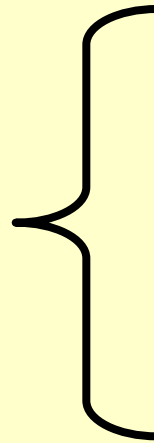


RIZOSFERA

volume di suolo che subisce l'influenza delle radici



Esterna

Interna

Rizopiano = interfaccia
suolo-radice

Nella rizosfera troviamo :

1. *Microrganismi* → associazione radici- microrganismi

- possono svilupparsi sia all'esterno che all'interno delle radici
- possono ricoprire fino al 10% della superficie radicale
- Influenza reciproca sullo sviluppo delle specie microbiche

• **Inibizione** della crescita radicale → Fitotossine

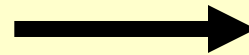
• **Stimolazione** della crescita radicale → Micorrize

2. Materiali organici liberati dalle radici:

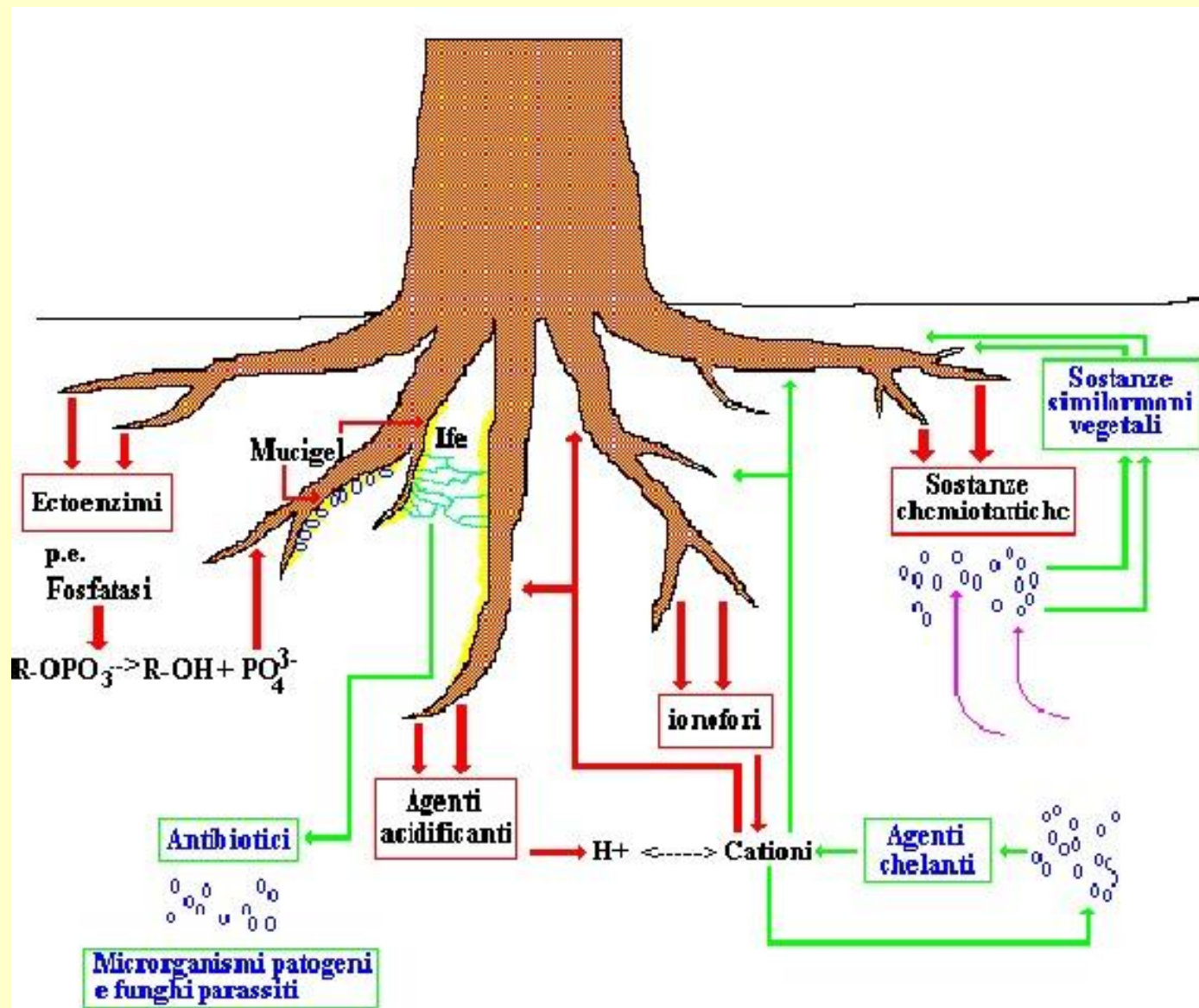
- **Essudati** composti a basso peso molecolare
- **Ectoenzimi** (fosfatasi)
- **Lisati** prodotti da autolisi delle cell epidermiche più vecchie e dall'attività batterica
- **Mucillagini** composti complessi di natura polisaccaridica

La rizosfera è un ambiente altamente reattivo:

- Notevole attività biologica
- Reazioni di complessazione e redox
- Elevata concentrazione di H⁺



**Aumento della
disponibilità di
nutrienti per le
piante**

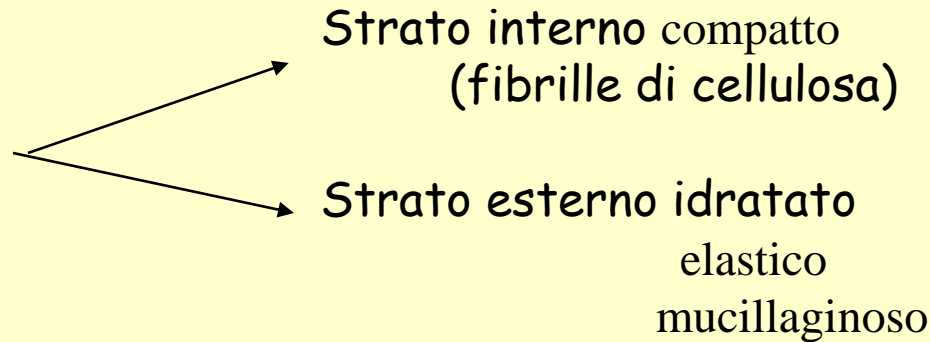


Interfaccia suolo-radice

Le parti più giovani della radice sono le più attive metabolicamente:

- Elevato assorbimento
- Produzione di essudati

Le **pareti cellulari**
Complesso strutturale
multilamellare

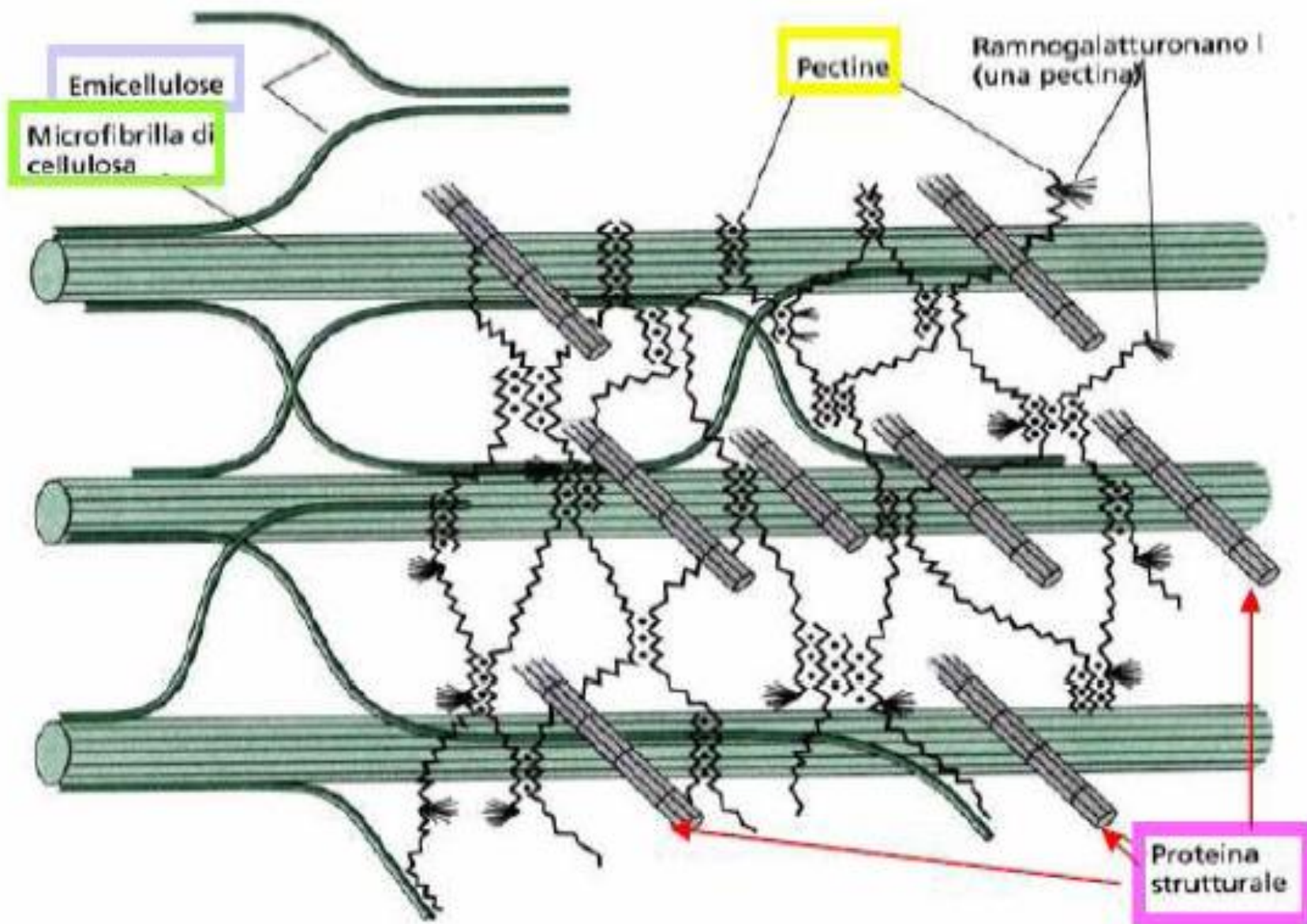


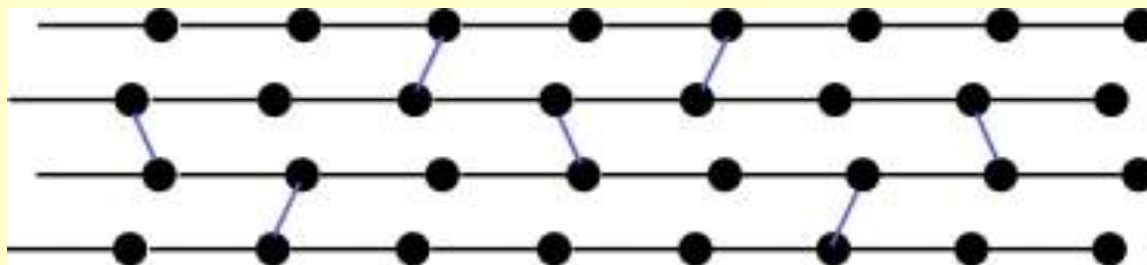
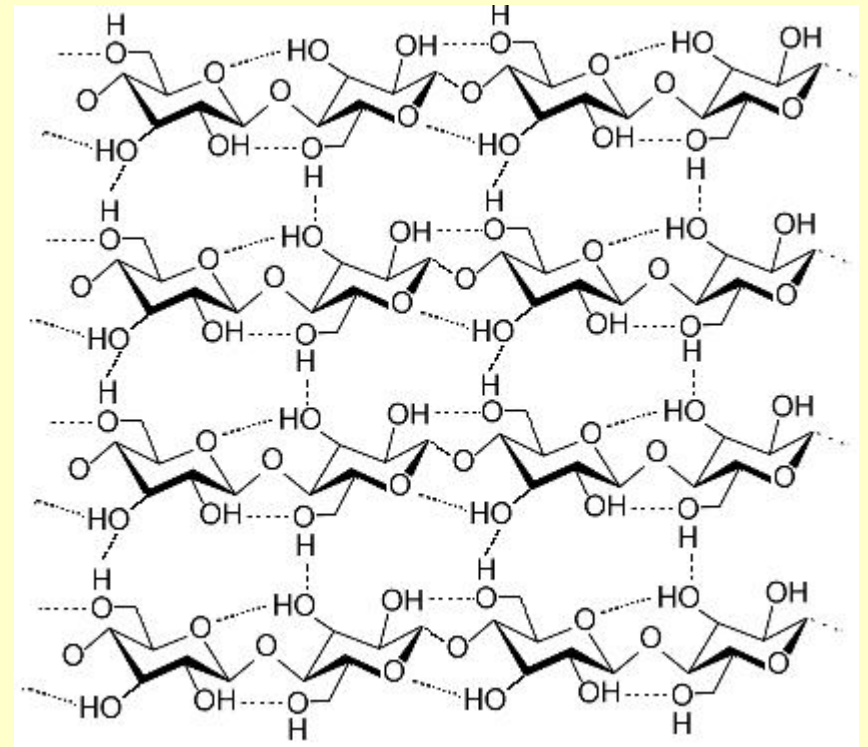
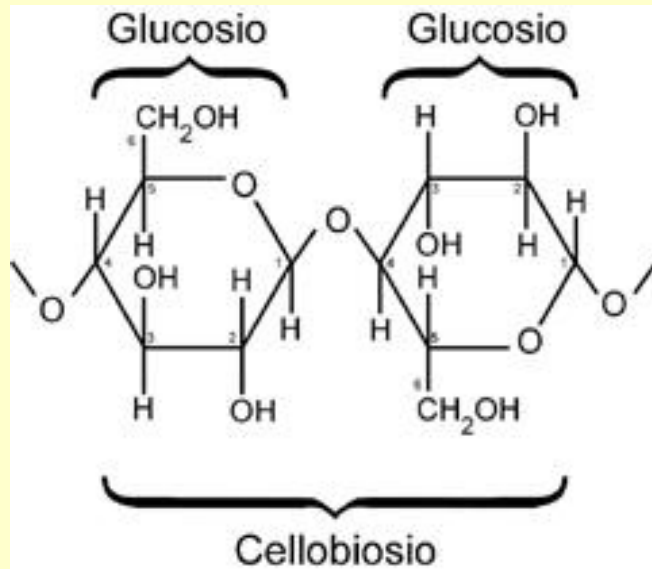
Film mucillaginoso all'interfaccia suolo-parete
cellulare continuamente liberato dallo strato esterno
dell'epidermide

Le mucillagini sono per lo +
di natura polisaccaridica
vengono prodotte nelle vescicole
del Golgi delle cellule
epidermiche della cuffia radicale
e poi secrete mediante esocitosi

favoriscono

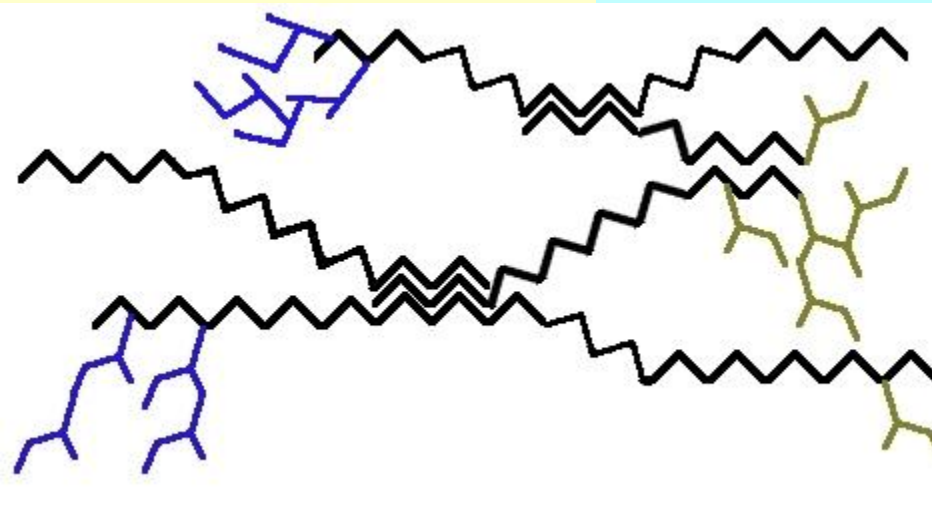
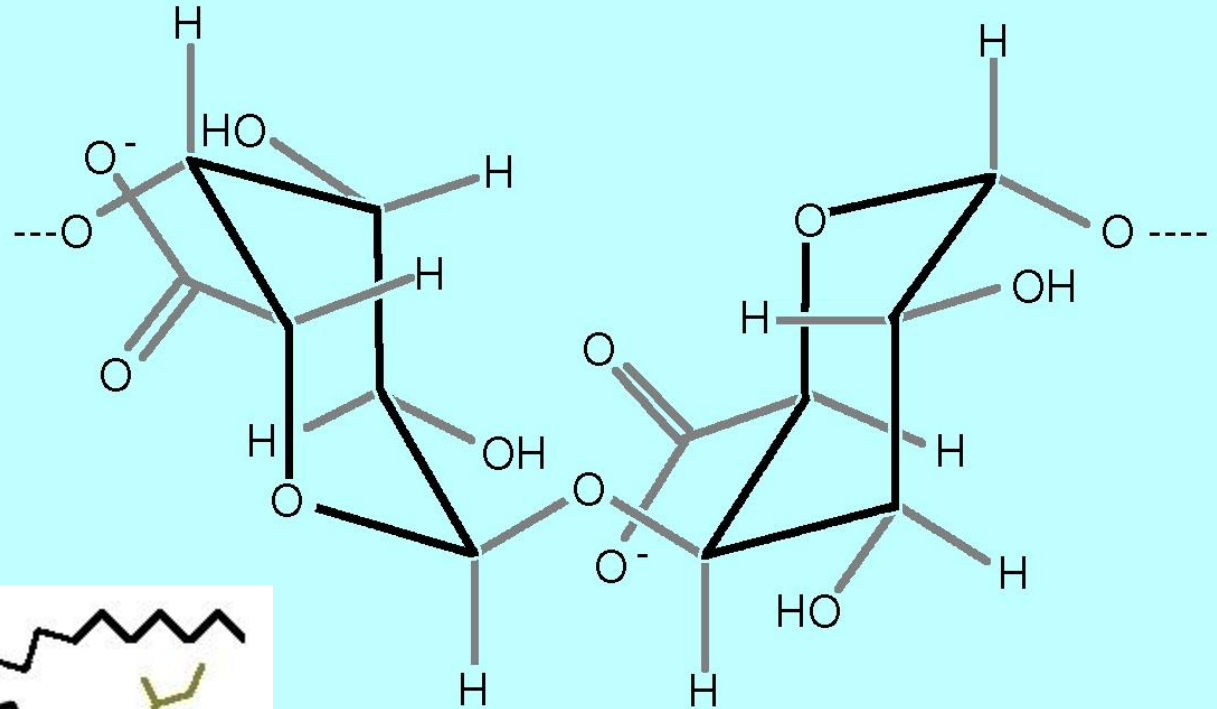
-
- Penetrazione delle radici
 - Processi di scambio
 - Accumulo di nutrienti
 - Colonizzazione microbica





PECTINA

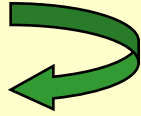
Due molecole di Acido- α -D-Galatturonico



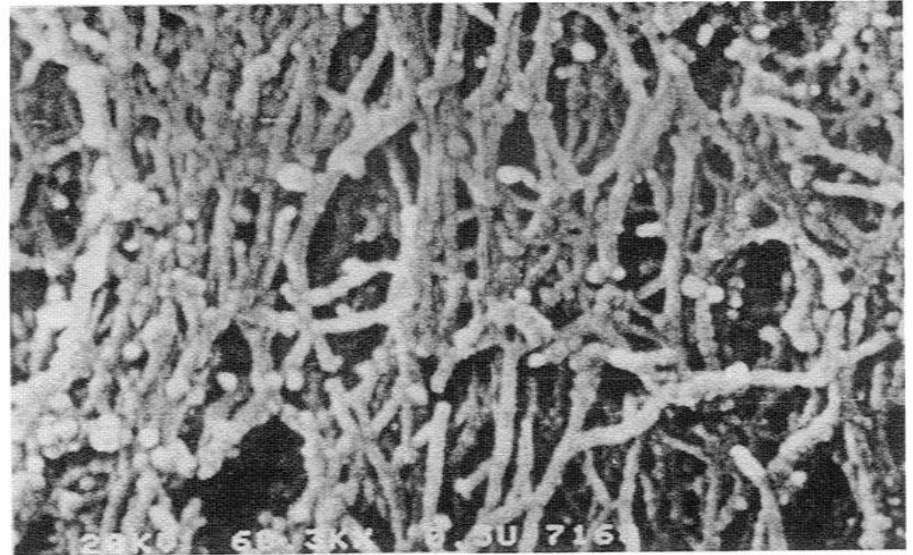
Sono polimeri lineari, costituiti da zuccheri acidi, in prevalenza da acido glucuronico e acido galatturonico, con interposte molecole di xilosio, ramnosio e galattosio.

L'interfaccia mucillaginosa ha struttura fibrillare

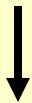
Le fibrille intrecciandosi



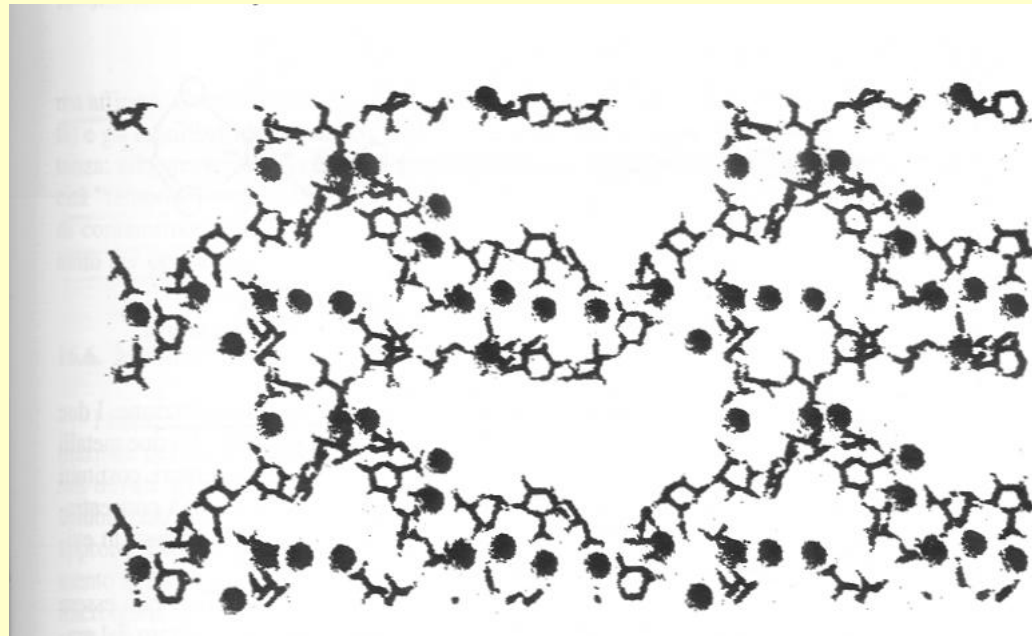
Corpo poroso
con spazi liberi e
comunicanti



- Reticolazione dei biopolimeri (pectine)

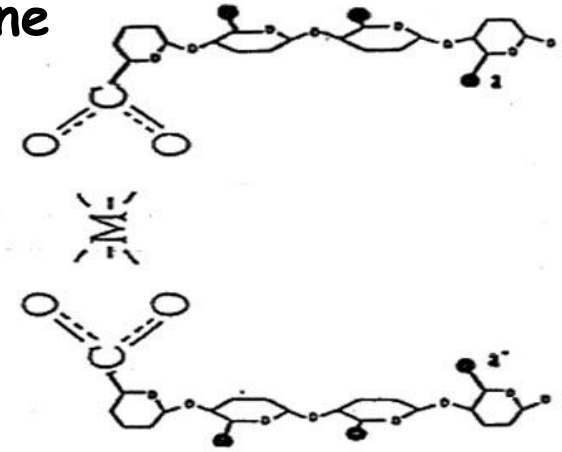
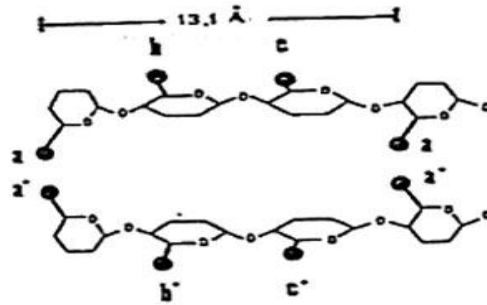


Strato spugnoso



Reticolazione dei biopolimeri fra gr. COO^- delle pectine e ioni Ca^{2+} in soluzione

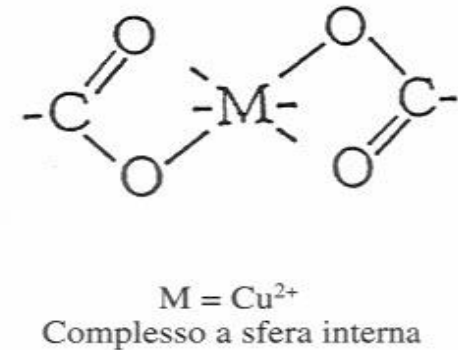
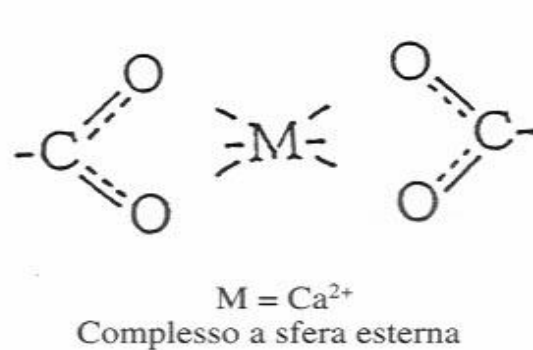
Formazione di **Ponti ionici** stabilizzati da legami H



Il volume dello Spazio libero dipende dalle interazioni dei metalli con i biopolimeri:

• **Complesso a sfera aperta:** $\text{Ca}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$ di idratazione → **notevole elasticità e ampio volume dello spazio libero**

• **Complesso a sfera interna:** è stabile → **volume ridotto dello spazio libero**



E' importante l'affinità degli ioni per i biopolimeri della componente pectica

L'interazione ione-reticolo dipende :

- caratteristiche dello ione
- pH \longrightarrow modificazione carica superficiale

Divisione in 3 gruppi:

1. Specie chimiche con
scarsa affinità

{ Molecole neutre di opportune
dimensioni

2. *Specie ad alta affinità*
Complessi a sfera aperta

{ Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} ,
 Mn^{2+} , Zn^{2+}

3. Specie legate come
Complessi a **sfera interna**

{ Cu^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+}

\downarrow
Fissazione nell'apoplasto

\longrightarrow movimento molto lento

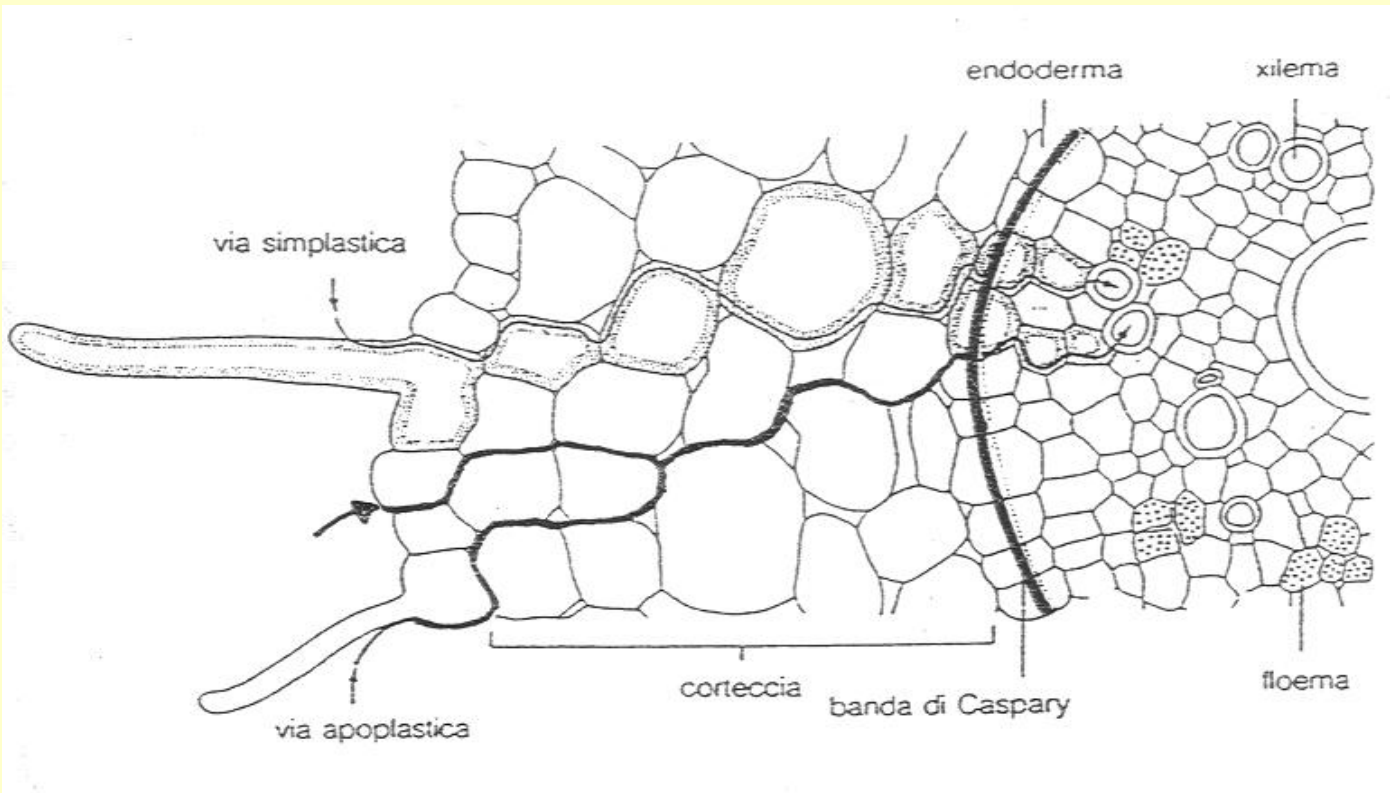
Il sistema poroso, degli spazi liberi non è un'esclusiva della Interfaccia suolo-radice, ma anche all'interno della radice:

Pareti cellulari + Spazi intercellulari



Sistema apoplastico di trasporto

- Superfici radicali delle cellule del rizoderma
- Pareti e spazi intercellulari della corteccia



Il volume dello spazio libero ~ 10% del volume totale delle giovani radici

3 TAPPE principali nella traslocazione dell' H₂O

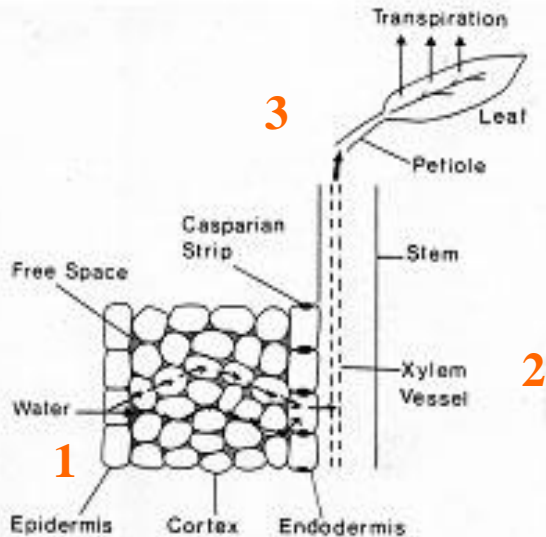


Fig. 4.4 Water pathways in the higher plant.

1. Trasporto centripeto, a breve distanza:

Tessuti corticali → vasi xilematici
radicali → cilindro centrale

2. Trasporto verticale, a lunga distanza:

Radici → Foglie

3. Rilascio dell' H₂O come gas:

Interfaccia pianta - atmosfera

Ψ ATMOSFERA < Ψ SUOLO

Questa differenza è la forza trainante dell' H₂O

da Suolo → alla pianta → all'atmosfera

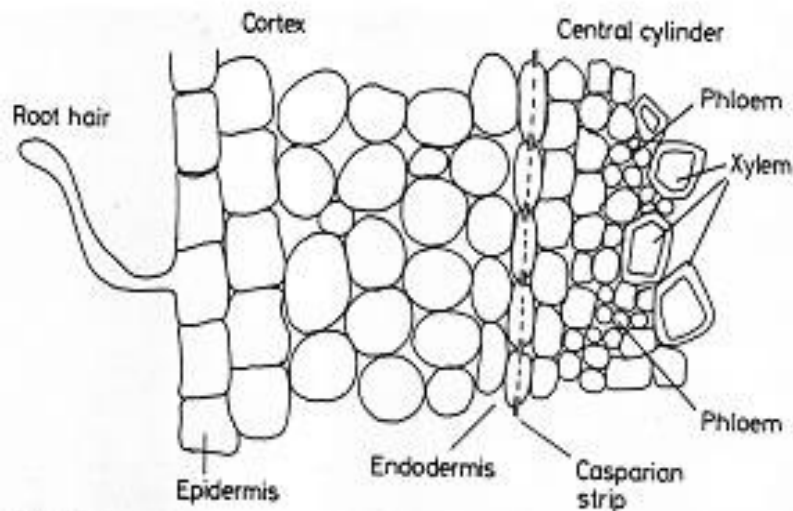
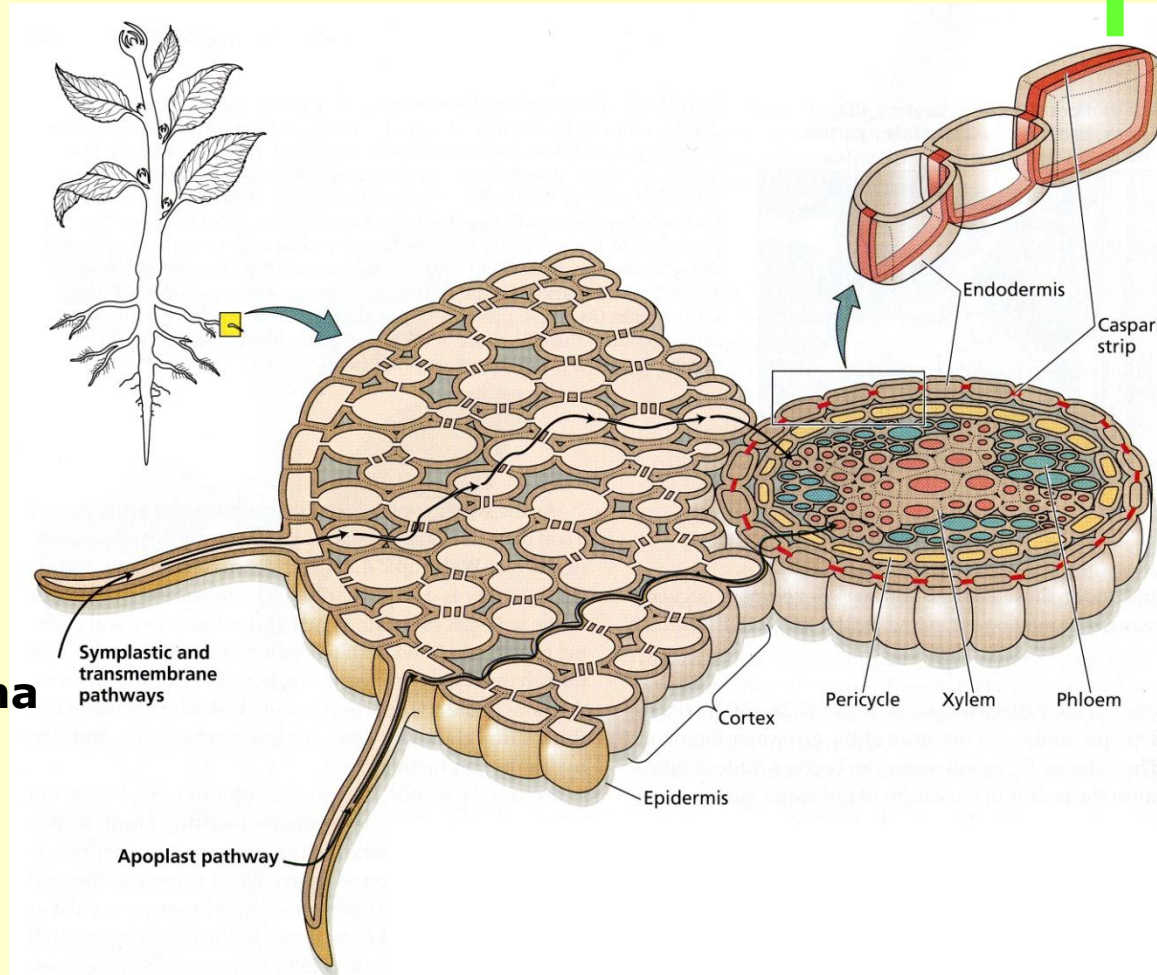


Fig. 4.5 Transverse section of a young root.

TRASPORTO RADIALE

Assorbimento dell'H₂O dalle radici

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



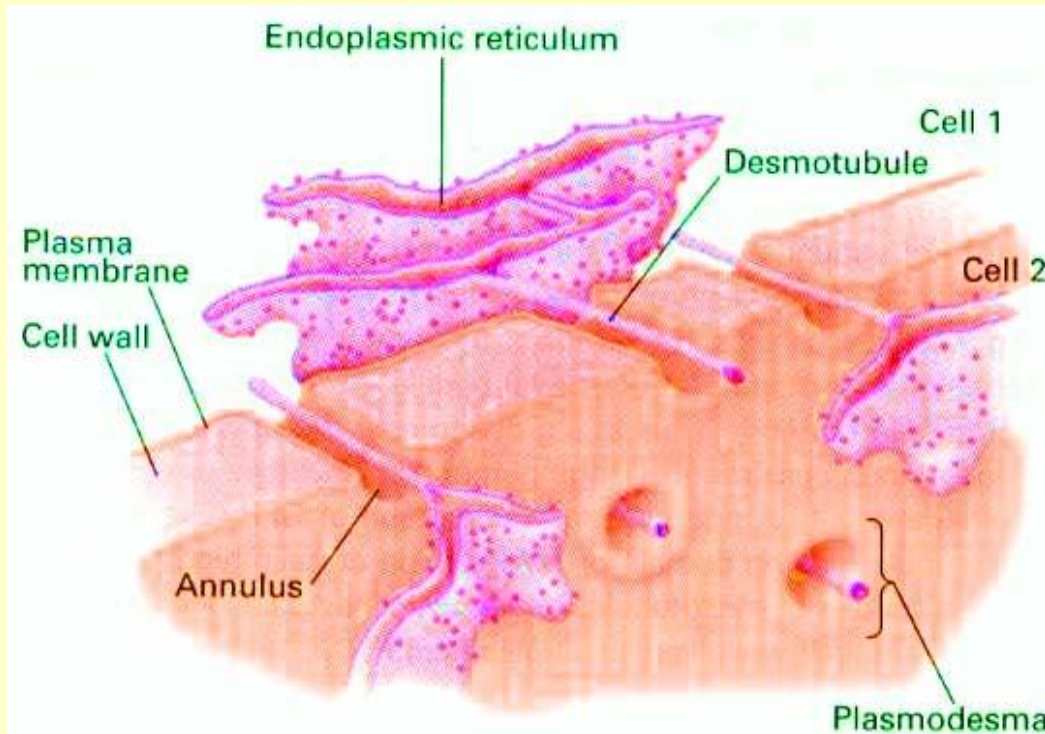
Banda di Caspary
parete cellulare radiale nell'endodermid e impregnata di **suberina**

Apoplastica
Transmembrana
simplastica

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

- Il trasporto nel simplasto avviene tramite i

PLASMODESMI = è formato da un canale attraverso la parete delimitato dalla membrana plasmatica e contenente al centro una struttura tubulare **desmotubulo** = sottile struttura cilindrica in continuità con il reticolo endoplasmatico delle due cellule adiacenti.



L'ampiezza del poro del plasmodesma è ridotta dalla presenza del desmotubulo e delle *proteine*

il trasporto simplastico è selettivo

È possibile che tali proteine possano chiudere completamente il plasmodesma

Nella **pianta** il **potenziale idrico** Ψ_t è rappresentato diversamente rispetto al suolo:

$$\Psi_t = \Psi_p + \Psi_s + \Psi_m$$

Ψ_p = **potenziale di pressione**, uguale alla *pressione idrostatica*

- può essere una componente positiva come Pressione di turgore esercitata dall'acqua nelle cellule
- può essere componente negativa come nello xilema delle piante che traspirano

Ψ_s = **potenziale osmotico** dovuto alla *presenza di soluti* che determinano una

- Diminuzione dell'attività dell'acqua e una
- Riduzione del potenziale chimico

Ψ_m = **potenziale di matrice**

dovuto alle forze di imbibizione o adsorbimento di acqua.

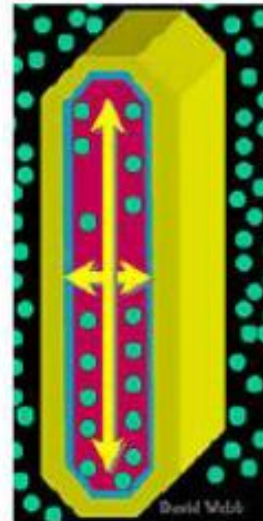
Ψ_m è *importante nel suolo ma nelle cellule è trascurabile.*



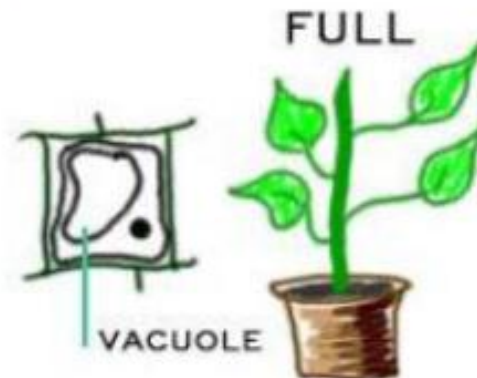
$$\Psi_t = \Psi_p + \Psi_s$$

Perché la **pressione di turgore** cellulare è importante?

- **distendere le pareti** cellulari durante la crescita delle cellule



- **aumentare la rigidità** meccanica delle cellule e tessuti giovani non lignificati



Lo xilema è costituito da 4 tipi di cellule:

1. Fibre
2. cellule parenchimatiche
3. tracheidi
4. articoli dei vasi (o trachee)

Le **cellule parenchimatiche** formano dei raggi che decorrono radialmente

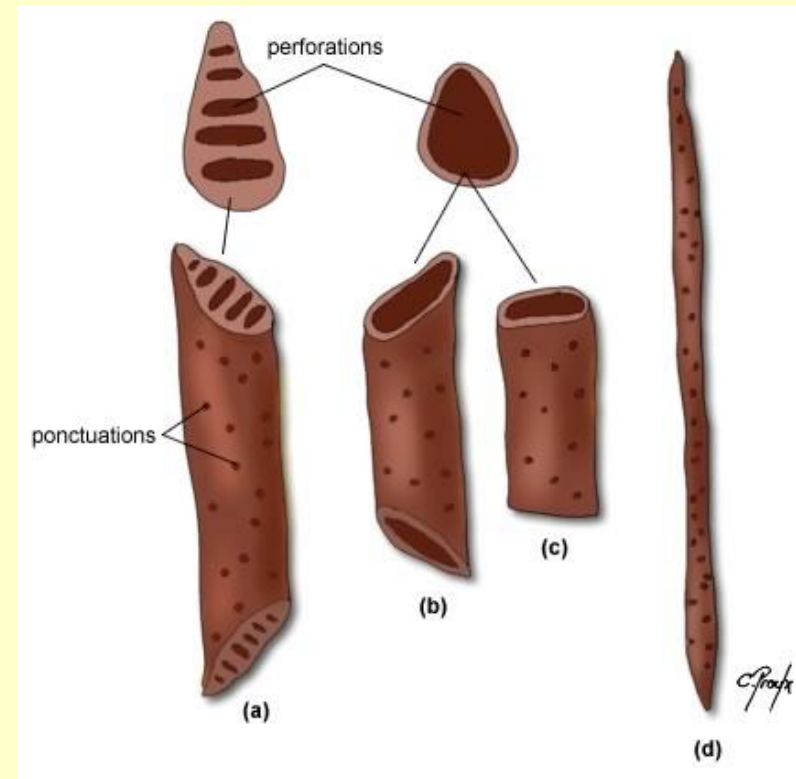
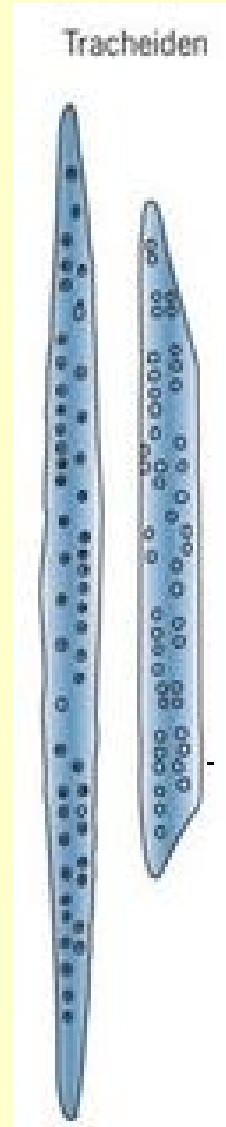
Tracheidi e articoli dei vasi decorrono longitudinalmente

Le gimnosperme (conifere)

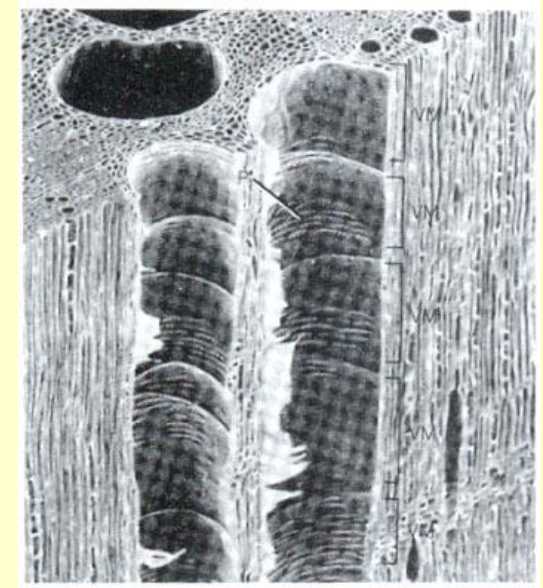
hanno solo tracheidi

Nelle angiosperme (piante a fiore) si trovano tracheidi e trachee

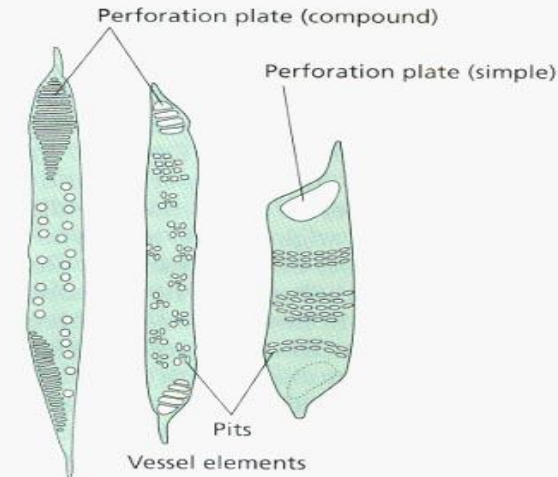
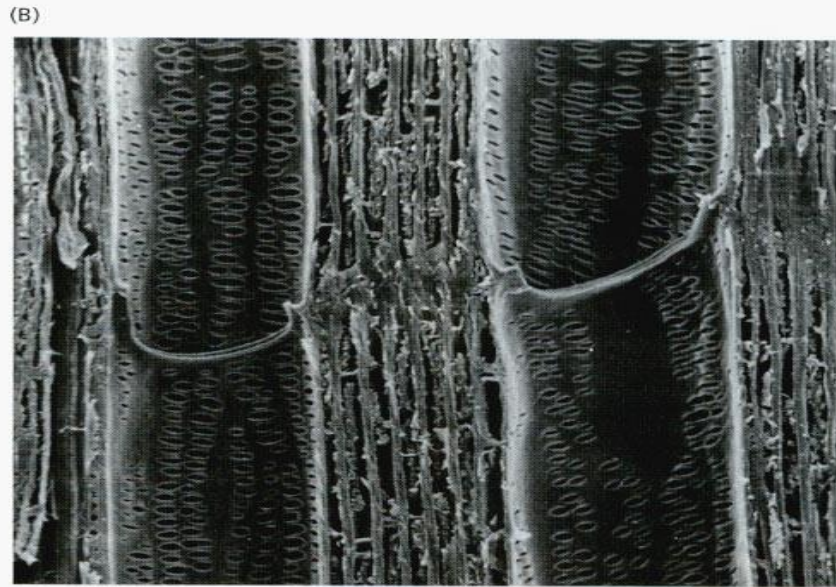
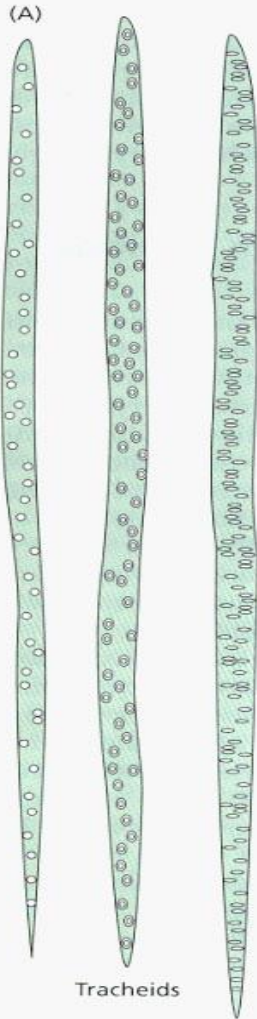
anche
nel floema



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



← Sovrapposizione a formare un vaso



tracheidi

Trachee o articoli dei vasi
a differenza delle Tracheidi sono impaccate uno su l'altro

Nelle *tracheidi e trachee*

i protoplasti muoiono e sono assorbiti da altre cellule

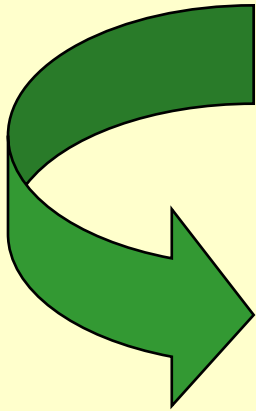
prima della morte : modificazioni importanti ai fini del flusso dell'acqua

1. Formazione di una *parete secondaria fortemente lignificata* :

notevole robustezza per impedire lo schiacciamento per effetto delle tensioni;

Le pareti lignificate non sono permeabili all'acqua

2. Presenza di *punteggiature*: sottili fori rotondi in cui è presente solo la parete primaria



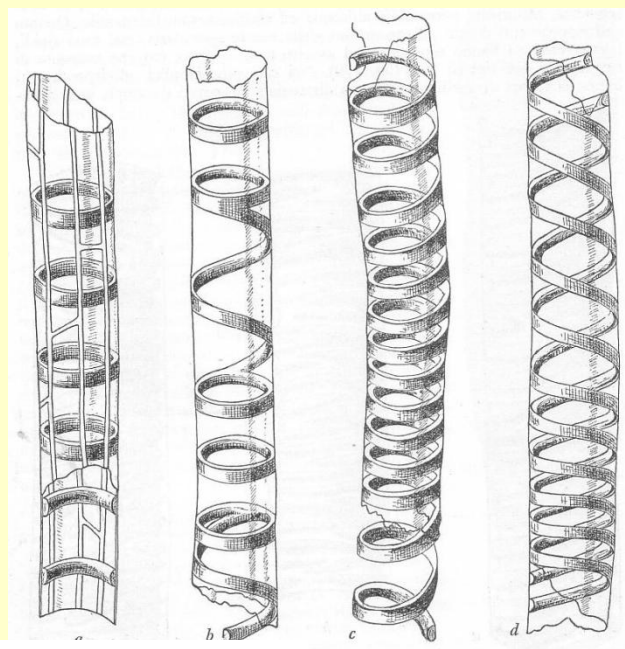
Le tracheidi hanno estremità affusolate e la presenza di punteggiature consente la salita verticale dell'acqua.

*Le trachee conducono l'acqua più velocemente delle tracheidi :
mancanza di vere pareti trasversali e maggiore diametro*

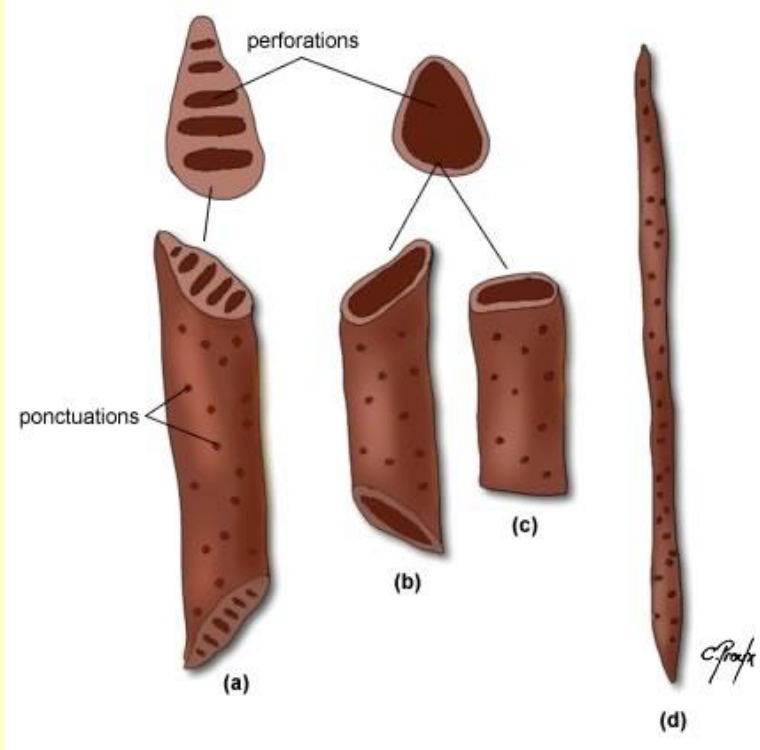
Gli **articoli dei vasi o trachee** sono rinforzati da anelli, spirali o altri tipi di ispessimenti.

Le pareti trasversali presentano delle **perforazioni semplici o multiple** → rapido passaggio dell'acqua

La velocità del flusso è maggiore rispetto alle tracheidi



...ralato; c, vaso spiraleto; d, vaso doppiamente spi- (da BONNIER).



E' stato calcolato che per la maggior parte degli alberi sono richiesti gradienti di potenziale idrico nell'intervallo:

$$0,05 < \Psi_t < 0,2 \text{ atm/m}$$

- Il trasporto di acqua dalle radici alle foglie deve bilanciare le perdite per traspirazione
- Le strutture xilematiche consentono velocità di flusso molto elevate, ma notevolmente variabili da pianta a pianta

Tab. 17.I – Velocità di trasporto dell'acqua in diversi tipi di piante

	Velocità (m.h⁻¹)
Conifere	1,2
Essenze mediterranee sempreverdi	0,4-1,5
Latifoglie a trachee strette (acero, pioppo)	1-6
→ Latifoglie a trachee larghe (olmo, frassino)	4-44
Piante erbacee	10-60
Liane	150

- Le specie con resistenza al flusso più bassa:

latifoglie a trachee larghe

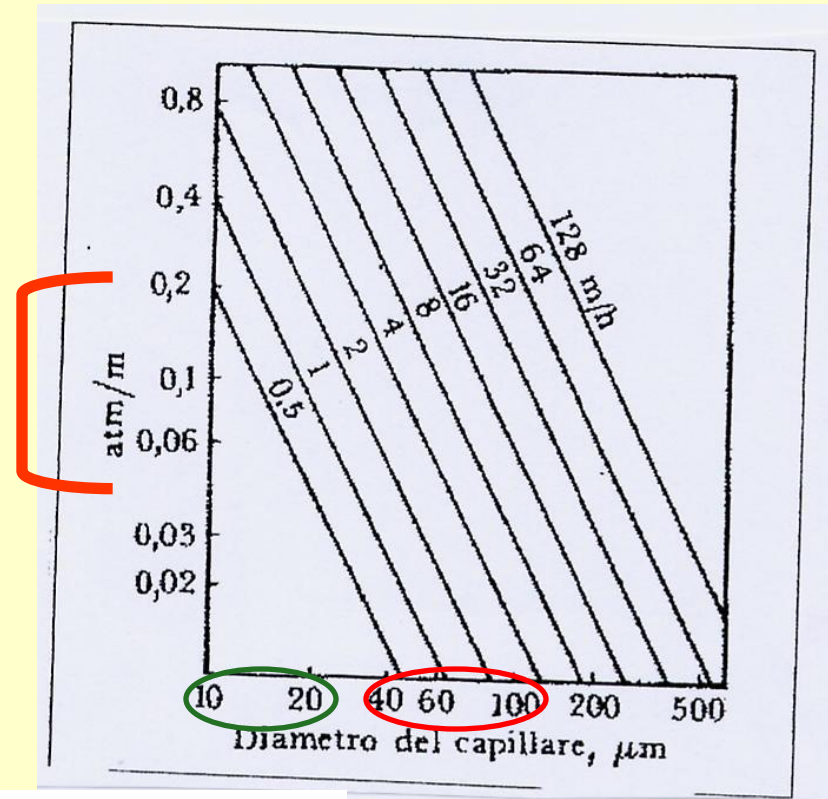
→ velocità di trasporto più elevate

Relazione che intercorre fra: Gradiente di potenziale idrico e velocità di trasporto

Il diametro delle **tracheidi** = 10 – 25 μm
Il diametro delle **trachee** = 40-80 μm
anche 500 μm

I valori teorici non sono reali
Le trachee non si comportano
come capillari ideali
presentano una resistenza 5
volte maggiore

Per la maggior parte degli alberi
sono richiesti gradienti di potenziale idrico
nell'intervallo: $0,05 < \Psi_t < 0,2 \text{ atm/m}$



	% dei valori teorici
Liane	100
Quercia (radici)	53-84
Abete	26-43
Betulla (radici)	34,8
Pioppo (fusto)	21,7
Piante erbacee e arbustive	12-22

CARICAMENTO DELLO XILEMA

I vasi xilematici sono spazio apoplastico per mancanza di citoplasma:

Passaggio simplasto \longrightarrow apoplasto (xilema)

- *È un trasporto mediato da carrier*

- *E' un trasporto attivo :*

Esistenza di una **pompa protonica** sulla membrana delle cellule parenchimatiche:



ioni H^+ vengono pompati nello xilema


acidificazione del pH xilematico (5.2-6.0)



Gli H^+ agiscono da contro-ioni per il trasporto di **cationi**

rilascio di ioni K^+ e Ca^{2+}

dalle cellule del parenchima al vaso xilematico

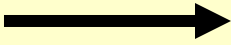
Gli **anioni** entrano per gradiente elettrico:  **Lo xilema è carico +**

- Il rilascio di ioni nello xilema è condizionato da:

Disponibilità di O_2 e di Carboidrati nelle radici

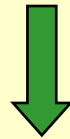
Il sistema di caricamento dello xilema è regolato indipendentemente dall'assorbimento radicale.

Il rilascio di ioni nello xilema provoca:

Aumento Ψ_{osmotico}  Diminuzione Ψ della pianta

Richiamo di H_2O dall'esterno  Aumento della pressione idrostatica Ψ_p

pressione radicale
(pressione positiva)



Spinta di H_2O e soluti verso l'alto

La pressione radicale diminuisce salendo verso l'alto

Il processo determinante è la

depressione esercitata dalle foglie

in seguito alla traspirazione (Suzione = Tensione)



A seguito della
pressione nello
xilema si osserva
guttazione dalle
foglie

*La forza motrice è il gradiente decrescente
di Ψ dal suolo all'atmosfera*

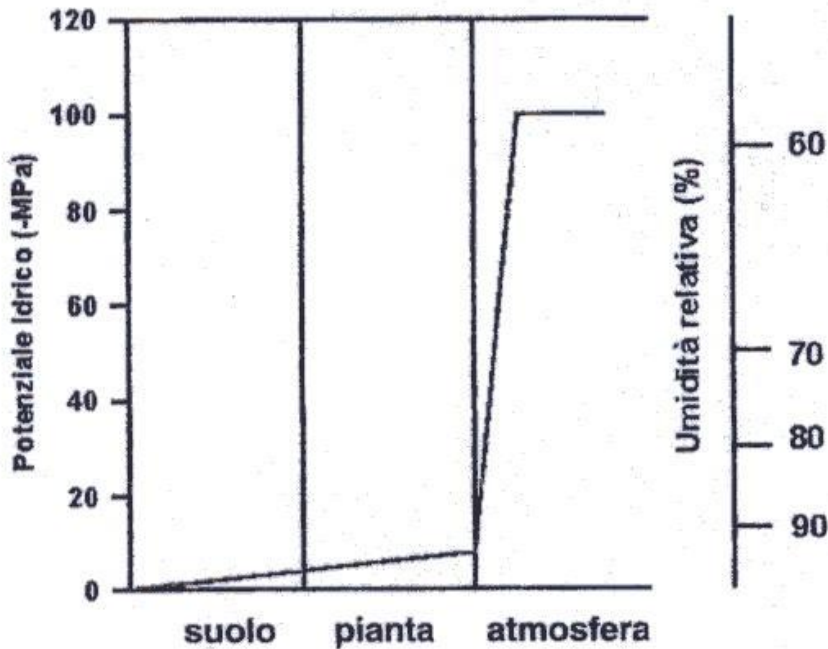
0,1 MPa = 1 Bar

**Il potenziale idrico dell'acqua
nell'atmosfera** si calcola sulla base
della relazione che considera

T= temperatura e

UR= umidità relativa

$$\Psi = -10,7 \times T \times \log 100/UR$$

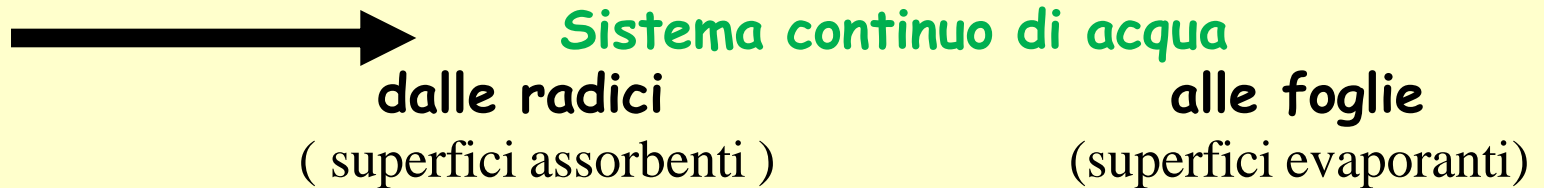


TEORIA DELLA COESIONE - TENSIONE

- La **coesione** è dovuta ai legami fra le molecole di H_2O lungo la via di scorrimento  **tensione** che si trasmette verso il basso, fino alle radici e al terreno.

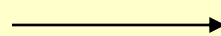
- Esistenza di **forze di adesione** :
attrazione fra molecole di H_2O e pareti cellulari

Le forze di coesione legano le molecole di H_2O



- La **interruzione della catena** di molecole di H_2O

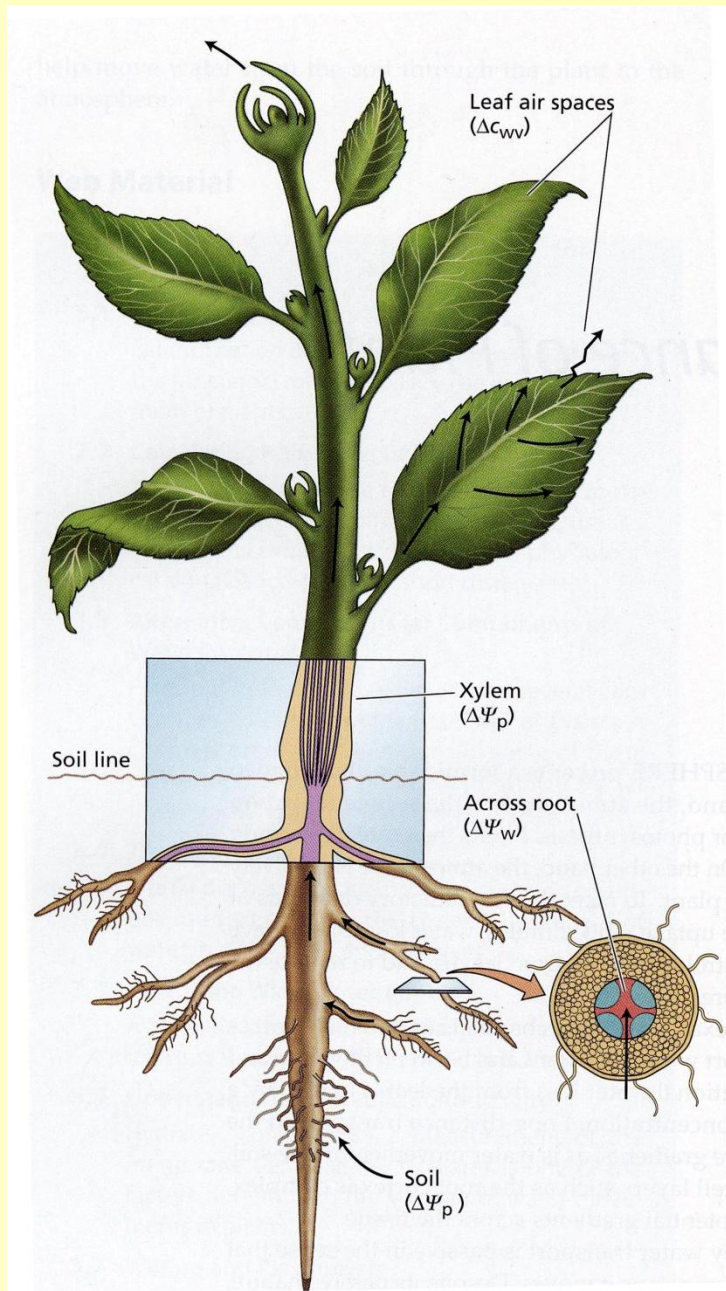
Formazione di bolle di aria



Cavitazione



Blocco della Traspirazione



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

FATTORI che influenzano velocità e composizione del succo xilematico

1. Aumento della concentrazione ionica nel mezzo esterno

Incremento del contenuto ionico nel succo xilematico

Diminuzione del flusso per abbassamento del gradiente di concentrazione fra mezzo esterno e succo xilematico

Riduzione della concentrazione relativa del singolo ione

Tab. 15.7 - Relazione tra concentrazione ionica nel mezzo nutritivo, composizione e flusso dell'essudato in piante di girasole decapitate (modificata da Marschner, 1986).

Concentrazione (mM) di KNO_3 e $CaCl_2$ nel mezzo nutritivo	Composizione dell'essudato (mM)			Fattore di concentrazione			Flusso dell'essudato (ml · 4 ore)
	K^+	Ca^{2+}	NO_3^-	K^+	Ca^{2+}	NO_3^-	
0.1	7.3	2.8	7.4	73	28	74	4.0
1.0	10.0	3.2	10.7	10	3.2	10.1	4.5
10.0	16.6	4.2	10.3	1.7	0.4	1.0	1.6

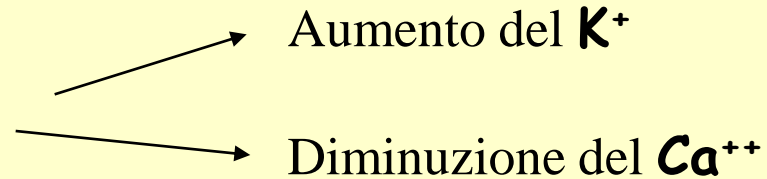
2. Aumento di Temperatura:



Aumento del volume del flusso

Alterazione del rapporto

K^+ / Ca^{++}



Alterazione della selettività di membrana ??

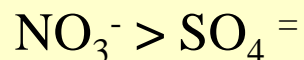
Tab. 15.8 - Effetto della temperatura sul flusso e sulla composizione ionica dell'essudato di piante di mais decapitate (*) (modificata da Marschner, 1986).

Temperatura (°C)	Flusso dell'essudato (ml - 4 ore)	Composizione ionica (mM)		Rapporto K^+ / Ca^{2+}
		K^+	Ca^{2+}	
8	5.3	13.4	1.5	8.9
18	21.9	15.2	1.0	15.2
28	31.7	19.6	0.8	24.5

(*) La concentrazione di KNO_3 e $CaCl_2$ nel mezzo nutritivo era 1.0 M.

3. Rapporto anioni/cationi

- *La velocità del flusso è doppia con il trattamento con KNO_3*
- La quantità di K^+ assorbita è invariata nei 2 trattamenti
- La concentrazione degli anioni è diversa:



- Il deficit di cariche negative viene bilanciato da un accumulo maggiore di anioni organici.

Tab. 15.9 - Flusso e composizione ionica dell'essudato di piantine di frumento (*) (modificata da Triplett et al., 1980).

Parametri	Trattamento	
	KNO_3	K_2SO_4
Flusso dell'essudato ($\mu\text{l}/\text{h} \cdot 50$ piante)	372	180
Composizione ionica ($\mu\text{eq}/\text{ml}$)		
Potassio	23.3	24.5
Calcio	9.1	9.5
Nitrati	18.1	0.0
Solfati	0.2	0.8
Acidi organici	9.6	25.8

(*) Alle piantine veniva somministrato KNO_3 (1.0 mM) o K_2SO_4 (0.5 mM) in presenza di $CaSO_4$ (0.2 mM).

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

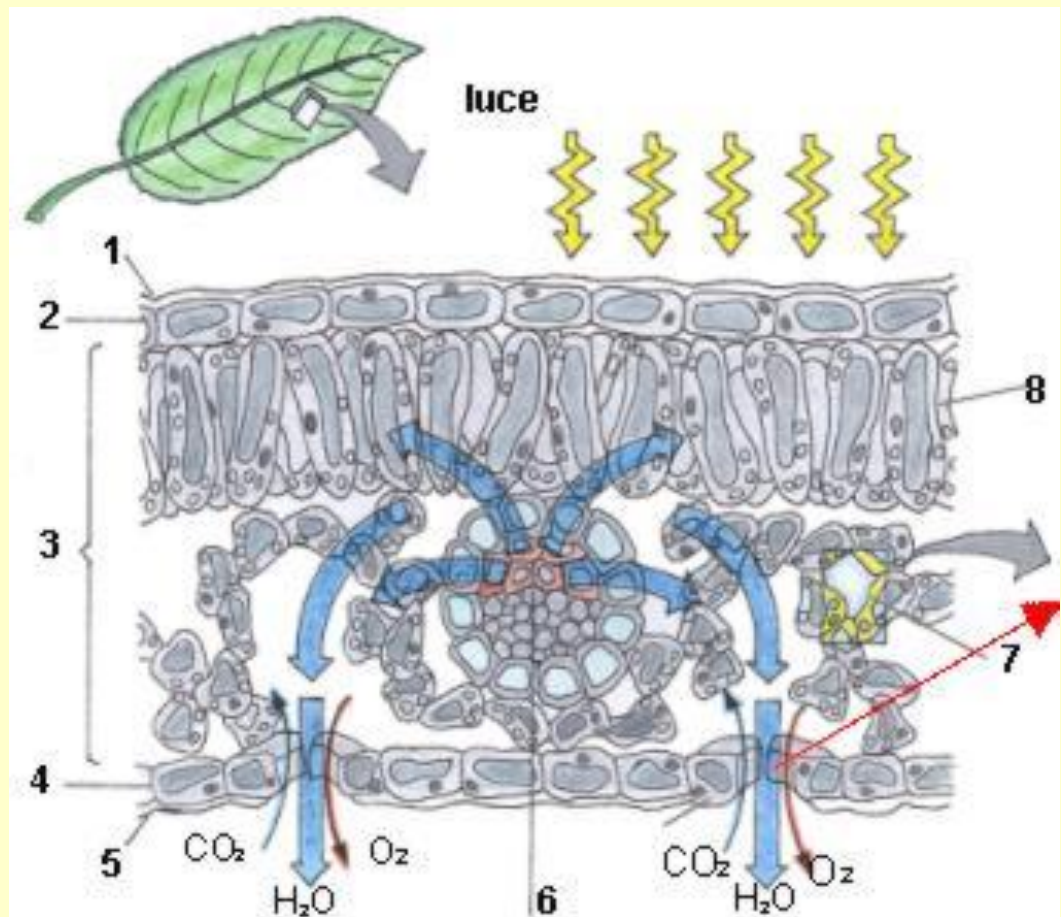
Nelle **foglie**

- l'acqua evapora dalle pareti cellulari del **parenchima a palizzata** e del **Parenchima lacunoso** che insieme formano il

Mesofillo

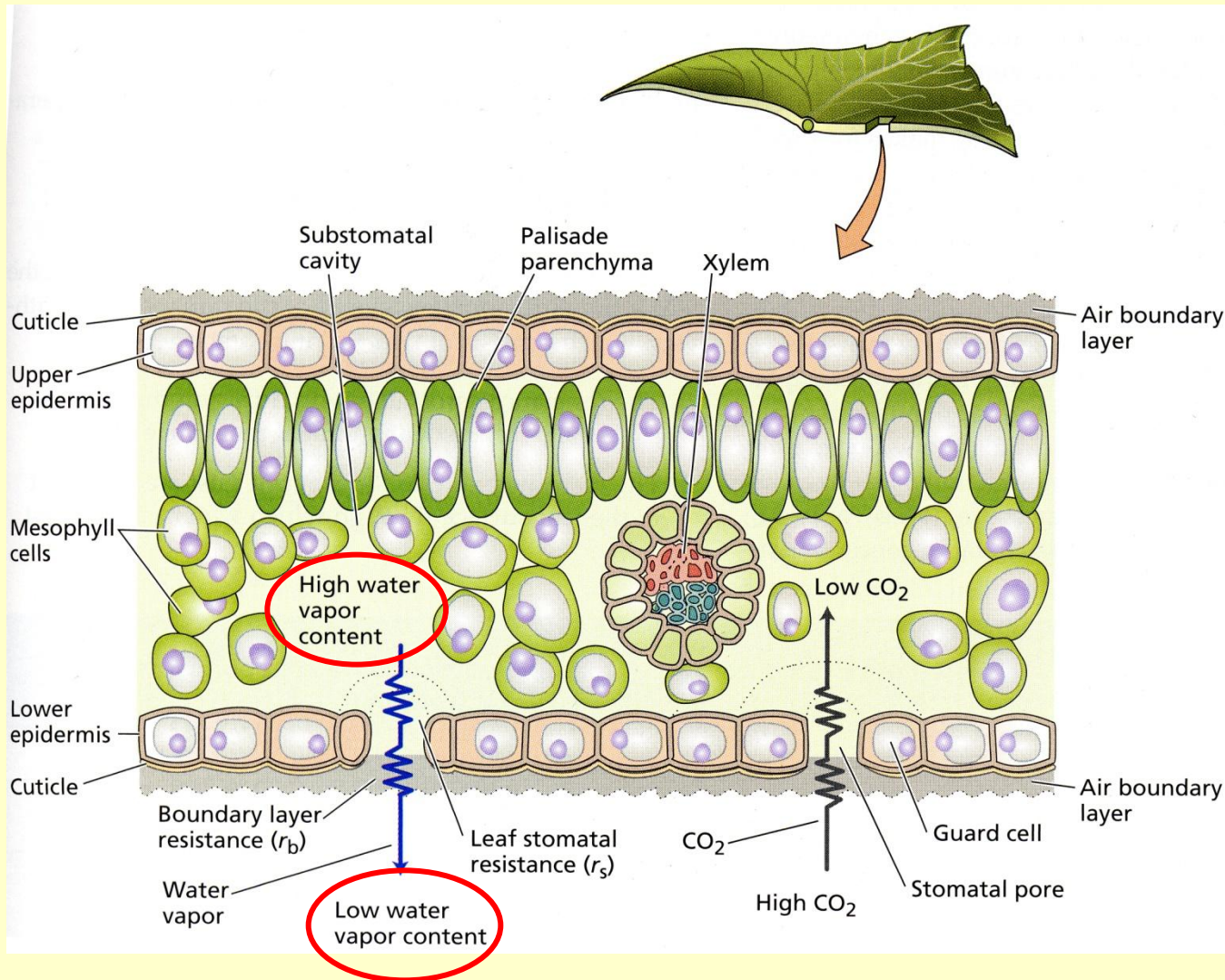
- passaggio negli **spazi intercellulari**
- in comunicazione con l'esterno attraverso gli

stomi = aperture regolabili



- La + parte del vapore acqueo e dei gas passa attraverso l'apertura (rima stomatica) compresa fra le **cellule di guardia**
- La cuticola cerosa presente sull'epidermide delle foglie limita la diffusione

l' H_2O , evaporata dalla superficie delle cellule negli spazi aeriferi, esce dalla foglia per **diffusione**



la forza motrice per la perdita di H_2O è il **GRADIENTE DI CONCENTRAZIONE del vapor d'acqua** tra gli spazi aeriferi e l'aria

La velocità di traspirazione dipende, oltre che dal gradiente di concentrazione, dalla resistenza alla diffusione

Gli stomi si aprono perché le cellule di guardia assorbono acqua e si rigonfiano

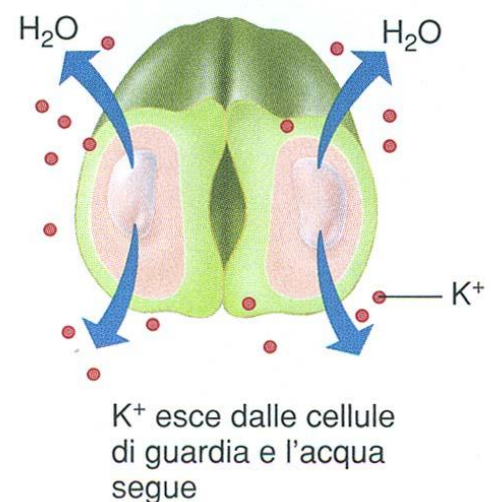
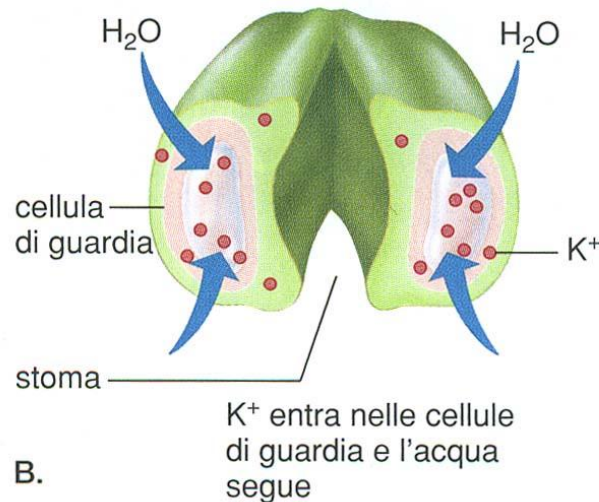
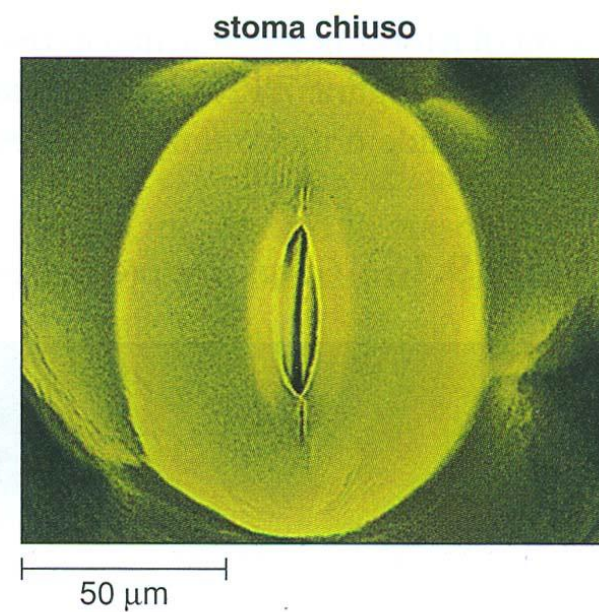
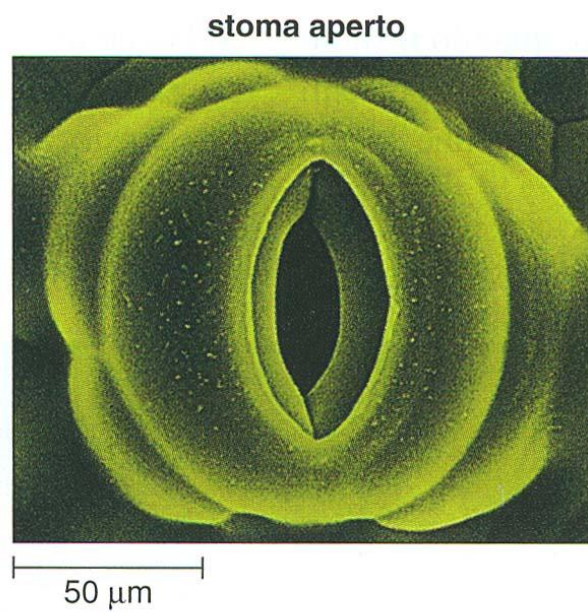
- Le microfibrille di cellulosa impediscono aumento in diametro
- Allungamento lungo le pareti esterne
- Le cellule di guardia si rigonfiano verso l'esterno

Apertura dello stoma

Un flusso di ioni K^+

dalle cellule ausiliare alle cellule di guardia determina:

- Aumento del potenziale osmotico e abbassamento del potenziale idrico
- Richiamo di acqua dalle cellule ausiliarie



Aumenta la
concentrazione di
soluti



aumento della π

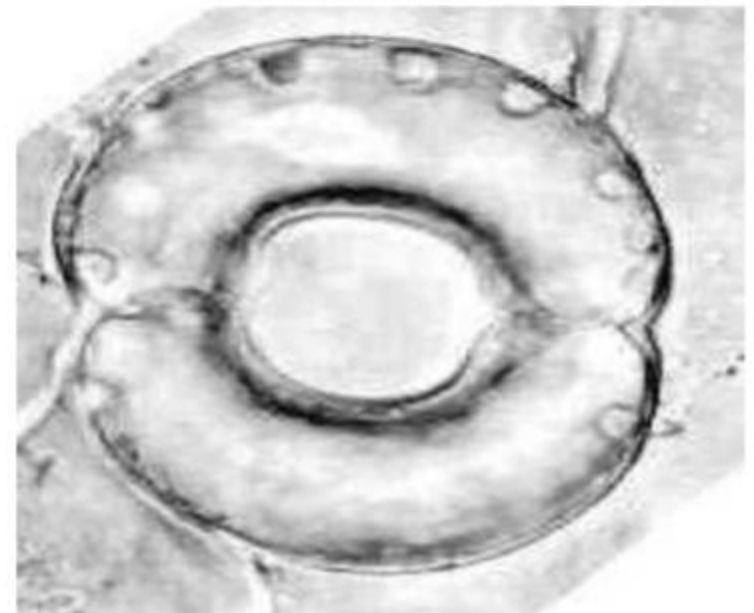
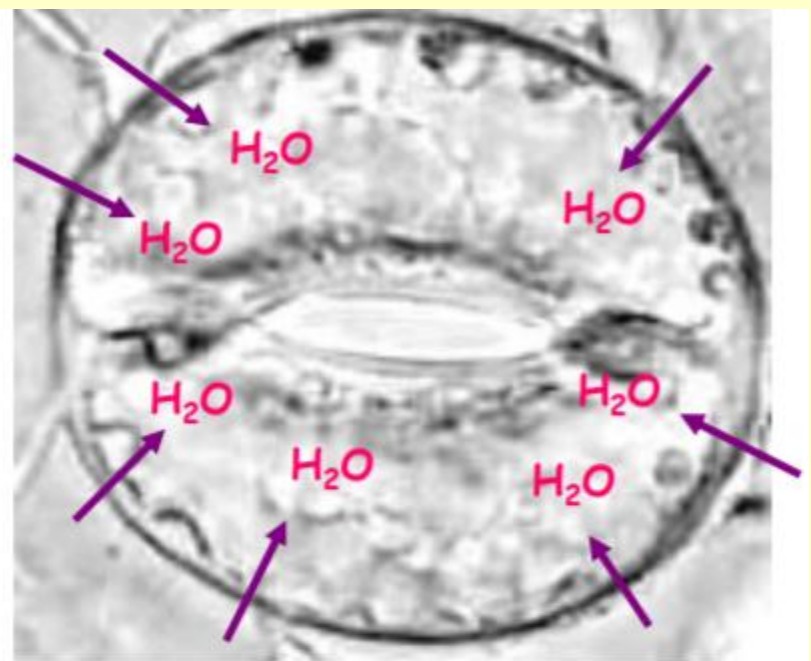


diminuzione di ψ



Entra l'acqua

AUMENTO DELLA
PRESSIONE DI TURGORE



Evaporazione dell' H_2O nel mesofillo fogliare

Nelle cellule vicine agli elementi conduttori della foglia

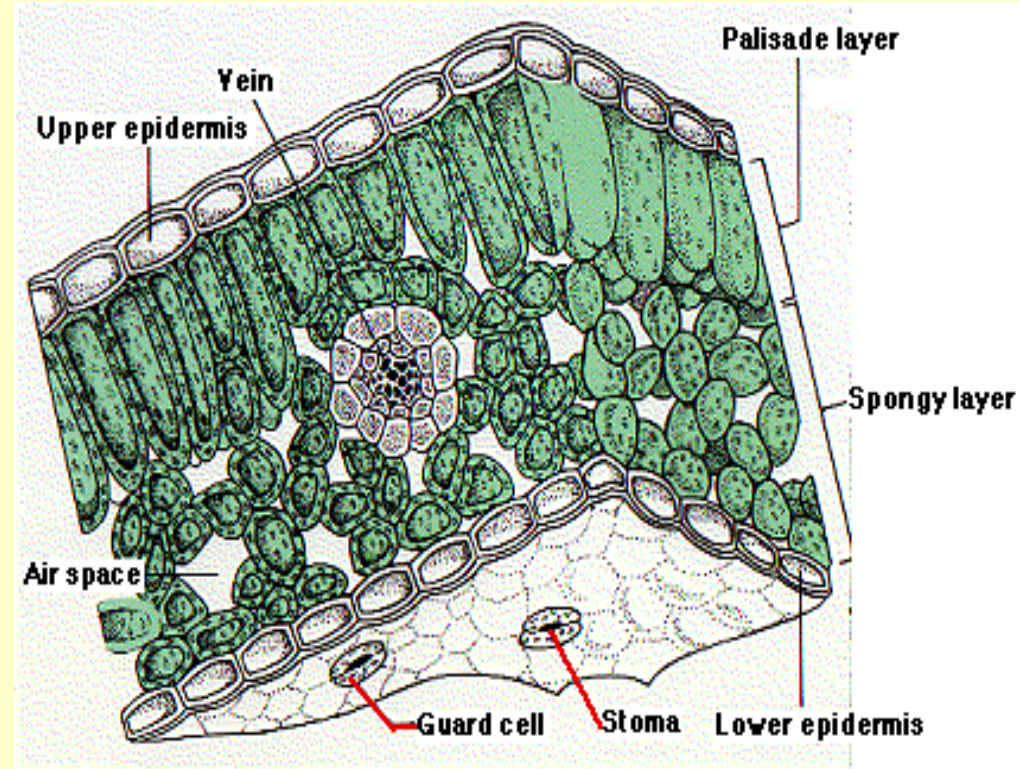
L'evaporazione dell' H_2O



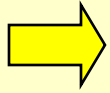
Deficit idrico



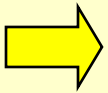
Richiamo di H_2O dai vasi conduttori



Trasporto Floematico

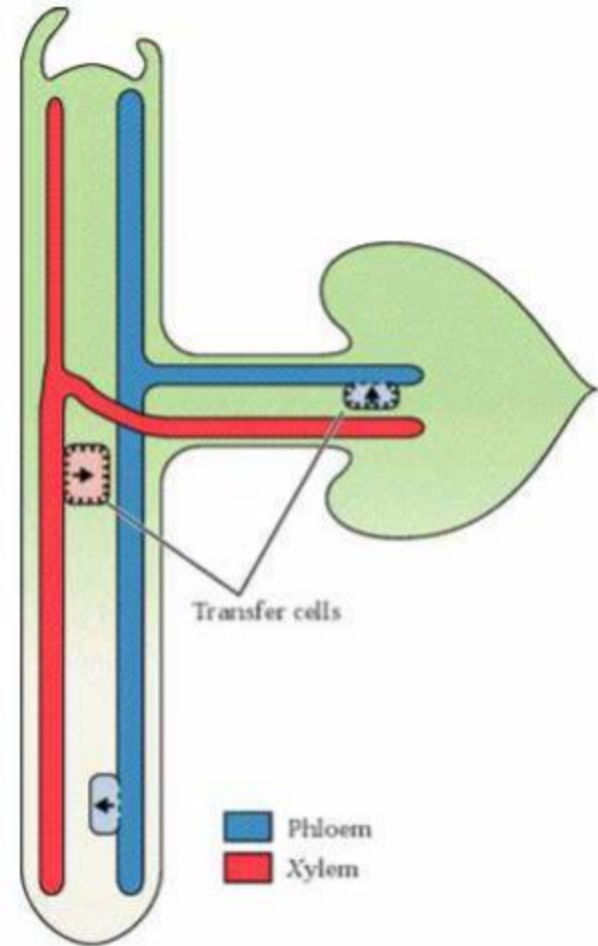
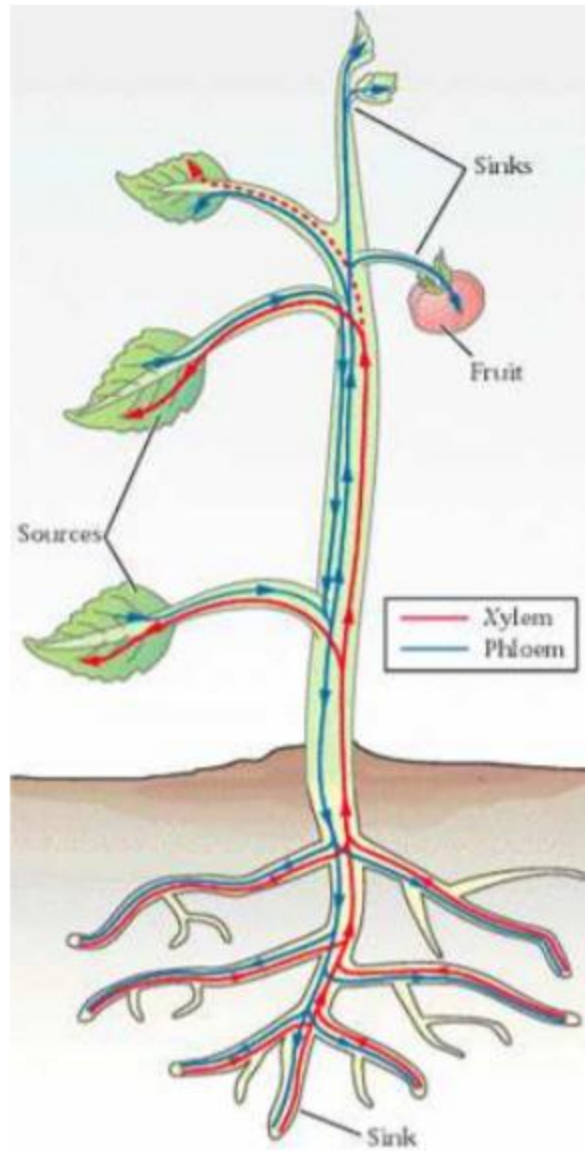


Il floema è il tessuto in grado di traslocare i **prodotti della fotosintesi** da foglie adulte ad aree di accrescimento e di accumulo

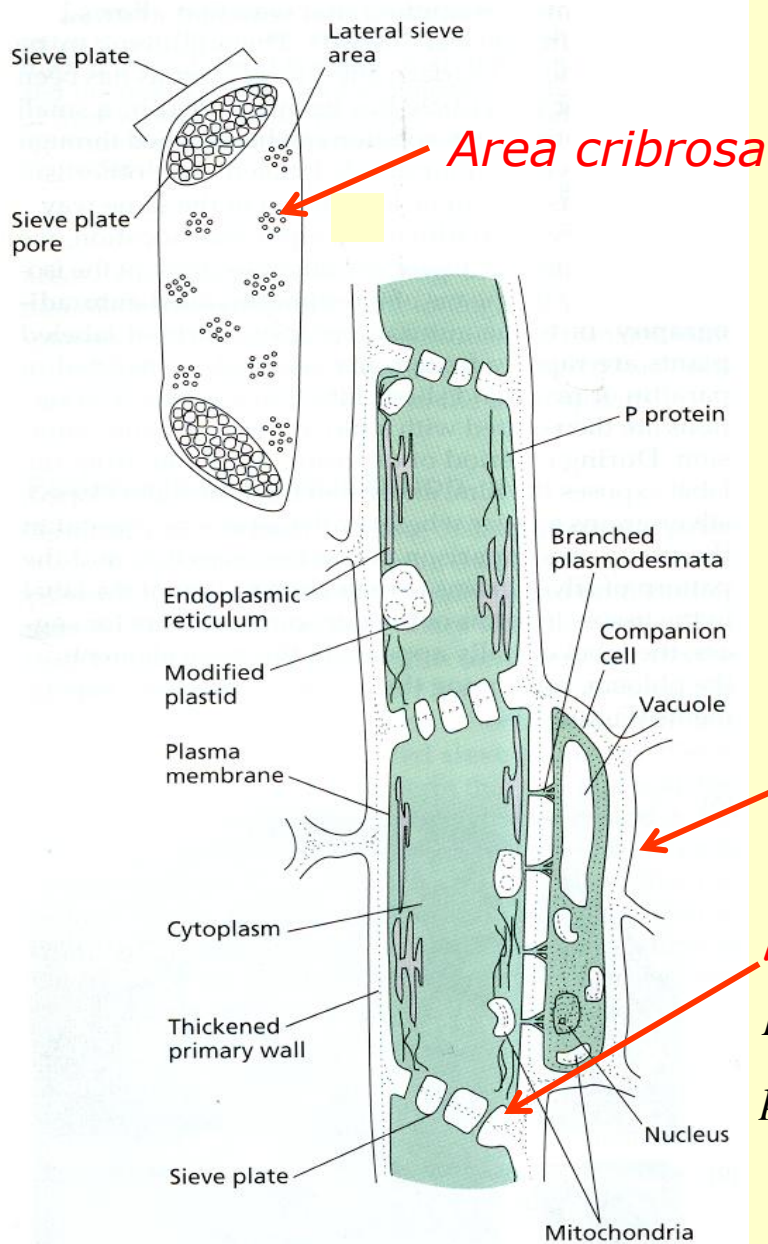


Ridistribuisce **l'acqua ed altri composti** pervenuti per via xilematica agli organi non soggetti a traspirazione (frutti, semi, tessuti meristemati)

Lo xilema ed il floema hanno numerosi punti di contatto



Cellula Cribrosa



Elementi del Cribro



Cellule cribrose (gimnosperme)

Elementi dei tubi cribrosi (angiosperme)

Ogni elemento del cribro è associato a 1 o più

cellule compagne

Placche cribrose:

I pori delle placche cribrose sono canali aperti e permettono il trasporto fra tubi cribrosi


Gli elementi del cribro sono caratterizzati da

- **aree cribrose:**

Porzioni della parete cellulare dove pori (diametro 1-15 μm)
mettono in comunicazione le cellule conduttrici.

- **Placche cribrose** posseggono dei pori più grandi e sono situate sulle pareti terminali degli elementi cribrosi

Le cellule si uniscono a formare una serie longitudinale

 **Tubi cribrosi**

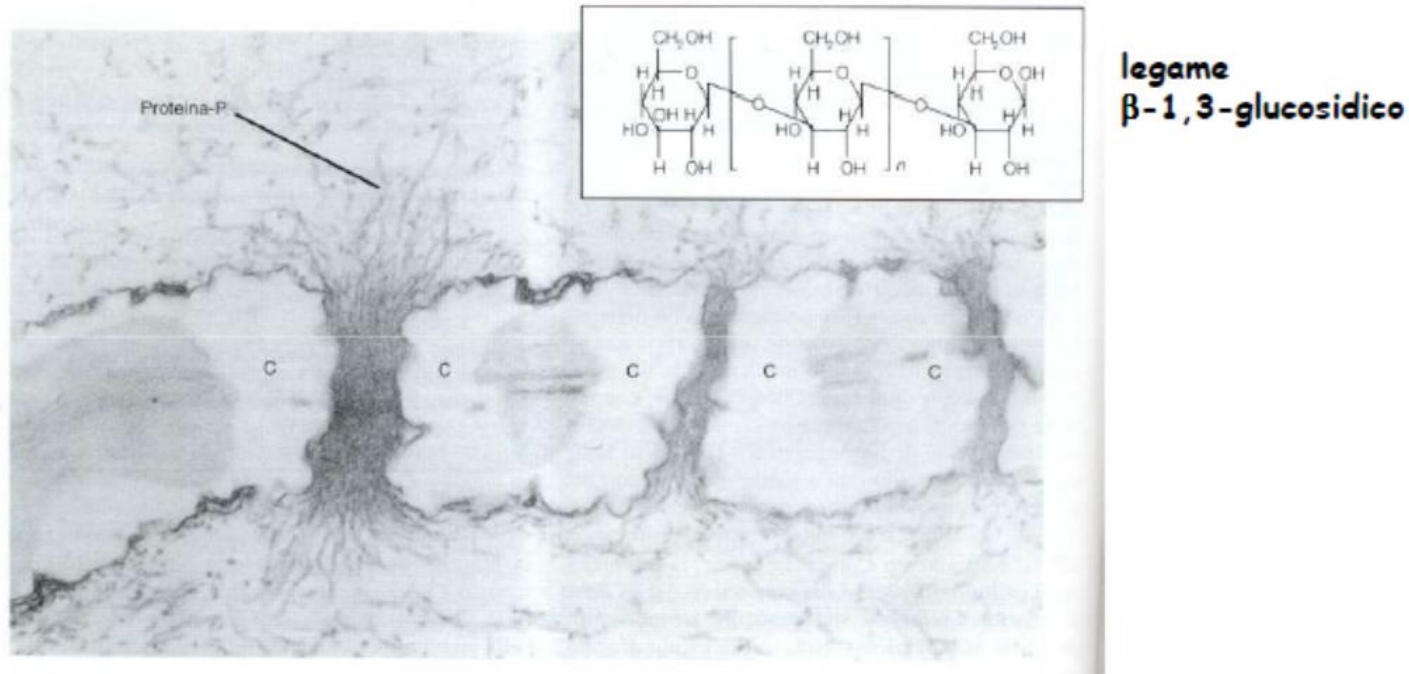
Gli elementi dei tubi cribrosi mancano di nucleo,
tonoplasto, microfilamenti, microtubuli, Golgi e ribosomi

- Contengono **Proteina P** (*Phloem protein*): si trova in tutte le dicotiledoni e in molte monocotiledoni (PP1 e PP2)

Funzione: ostruisce i pori per evitare la perdita di succo floematico quando viene provocato un taglio o una ferita

Risposta al danneggiamento meccanico:

- **Proteine P**
- **Sintesi di callosio**



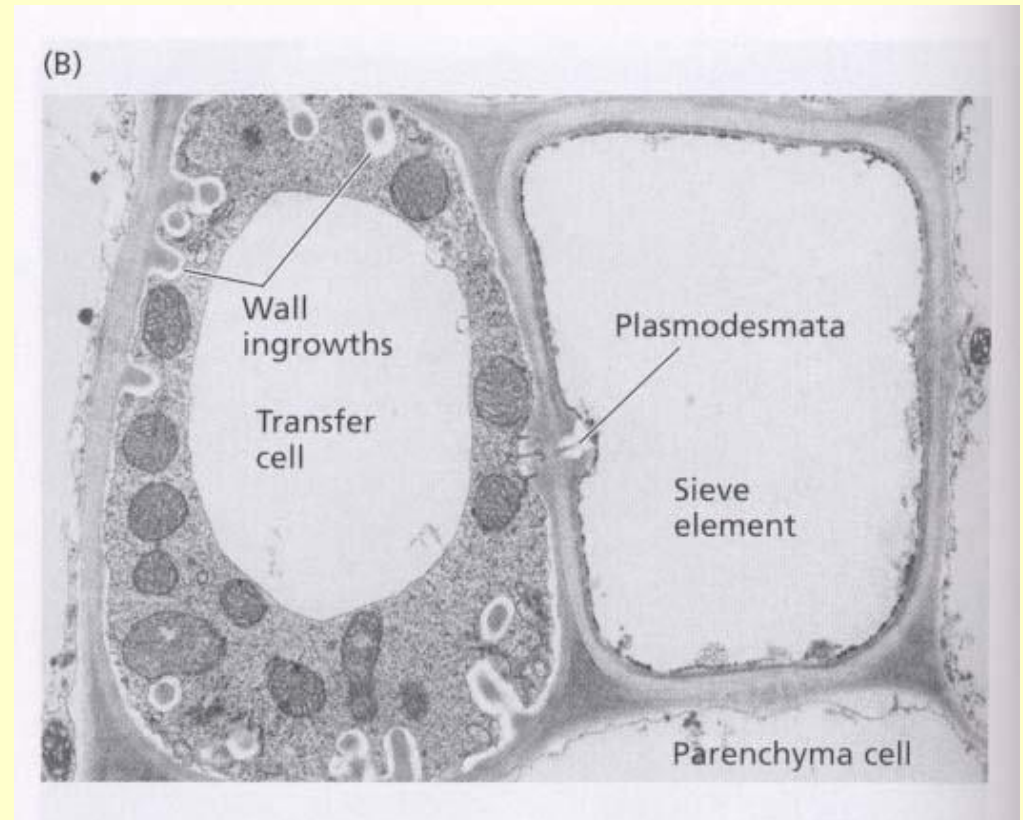
Il **callosio** è un polimero del beta-glucosio.

- Forma "manicotti" attorno ai canali della placca cribrosa nei periodi di letargo invernale impedendo il flusso di linfa lungo il tessuto conduttore.

Al momento del risveglio vegetativo, il callosio viene parzialmente idrolizzato per liberare nuovamente i canali vascolari

Gli elementi dei tubi cribrosi sono connessi mediante plasmodesmi con una o più Cellule Compagne

- Derivano dalla stessa cellula madre dell'elemento cribroso
- Sono ricche di mitocondri
- Sono sorgente di ATP e di altri composti
- Trasporto di prodotti fotosintetici dalle cellule produttrici agli elementi del floema



Direzione della traslocazione nel Floema

La direzione di traslocazione nel floema non è definita rispetto alla gravità



Avviene da zone di produzione dei fotoassimilati dette SORGENTI (Source)

a zone di consumo metabolico o di immagazzinamento dette POZZI (Sink)

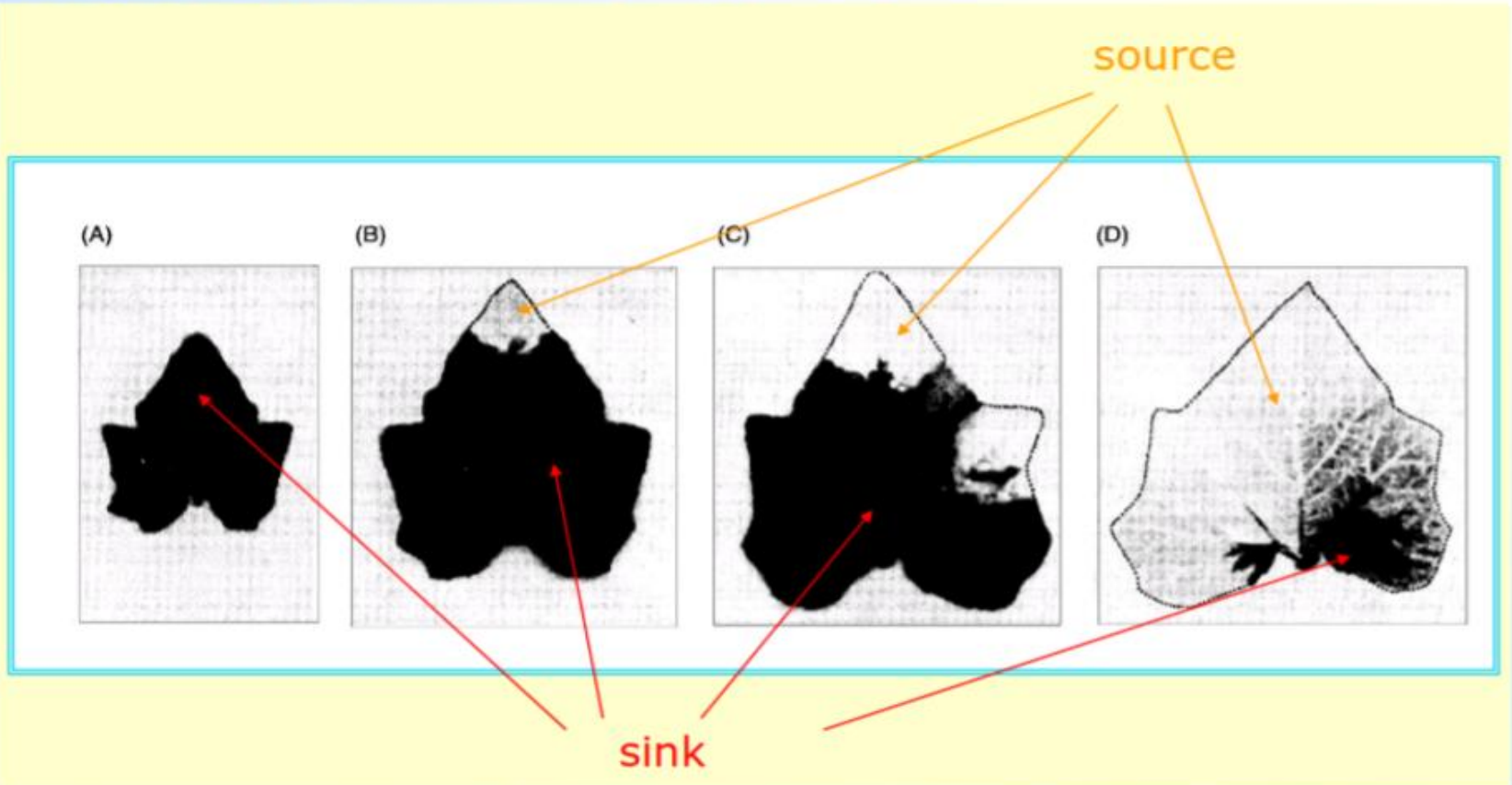
Una foglia adulta è *source* : fotosintetizza più del suo fabbisogno

Una foglia giovane è *sink* : il suo fabbisogno metabolico supera la capacità produttiva

la distinzione
non è netta

Transizione da **pozzo** a **sorgente**

Le giovani foglie funzionano da pozzi ma....



....quando una giovane foglia raggiunge il 25% della sua dimensione finale inizia ad esportare saccarosio (funzionando da sorgente) dalla zona apicale mentre la parte basale continua ad importare

*I Sink non sono equamente riforniti da tutte le foglie (source) di una pianta
ci sono regole anatomiche e di sviluppo:*

- VICINANZA

Le **foglie mature superiori** di una pianta riforniscono

—————> Foglie giovani e gli apici vegetativi

Le **foglie inferiori** riforniscono —————> il sistema radicale

Le foglie in **posizione intermedia** —————> esportano in entrambe le direzioni

- SVILUPPO

L'importanza dei Sink può variare durante lo sviluppo:

- Durante l'accrescimento vegetativo:

 - i **tessuti meristematici** di radici e germogli sono i pozzi principali (sink)

- Durante lo sviluppo riproduttivo

 - i **frutti** sono i sink dominanti soprattutto dalle foglie + vicine (source)

Tabella 8.1

Confronto tra la composizione della linfa xilematica e quella della linfa floematica del lupino bianco (*Lupinus albus*)

	Linfa xilematica mg L ⁻¹	Linfa floematica mg L ⁻¹
Saccarosio	ND ^a	154 000
Amminoacidi	700	13 000
Potassio	90	1 540
Sodio	60	120
Magnesio	27	85
Calcio	17	21
Ferro	1,8	9,8
Manganese	0,6	1,4
Zinco	0,4	5,8
Rame	Tr ^b	0,4
Nitrato	10	ND ^a
pH	6,3	7,9

^a ND = non presente in quantità misurabile.

^b Tr = presente in tracce.

Riportato da Pate (1975).

La concentrazione dei soluti

La concentrazione di soluti

del floema

>

dello xilema

IL TRASPORTO NEL FLOEMA

Il caricamento del floema:

movimento dei prodotti fotosintetici

dai cloroplasti del mesofillo agli elementi del cribro

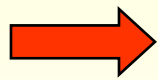


modello del flusso di pressione

Il prodotto iniziale della fotosintesi (trioso) viene trasportato dal cloroplasto al citosol e convertito in **saccarosio** .

1. Caricamento degli elementi del cribro:

Prima fase di *trasporto a breve distanza* gli zuccheri sono trasportati nelle cellule compagne e negli elementi del cribro

 meccanismo di **Trasporto Attivo**

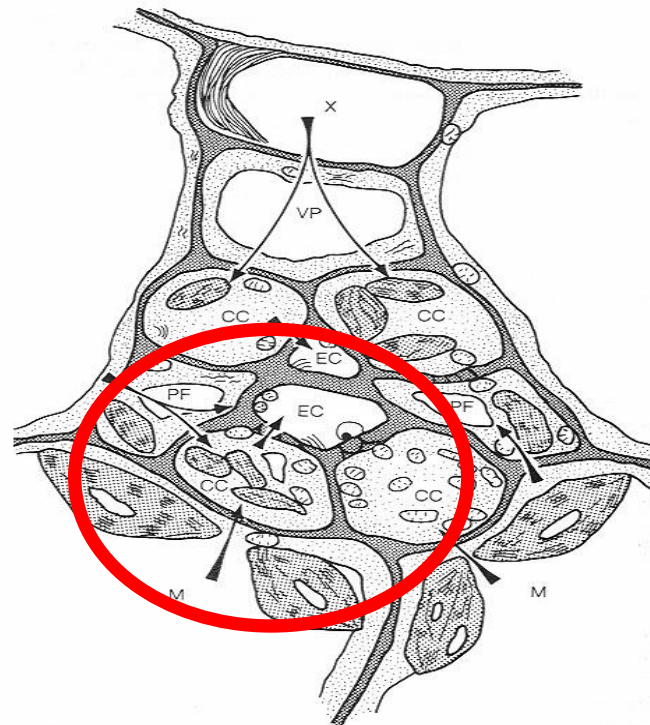
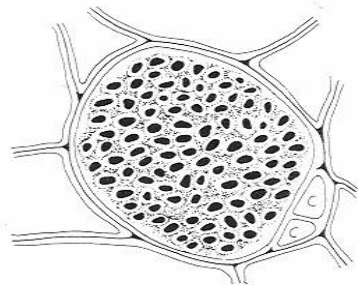
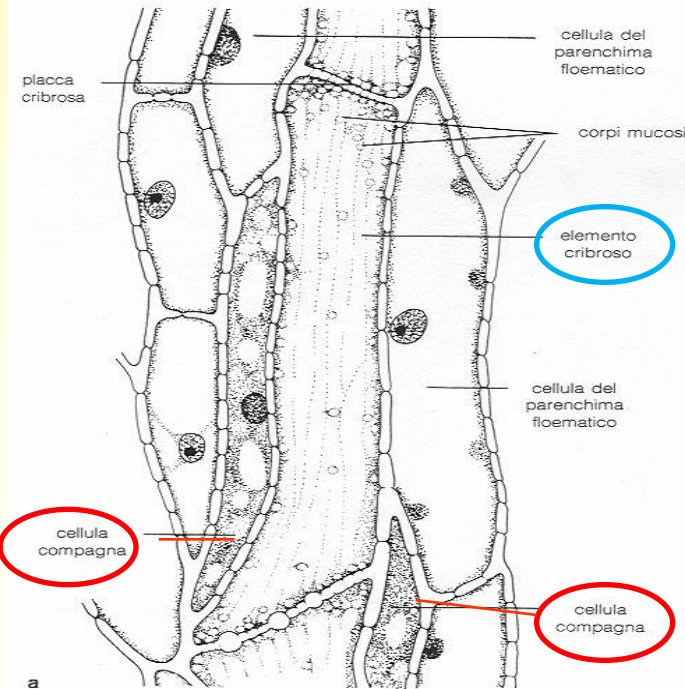
nel cribro gli zuccheri sono più concentrati che nelle cellule del mesofillo

2. Esportazione: il saccarosio e gli altri soluti vengono traslocati lontano dalla sorgente (Source) fino al Sink (pozzo)

 *trasporto a lunga distanza*

Caricamento del floema:

Cellule del mesofillo → Cellule compagne → Vasi floematici



gli zuccheri
fotosintetizzati
nelle cellule del
mesofillo fogliare
entrano nel floema
a livello del complesso
cellula compagna
/elemento del cribro,
considerati
come un'unica unità
funzionale.

Caricamento del floema

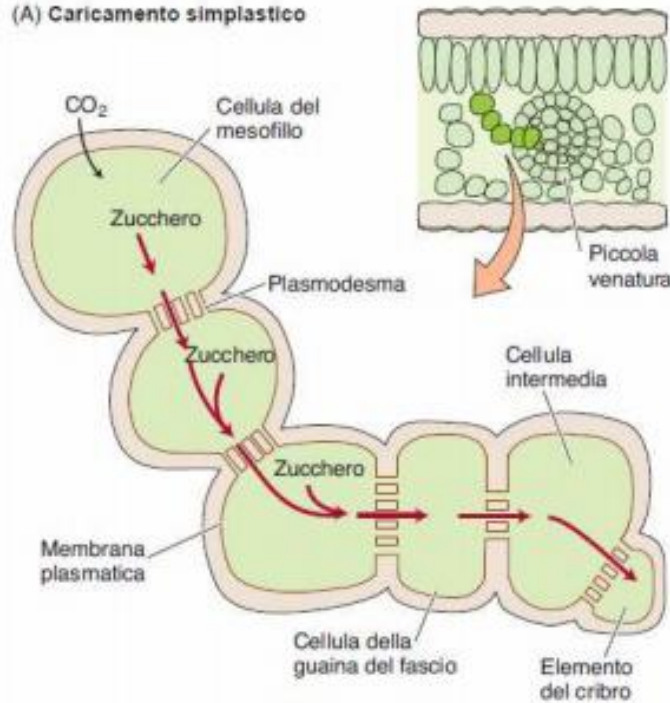


via apoplastica

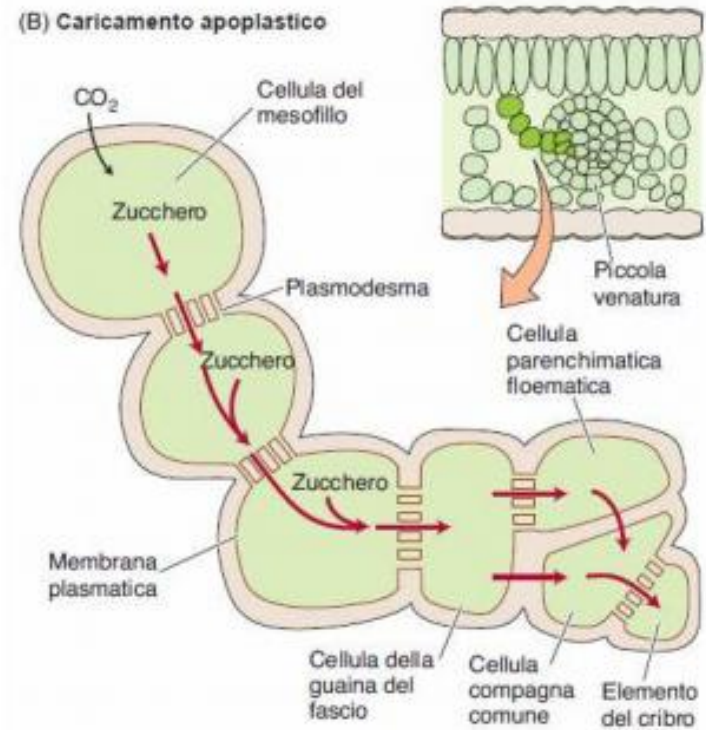


via simplastica

(A) Caricamento simplastico




(B) Caricamento apoplastico



I fotosintati per entrare nei vasi cribrosi seguono meccanismi differenti a seconda dei composti:

Gli acidi organici non richiedono un sistema attivo di caricamento,
ma diffondono passivamente attraverso la membrana

- *Il saccarosio richiede un trasporto attivo* : è una molecola neutra

 *nel complesso costituito dagli elementi del cribro e dalle cellule compagne è a una concentrazione maggiore*

Trasporto contro gradiente di concentrazione

Trasporto attivo

L'idrolisi dell' ATP fornisce energia per una **pompa protonica**

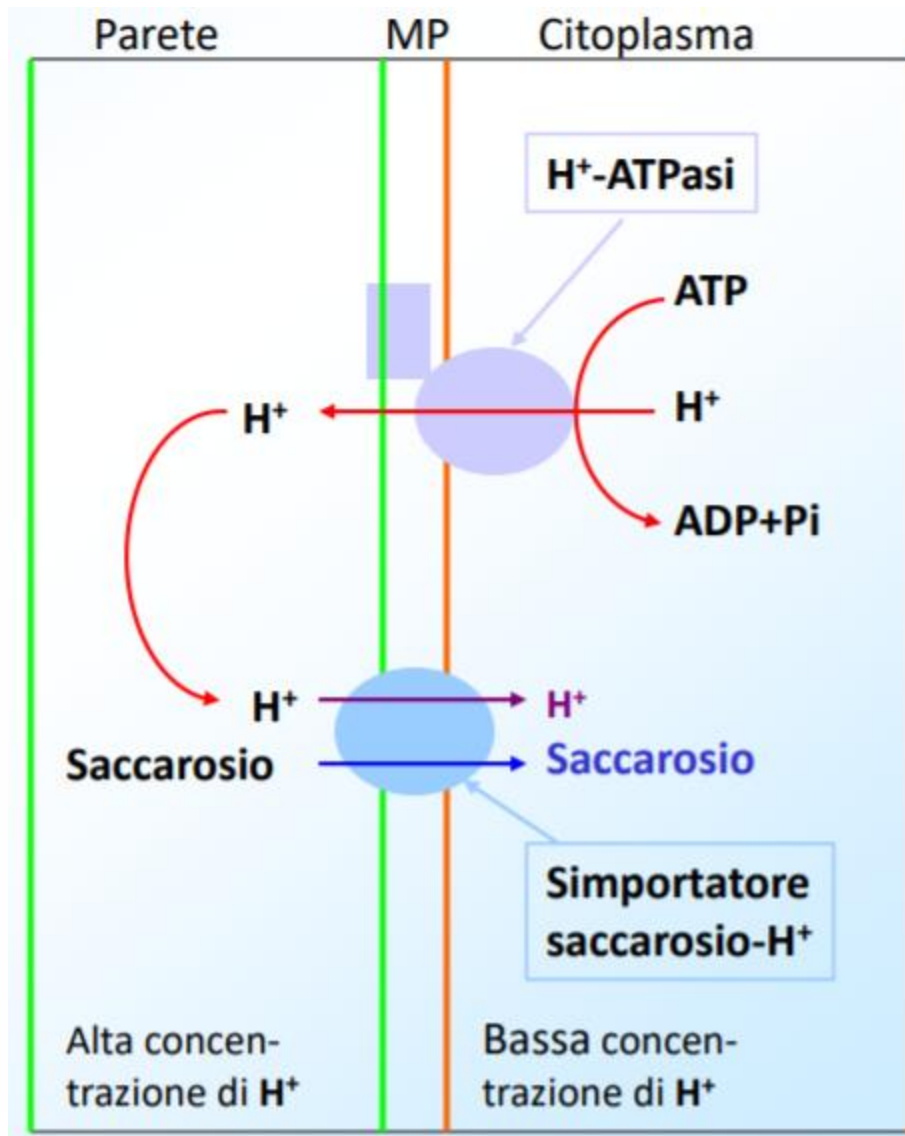


H^+ fuori dalla membrana nell'apoplasto

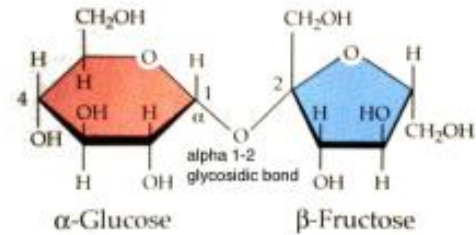
H^+ rientrano

come **cotrasporto saccarosio/ H^+**

Nella via apoplastica il caricamento degli elementi del cribro avviene mediante un **simporto saccarosio/protone**

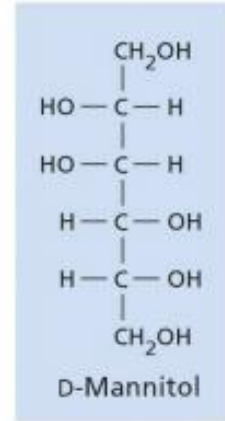
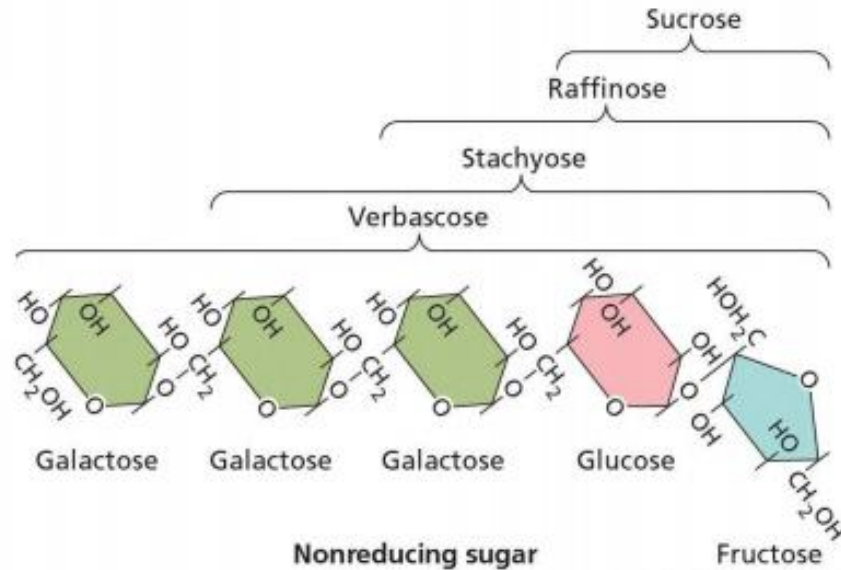


Zuccheri traslocati nel floema



saccarosio

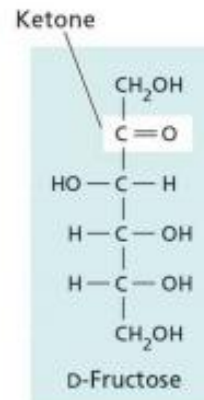
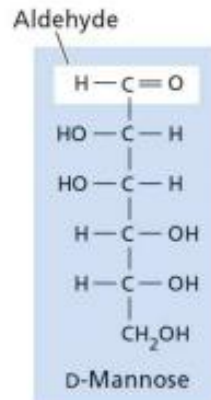
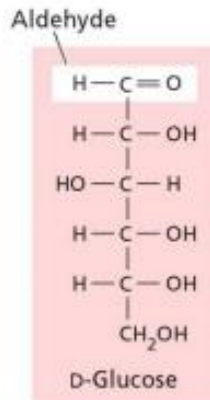
(B) Compounds commonly translocated in the phloem



PLANT PHYSIOLOGY, Third Edition, Figure 10.9 (Part 2) © 2002 Sinauer Associates, Inc.

(A) Reducing sugars, which are not generally translocated in the phloem

The reducing groups are aldehyde and ketone groups.

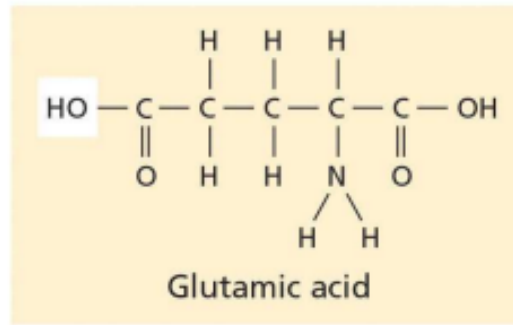


PLANT PHYSIOLOGY, Third Edition, Figure 10.9 (Part 1) © 2002 Sinauer Associates, Inc.

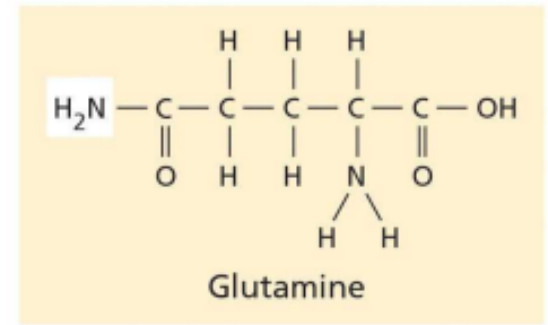
Zuccheri non traslocati nel floema (zuccheri riducenti)

Composti contenenti azoto traslocati nel floema (amminoacidi, ammidi, ureidi)

Glutamic acid and glutamine are important nitrogenous compounds in the phloem, in addition to aspartate and asparagine.



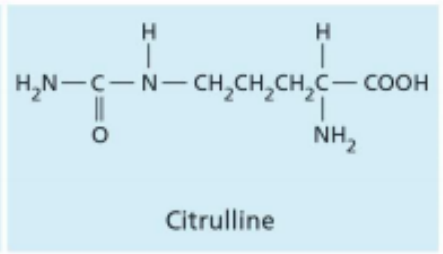
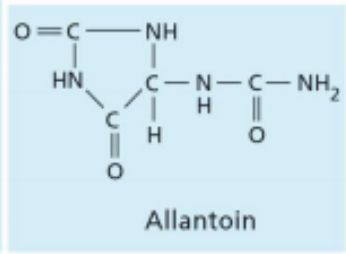
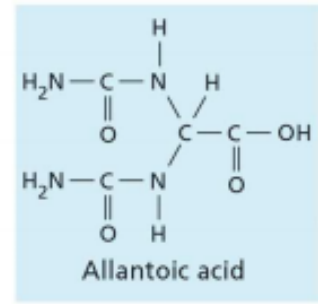
Amino acid



Amide

PLANT PHYSIOLOGY, Third Edition, Figure 10.9 (Part 3) © 2002 Sinauer Associates, Inc.

Species with nitrogen-fixing nodules also utilize ureides as transport forms of nitrogen.



Ureides

PLANT PHYSIOLOGY, Third Edition, Figure 10.9 (Part 4) © 2002 Sinauer Associates, Inc.

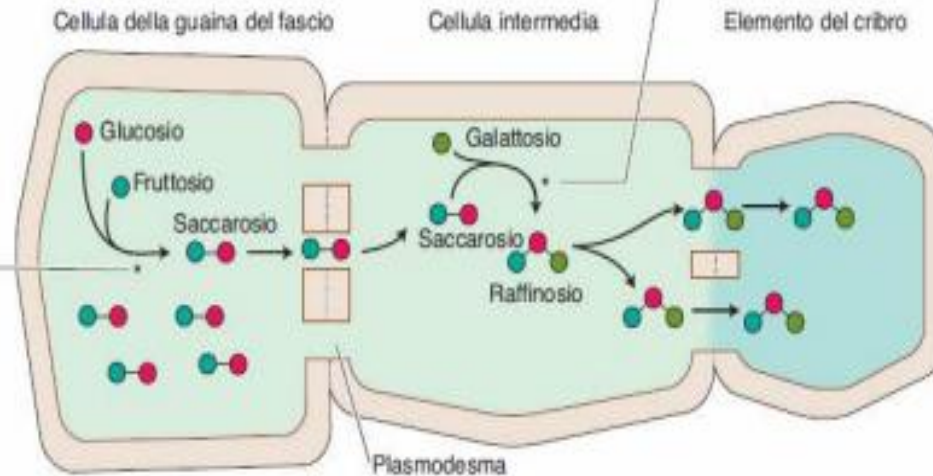
Caricamento simplastico

nelle piante che hanno cellule intermedie

Nella via simplastica gli zuccheri trasportati: raffinoso, stachioso, verbascoso

Sintesi di saccarosio tramite saccarosio fosfato sintasi e saccarosio fosfato fosfatasi:
 $UDP\text{glucosio} + \text{fruttosio-6-fosfato} \rightarrow UDP + \text{saccarosio-6-fosfato}$
 $\text{Saccarosio-6-fosfato} + H_2O \rightarrow \text{saccarosio} + P_i$

Sintesi di raffinoso tramite raffinoso sintasi:
 $\text{Saccarosio} + \text{galattinolo} \rightarrow \text{myo-inositolo} + \text{raffinoso}$



Il saccarosio, sintetizzato nel mesofillo, diffonde dalle cellule della guaina del fascio nelle cellule intermedie attraverso numerosi plasmodesmi.

Nelle cellule intermedie il raffinoso (e lo stachioso) sono sintetizzati dal saccarosio e dal galattosio, mantenendo così il gradiente di diffusione del saccarosio. A causa della loro ampiezza questi non sono in grado di ridiffondere nelle cellule del mesofillo.

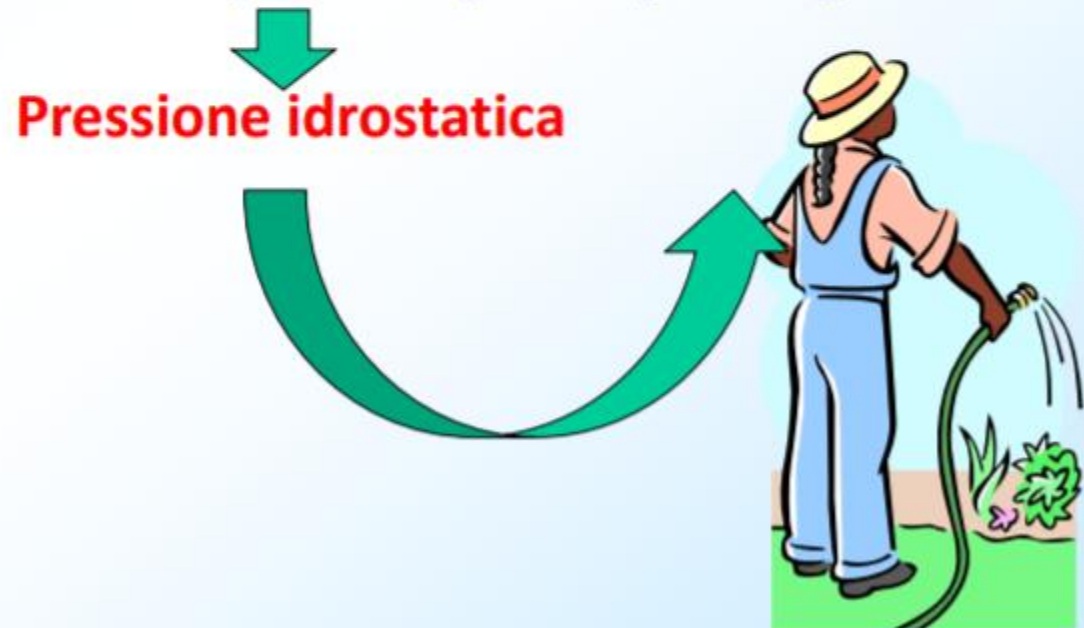
Il raffinoso e lo stachioso non sono in grado di diffondere negli elementi del cribro. Di conseguenza la concentrazione degli zuccheri da trasporto aumenta nelle cellule intermedie e negli elementi del cribro.

MODELLO A TRAPPOLA PER POLIMERI

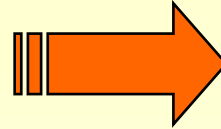
I soluti si muovono nel floema mediante flusso di massa

Münch nel 1930 ipotizzò che la **traslocazione** avvenisse per **flusso di massa** in risposta ad un gradiente di pressione idrostatica e senza dispendio di energia.

I soluti si muovono nei tubi cribrosi secondo un gradiente di pressione idrostatica allo stesso modo con cui si muove l'acqua in una gomma per l'irrigazione



I processi di caricamento del floema (nel source) e di scaricamento (nel sink) producono la forza motrice per il flusso dei soluti nel floema



*La traslocazione dei fotosintati nel floema avviene per **flusso di massa o flusso di pressione** secondo **la teoria di Munch***

2 osmometri collegati fra loro da un tubo:

1. Osmometro Source: (A)

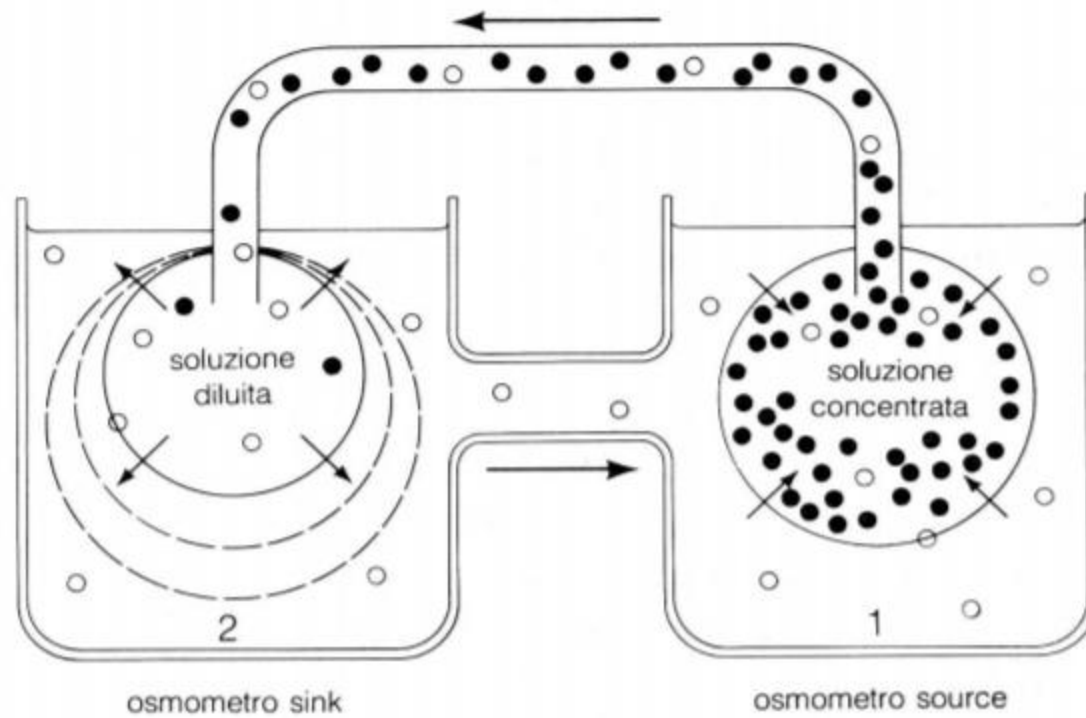
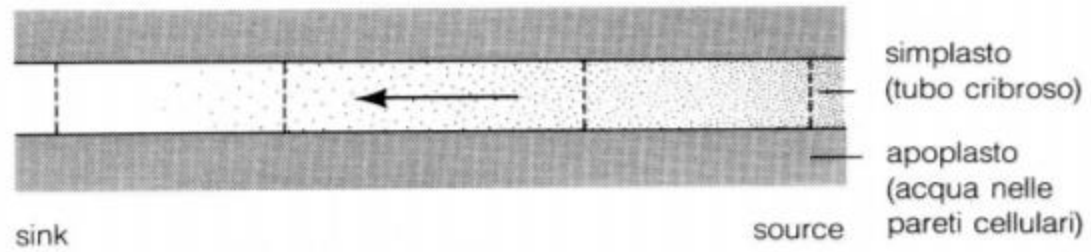
elevata concentrazione di soluti \longrightarrow **basso ψ**
richiamo di H_2O \longrightarrow aumento p idrostatica (**Ψ_p**)

La soluzione viene spinta verso la concentrazione minore

2. Osmometro Sink : (B)

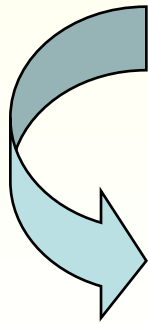
l'apporto di soluti + H_2O \longrightarrow **Aumento p idrostatica (Ψ_p)**
 \longrightarrow fuoriuscita di H_2O all'esterno

strutture corrispondenti:



Secondo Munch nella pianta :

- **Gli elementi del cribro (floema)** vicino alle cellule fotosintetizzanti costituiscono il **I° osmometro "source"**: la concentrazione dei prodotti della fotosintesi è mantenuta elevata dalle cellule adiacenti del mesofillo.
- **All'estremità opposta** del sistema floematico, "**sink**", la concentrazione degli assimilati è mantenuta bassa (**II° osmometro**) in quanto essi vengono trasferiti ad altre cellule dove vengono utilizzati o accumulati sottoforma di amido.
- Il **canale di collegamento** fra source e sink è **il sistema floematico** con i suoi tubi cribrosi



***Il flusso nei tubi cribrosi è di tipo passivo**
secondo gradiente di pressione determinato
dall'ingresso di acqua per osmosi nei tubi cribrosi
all'estremità source del sistema e dalla
fuoriuscita all'estremità sink*

Sorgente (ad es, foglia matura)

1. I soluti entrano nel tubo cribroso mediante trasporto attivo (fase di carico)

3. La pressione di turgore spinge i soluti mediante il flusso di massa verso il **pozzo**: l'acqua entra ed esce dal tubo cribroso lungo tutto il suo percorso

5. I soluti escono dal floema ed entrano nelle cellule del **pozzo** (fase di scarico) causando un aumento del ψ_w del tubo cribroso del pozzo e quindi la fuoriuscita di acqua da tale tubo. L'acqua rilasciata rientra nello xilema.

Tubo cribroso

H₂O

2. Un maggiore concentrazione di soluti nei tubi cribrosi riduce il ψ_w facendo entrare acqua ed alzando, così, la pressione di turgore

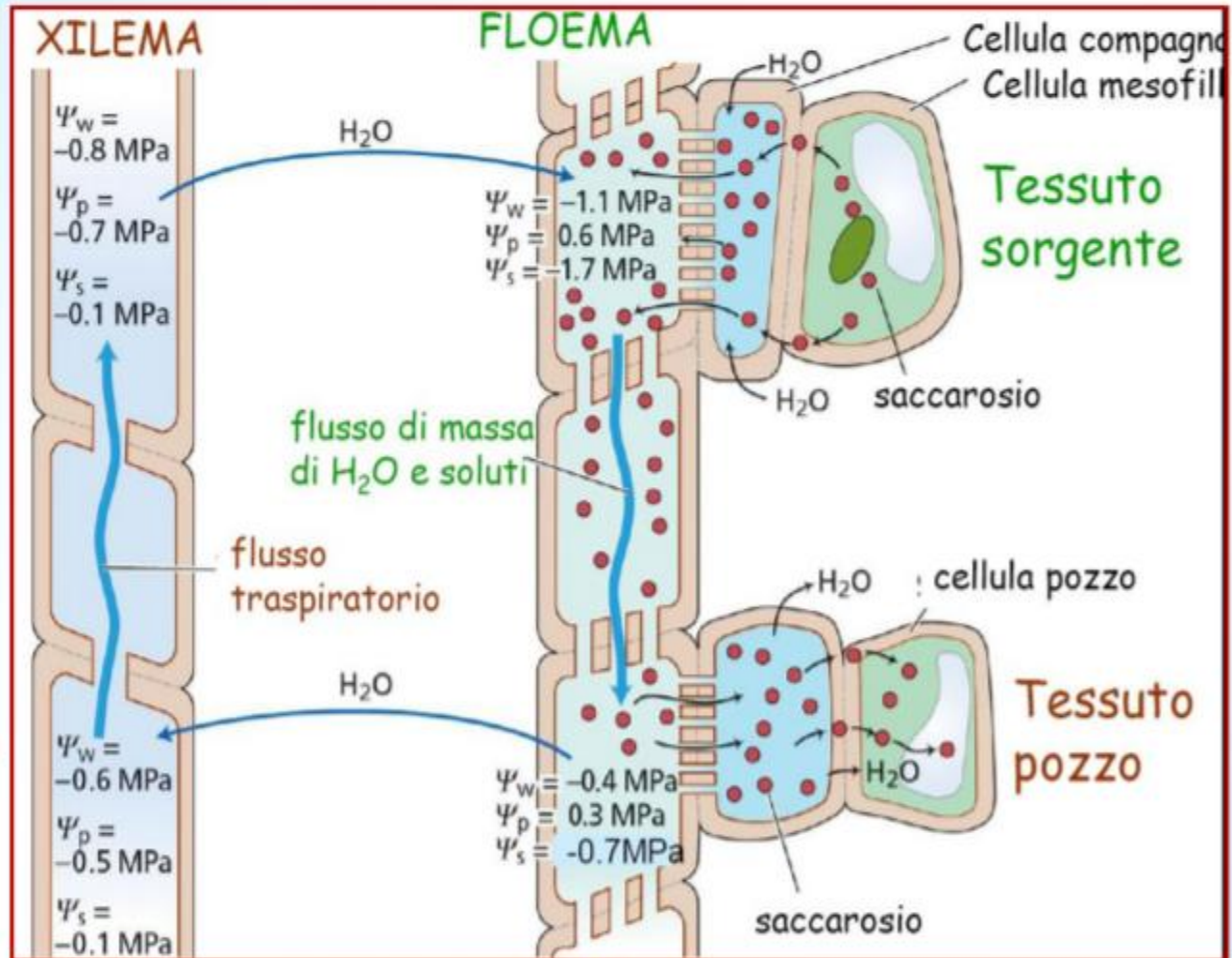
4. Pressione e concentrazione dei soluti decrescono gradualmente mano a mano ci si avvicina al **pozzo**

Flusso di massa



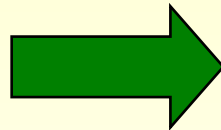
pozzo: ad esempio cellule della radice

Il risultato della differenza di pressione fa muovere l'acqua e quindi i soluti che sono semplicemente trasportati da una pressione positiva (flusso di massa).



Lo *scaricamento del saccarosio* avviene tramite un *Processo diffusivo* secondo gradiente di concentrazione:

Da un comparto
più concentrato



verso un comparto
a concentrazione minore

Il gradiente è garantito da una rapida rimozione
del saccarosio che può essere:

- Accumulato
- Idrolizzato e consumato
- Inviato per via simplastica o apoplastica ai tessuti riceventi