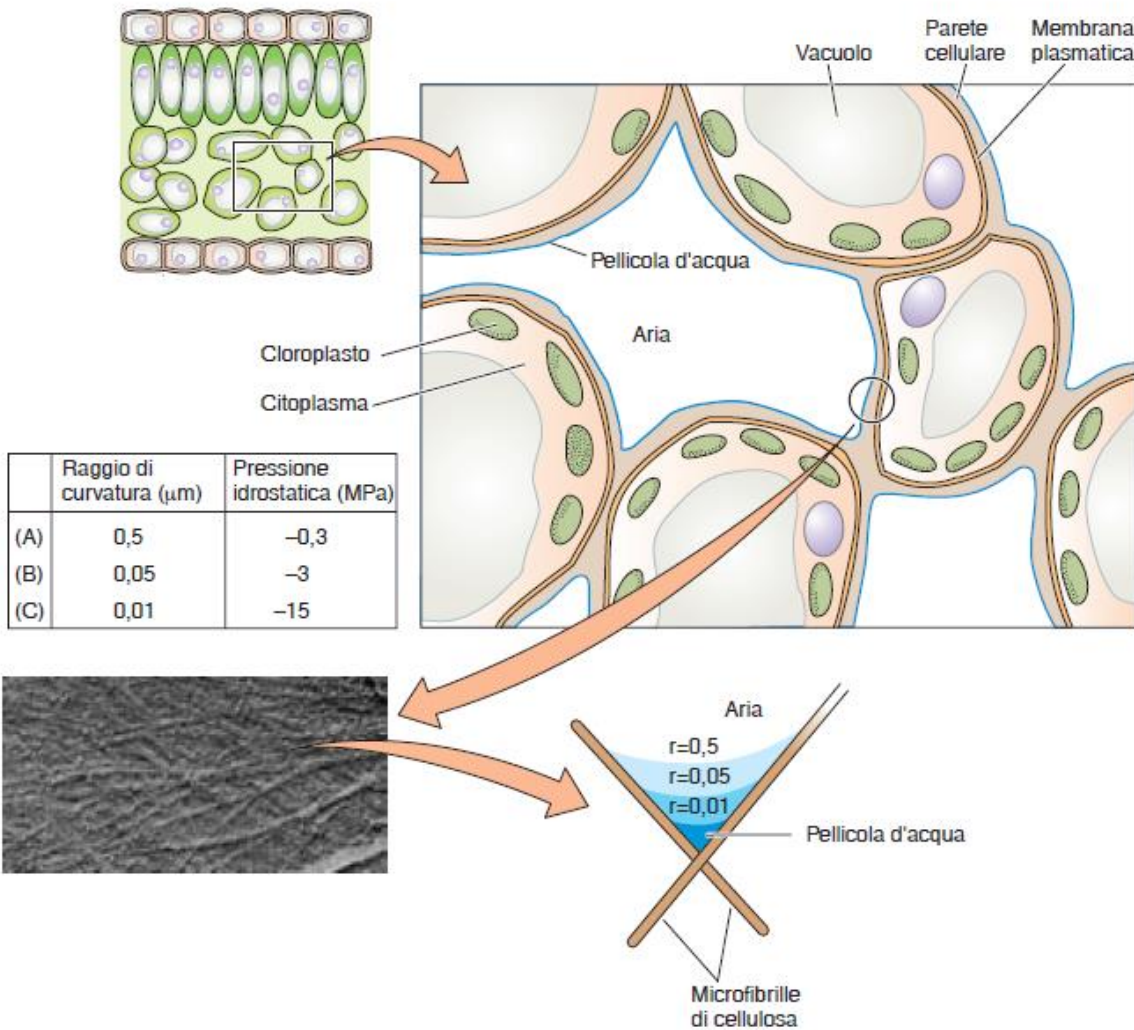
Teoria della Tensione-Coesione

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

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

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

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

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

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

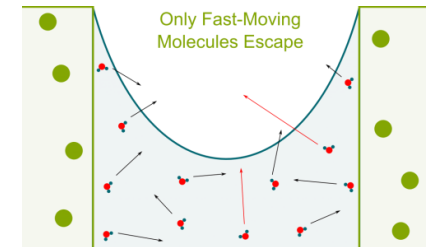
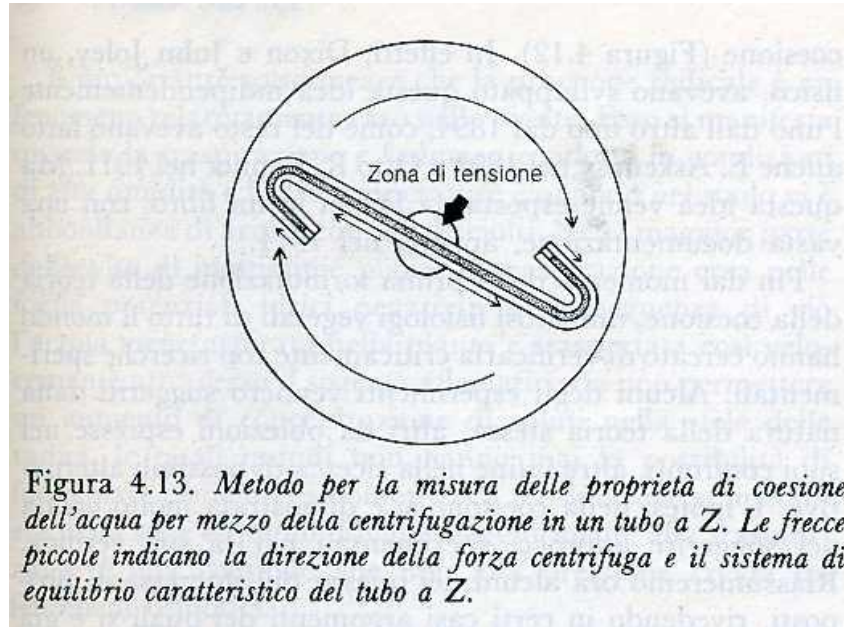


Figura 4.9 La forza motrice per il movimento dell'acqua attraverso la pianta ha origine nelle foglie. Man mano che l'acqua evapora dalla pellicola superficiale che copre le pareti cellulari del mesofillo, essa si ritira negli interstizi della parete cellulare. Poiché la cellulosa è idrofila (angolo di 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?

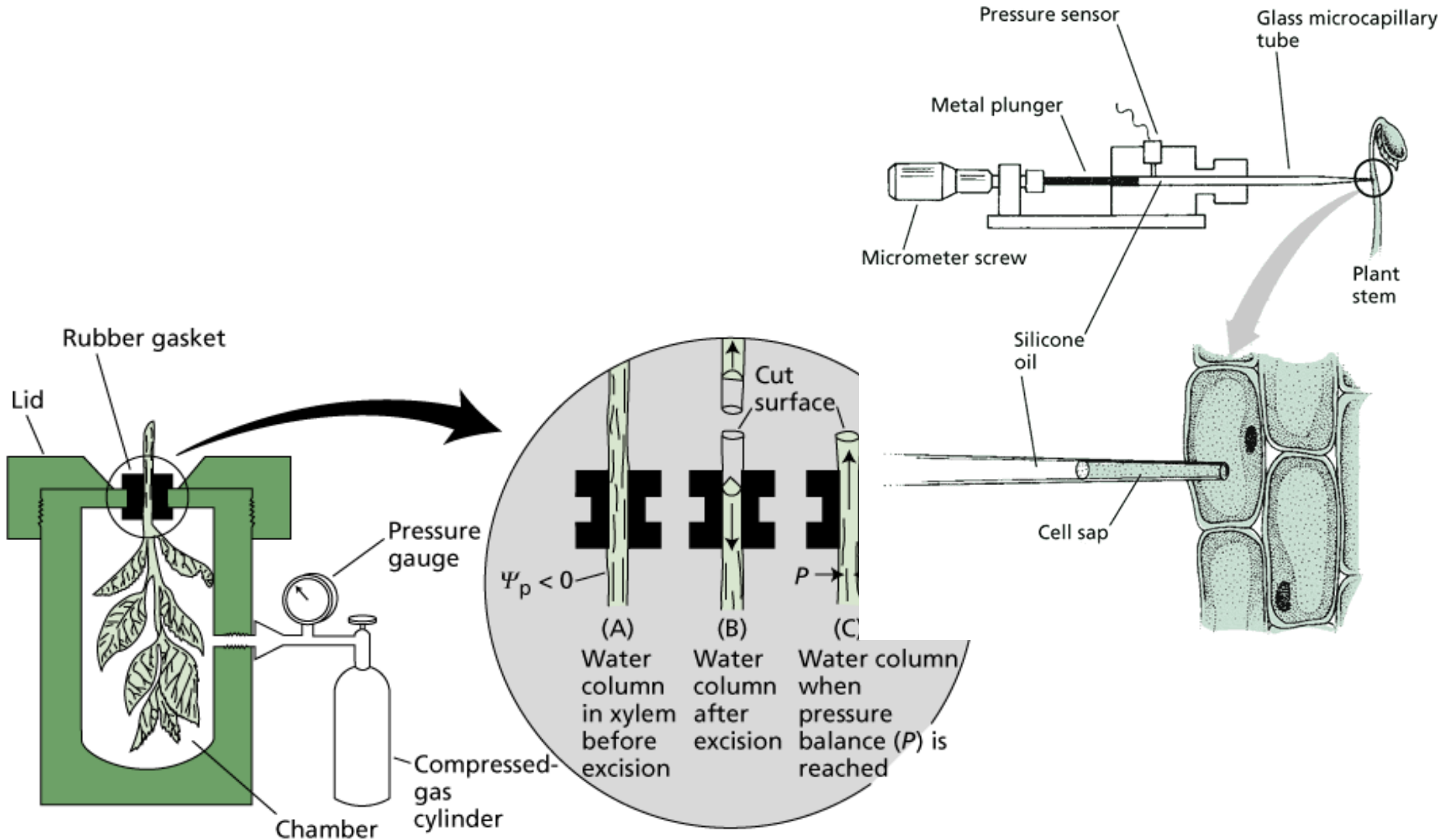


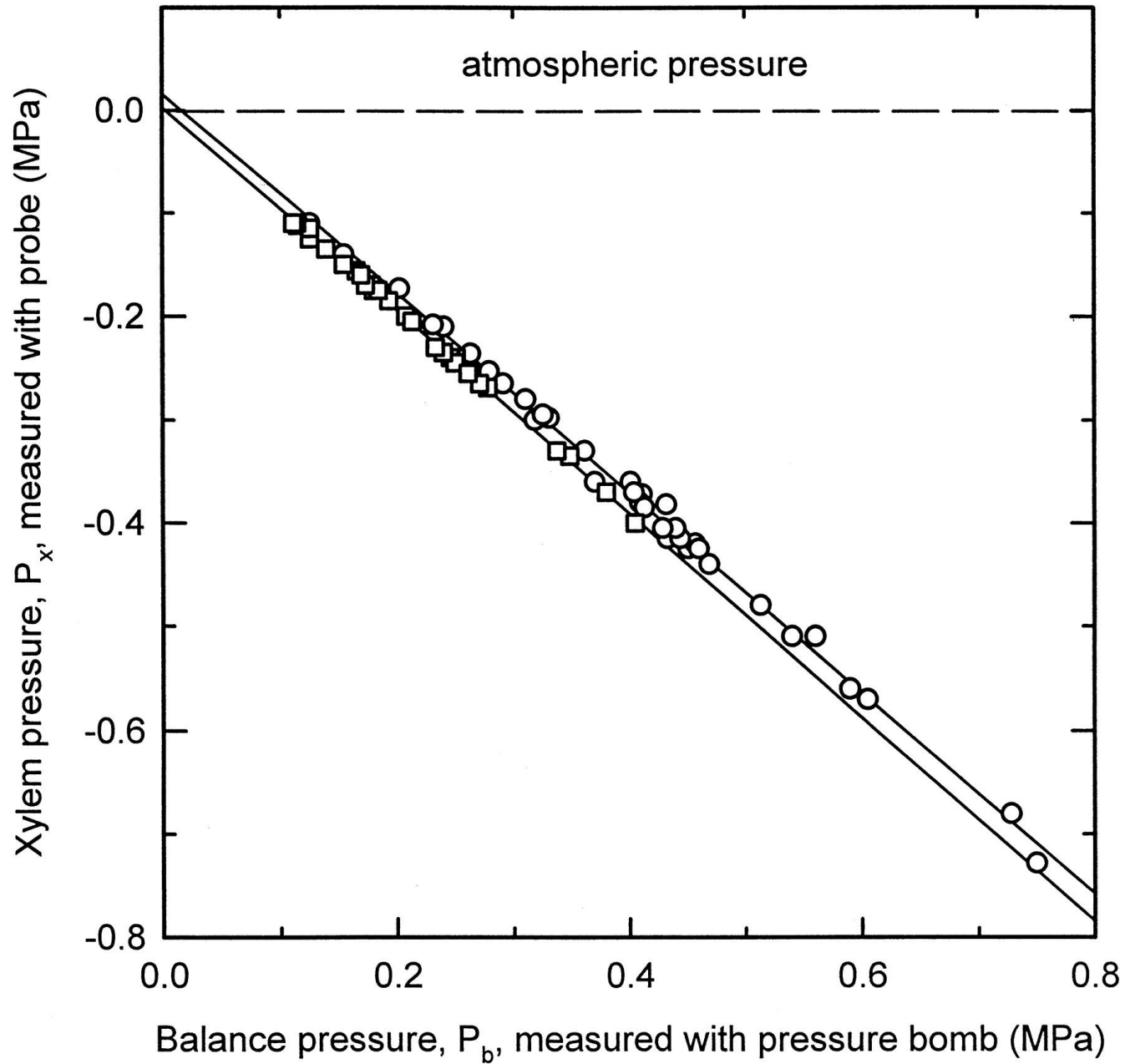
Capillari sottili: forza di tensione pari a -26.5 MPa

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

Prove a supporto della teoria della tensione-coesione:

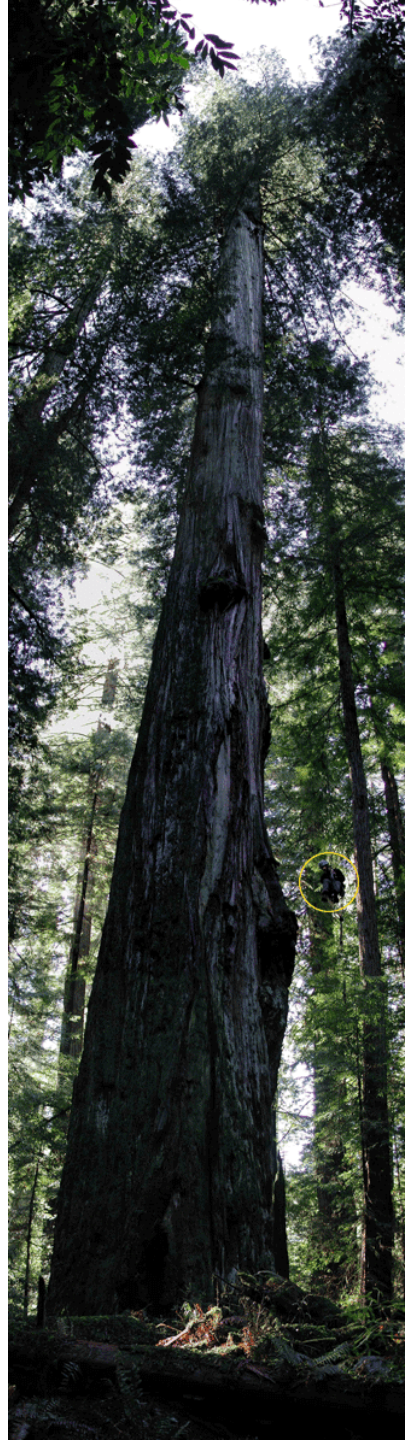
2- L'acqua nei vasi xilematici delle piante si trova effettivamente in uno stato di tensione?





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)

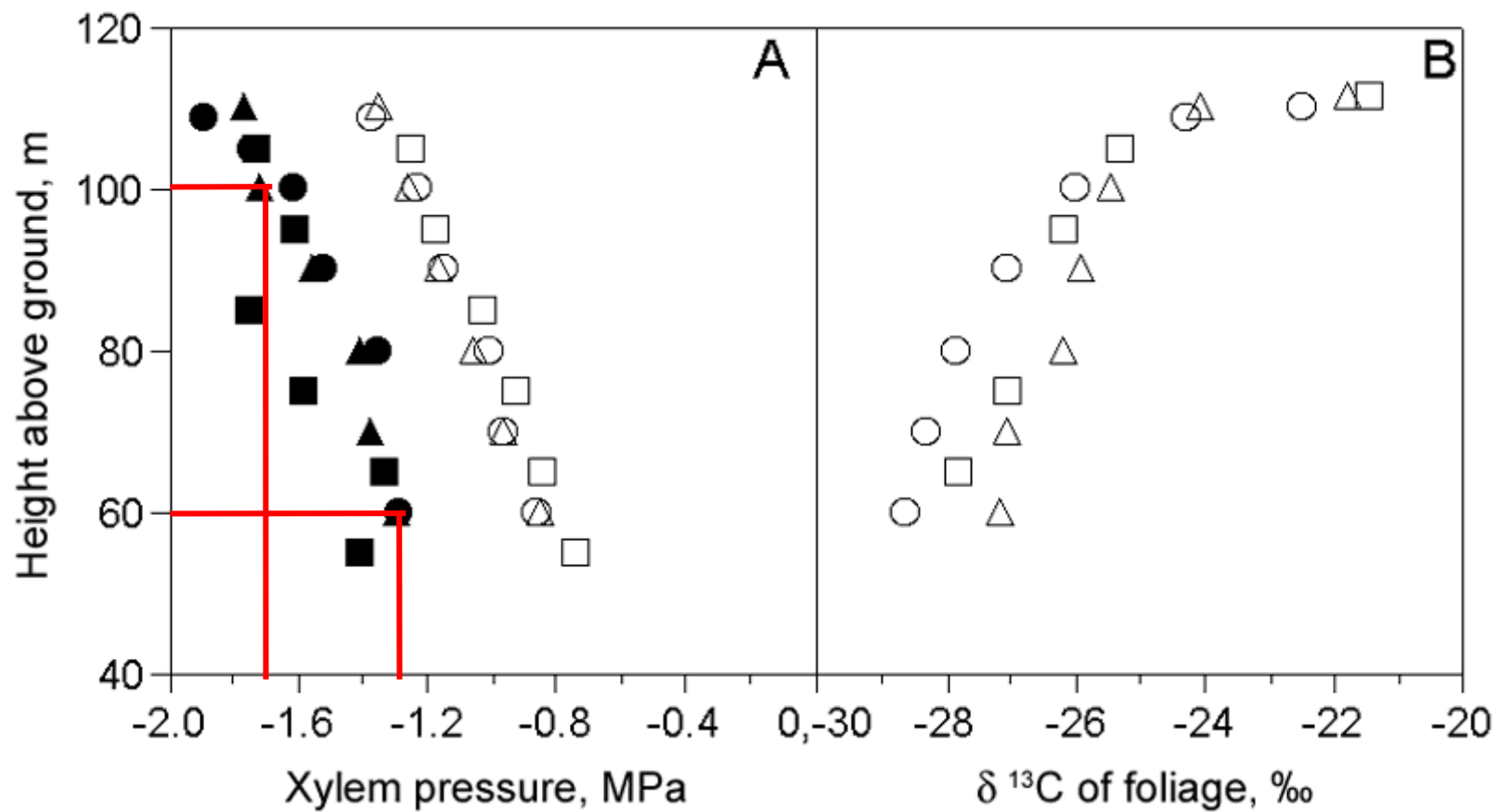


(b)



(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)

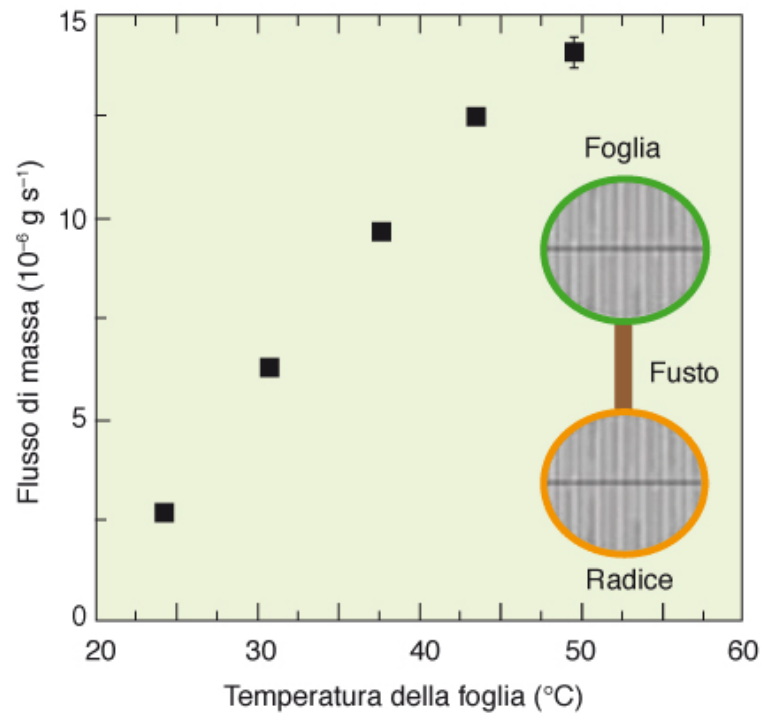


Figura S2.2C Un esempio di "albero sintetico", realizzato con due fogli di materiale polimerico microporoso collegati da un microcapillare. Riscaldando la "foglia", l'evaporazione dell'acqua genera pressioni negative (tensione) che si propagano al "fusto" e alla "radice", permettendo quindi l'assorbimento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

Tree-Inspired Design for High-Efficiency Water Extraction

<http://www.advmat.de>

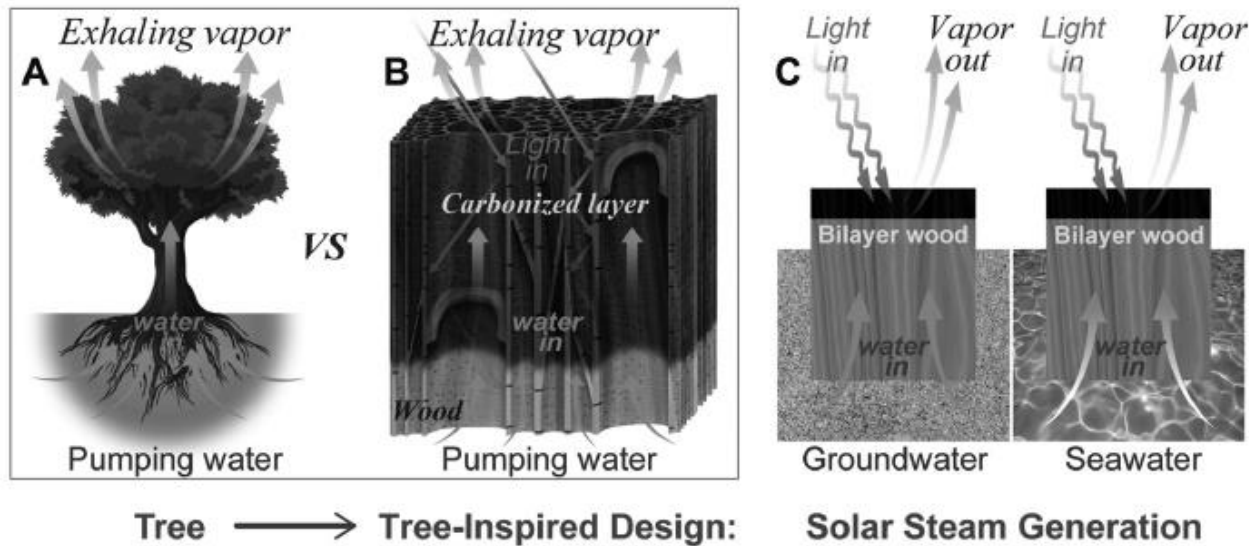
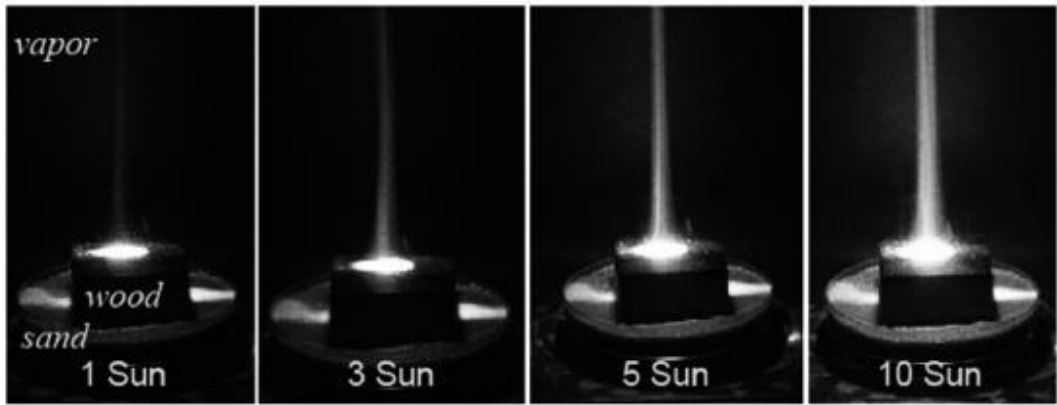
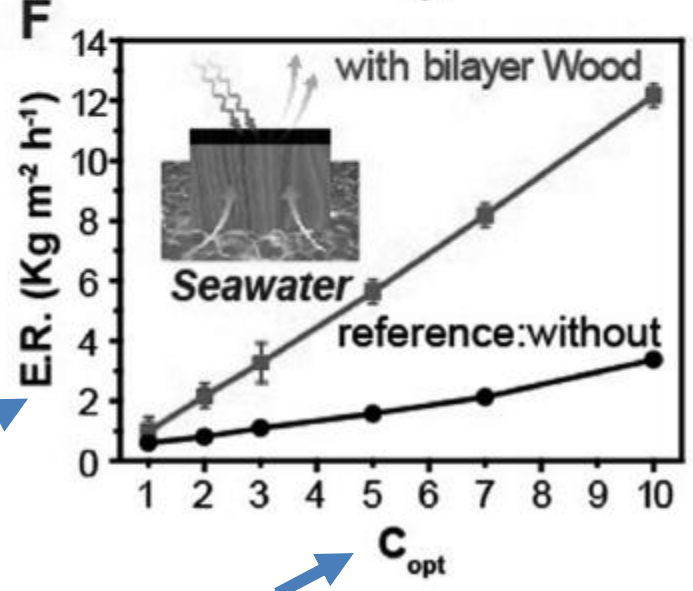
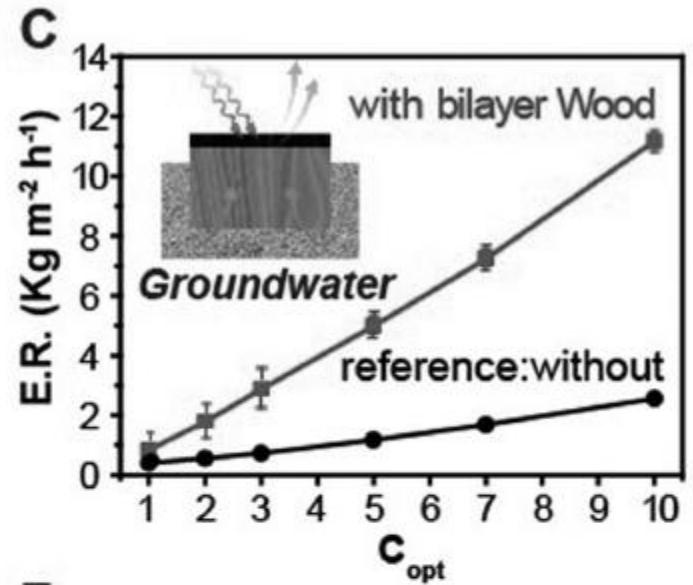


Figure 1. Schematic demonstrating the working principle of bilayer wood as an inexpensive, scalable, and efficient solar-driven water desalination material. A) Schematic of a tree pumping water from the ground to the treetop to sustain photosynthesis. B) Illustration of the tree-inspired design using 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)

Embolia xilematica: cause e conseguenze

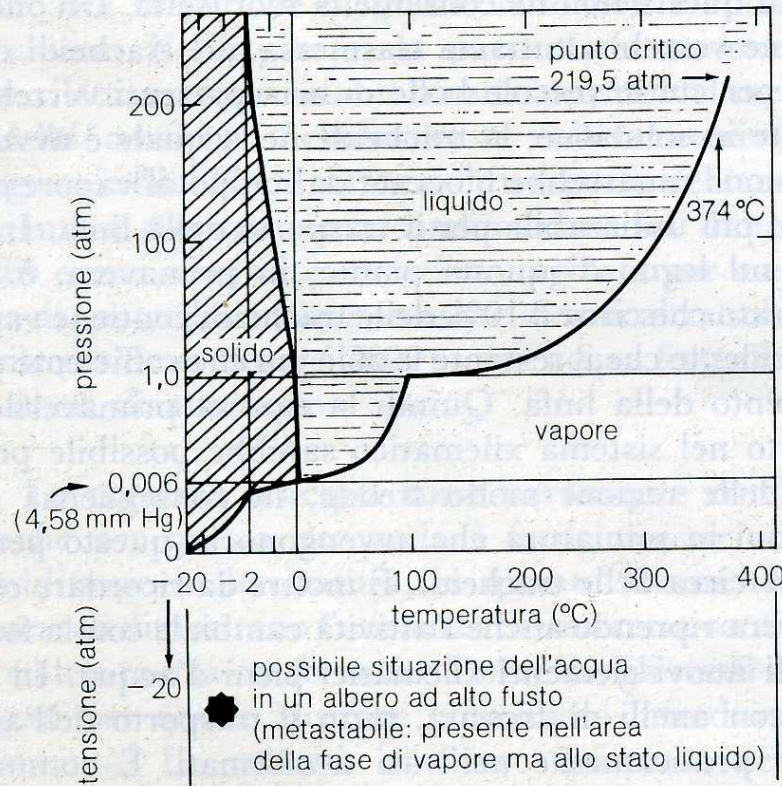


Figura 4.15. *Diagramma di fase dell'acqua. Le scale sono state modificate in modo rilevante per poter mettere meglio in evidenza la forma delle curve in corrispondenza a valori di temperatura intorno a 0°C e a temperature e pressioni molto elevate. È da rilevare che le pressioni negative devono produrre sempre alla fine acqua allo stato di vapore, condizione nella quale non possono essere mantenute pressioni negative. Ciononostante l'acqua si trova nelle piante sotto tensione.*

L'acqua nella linfa xilematica è in uno stato metastabile, grazie all'assenza di siti di nucleazione



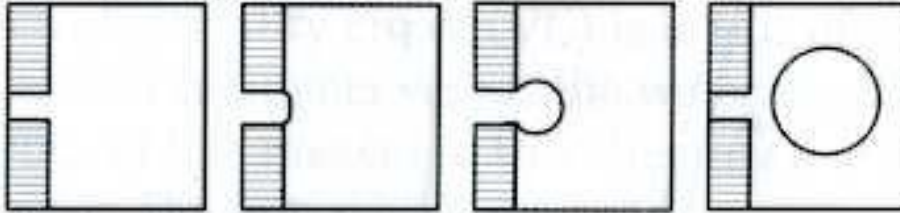
«Supercooling»
dell'acqua: quando pura e
priva di siti di nucleazione
(e.g. bolle d'aria), può
permanere in fase liquida
fino a -48°C



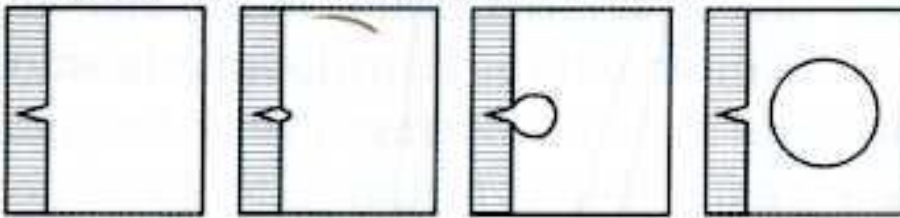
INCREASING TENSION →

▨ WALL □ AIR □ WATER

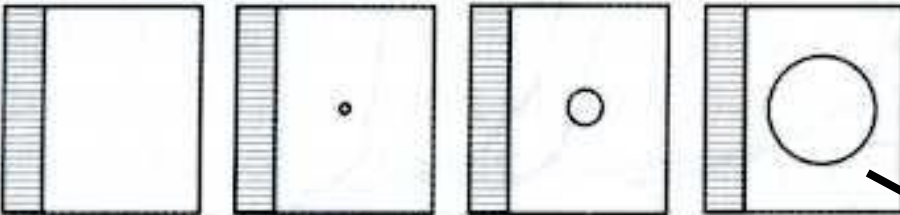
Air Seeding through pore



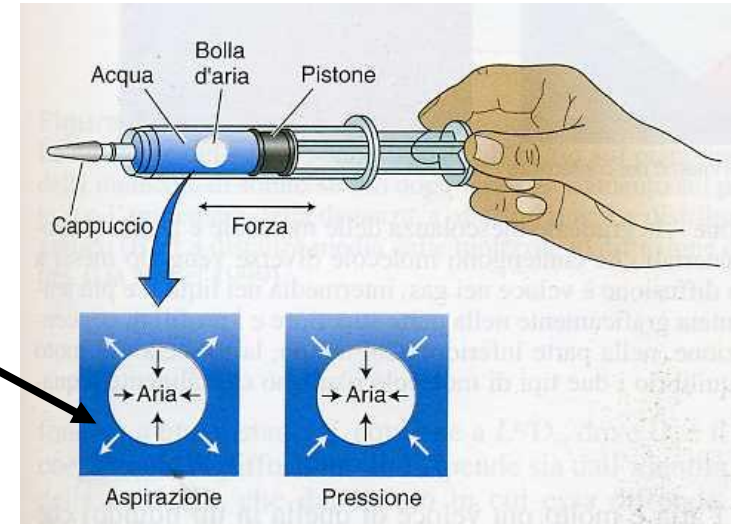
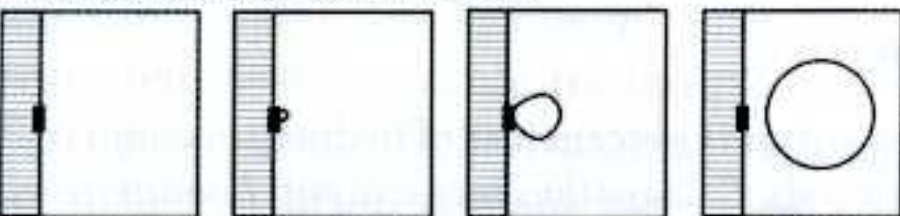
Air Seeding through hydrophobic crack

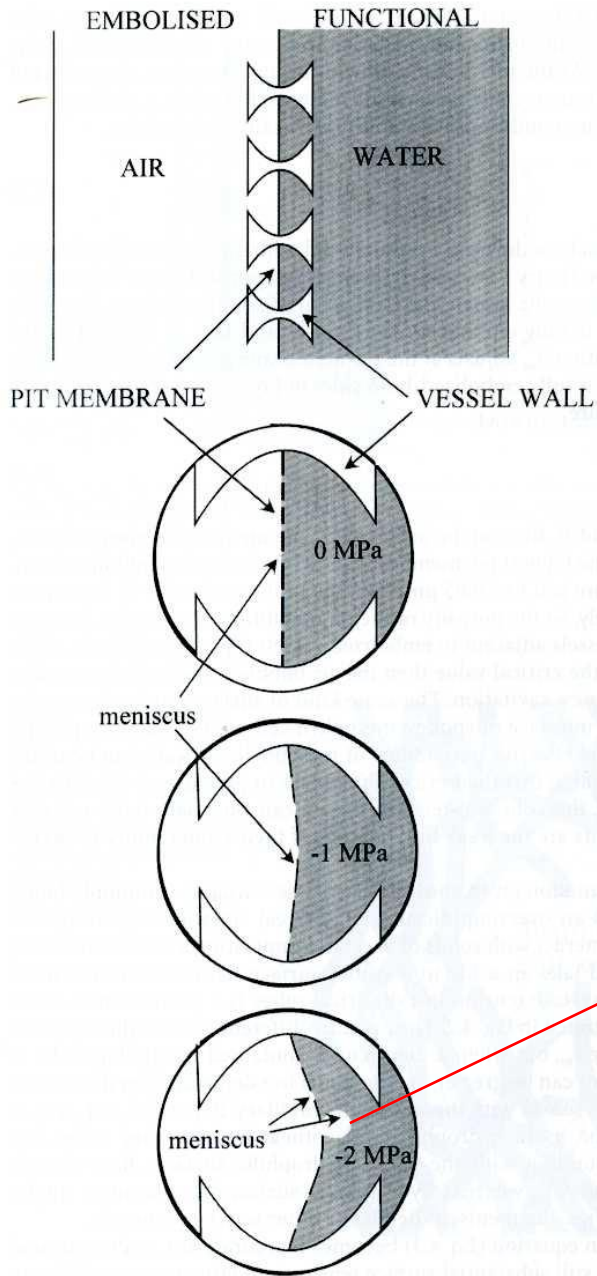


Homogeneous nucleation



Hydrophobic adhesion failure

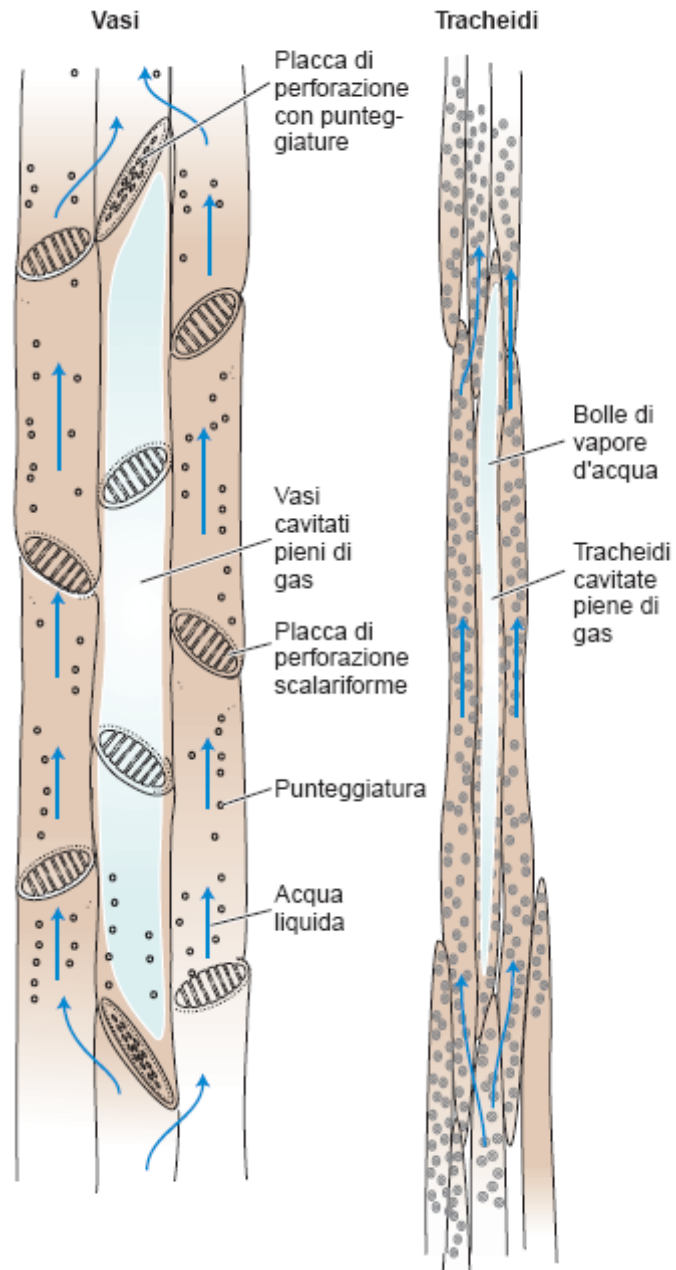




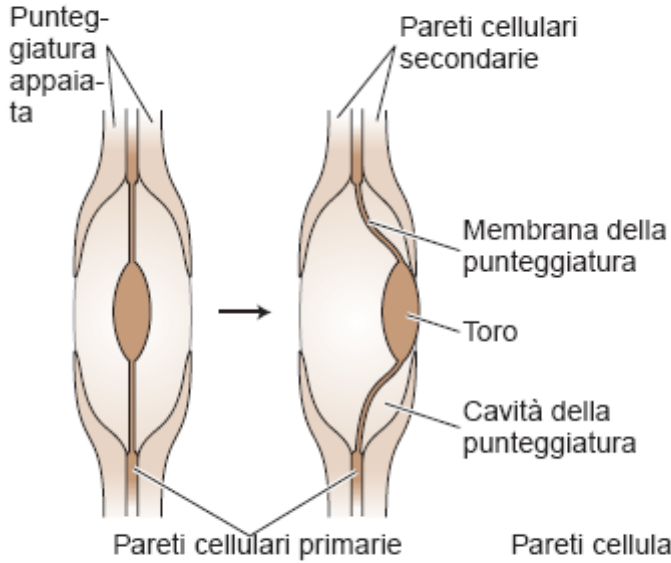
A livello dell'interfaccia aria-acqua agisce una pressione pari a $-2T/r$

r = raggio del poro più grande nella membrana della punteggiatura

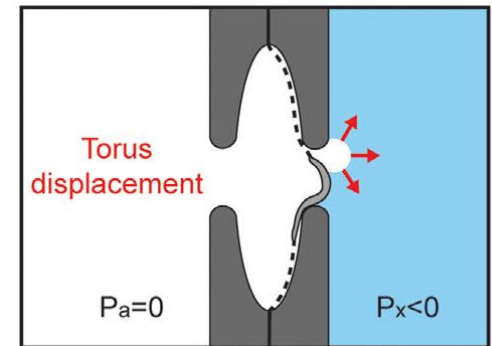
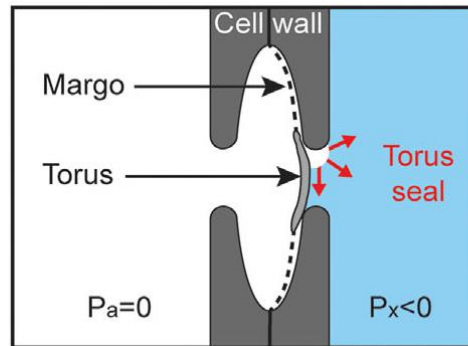
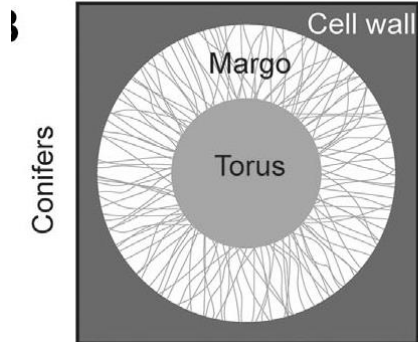
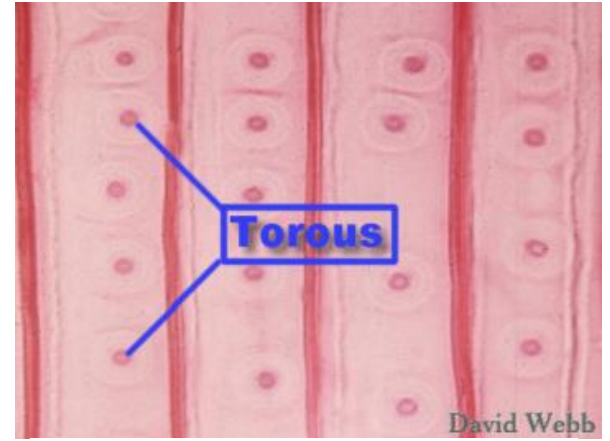
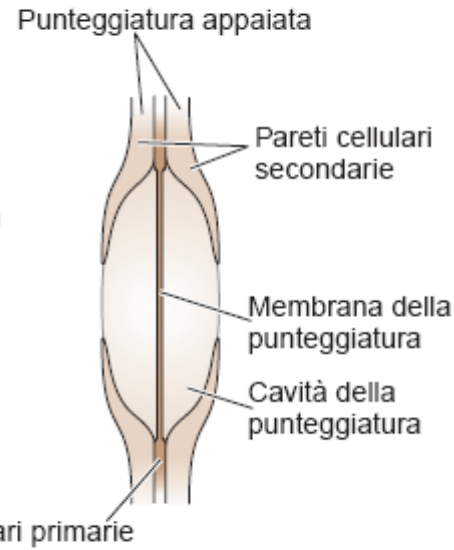
Se $P_{\text{xilema}} < -2T/r$, la bolla entra nel vaso funzionante!

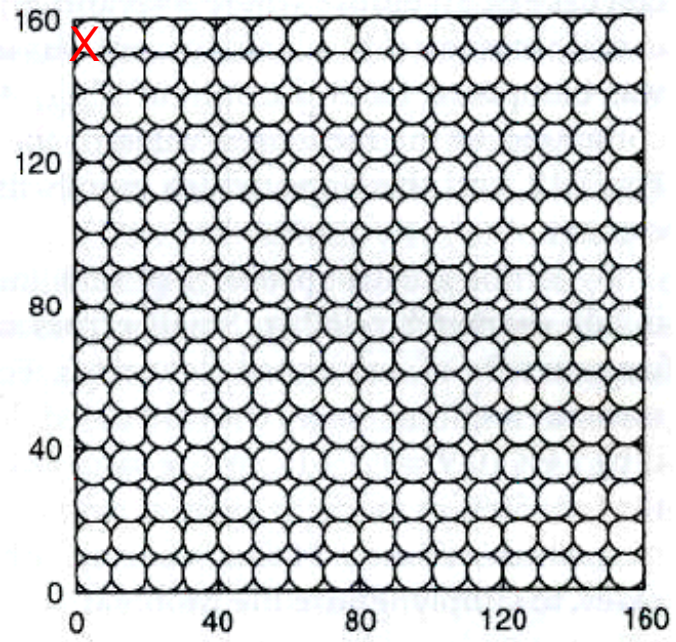
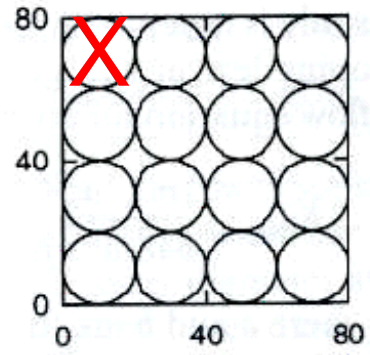
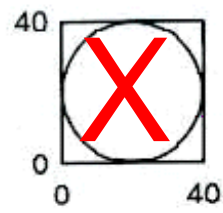


(C) Conifere



(D) Altre piante vascolari





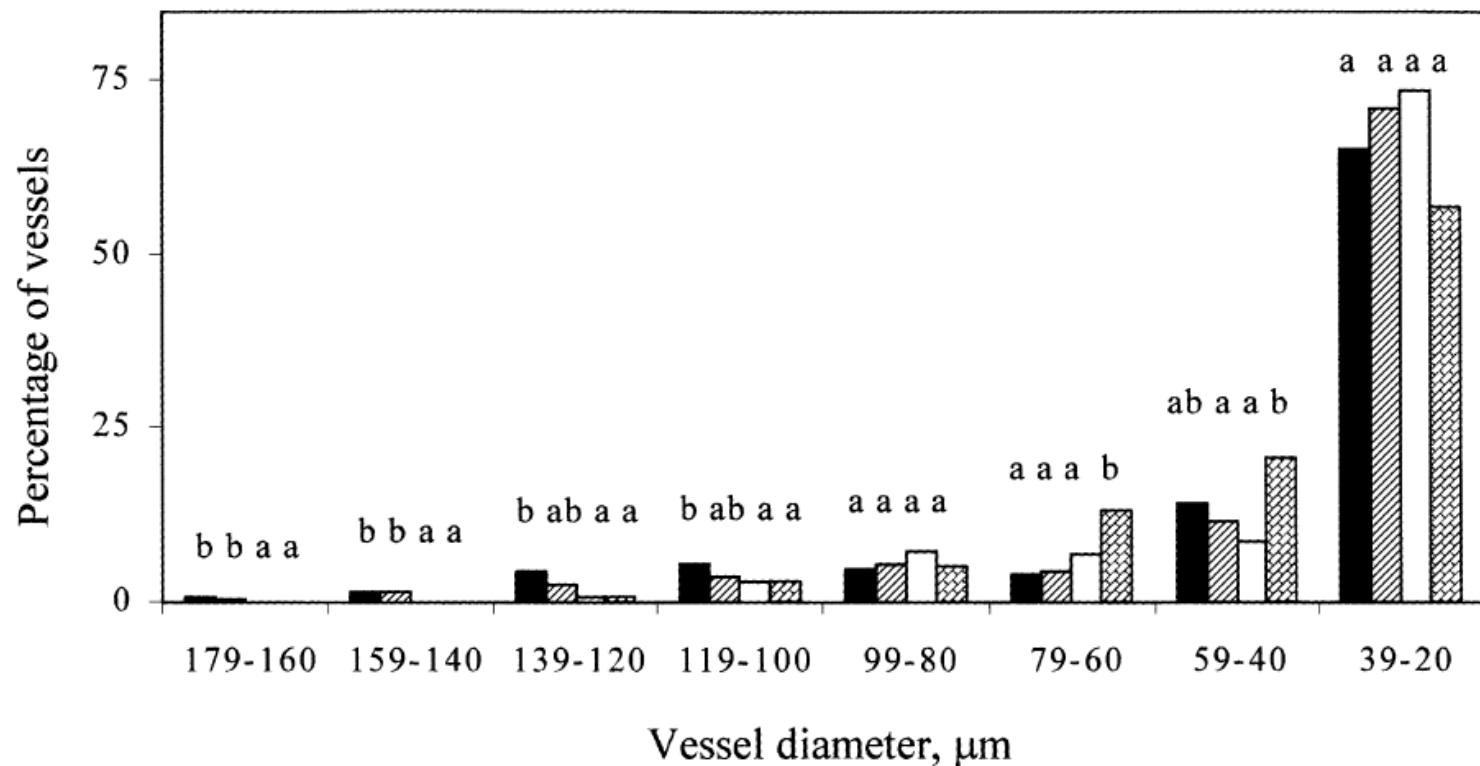


Fig. 1. Distribution of third year ring vessels (in diametric classes of 20 μm) from *U. minor* trees with high (■; n = 3), medium (▨; n = 2) and low (□; n = 2) susceptibility to DED, and from low susceptibility *U. minor* × *U. pumila* trees (▩; n = 2). Groups with a different letter differed significantly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

Come si quantifica il livello di embolia xilematica?

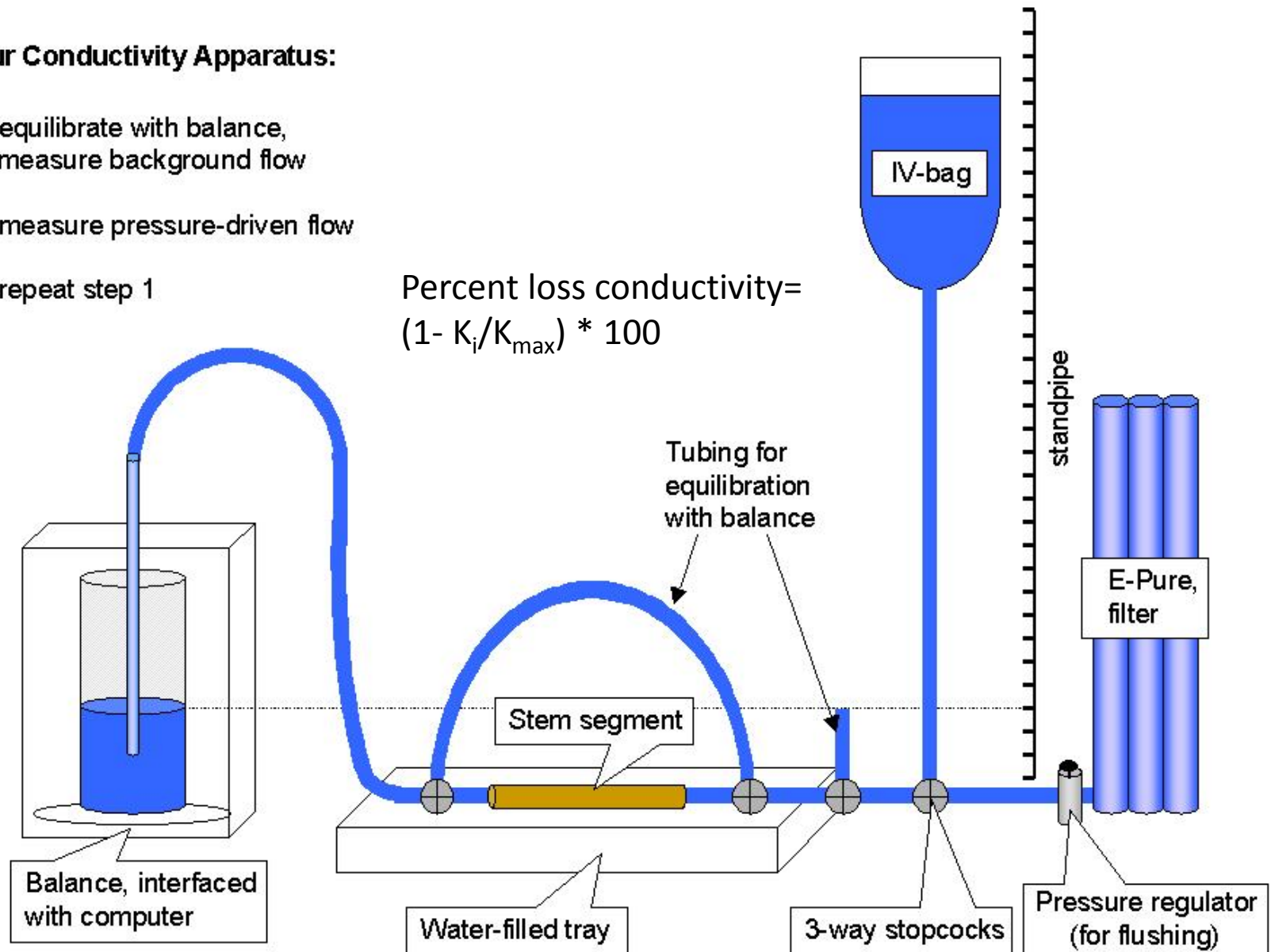
$$k = F * L / \Delta\Psi$$

Metodo idraulico

Our Conductivity Apparatus:

- 1) equilibrate with balance, measure background flow
- 2) measure pressure-driven flow
- 3) repeat step 1

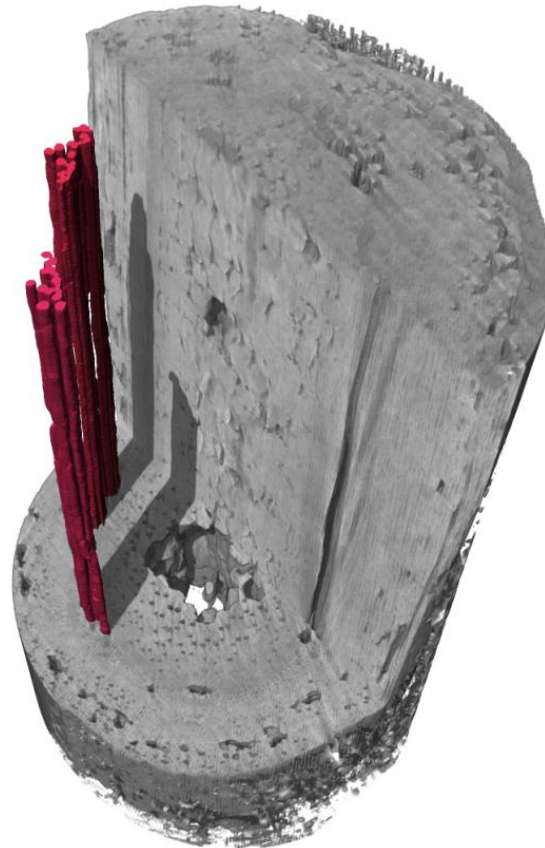
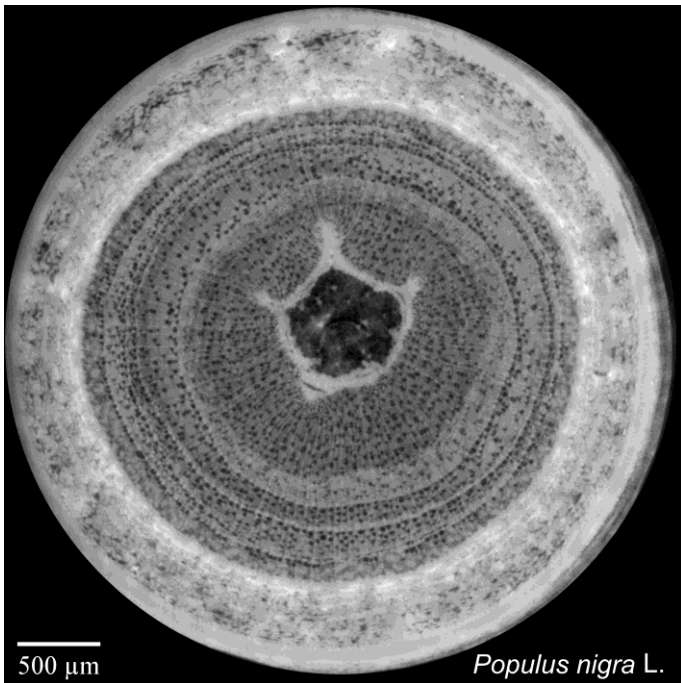
$$\text{Percent loss conductivity} = (1 - K_i / K_{\max}) * 100$$





Elettra Sincrotrone Trieste

Microtomografia a raggi X



Curve di vulnerabilità all'embolia xilematica

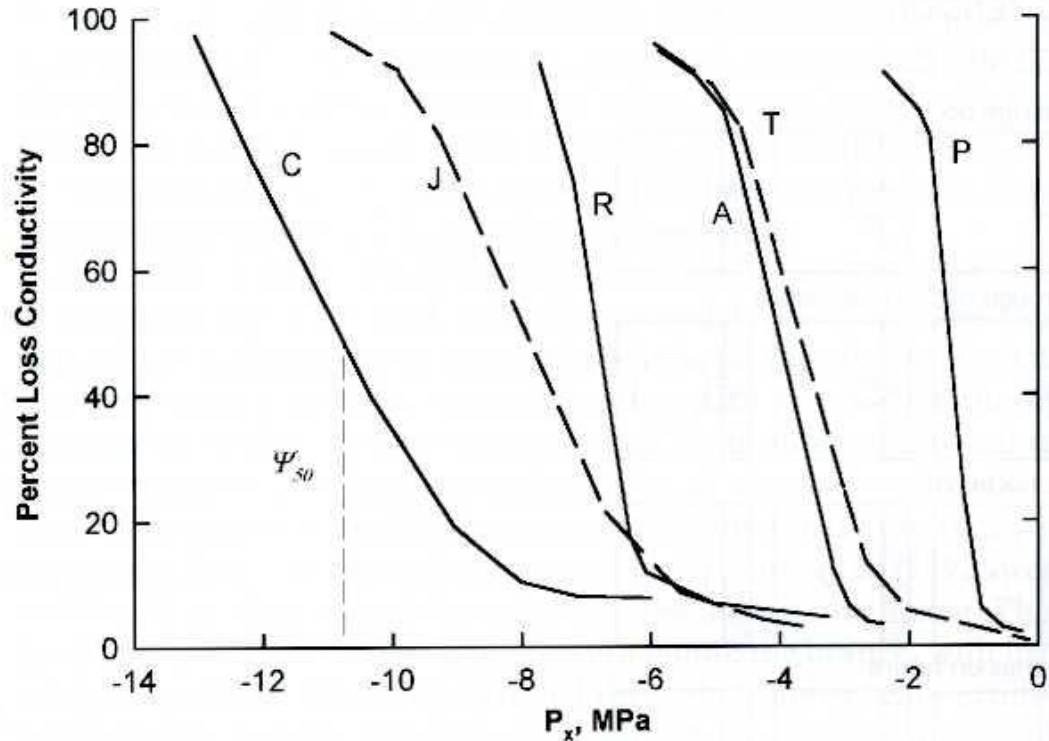
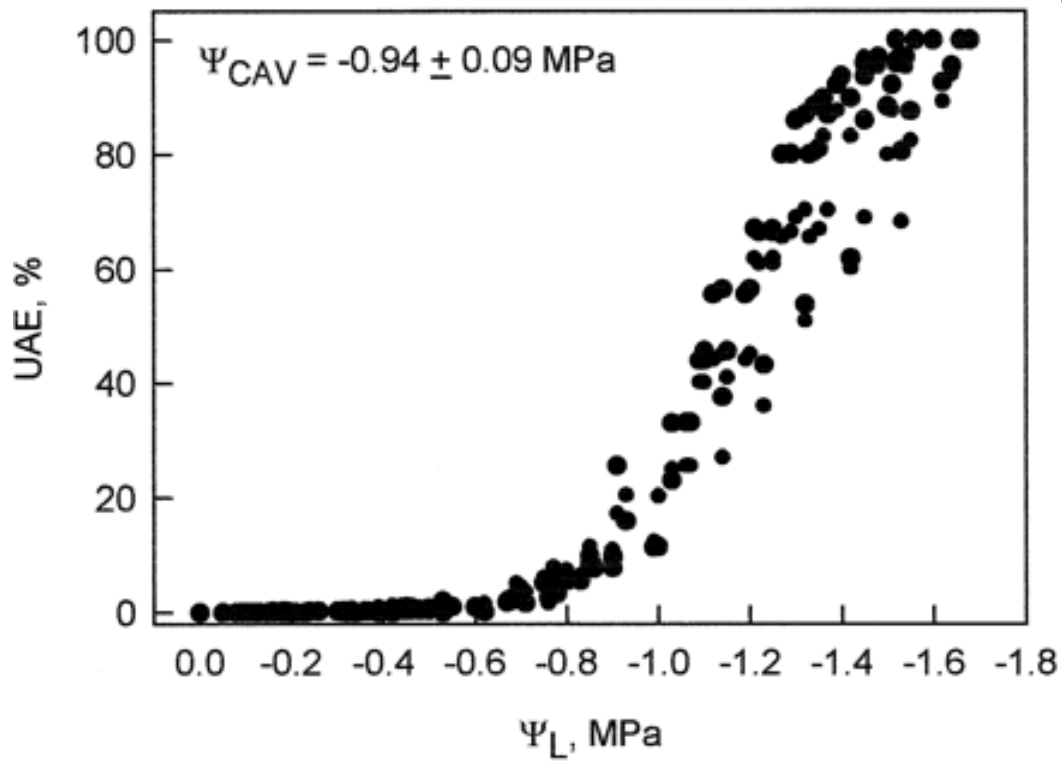
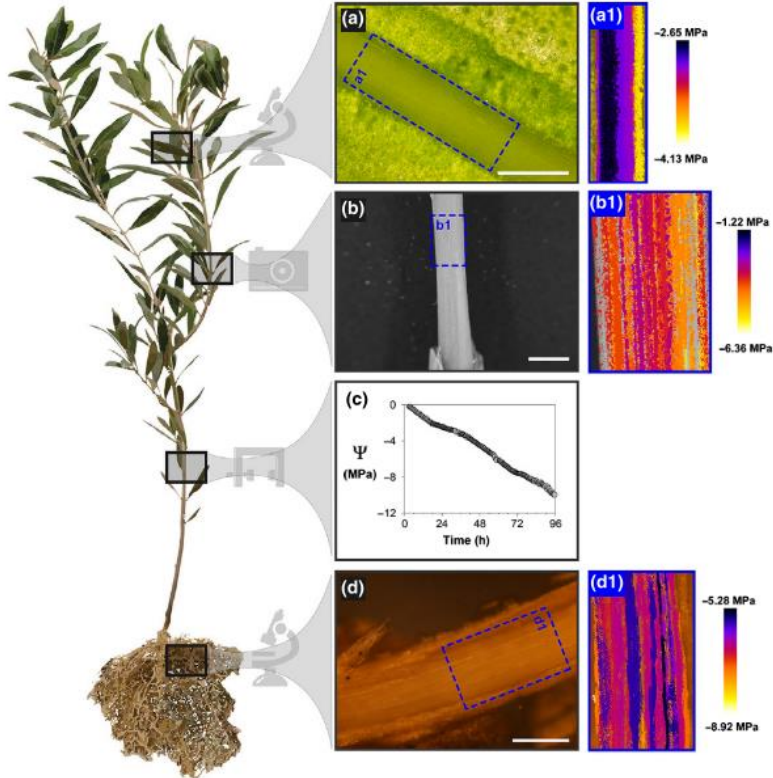
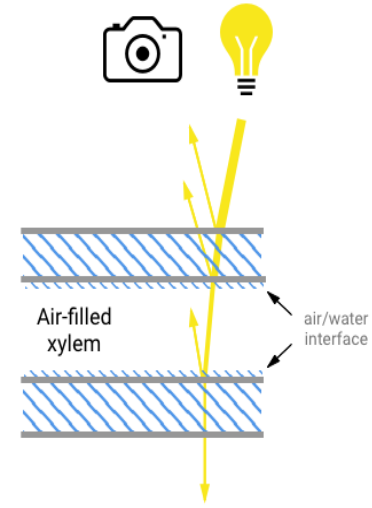
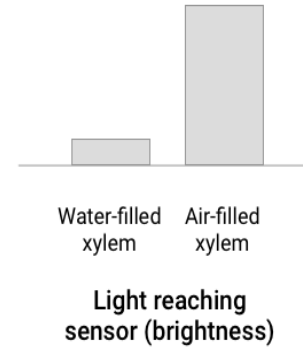
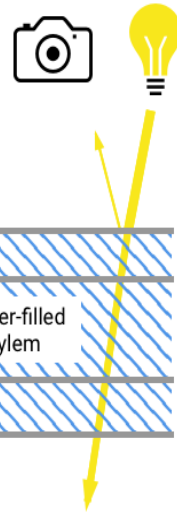


Fig. 4.5. Vulnerability curves for various species. y-Axis is percent loss of hydraulic conductivity induced by the xylem pressure, P_x , shown on the x-axis. C *Ceanothus megacarpus*; J *Juniperus virginiana*; R *Rhizophora mangle*; A *Acer saccharum*; T *Thuja occidentalis*; P *Populus deltoids*. Only the trend-lines are plotted. Individual points have very high standard deviations when PLC is between 20 and 80%. The points are excluded to make the trends clearer. (Adapted from Tyree et al. 1994)



Metodo ottico per la quantificazione dell'embolia xilematica

Reflected Light

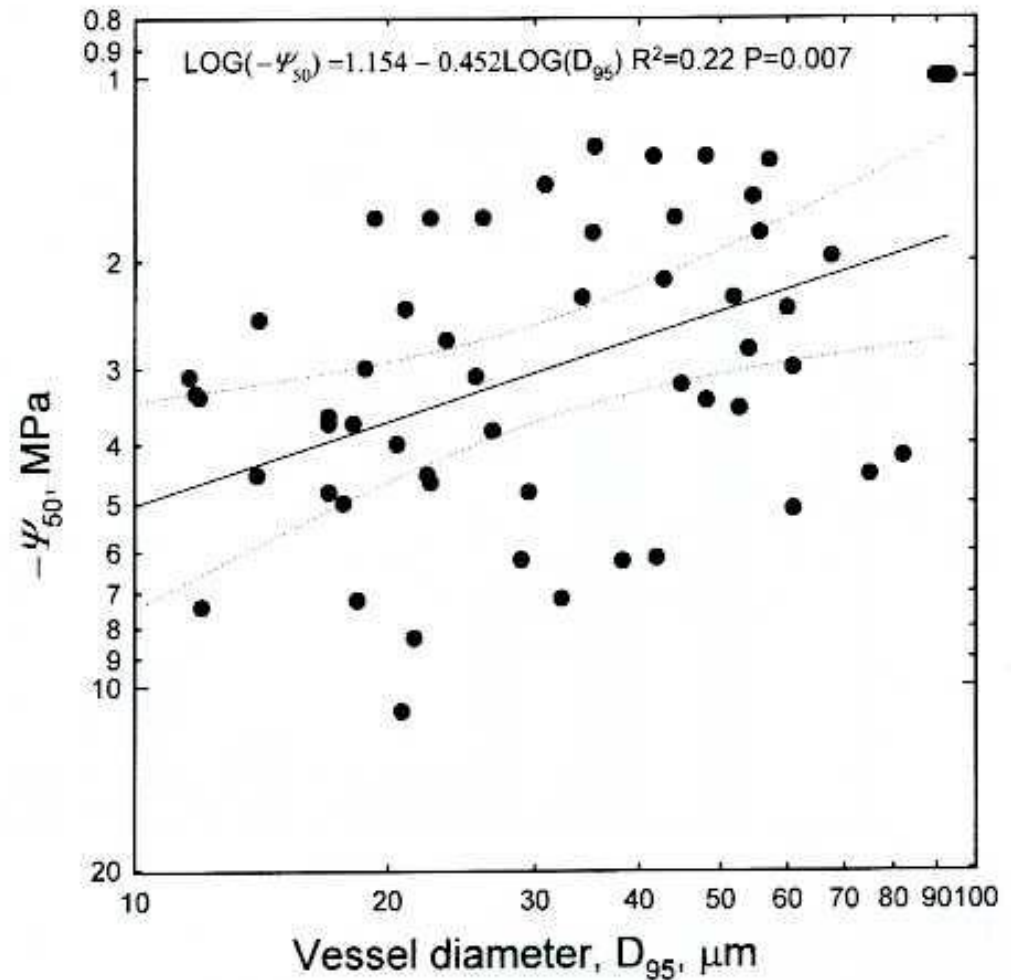


<https://www.opensourceov.org/>

Relazione tra diametro dei vasi xilematici e vulnerabilità all'embolia?

Evidenza sperimentale della (debole) relazione tra diametro dei vasi xilematici e vulnerabilità all'embolia

Fig. 4.14. A log-log plot of xylem tension ($= -\Psi_{50}$) causing 50% loss hydraulic conductance in stems versus the mean vessel diameter of the vessels that account for 95% of the hydraulic conductance (D_{95}). Each point represents a different species



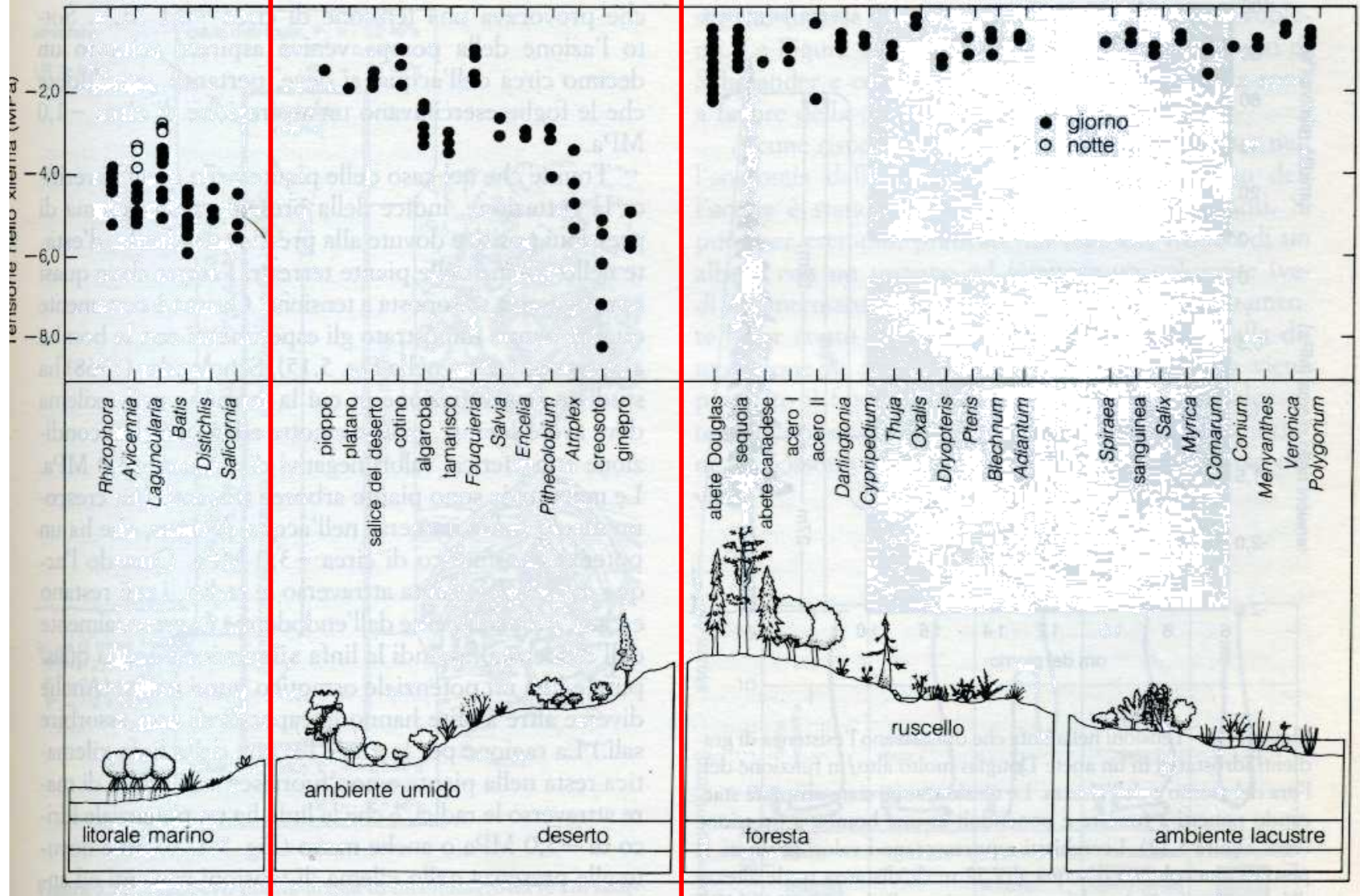
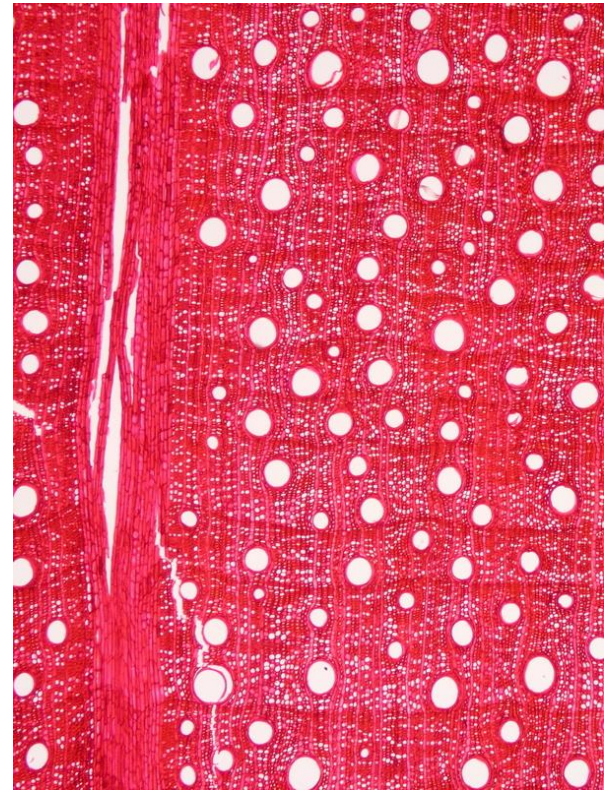
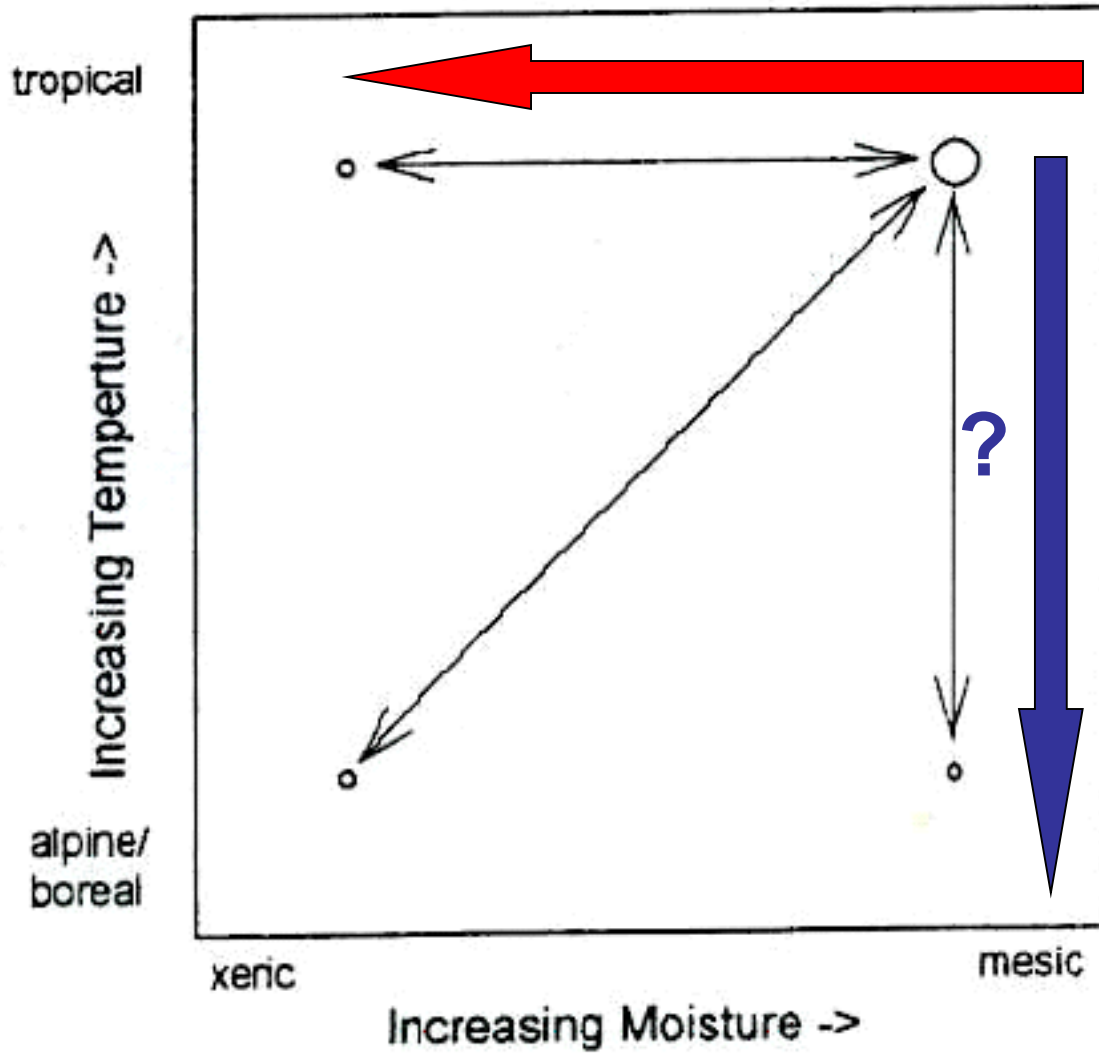
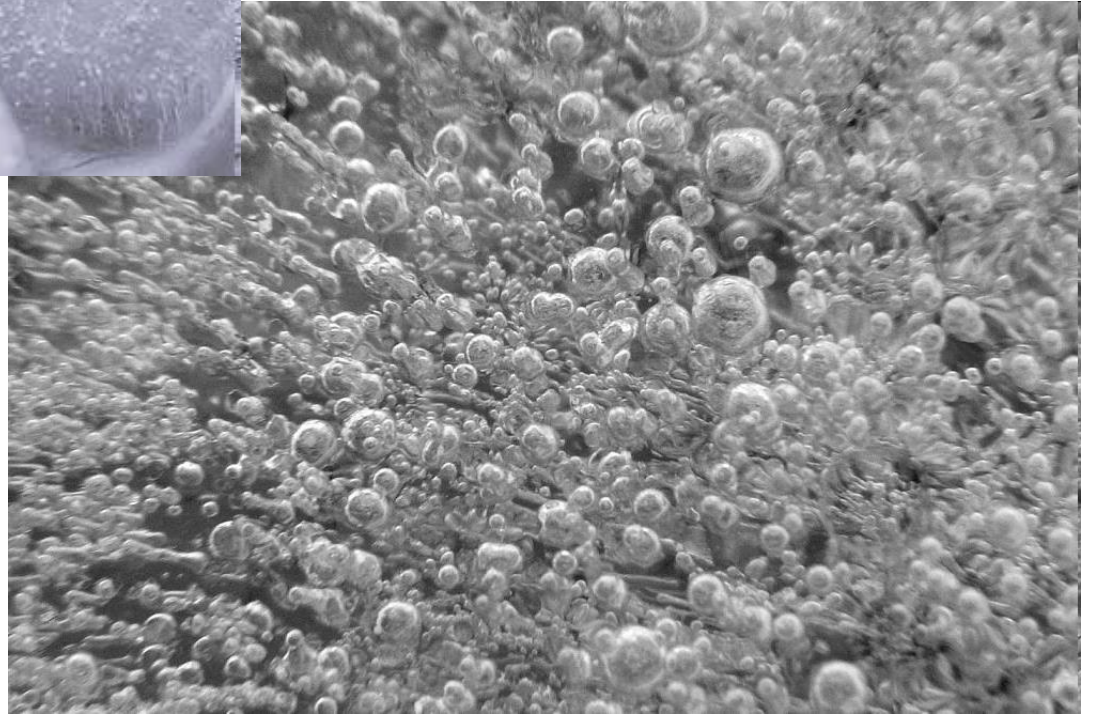


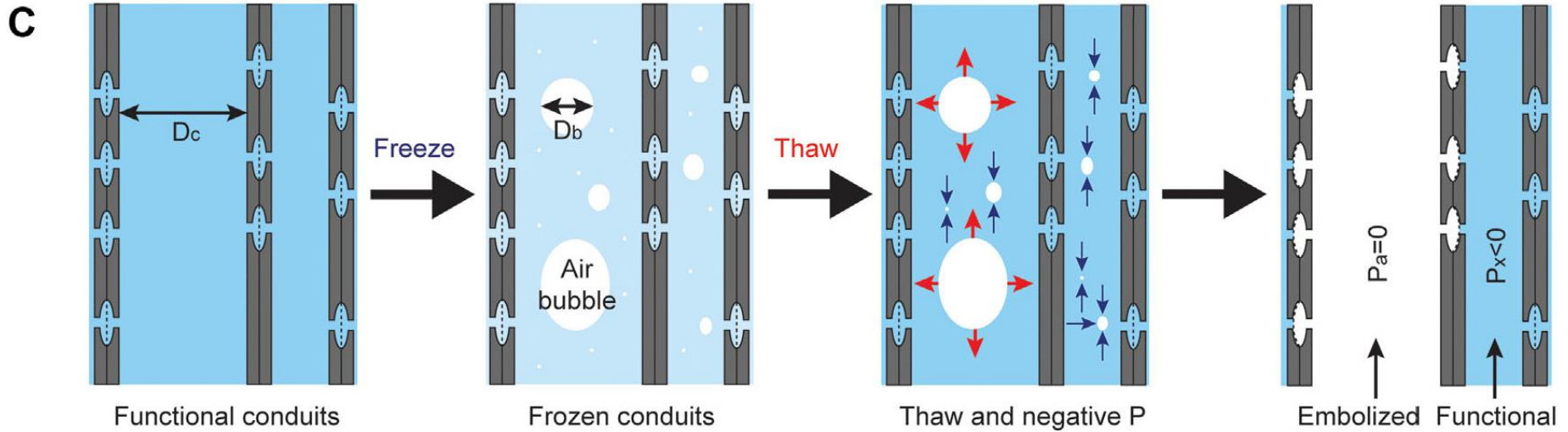
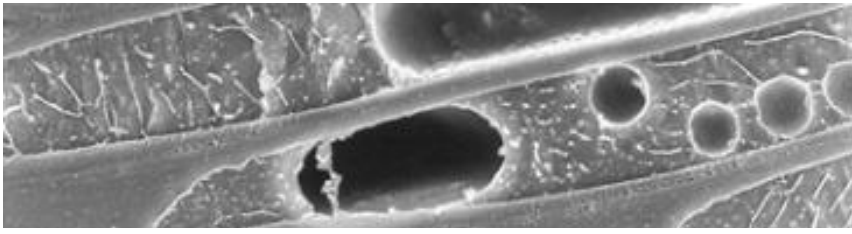
Figura 5.15 Le tensioni nella linfa di diverse angiosperme, conifere e felci. La maggior parte delle misure sono state effettuate con una bomba a pressione di giorno ed in piena luce solare. I valori misurati di notte, probabilmente, sono in tutti i casi diversi decimi di megapascal più alti (meno negativi). (Da Scholander et al., 1965; usato su autorizzazione.)





Embolia da gelo





$$P_b = (2T/r) + P_x$$

Dove:

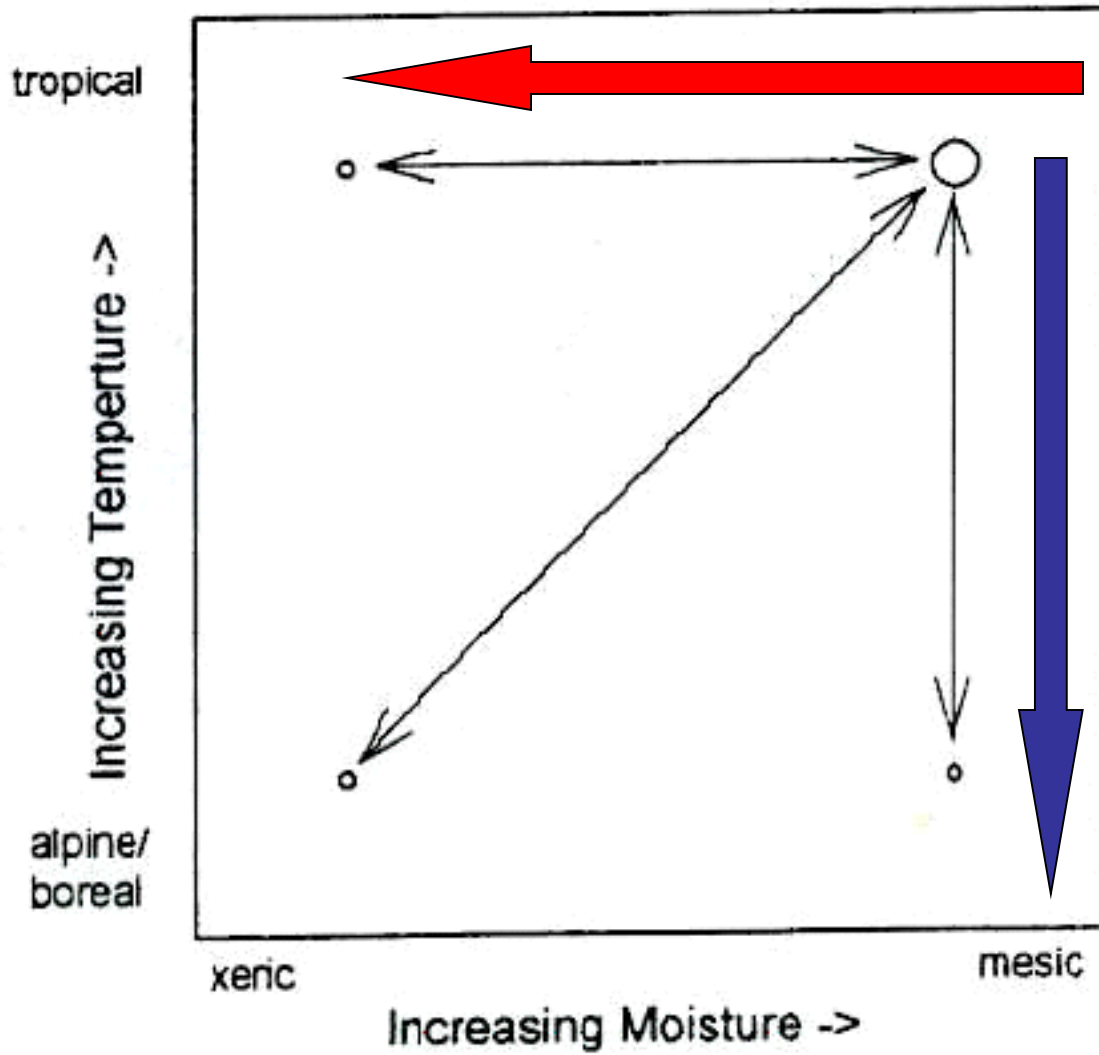
P_b = pressione della bolla, T = tensione superficiale dell'acqua, r = raggio della bolla, P_x = pressione xilematica al disgelo

Perché la bolla si dissolva si deve avere $P_x > P_b - (2T/r)$

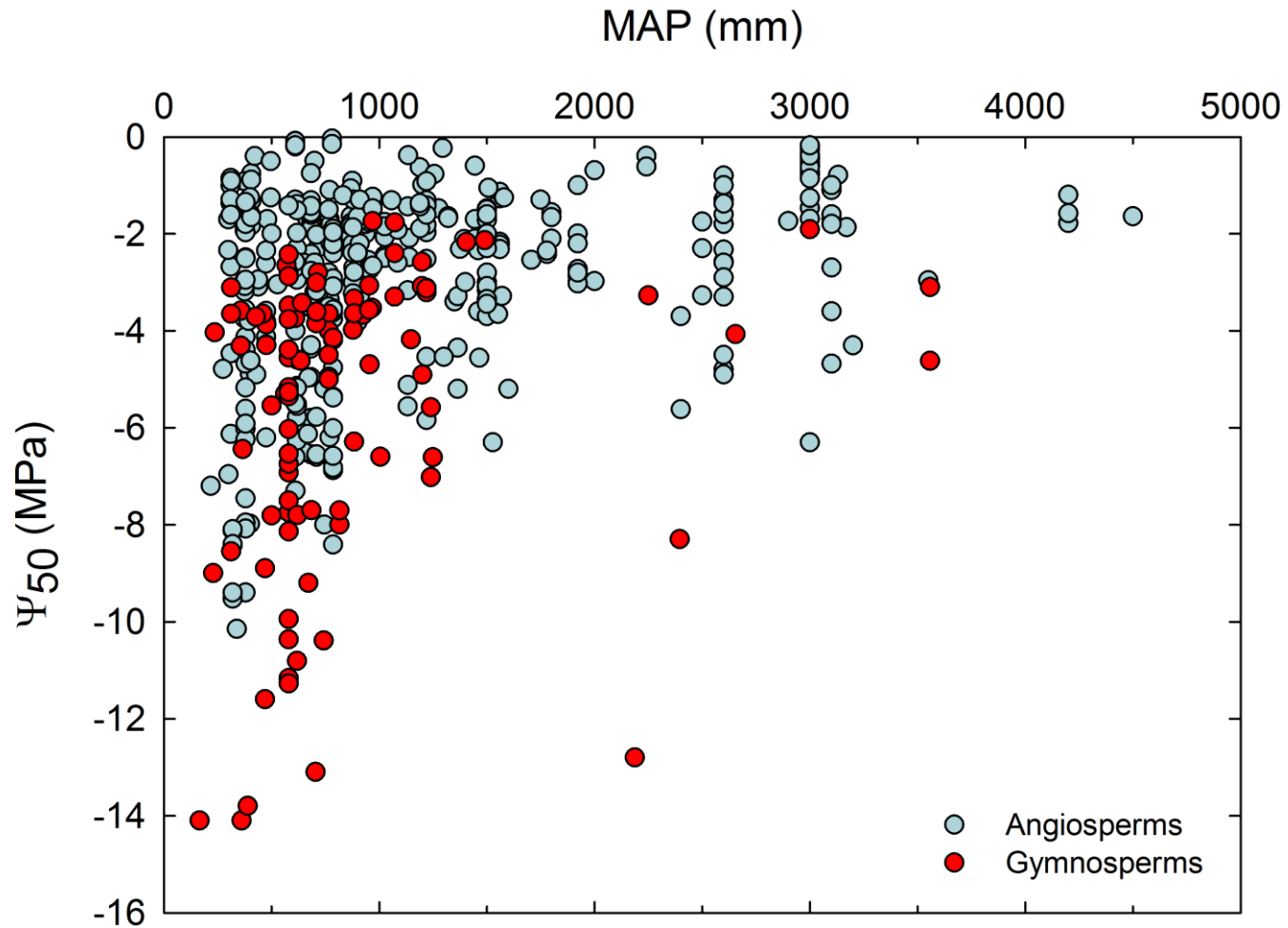
Quindi, si avrà embolia per $P_x \leq P_b - (2T/r)$

La vulnerabilità all'embolia da gelo aumenta al diminuire di P_x e all'aumentare di r (che dipende almeno in parte dal diametro dei condotti xilematici)

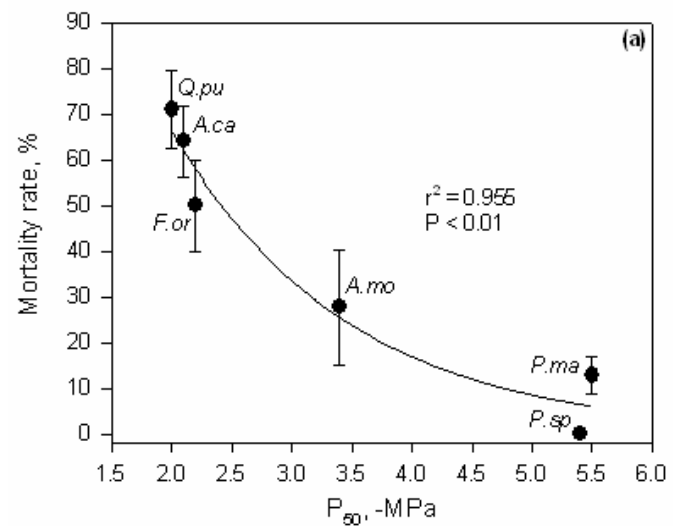
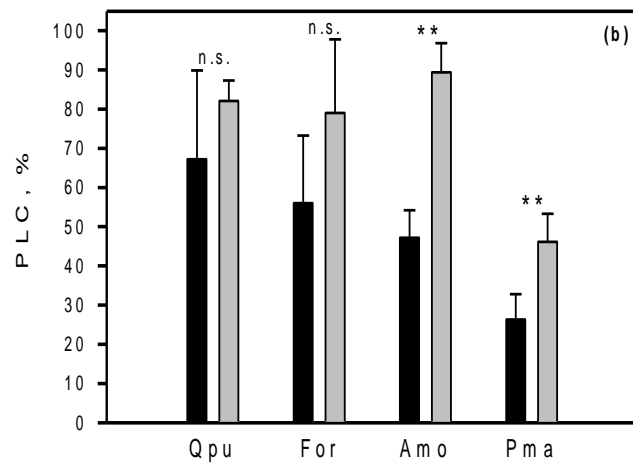
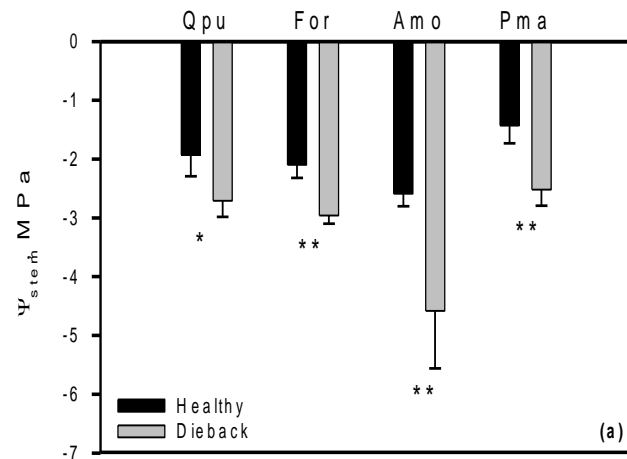




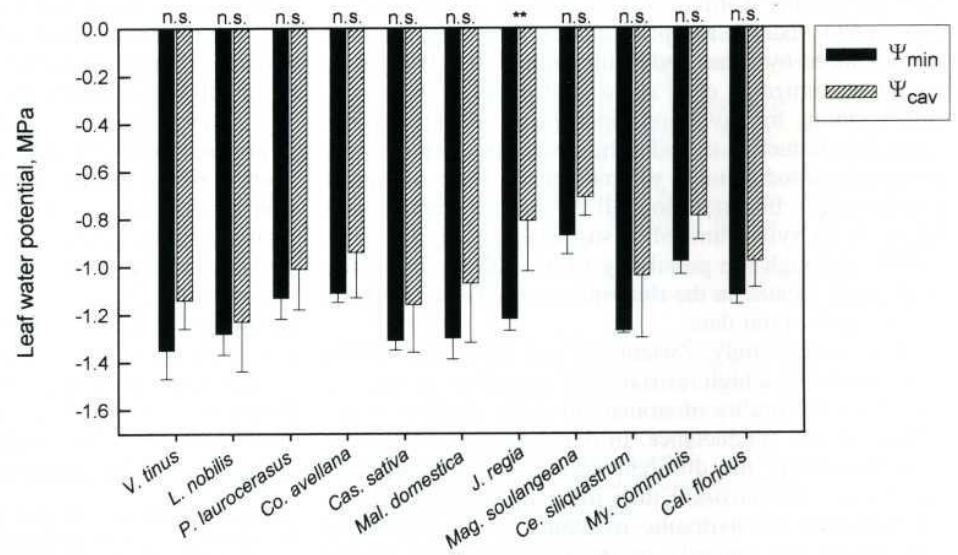
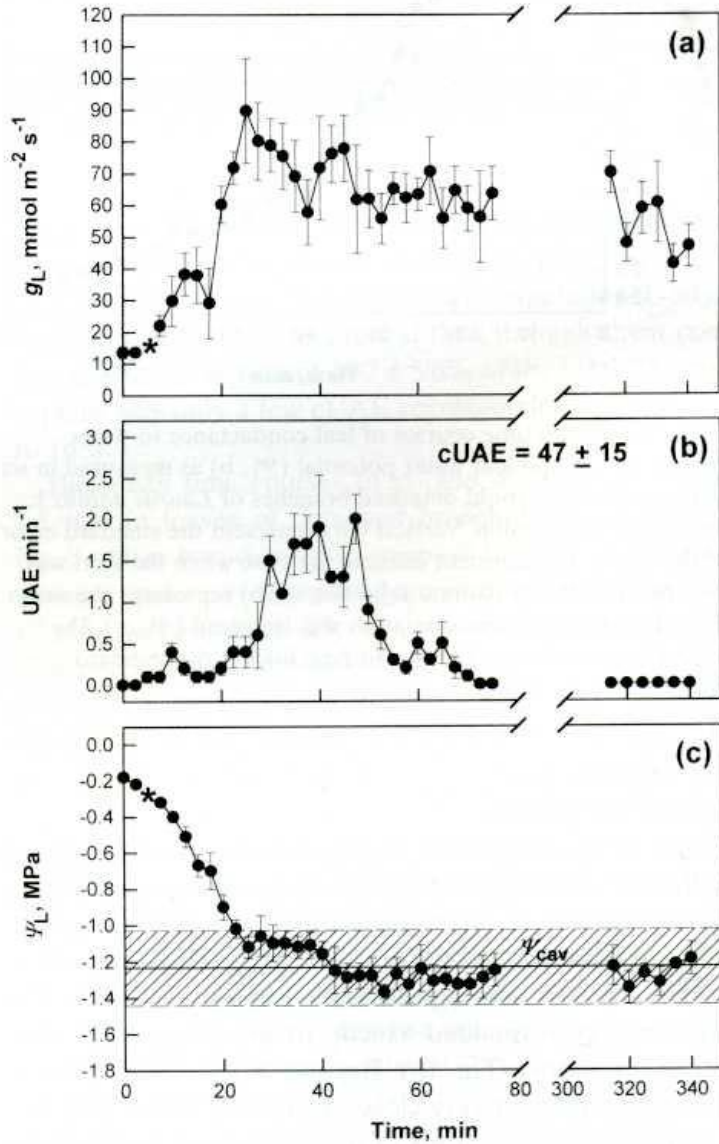
Vulnerabilità all'embolia xilematica:
relazioni con resistenza allo stress idrico e meccanismi di difesa/riparazione



Choat et al. 2012

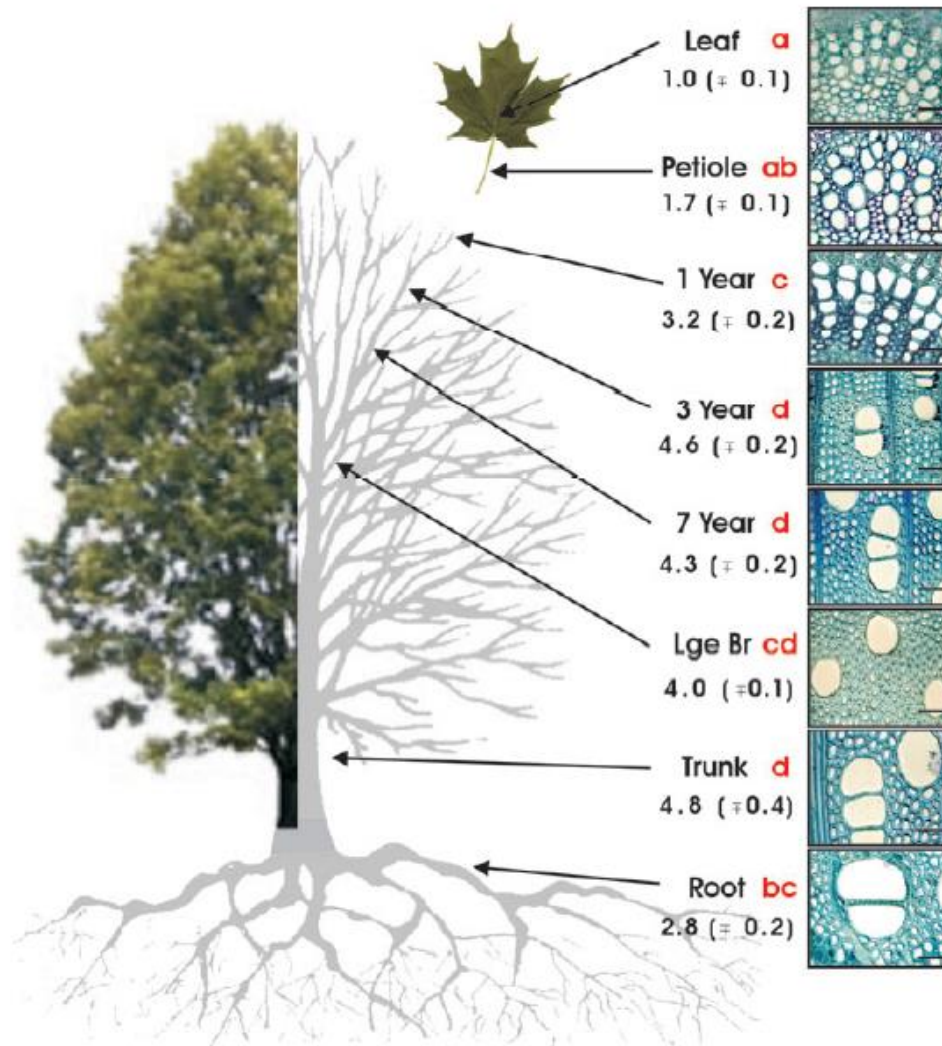


Meccanismi di difesa - I. Controllo stomatico della tensione xilematica



Meccanismi di difesa - II. 'Fusibili' idraulici (ovvero, la coda della lucertola...)

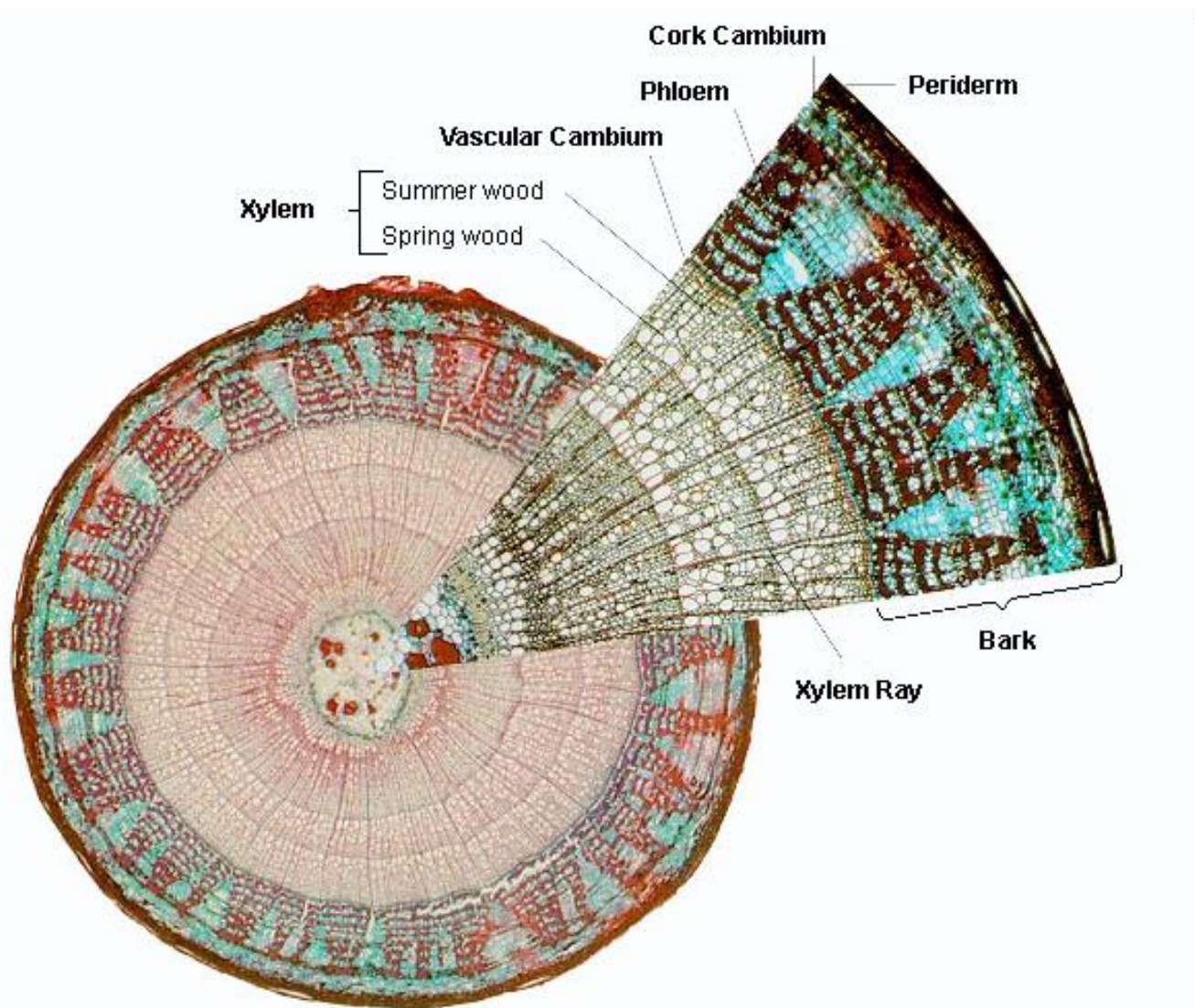
Meccanismo che permette di proteggere dal disseccamento le porzioni della pianta (come il fusto) che rappresentano un maggiore investimento in energia metabolica (maggiori stock di carbonio)



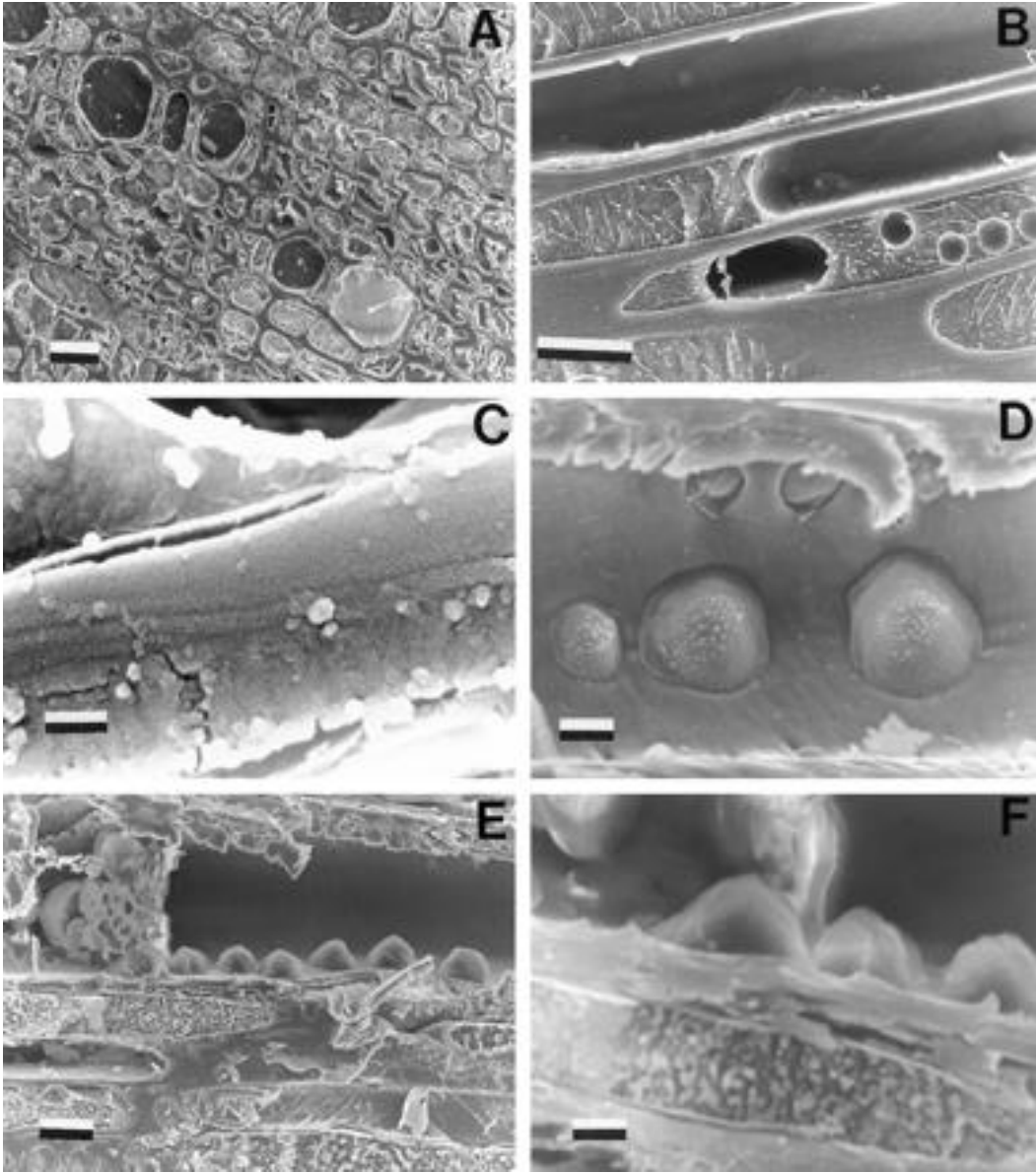
Esempio: sacrificare le foglie o ridurre la conduttività idraulica comporta una riduzione della domanda traspirante e può difendere il resto della pianta dall'eccessivo stress idrico.

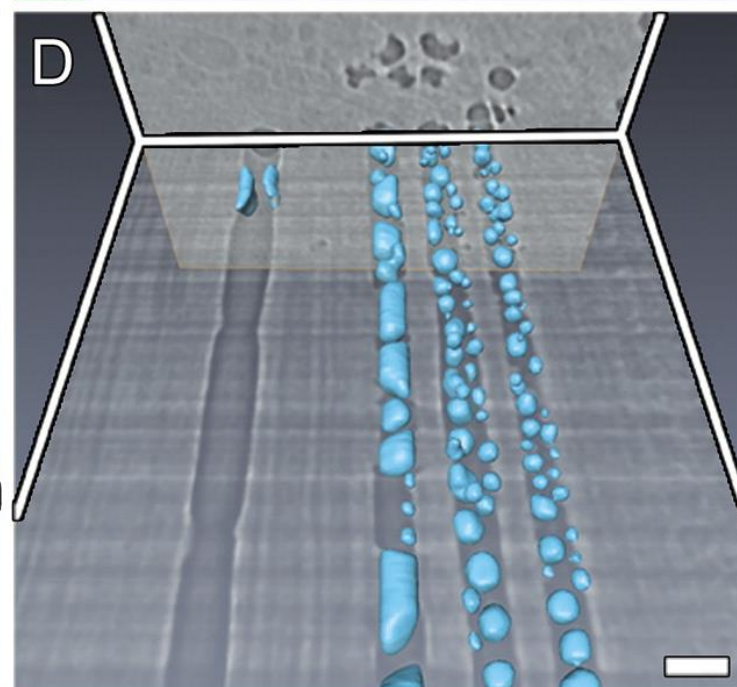
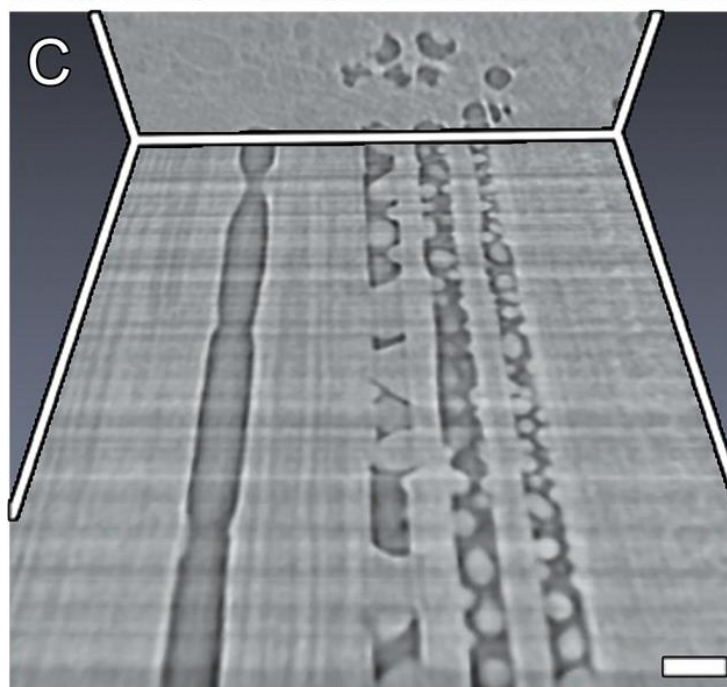
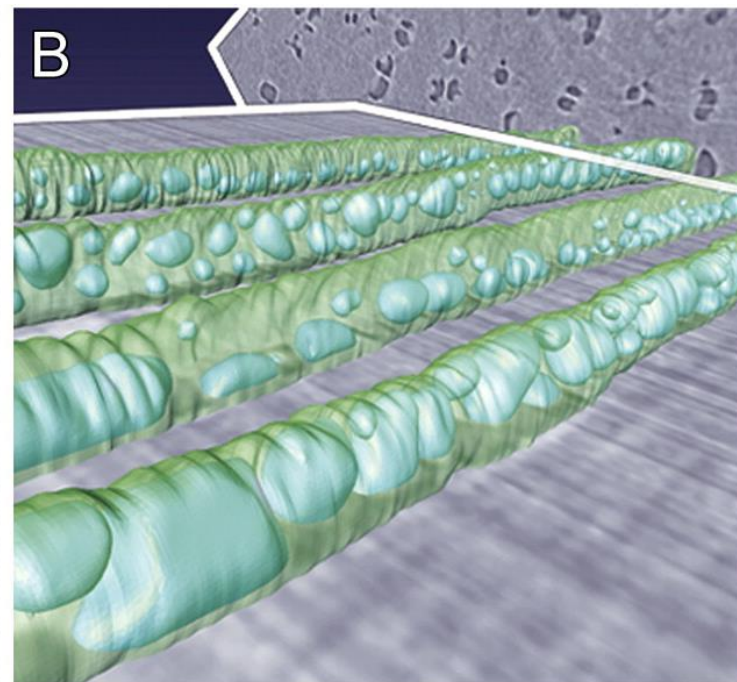
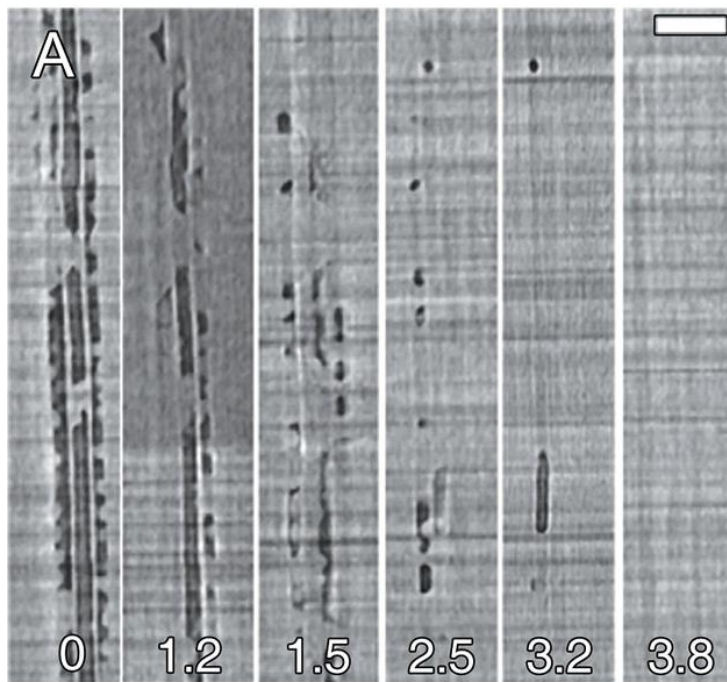
Figure 1. Mean air seeding threshold (P_a , MPa) in current year xylem from different regions of mature sugar maple (*Acer saccharum*) trees. Measurements in petioles and primary leaf veins represent the P_a of multiple vessels. In all other regions, measurements were made on individual xylem vessels. Letters following measurements indicate homogenous groups ($P < 0.05$, Tukey HSD unequal n). Images show transverse sections of xylem tissue stained with 0.01% toluidine blue. All images were taken at 400 \times magnification and scale bars = 50 μ m. For measurements of P_a , the numbers of samples for each region are as follows: leaf veins, $n = 9$; petioles, $n = 14$; 1 years, $n = 19$; 3 years, $n = 12$; 7 years, $n = 11$; large branches, $n = 4$; trunk, $n = 5$; roots, $n = 7$.

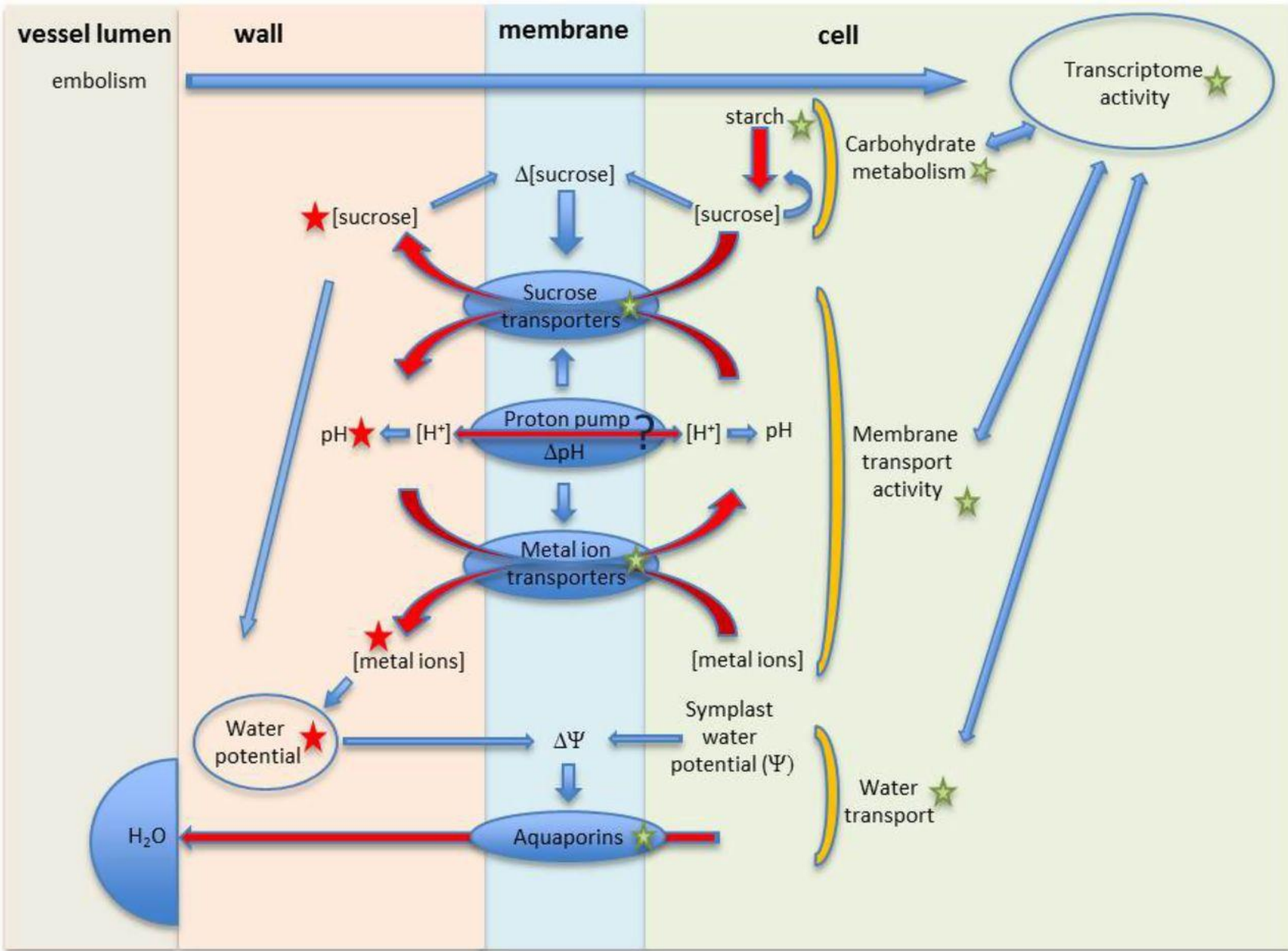
Meccanismi di difesa - III. Produzione continua o stagionale di nuovi vasi



Meccanismi di difesa - IV. Riparazione dei vasi embolizzati ('refilling' xilematico)







Pressione radicale

