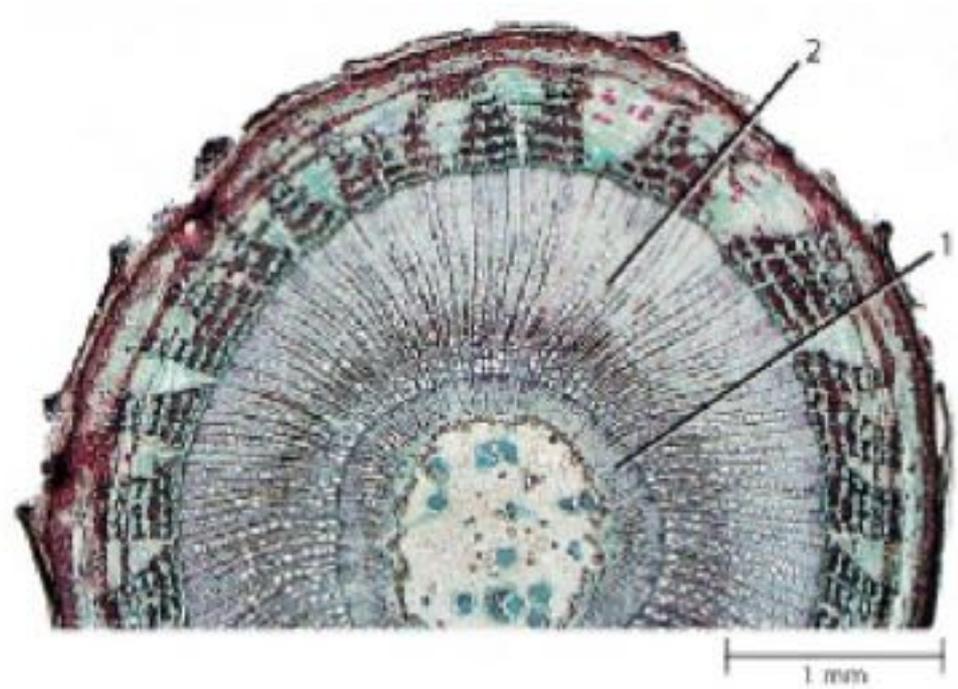
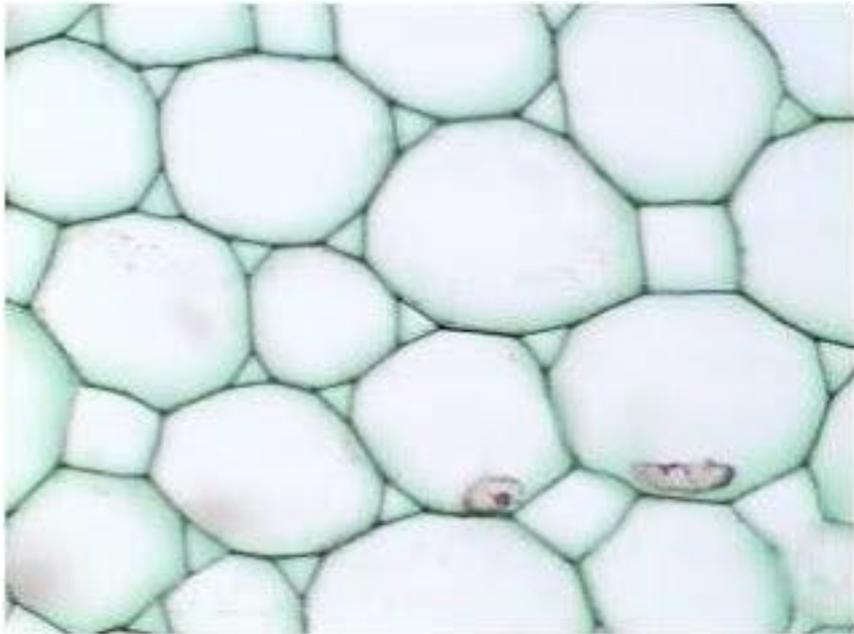
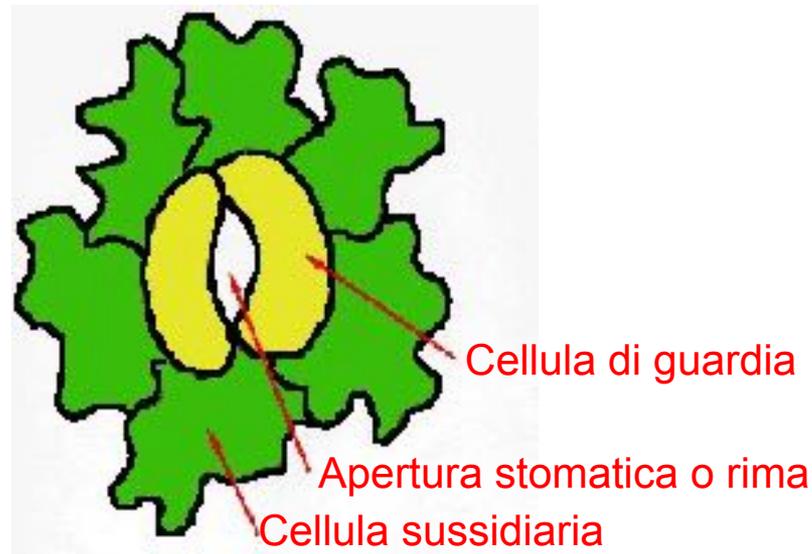


Istologia e anatomia vegetale



GLI STOMI

Due cellule, dette **cellule di guardia**, delimitano un'apertura di superficie variabile, la **rima**. Il sistema è completato dalle cellule circostanti, spesso, ma non sempre, di forma diversa, che saranno coinvolte nel processo di apertura ("**cellule sussidiarie**" o anche "annesse"). Le cellule di guardia si caratterizzano per la presenza di **cloroplasti** ricchi in amido (in genere assenti nell'epidermide), pareti irregolarmente ispessite, e vacuolo sviluppato.





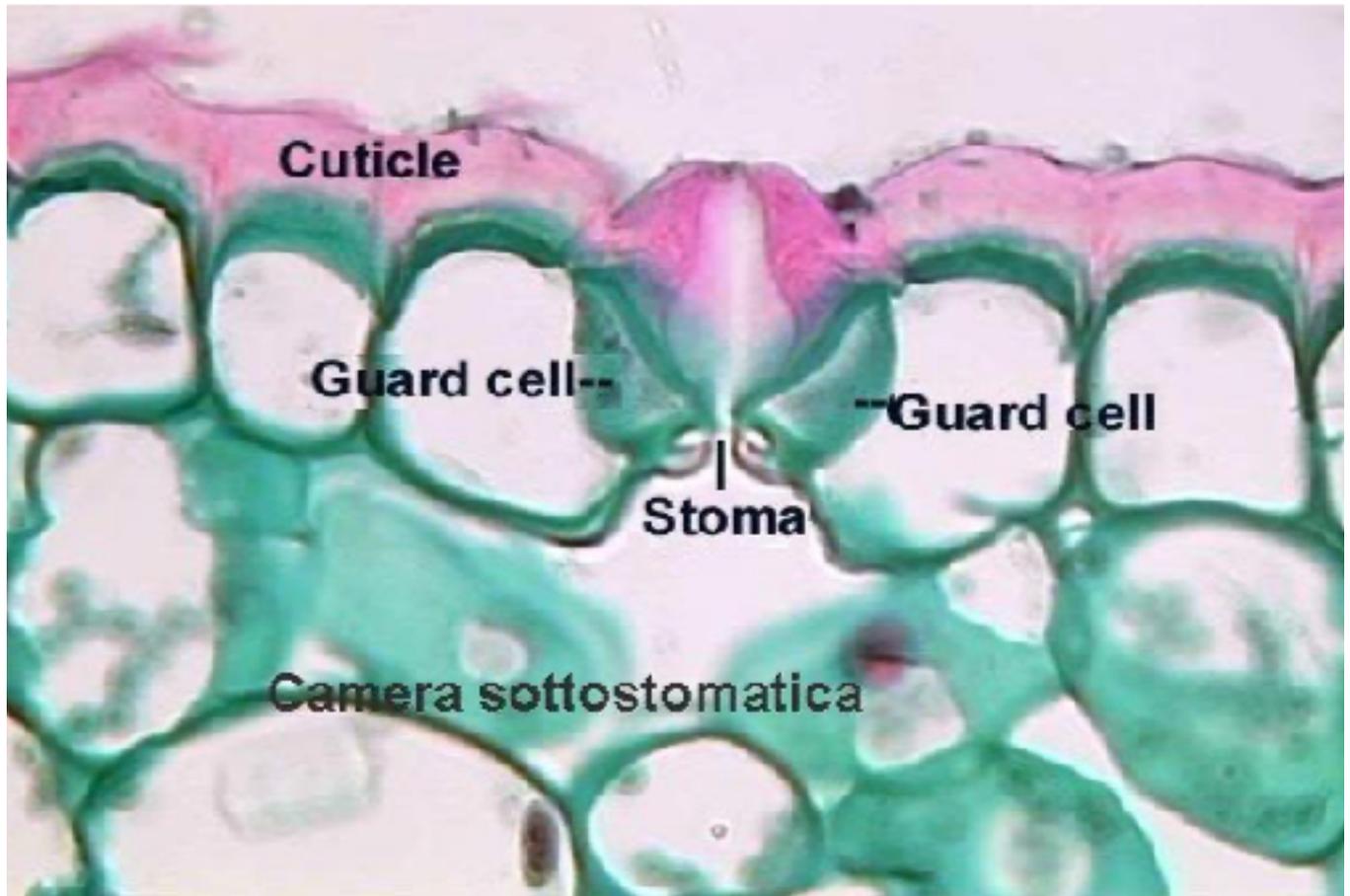
Cellula sussidiaria

Apertura stomatica

Cellula epidermica

Cellula di guardia

Sotto lo stoma si apre una camera sottostomatica, che è in comunicazione con gli spazi intercellulari dei tessuti fotosintetici.

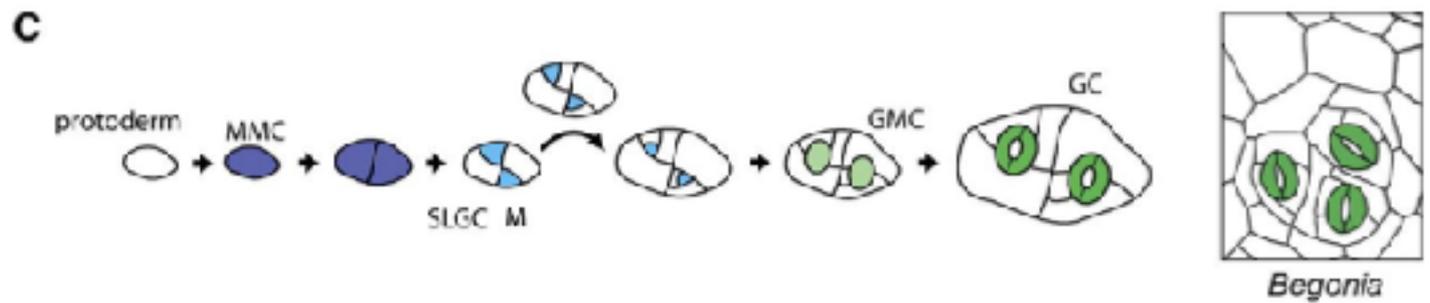
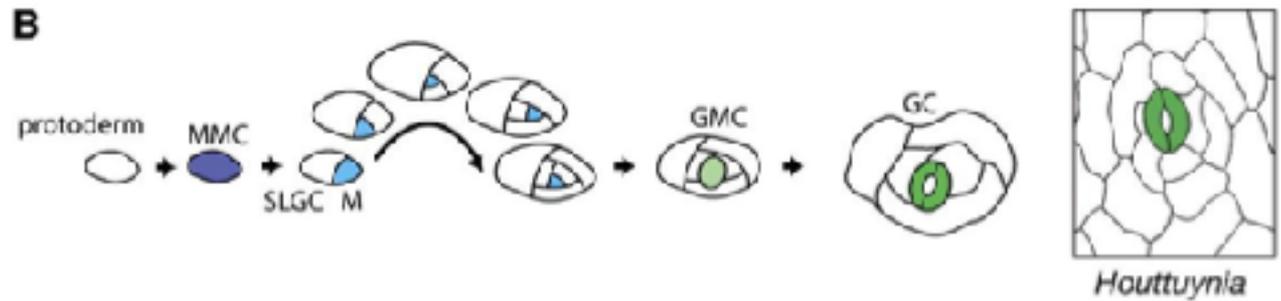




Come tricomi e ghiandole, gli stomi derivano da singole cellule dell'epidermide che mantengono più a lungo la capacità di dividersi, ma che daranno tutte origine poi a delle cellule adulte (sono cioè MERISTEMOIDI).

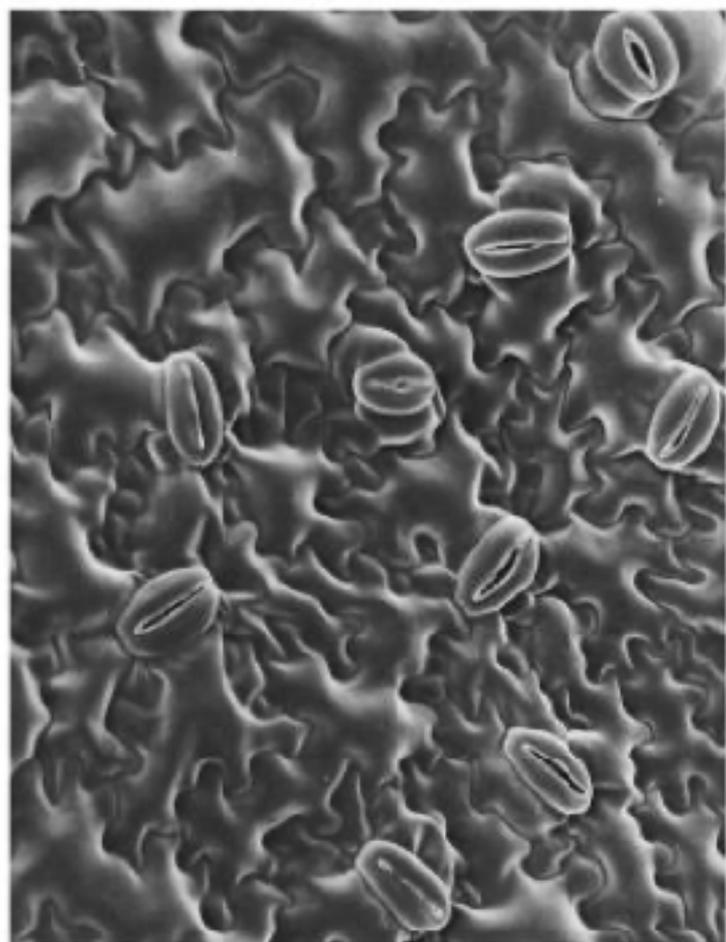
Poiché le strutture generate si differenziano nettamente per forma e funzione dalle cellule del tessuto circostante, vengono definite IDIOBLASTI.





MMC: Cellula meristemoide
 GMC: Cellula madre delle cellule di guardia
 GC: Cellula di guardia





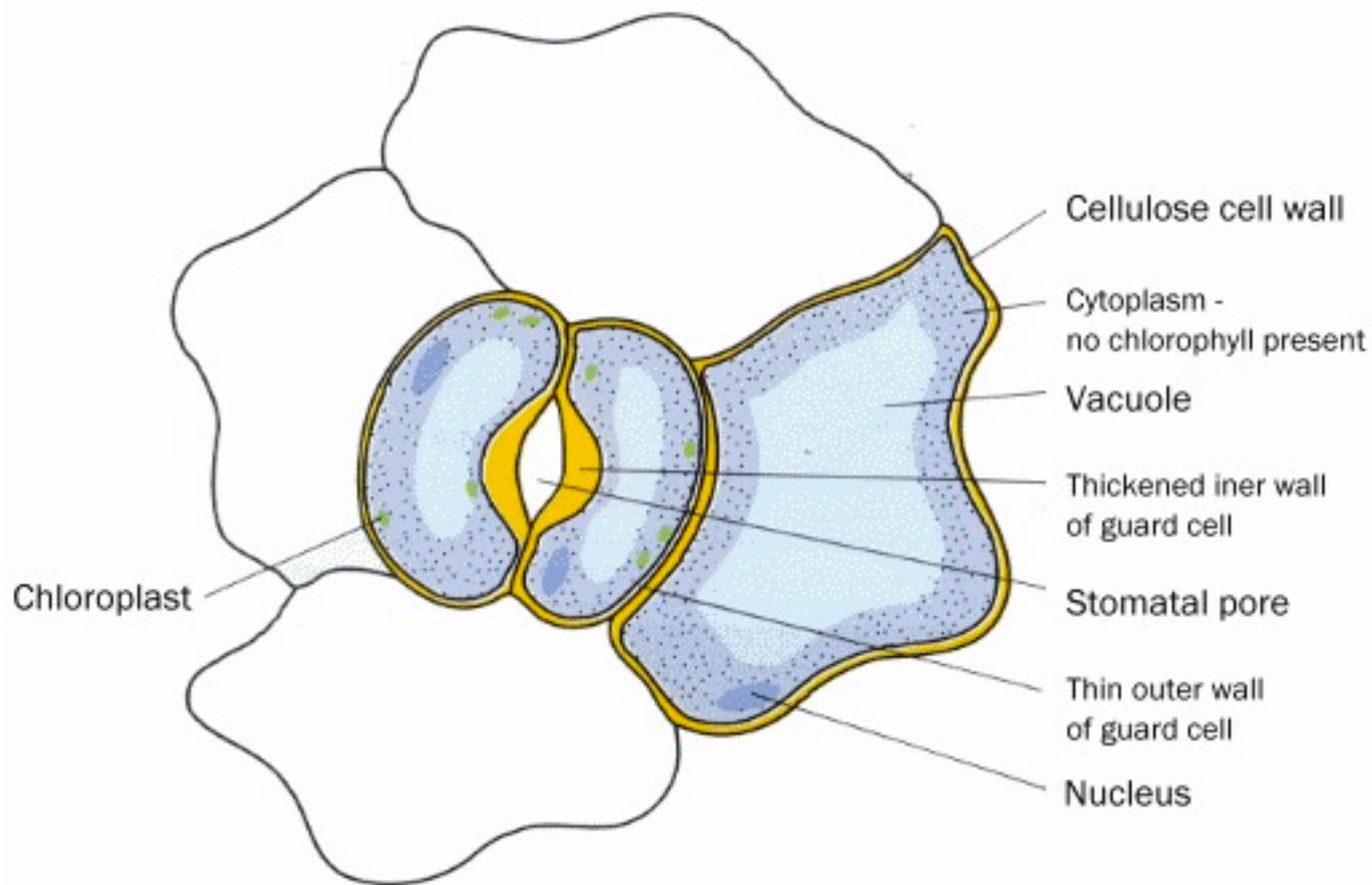
(a)

50 μm



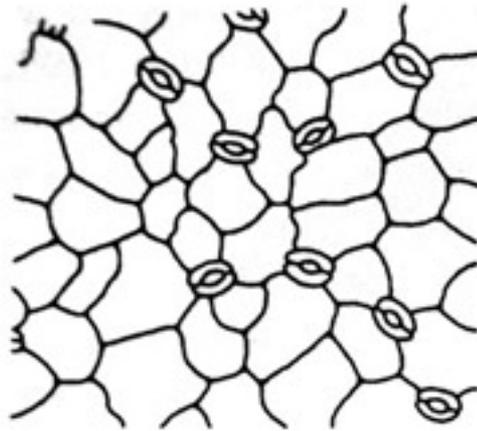
(b)

25 μm





Metcalfe e Chalk nel 1950 hanno classificato gli stomi sulla base del numero e la disposizione delle cellule sussidiarie.



Citrullus – anomocytic

A

Anomocitici - le cellule di guardia sono circondate da un numero limitato di cellule sussidiarie simili alle altre cellule epidermiche. Esempi di questo tipo di trovanoo nella famiglia delle Ranunculaceae.

Anisocitici - le cellule di guardia sono circondate da tre cellule sussidiarie di dimensione diversa, disposte similmente ai petali di una rosa. Esempi di questo tipo di trovanoo nel genere *Solanum*.



Sedum – anisocytic

B

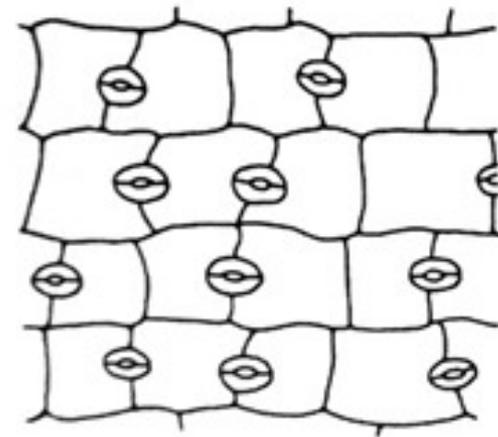


Vigna – paracytic

C

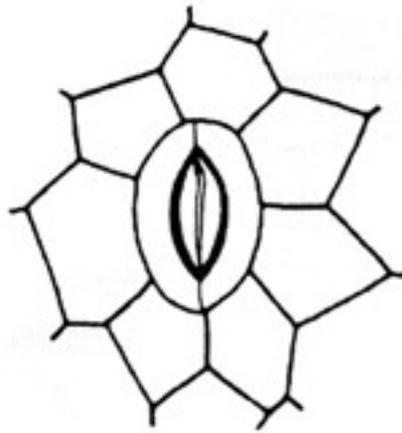
Paracitici - le cellule di guardia sono circondate da due cellule sussidiarie disposte parallelamente all'asse longitudinale dello stoma. Esempi di questo tipo di trovanoo nella famiglia delle Rubiaceae.

Diacitici - le cellule di guardia sono circondate da due cellule sussidiarie disposte perpendicolarmente all'asse longitudinale dello stoma. Esempi di questo tipo di trovanoo nella fam famiglia delle Caryophyllaceae.



Dianthus – diacytic

D

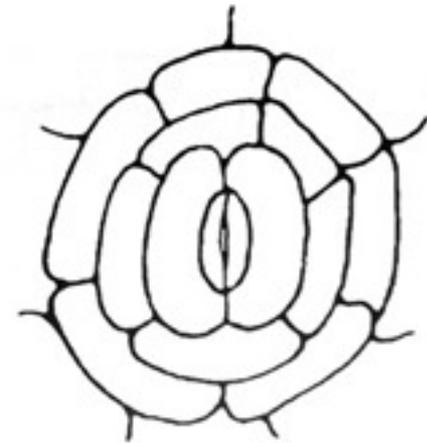


Lansea – actinocytic

E

Actinocitici - le cellule di guardia sono circondate da quattro o più cellule sussidiarie disposte radialmente rispetto allo stoma. Esempi di questo tipo di trovano nella famiglia delle Commelinaceae.

Ciclocitici - le cellule di guardia sono circondate da quattro o più cellule sussidiarie disposte a formare un anello attorno allo stoma. Esempi di questo tipo di trovano nella famiglia delle Cyclanthaceae.



Schinopsis – cyclocytic

F

Gli **STOMI** modulano l'intensità degli scambi gassosi tra l'organo e l'ambiente esterno, variando la superficie aperta attraverso cui avvengono gli scambi tra i tessuti sottostanti e l'atmosfera, tra 0 (stomi tutti chiusi) fino a una certa superficie pari alla somma di tutte le rime stomatiche aperte. Il numero di stomi per unità di superficie (densità stomatica) e la stessa dimensione degli stomi dipendono da molti fattori, genetici e microambientali.





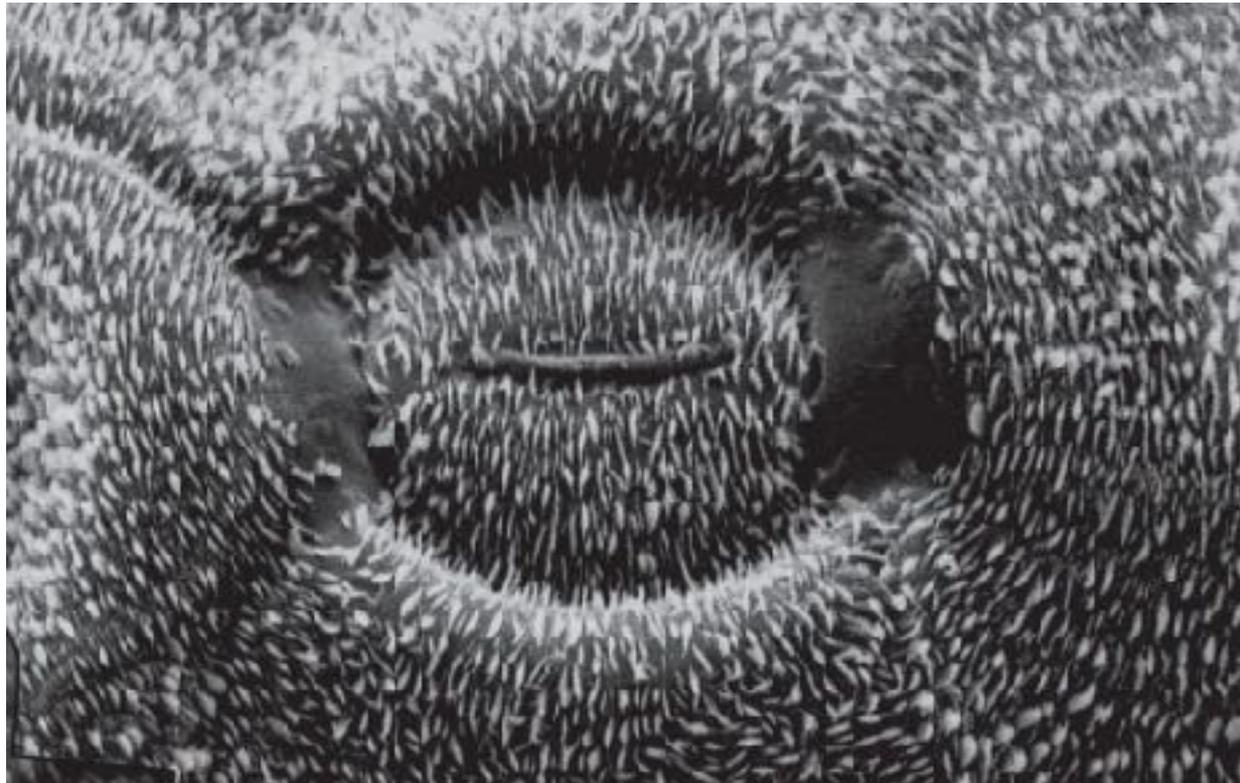
Perché la pianta deve regolare in qualche modo gli scambi gassosi?

Perché non sempre le è possibile far fronte alla notevole perdita d'acqua che è determinata dal forte gradiente tra il suo corpo (ricco d'acqua) e l'atmosfera, che registra valori di potenziale idrico talvolta molto bassi, e in genere lontano dalla saturazione (quando cioè $RH = 100\%$).

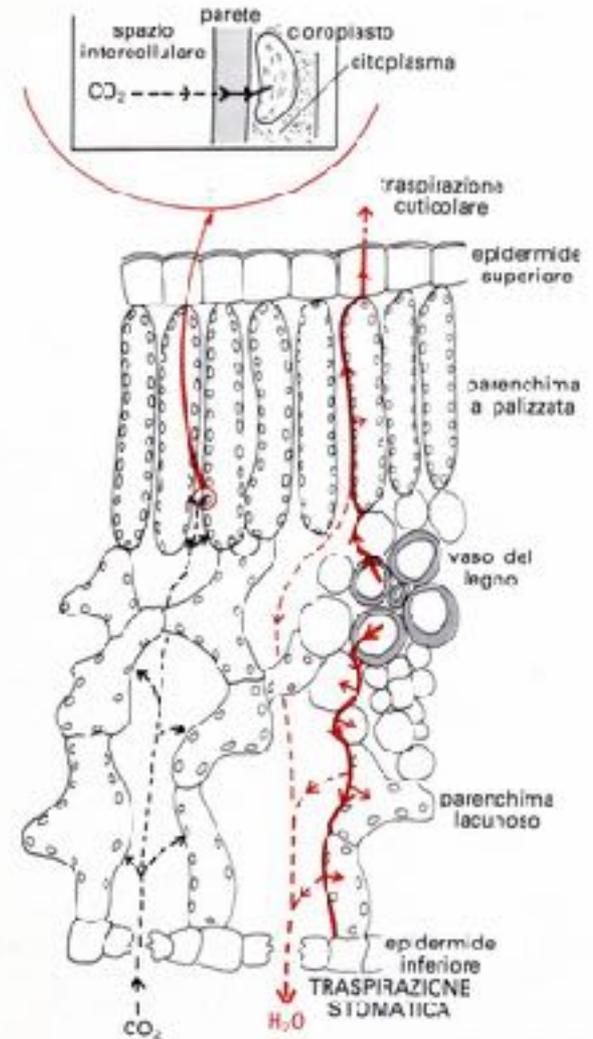
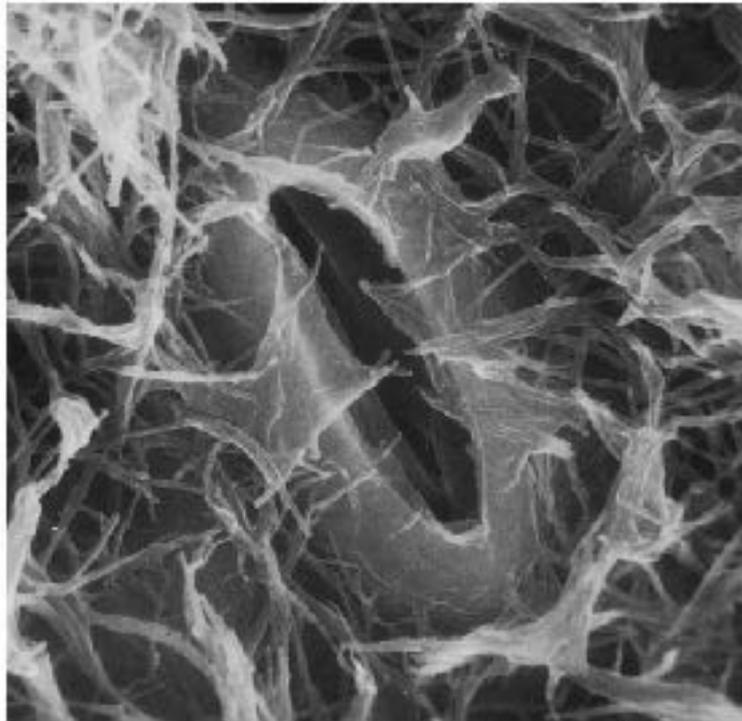
Risparmiare acqua, avendo comunque a disposizione la CO_2 necessaria per portare avanti il processo fotosintetico è per la pianta una necessità su cui si basa in ultima analisi la sua capacità di essere competitiva nei confronti di altre piante, o semplicemente di sopravvivere.

Attraverso gli stomi, la pianta scambia con l'ambiente circostante:

- CO_2
- O_2
- H_2O , sotto forma di vapor acqueo



Gli scambi gassosi avvengono sempre e soltanto in base al fenomeno della diffusione, secondo gradienti di concentrazione, attraverso le aperture stomatiche che hanno ampiezza variabile.



Il cammino dell'acqua (in rosso) e della CO₂ (in nero) in una foglia di dicotiledone. Le frecce intere indicano il cammino in fase liquida, quelle tratteggiate il cammino in fase gassosa. La freccia rossa in alto a sinistra indica un particolare di una cellula per far vedere più in dettaglio il cammino dell'anidride carbonica dallo spazio intercellulare al coroplasto.



0,04% in
atmosfera

CO₂: rispetto all'atmosfera, è più concentrata all'interno della struttura di notte (perché i tessuti respirano, liberando CO₂) mentre di giorno è molto meno concentrata (i tessuti fotosintetizzano, consumando CO₂).

21% in
atmosfera

O₂: rispetto all'atmosfera, è meno concentrato all'interno della struttura di notte (i tessuti respirano, consumando O₂) piuttosto che di giorno (i tessuti fotosintetizzano, liberando O₂).

H₂O, sotto forma di vapor acqueo: è quasi sempre più concentrato all'interno della struttura che non all'esterno: il deficit di saturazione dell'aria può essere anche estremamente elevato.

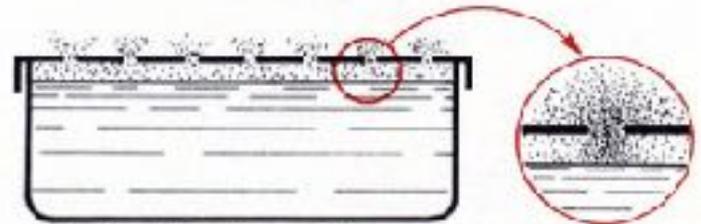
Il paradosso dei pori

- Superficie del liquido = 400 mm^2
- superficie evaporante = 400 mm^2
- acqua evaporata = 2,46 g
- acqua evaporata per mm^2 di superficie evaporante = 6,1 mg.



**Bacinella piena d'acqua.
La superficie del liquido è scoperta.**

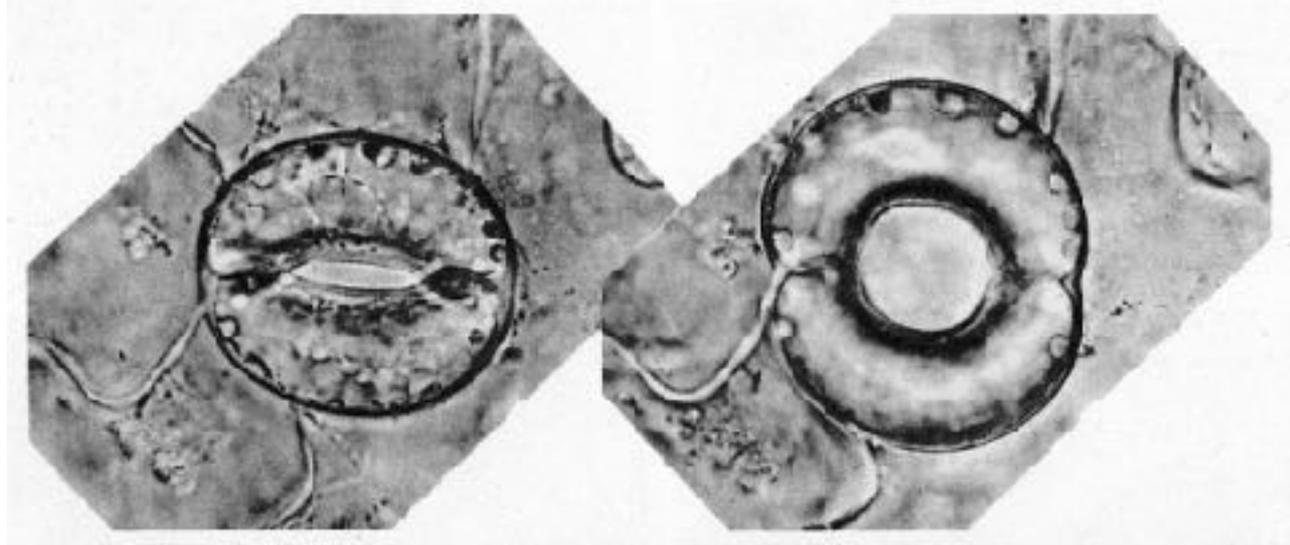
- Superficie del liquido = 400 mm^2
- superficie evaporante (superficie totale delle perforazioni) = $18,2 \text{ mm}^2$
- acqua evaporata = 0,92 g
- acqua evaporata per mm^2 di superficie evaporante = 50,6 mg.



**Bacinella piena d'acqua
coperta da un foglio di
stagnola con perforazioni.**

Fig. 12.5 • Il paradosso dei pori. Una superficie d'acqua coperta da uno strato di stagnola con perforazioni evapora proporzionalmente di più della stessa superficie libera. L'evaporazione totale è minore rispetto alla superficie libera, ma diventa assai maggiore se calcolata per unità di superficie trasparente. Questa paradosso si applica anche alle piante. Una foglia a stomi aperti traspira una quantità d'acqua pari al 50% di quella che si avrebbe se l'epidermide non esistesse nonostante che le aperture stomatiche occupino solo l'1% della sua superficie. Questo fenomeno è dovuto alla diversa direzione della diffusione delle molecole d'acqua in fase gassosa. Se la superficie del liquido è libera le molecole d'acqua tendono a diffondere perpendicolarmente alla superficie, in file parallele, mentre uscendo da un poro tendono a espandersi a ventaglio. In quest'ultimo caso il gradiente di concentrazione tra superficie evaporante e aria esterna è più ripido e quindi l'evaporazione è accelerata. (Dati da Salisbury & Ross, «Plant Physiology», 1ª edizione, 1969).

Il meccanismo di apertura/chiusura è legato a variazioni del turgore cellulare, alla particolare disposizione degli ispessimenti di parete e ai flussi di ioni ed acqua con le cellule più vicine.

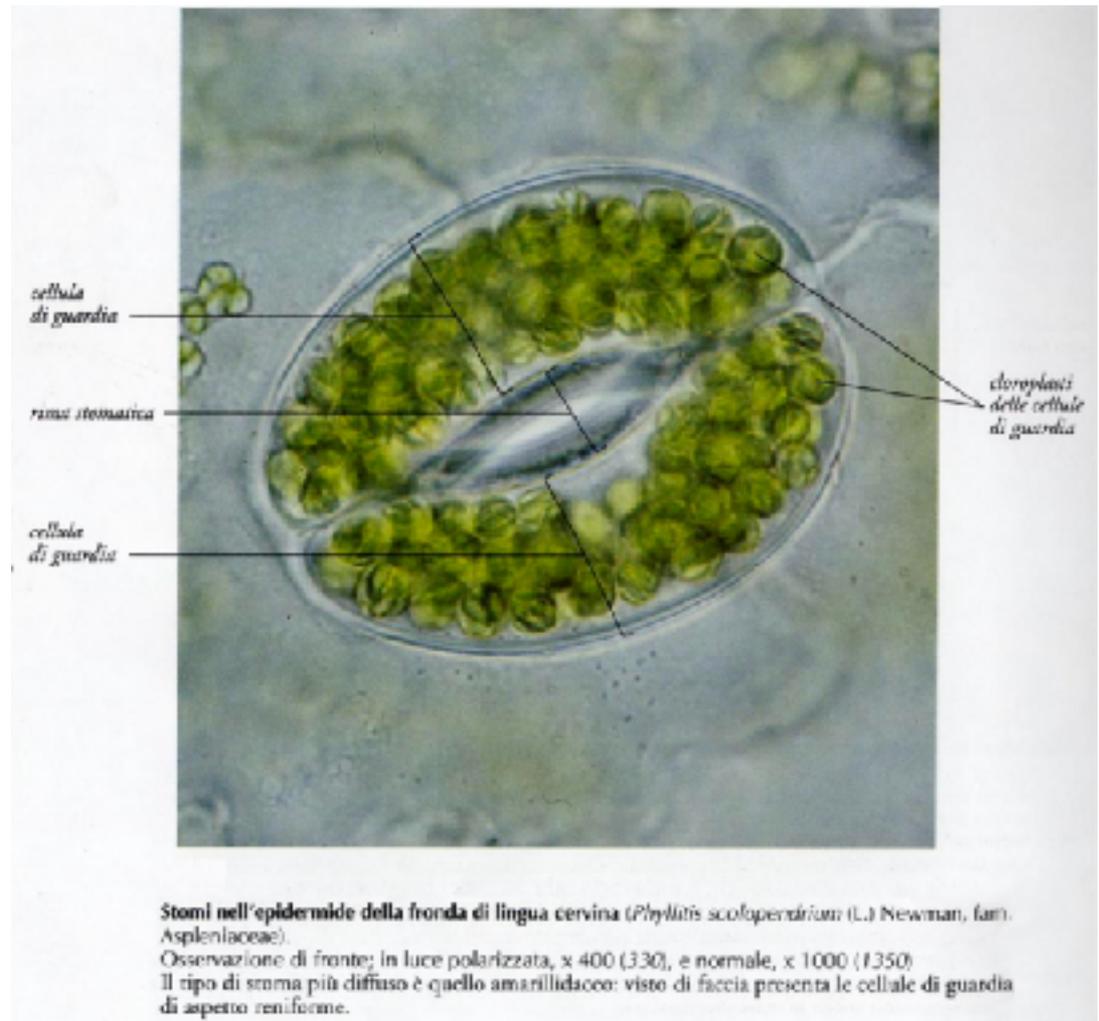


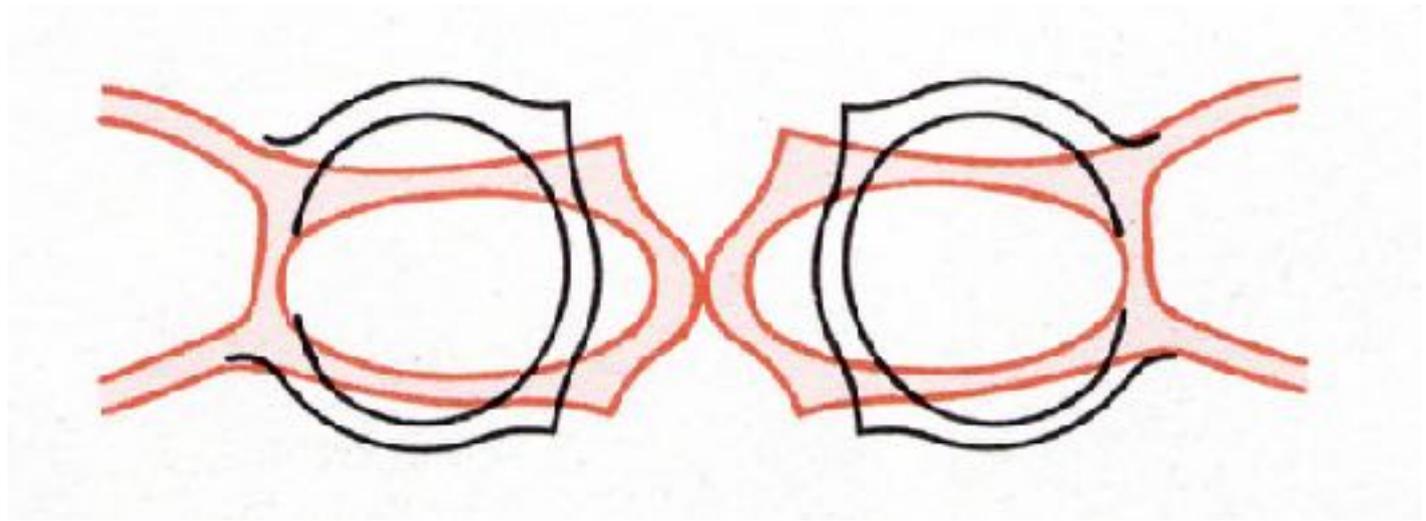
Stoma di *Vicia faba*, a sinistra quasi chiuso dopo immersione dell'epidermide in soluzione di saccarosio 200 nM, a destra aperto al massimo dopo immersione in acqua distillata.

In materiale intatto l'acqua viene sottratta dalle cellule di guardia alle cellule sussidiarie contigue.

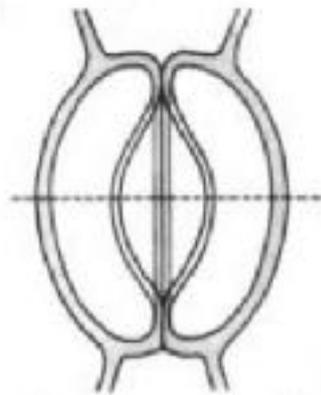


Negli stomi del tipo *Mnium* (dal nome di un genere di muschio sulle cui capsule sono particolarmente frequenti), le cellule di guardia sono reniformi, e gli ispessimenti, piuttosto limitati, sono presenti solo sulla parete esterna alla rima (quella dorsale). Questo tipo di stoma è presente anche nelle felci, che hanno in genere stomi di cospicue dimensioni.

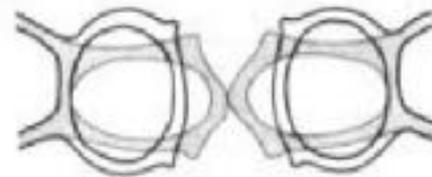




In questi stomi l'aumento del turgore cellulare determina l'allontanamento delle due cellule di guardia, che rimangono però sullo stesso piano (linea tratteggiata).

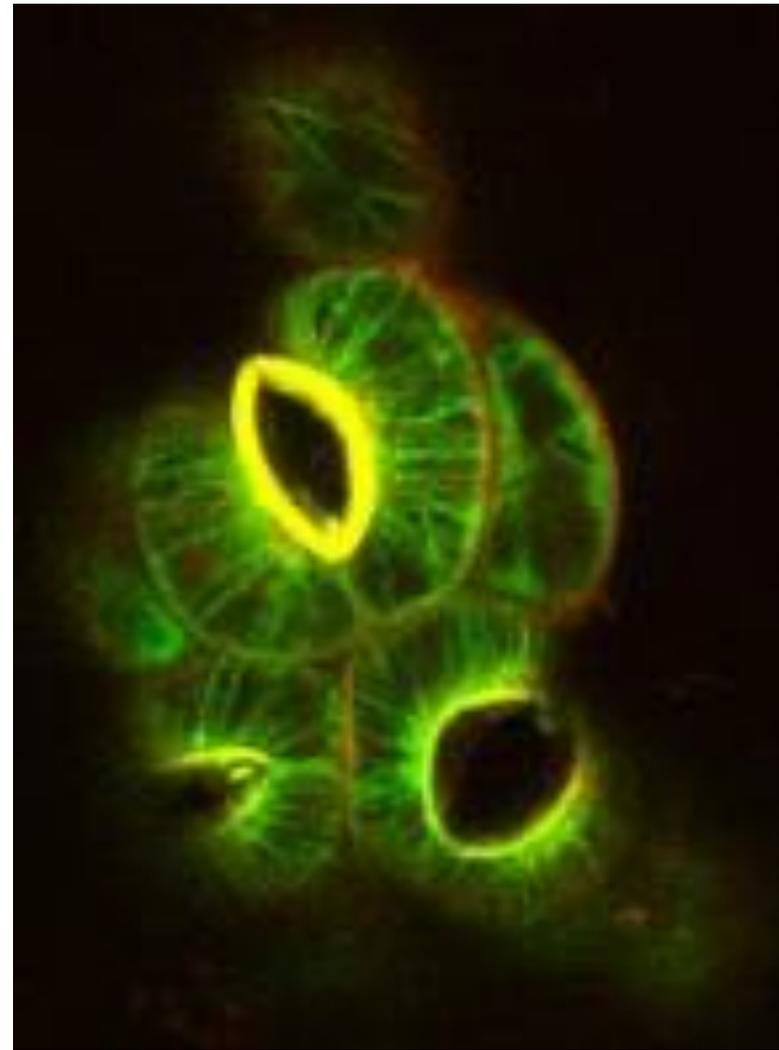


Mnium-Typ

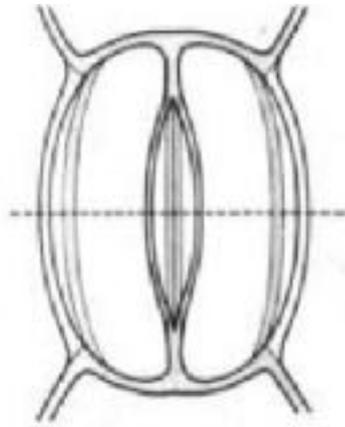
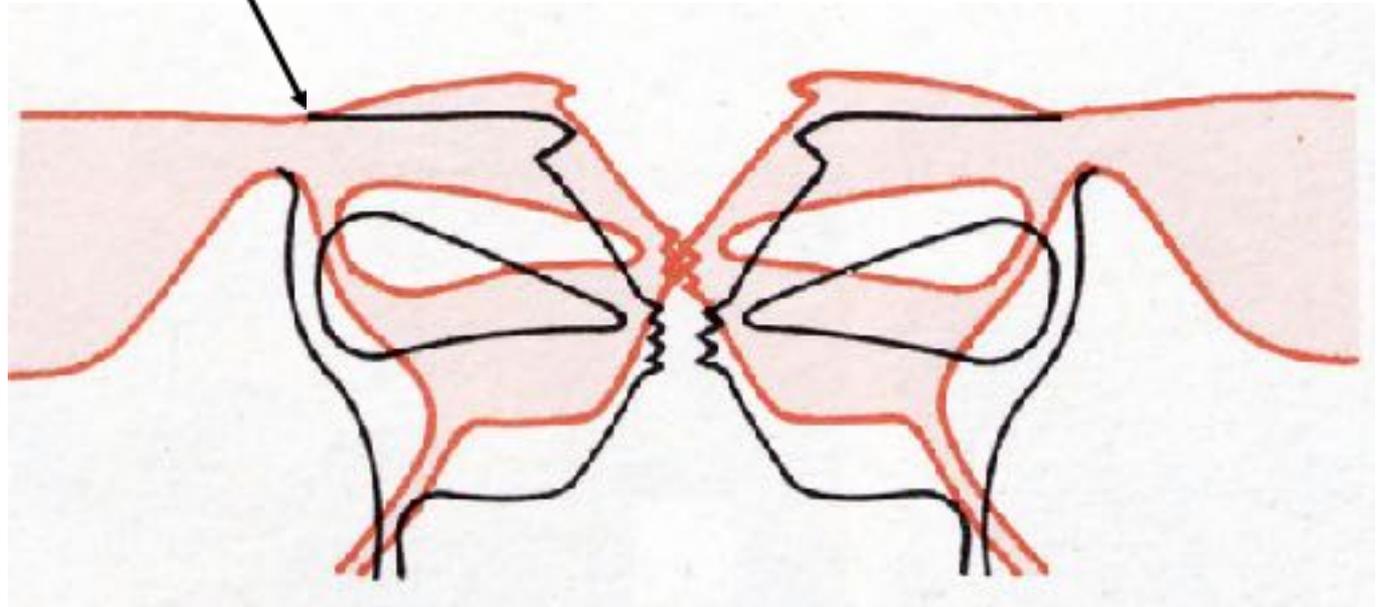




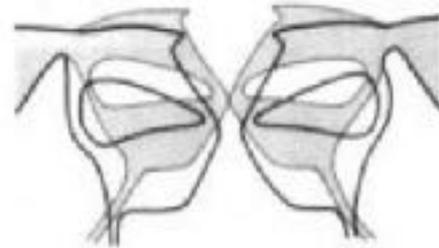
Nello stoma tipo *Amaryllis* o *Helleborus* (dal nome delle due piante in cui è stato descritto per la prima volta), che è anche il più diffuso tra le angiosperme, le due cellule di guardia hanno sempre una forma a fagiolo o a rene, ma la parete è **ispessita nella parte ventrale** (cioè quella che delimita la rima), e le **fibrille di cellulosa** hanno una caratteristica **disposizione radiale**, per cui la variazione di turgore determina una **leggera rotazione nello spazio**, con allontanamento delle due facce ventrali, e conseguente apertura della rima stomatica.

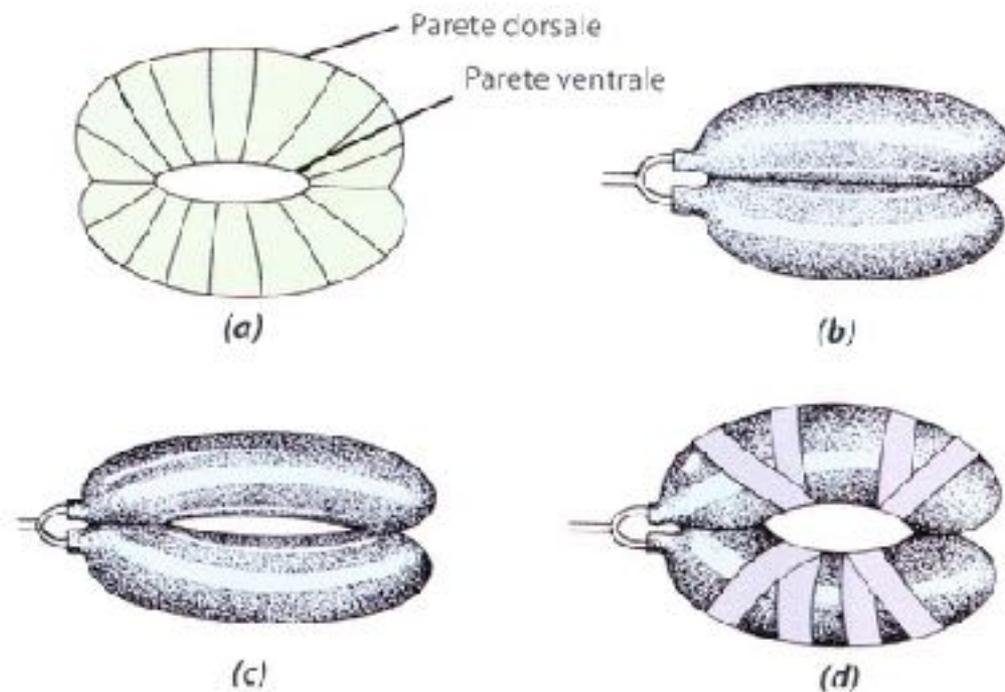


Punto di flessione



Heleborus-Typ





Micellazione radiale delle cellule di guardia

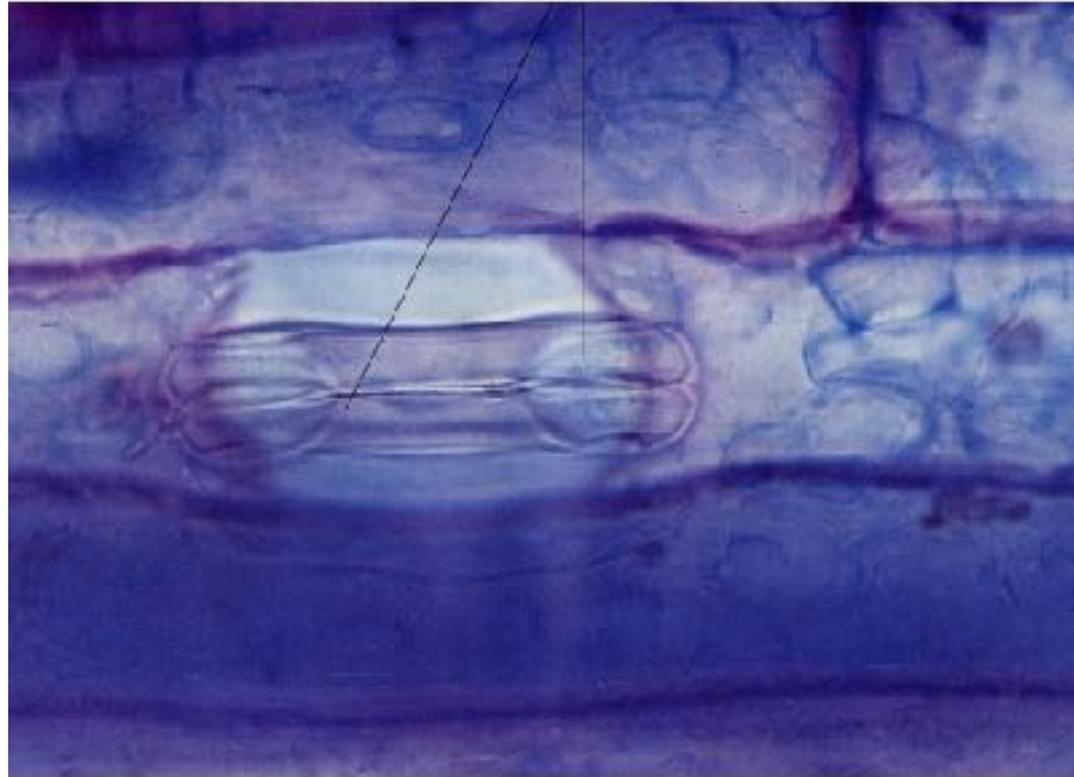
(a) Una coppia di cellule di guardia, con linee che indicano la disposizione radiale delle microfibrille nelle pareti. (b) Due palloncini poco gonfi sono stati uniti per le loro estremità in modo da costruire un modello per spiegare l'effetto della micellazione radiale sull'apertura degli stomi. (c) Gli stessi palloncini a pressione maggiore, cioè maggiormente gonfiati: è visibile una piccola fessura. (d) Una coppia di palloncini completamente gonfiati dopo l'applicazione di strisce di nastro per simulare la micellazione radiale. Possiamo osservare che l'apertura è molto più grande.



Negli stomi delle Poaceae (Graminaceae) e Cyperaceae (piante erbacee che comprendono piante importanti come il mais, il grano, l'orzo, ecc.), le due cellule di guardia hanno forma completamente diversa (a manubrio).

Il rigonfiamento da turgore interessa solo le due estremità di ciascuna cellula (bulbi).

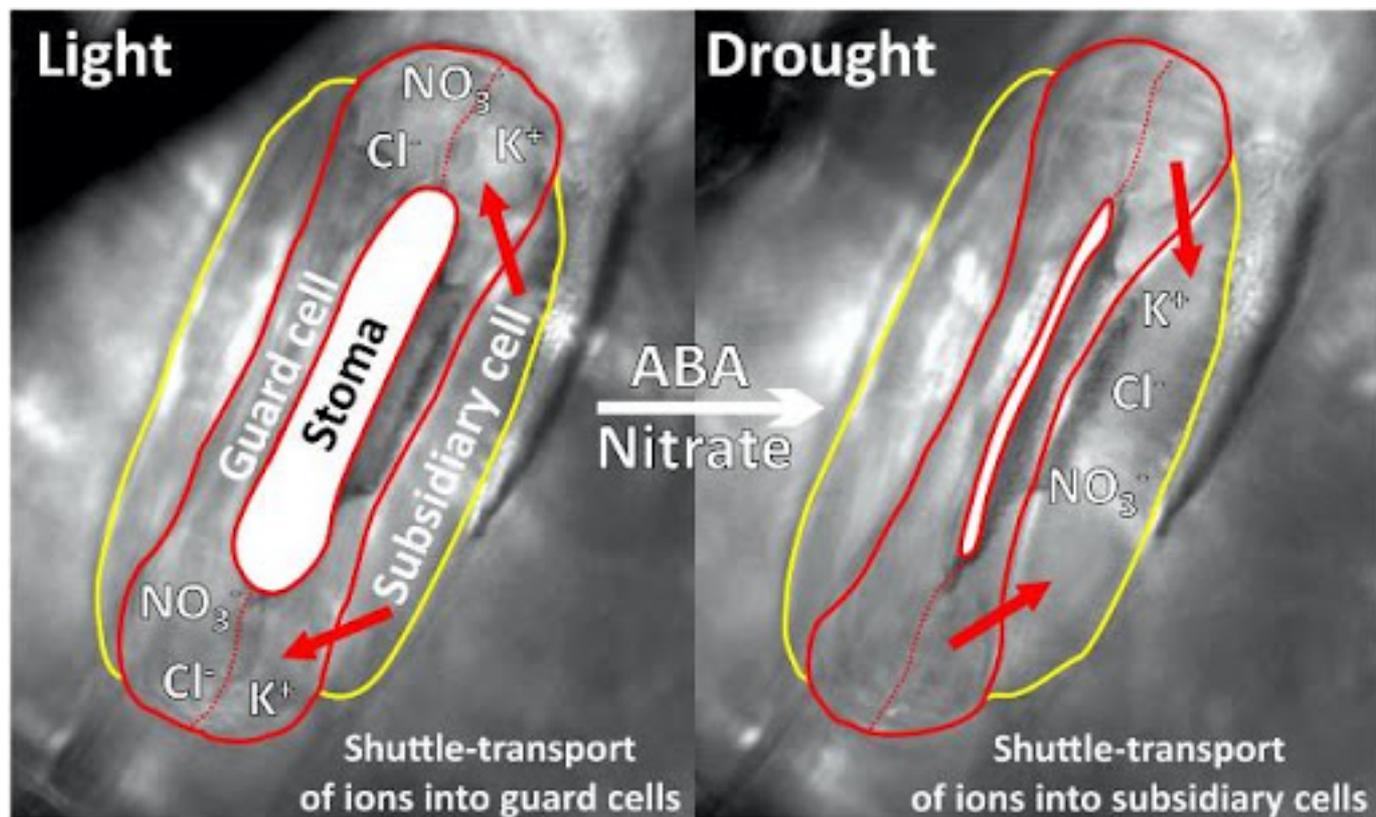
Cellule di guardia



Stoma nell'epidermide fogliare di graminacea

Osservazione di fronte, x 1000 (1770)

Nell'apparato stomatico caratteristico delle graminacee e delle ciperacee, le cellule di guardia hanno un aspetto molto diverso da quello di tipo anafilladaceo. Ciascuna cellula infatti ha le due estremità del protoplasto dilatate a bulbo, circondate da una parete assottigliata; nella ristretta porzione di collegamento, invece, la parete è notevolmente spessa, specialmente sul lato dorsale. Anche in questo tipo di stoma, comunque, è il particolare arrangemento della cellulosa nella parete a determinare variazioni di forma delle cellule di guardia al variare dello stato di turgore.





Gli stomi si aprono e si chiudono in modo adattativo in risposta a precisi **stimoli interni ed esterni**: i più importanti sono la **luce**, la **pressione parziale di CO₂** **all'interno dei tessuti fotosintetici** (che varia a seconda che ci sia o meno attività fotosintetica e quindi che ci sia la luce per permetterne il proseguimento), e lo **stress idrico**.

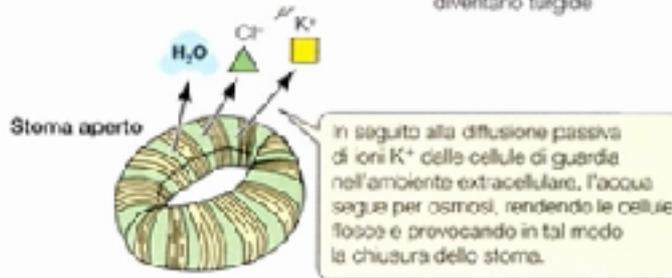
L'apertura si determina in base ad un **assorbimento massiccio di ioni e quindi di acqua** provenienti dalle cellule sussidiarie per via **apoplastica**, con conseguente inturgidimento delle cellule di guardia, ed allargamento della rima.

La **chiusura** è indotta da una **fuoriuscita di soluti** verso le cellule sussidiarie, a cui segue un conseguente **movimento di acqua** nella stessa direzione, dalle cellule stomatiche a quelle sussidiarie.

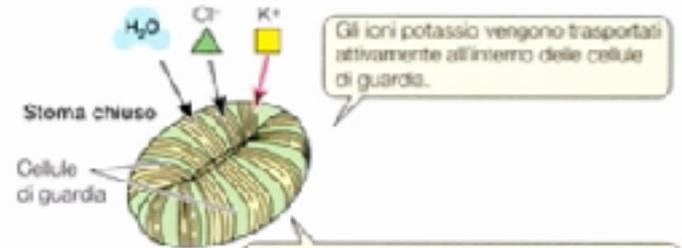


Il movimento passivo di acqua dalle cellule vicine influenza sulle cellule di guardia.

Le cellule di guardia diventano turgide



Le cellule di guardia perdono turgidità



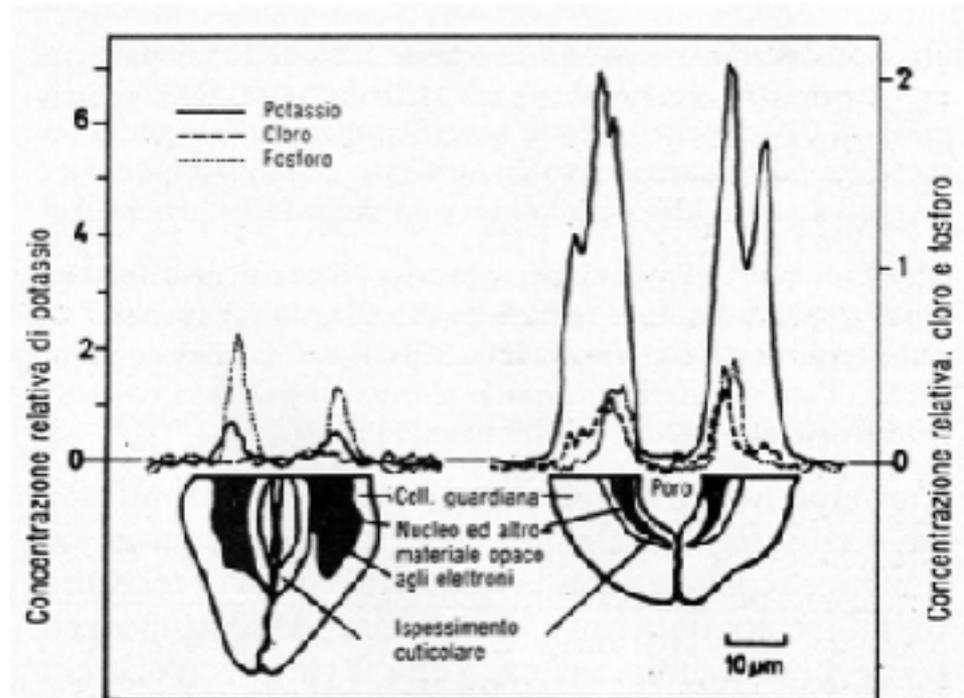
Concentrazioni più elevate di K⁺ e Cl⁻ danno alle cellule di guardia un potenziale idrico più negativo, determinando l'assunzione di acqua e provocando il loro allungamento cui consegue l'apertura dello stoma.



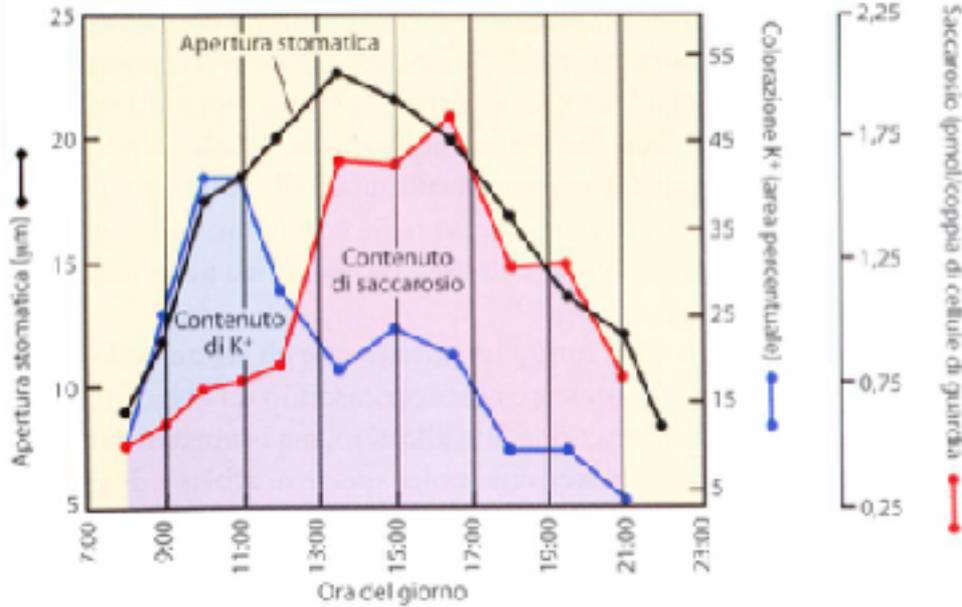
Il meccanismo di apertura/chiusura è legato a variazioni del turgore delle cell. di guardia. Il turgore viene acquisto o perduto grazie a movimenti passivi di acqua secondo un gradiente di potenziale idrico creato da un trasporto attivo di soluti.

Il principale responsabile è lo ione potassio.

L'ingresso di K^+ durante l'apertura è accompagnato dal flusso di ioni malato, oppure di Cl^-



Distribuzione delle concentrazioni relative di potassio, cloro e fosforo lungo il profilo di uno stoma chiuso (a sin.) o aperto (a destra) dell'epidermide inferiore di *Vicia faba*. Misure con la microsonda a raggi X. In *Vicia* soltanto il K^+ , fra gli elementi illustrati, mostra un aumento considerevole nelle cellule guardiane a stomi aperti. (Sec. Humble e Raschke, da Mohr e Schopfer).



Apertura e chiusura stomatica Questo grafico mostra l'andamento giornaliero in dimensioni del poro stomatico in foglie intatte di fava (*Vicia faba*) in relazione al contenuto di potassio (K⁺) e saccarosio. Mentre il potassio è il dominante osmotico o il soluto osmoticamente attivo coinvolto nell'apertura stomatica al mattino, il saccarosio è il dominante osmotico coinvolto nei cambiamenti stomatici nel pomeriggio e alla sera (1 picomole, o pmol = 10⁻¹² moli.)

Alcuni studi indicano che i fattori principali per i movimenti delle cellule di guardia sono sia K⁺ che saccarosio .

Il K⁺ è dominante nella prima parte del giorno, il saccarosio diventa dominante nel primo pomeriggio.



Stomi e luce

In molte specie gli stomi si aprono alla luce e si chiudono al buio. La luce ha un effetto diretto sugli stomi: la luce nel blu può stimolare l'apertura degli stomi.

Con la tecnica del *patch clamp* si può rivelare l'esistenza di una pompa protonica indotta dalla luce. In figura è riportato il tracciato della debole corrente elettrica che risulta dal flusso di protoni attraverso il plasmalemma di una cellula di guardia.

Una breve esposizione alla luce blu su sfondo costante di luce rossa...

...provoca per alcuni minuti un flusso dei protoni nell'ambiente extracellulare.





A meno che non ci siano problemi di approvvigionamento idrico, l'apertura stomatica è favorita dalla luce intensa. Dei recettori a questo punto intervengono per determinare l'accumulo di ioni potassio all'interno dei vacuoli delle cellule di guardia.

Se la luce viene a mancare (notte!), il processo fotosintetico si interrompe, la respirazione dei tessuti prende il sopravvento (inevitabilmente la concentrazione interna di CO_2 aumenta), le pompe non funzionano più cosicché gli ioni diffondono spontaneamente cancellando il gradiente di concentrazione, con conseguente chiusura stomatica (...ma attenti alle piante CAM!).



In presenza di luce, **se l'acqua comincia a scarseggiare**, l'apertura degli stomi sarà progressivamente ridotta, per cercare di ridurre la perdita di acqua dai tessuti.

Questo avviene grazie ad un processo di evaporazione diretta dalle **cellule di guardia** (**chiusura idropassiva**), **che perdono acqua più rapidamente delle restanti cellule epidermiche**, che quindi esercitano una spinta laterale sulle cellule stomatiche, chiudendo la rima.



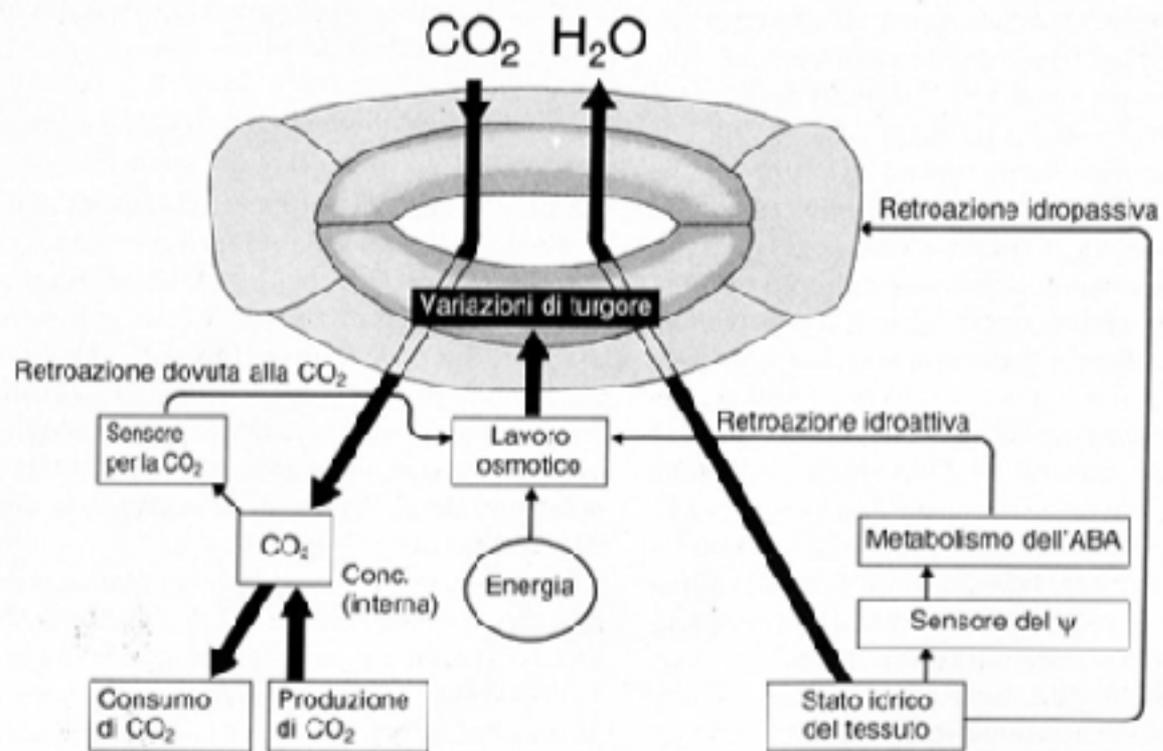
Acido abscissico

In alcuni casi si assisterà alla chiusura completa degli stomi, con conseguente blocco dei processi di assimilazione della CO_2 .

Quest'ultimo fenomeno è in genere dovuto all'azione di un fitormone, l'acido **ABSCISSICO (ABA)**, che viene prodotto dai tessuti fotosintetici e dall'apparato radicale, quando il loro potenziale idrico diventa fortemente negativo: segnale di condizione di stress idrico.

Diffondendo, l'ABA arriva agli stomi, inducendo la chiusura dei canali di ingresso del K^+ e determinando l'apertura di canali di uscita per il rilascio dello stesso (**chiusura idroattiva**).

Non tutte le piante sono dotate di questa regolazione ormonale, e quindi continuano a perdere acqua: il loro destino può essere segnato...



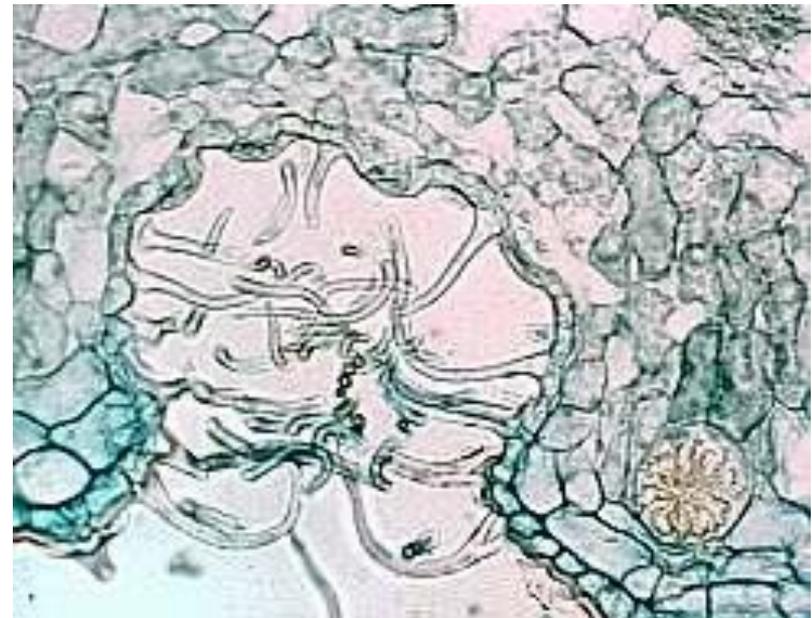
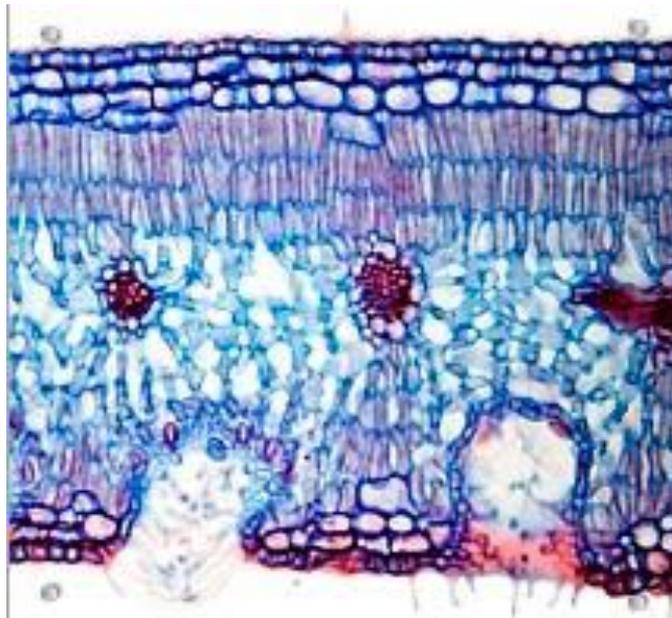
Modello di sistema di retroazione che interviene nel controllo dei movimenti di apertura degli stomi. I sensori per la concentrazione di CO_2 e per il potenziale idrico fogliare (ψ) sono situati nelle cellule stomatiche. ABA: acido abscissico (da RASCHKE).

Stomi e ambiente

In molte piante che vivono in ambienti aridi, gli stomi sono parzialmente immersi, oppure sono disposti in speciali invaginazioni (cripte stomatiche) spesso coperte da peli: sono queste delle “xeromorfosi” per ridurre ancora di più la traspirazione, senza compromettere eccessivamente gli scambi di CO₂.

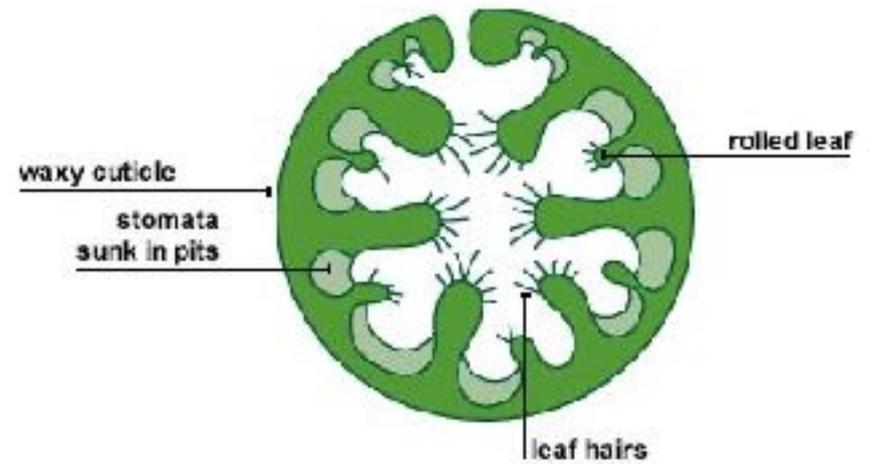


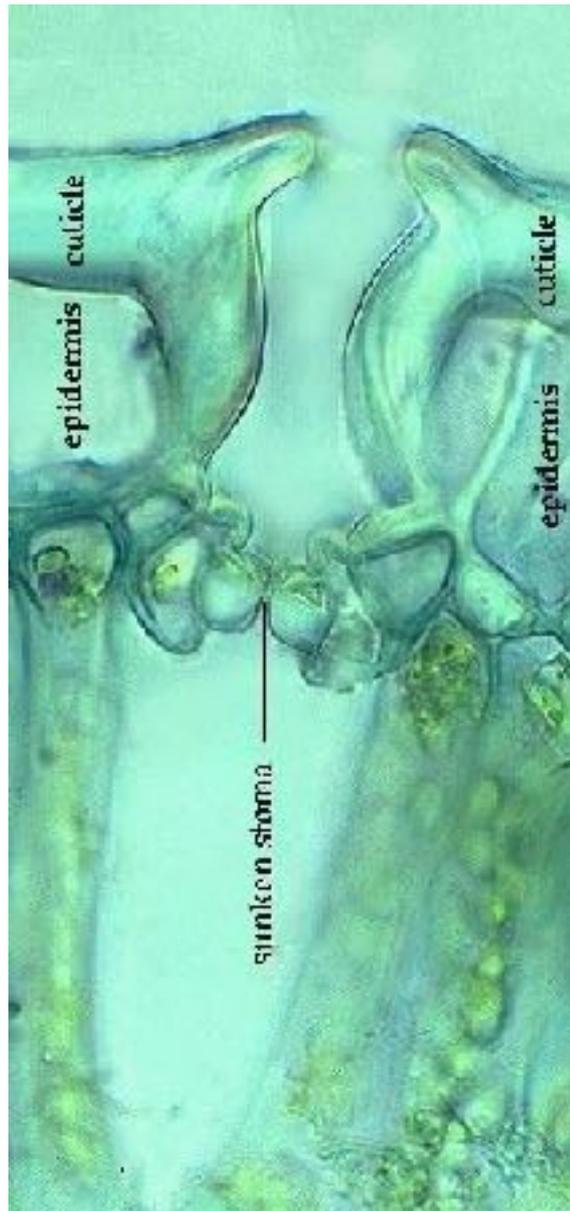
Nerium oleander L.



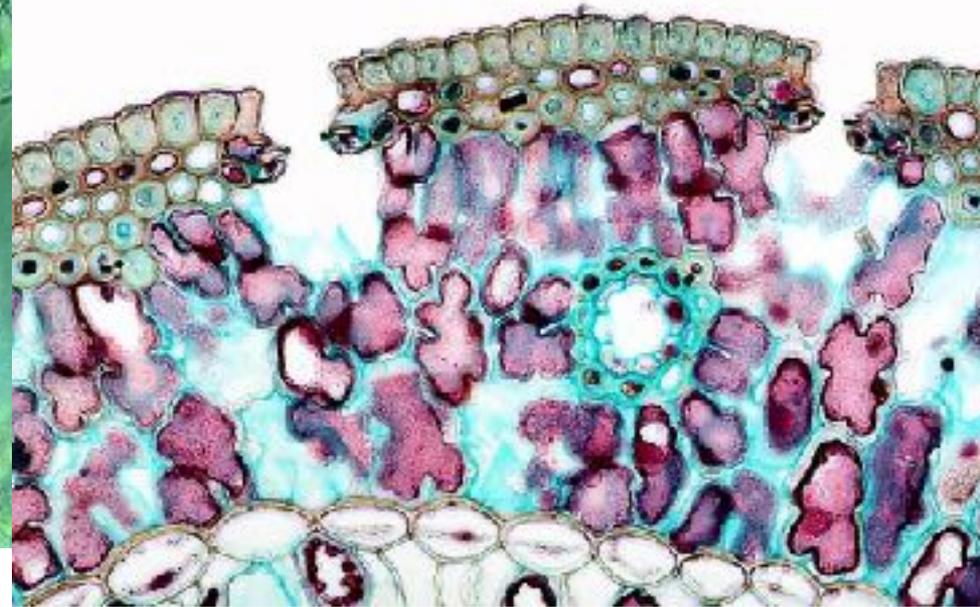


Ammophila arenaria (L.) Link



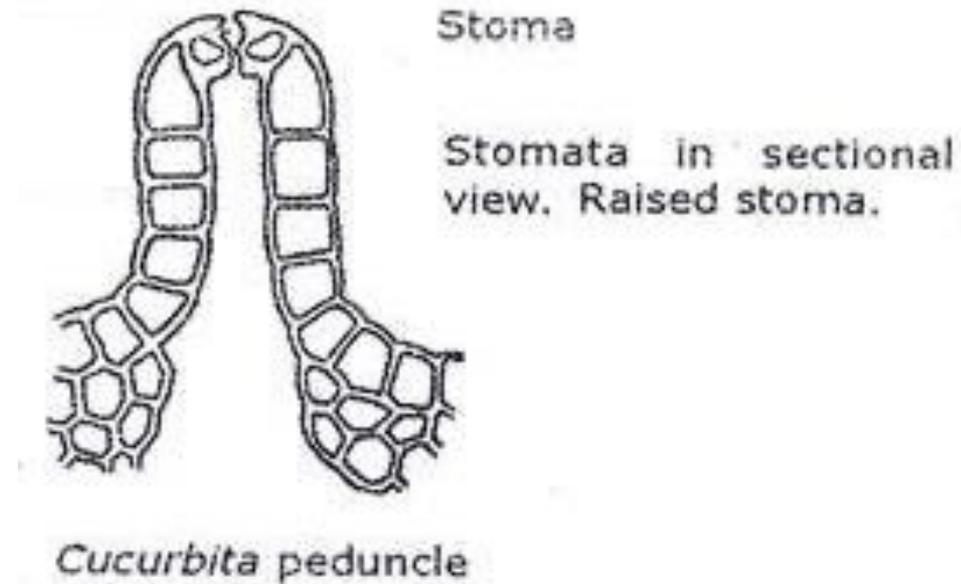


Pinus nigra L.





In piante di ambienti molto umidi (es. piante del sottobosco di foreste pluviali) si osservano stomi estroflessi, cioè collocati lungo creste o estroflessioni della lamina fogliare, per cercare di incrementare la traspirazione, quando l'aria è solitamente molto prossima alla saturazione.

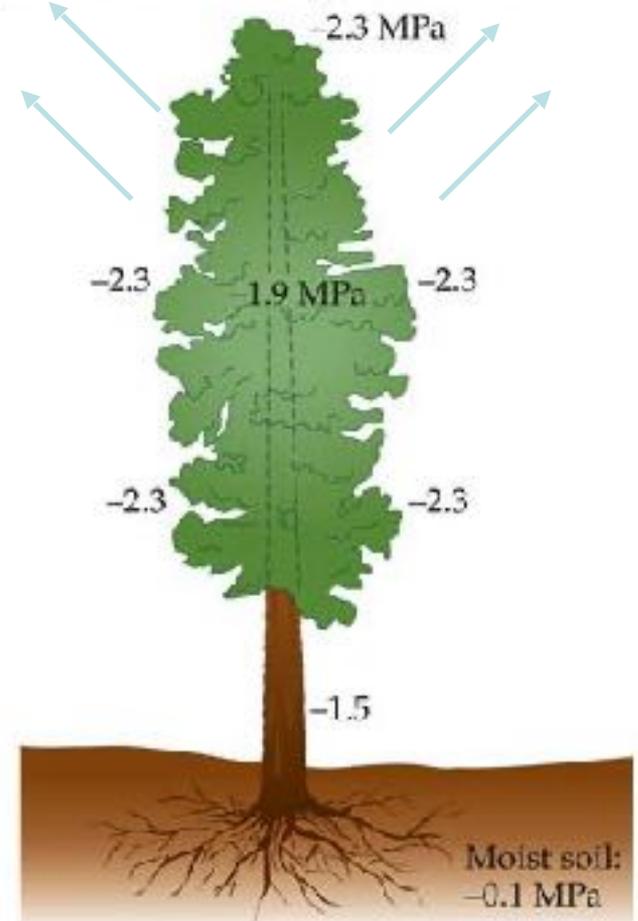




L'obiettivo è di garantire la traspirazione fogliare, e di conseguenza il flusso di acqua in risalita lungo il sistema vascolare di trasporto, garantendo un approvvigionamento di ioni assorbiti dal sistema radicale.

Grazie alla traspirazione, il flusso di acqua e nutrienti inorganici all'interno della pianta dalle radici alle foglie avviene in modo passivo senza dispendio di energia.

(B) Air (90% relative humidity): -13.7 MPa



ECOLOGY OF PLANTS, Second Edition, Figure 22 (Part 2) © 2000 Sinauer Associates, Inc.

Esistono anche strutture come gli **idatodi**, apparati ghiandolari detti anche "stomi acquiferi" deputati all'eliminazione di acqua allo stato liquido tramite il processo di **guttazione**. Si possono trovare in talune foglie di mono e dicotiledoni, in corrispondenza della parte terminale delle nervature.





La **guttazione** è l'essudazione di liquido xilematico dovuta al potenziale idrico delle radici. Di notte, quando non avviene perdita d'acqua per traspirazione, se l'umidità nel suolo è elevata, l'acqua entra nelle radici perché il loro potenziale idrico è inferiore a quello del suolo circostante. L'acqua si accumula quindi nelle radici, creando una elevata pressione radicale, che a sua volta causa l'essudazione tramite gli idatodi.

Gli **idatodi** possono essere:

- A) passivi, quando le venature fogliari terminano in aree con parenchima a pareti sottili
- B) Attivi, quando delle cellule epidermiche perdono acqua in modo attivo.



Tessuti TEGUMENTALI

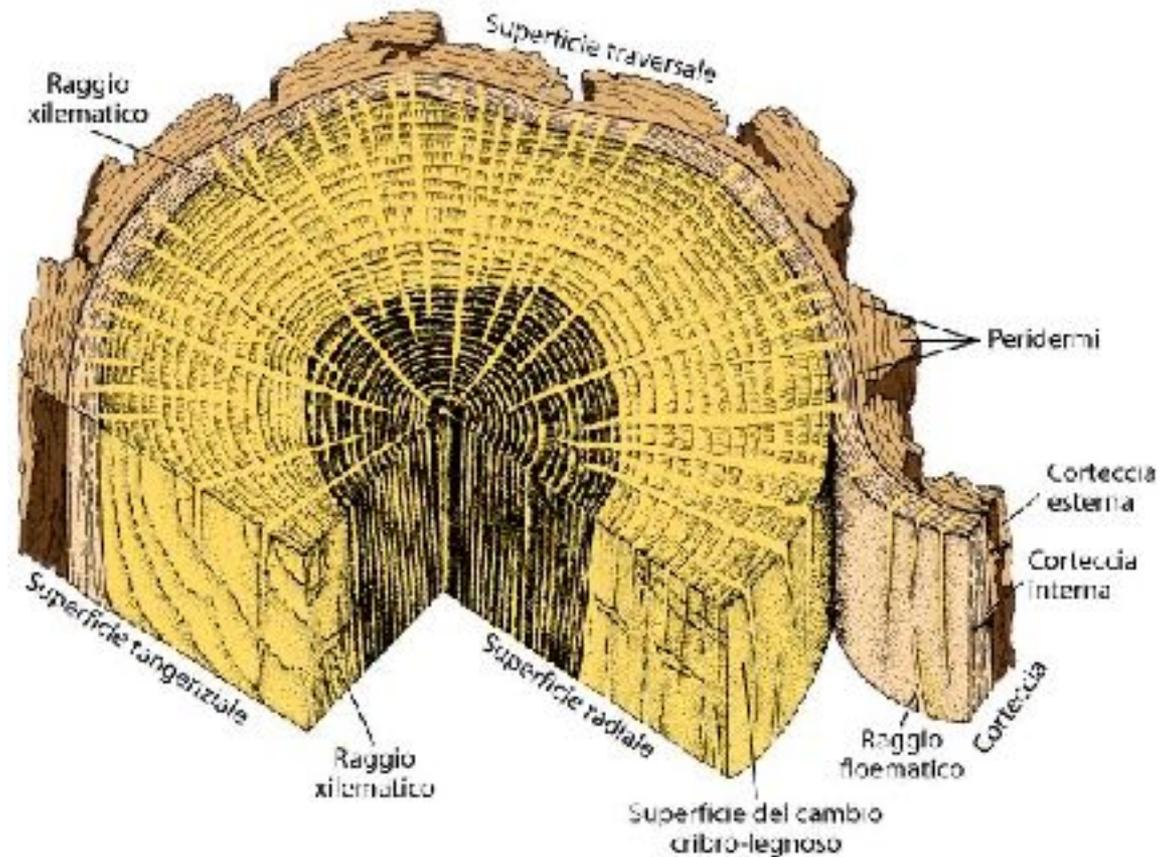
Assunzione di acqua e soluti dall'esterno: TESSUTO di ASSORBIMENTO:

- RIZODERMIDE 

Protezione e limitazione della perdita di acqua verso l'esterno: TESSUTI di RIVESTIMENTO.

- EPIDERMIDE 
- SUGHERO
- ESODERMA
- ENDODERMIDE

SUGHERO (o fellema) - di origine secondaria, riveste fusti e radici che si sono accresciuti in spessore. Viene prodotto da cambi subero-fellodermici che si formano più volte nella porzione più esterna della corteccia, in maniera discontinua.





ESTERNO DELLA PIANTA



(SUGHERO)

FELLOGENO

(FELLODERMA)

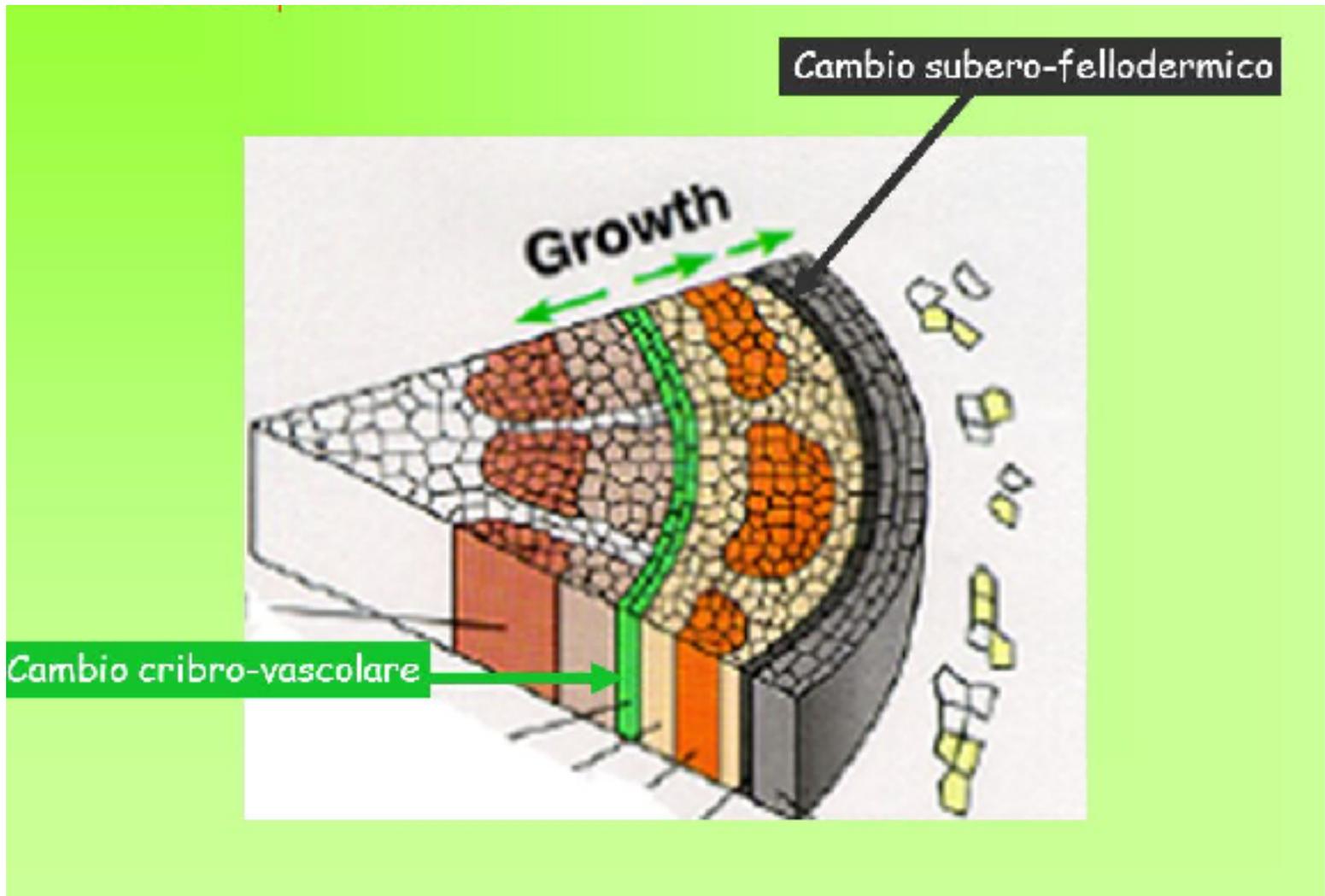
(FLOEMA)

CAMBIO

(XILEMA - FIBRE - PARENCHIMA)

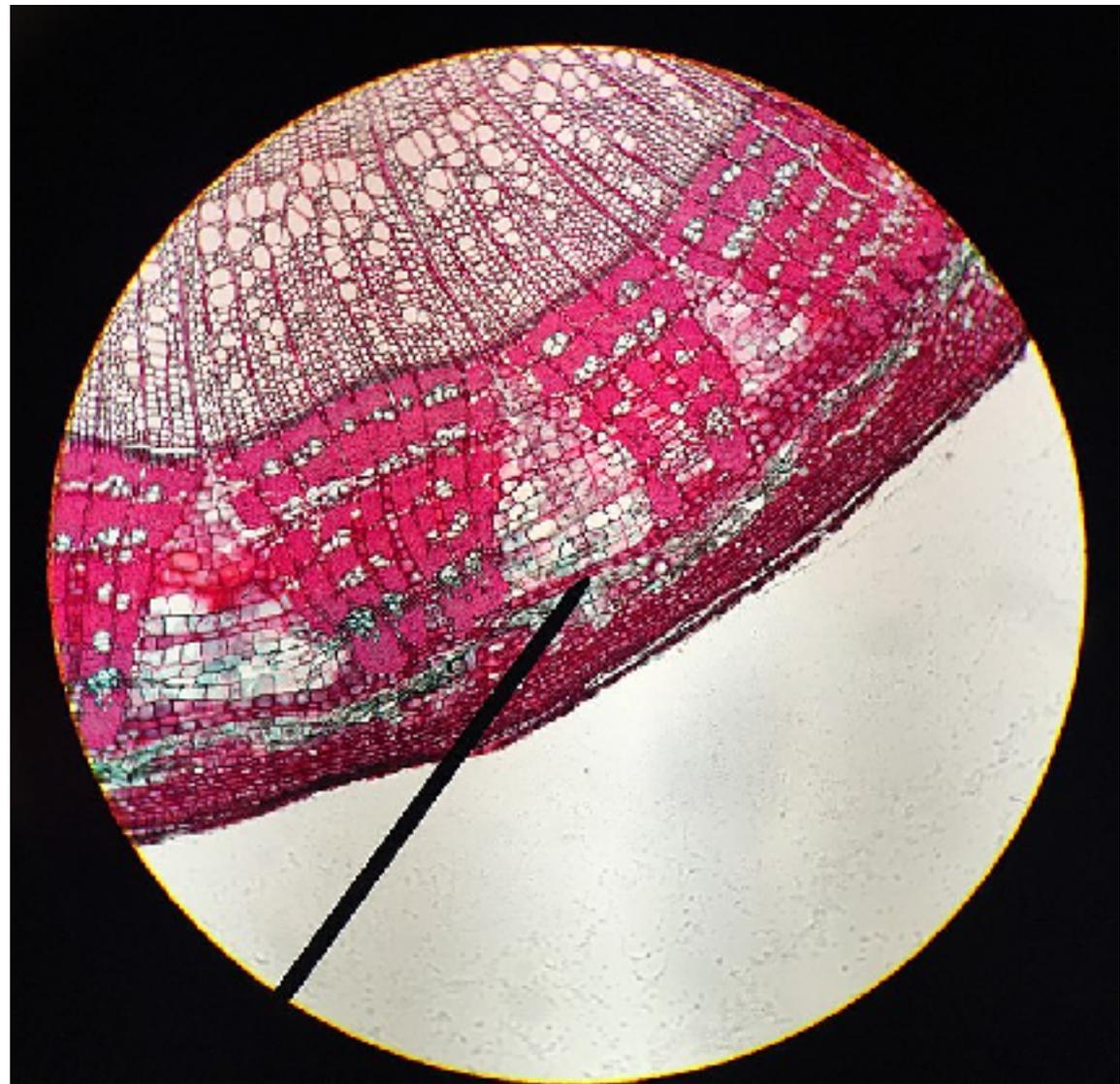


ESTERNO DELLA PIANTA



Cambio subero-fellodermico

Cambio cribro-vascolare



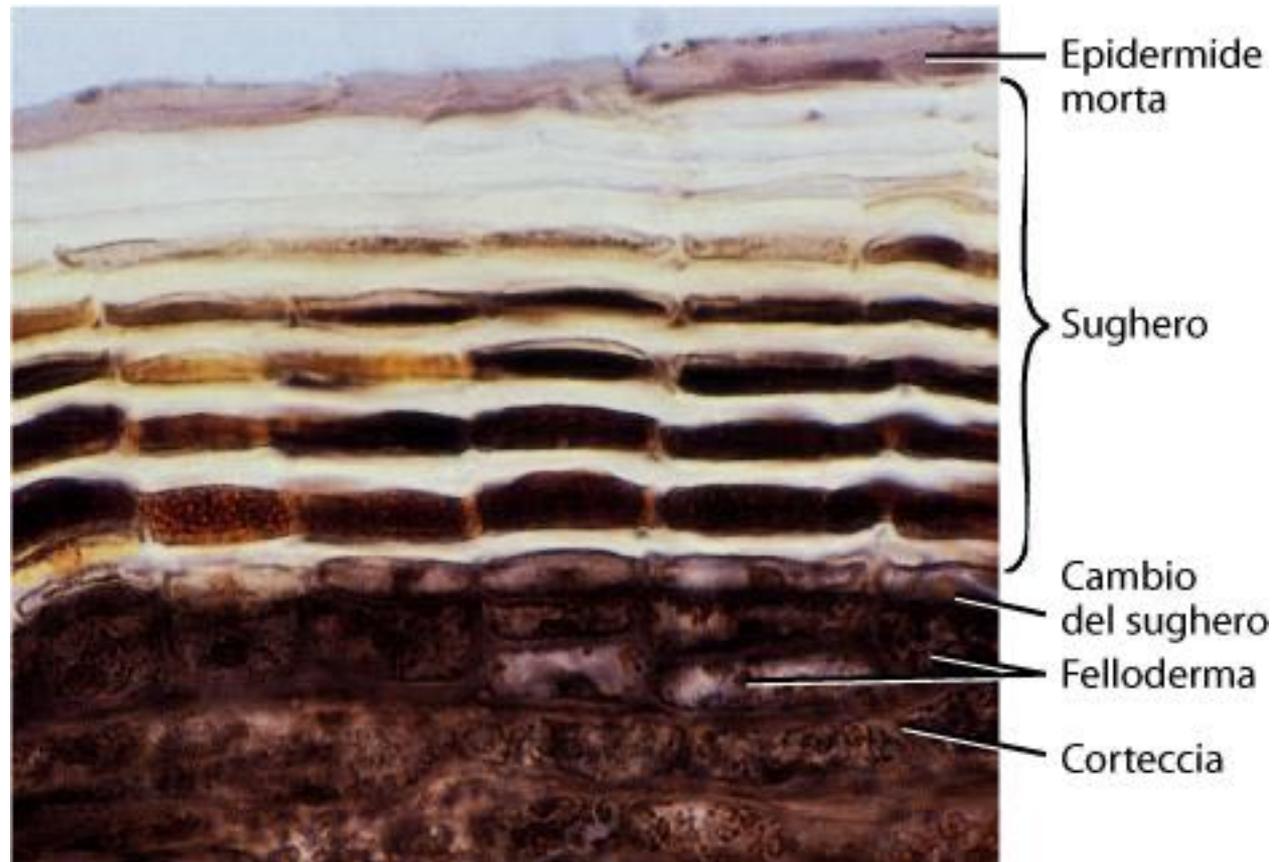


Il cambio subero-fellodermico, o fellogeno, è uno dei due tessuti meristematici secondari delle piante vascolari capaci di crescita secondaria (gimnosperme e angiosperme eudicotiledoni).

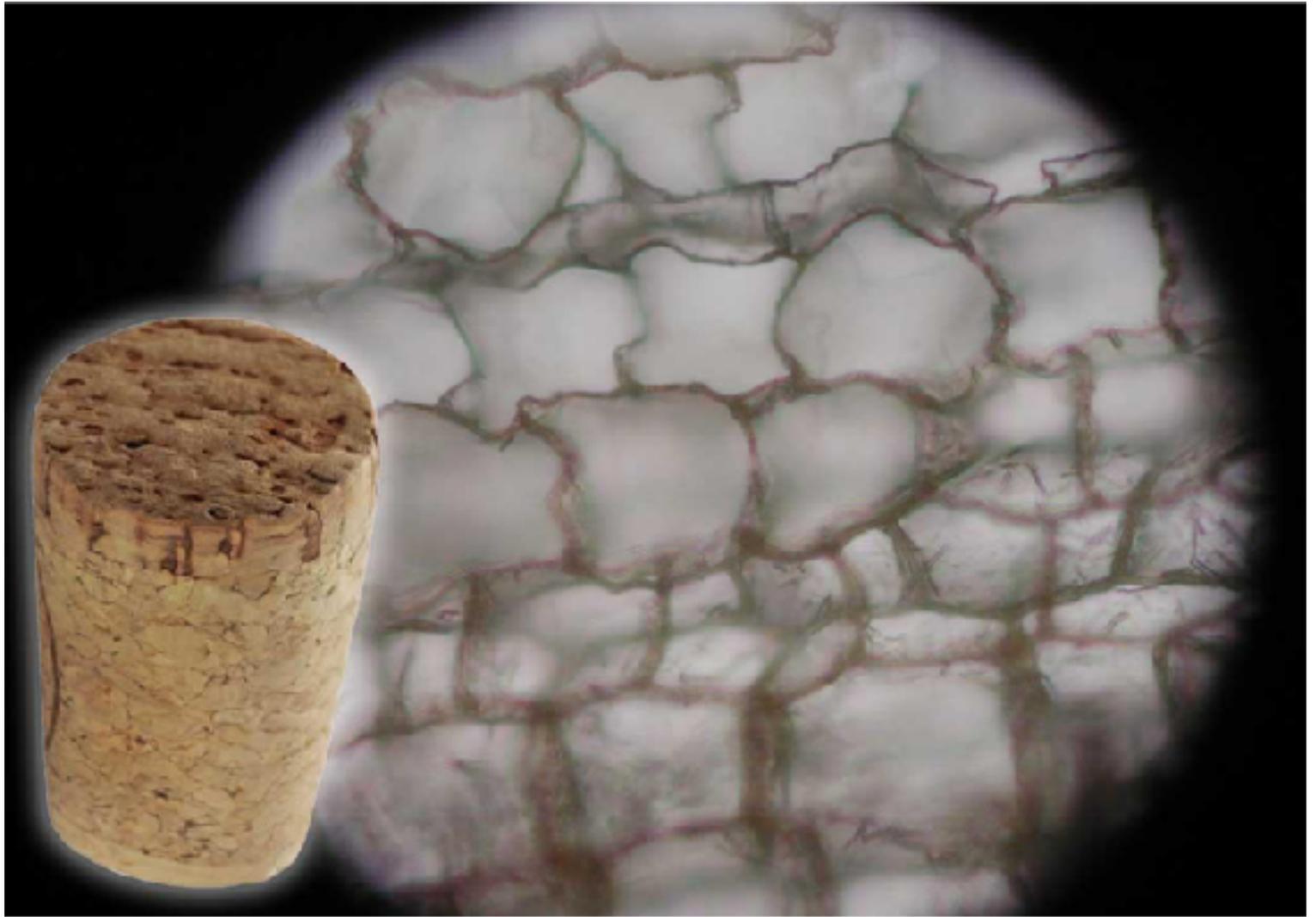
A differenza del cambio cribro-vascolare, questo spesso viene sostituito ogni anno. Infatti, nelle zone con clima stagionale, la sua attività termina nel periodo autunnale, e muore, per poi ridifferenziarsi nella successiva fase vegetativa.

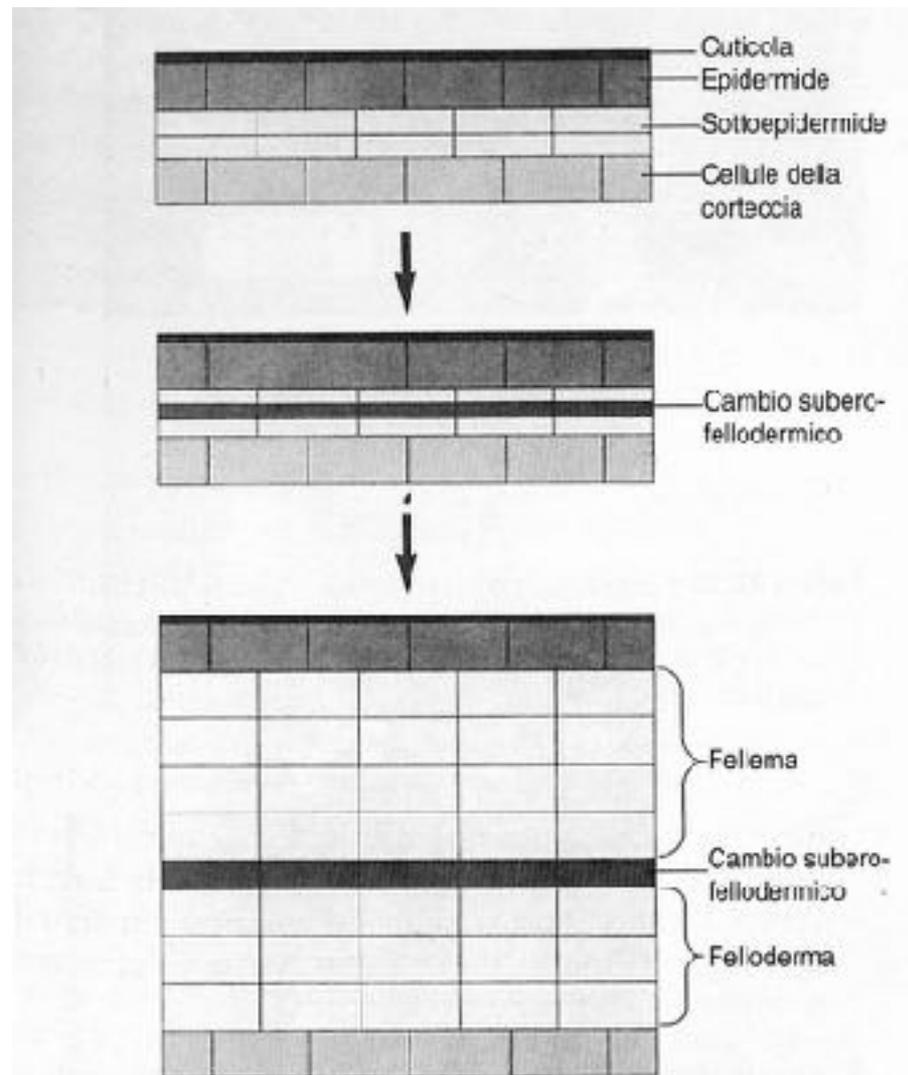
Si origina dal parenchima corticale o, in alcuni casi, dal floema.

Il sughero è costituito da cellule morte, ed è pluristratificato. Ha pareti ispessite e suberificate, e un colore scuro per la presenza di tannini e resine.



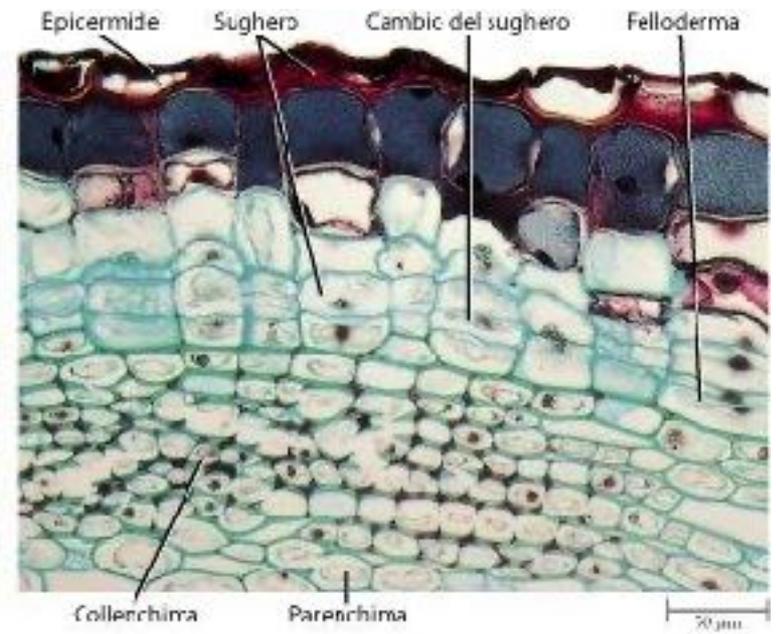
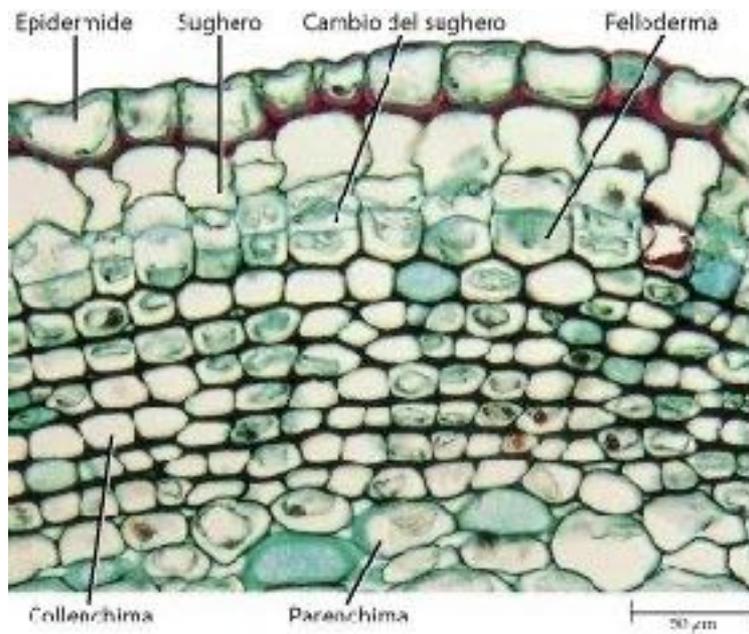




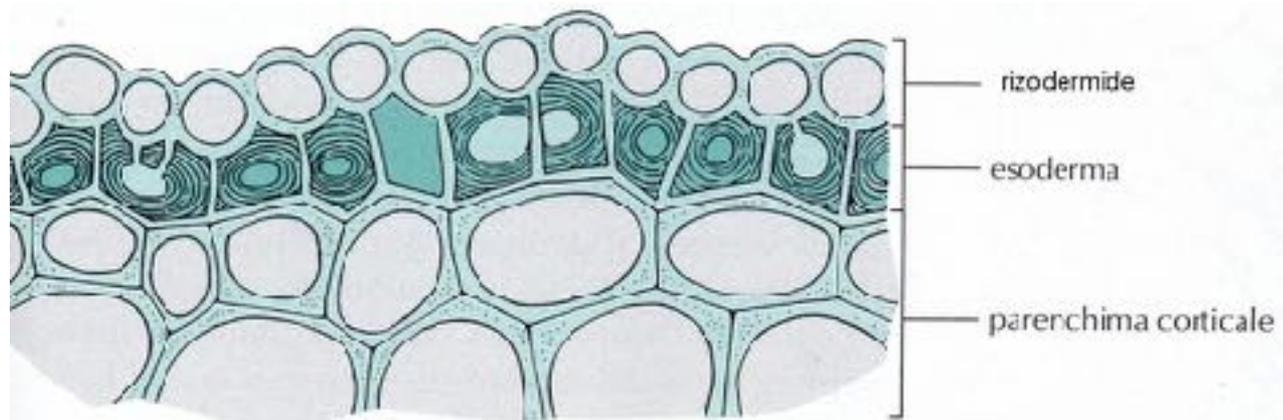


Struttura delle pareti suberificate (in alto) e schema dell'attività del cambio subero-fellodermico nella formazione di tessuti corticali secondari (in basso).

Il sughero sostituisce l'epidermide negli organi che hanno accrescimento secondario.



ESODERMA - di origine primaria, è formato da uno o più strati di cellule situate subito sotto la rizoderme della radice, con funzione di protezione. La parete secondaria delle cellule è leggermente suberificata, quindi con la progressiva maturazione dell'esoderma cessa anche l'assorbimento dell'acqua da parte del corrispondente tratto della radice.



Barriera di permeazione subepidermica: parte esterna della radice di *Smilax* con esoderma a pareti ispessite (sez. trasversale schematica). Una cellula ha conservato pareti sottili, funzionando da punto di permeazione.

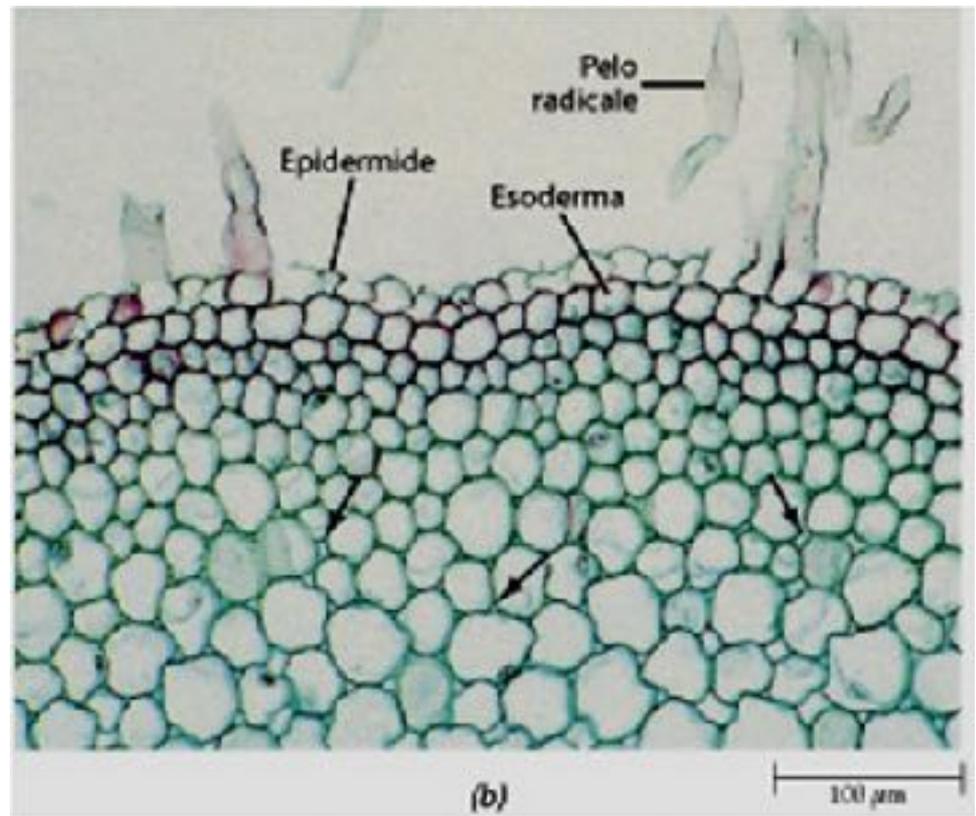
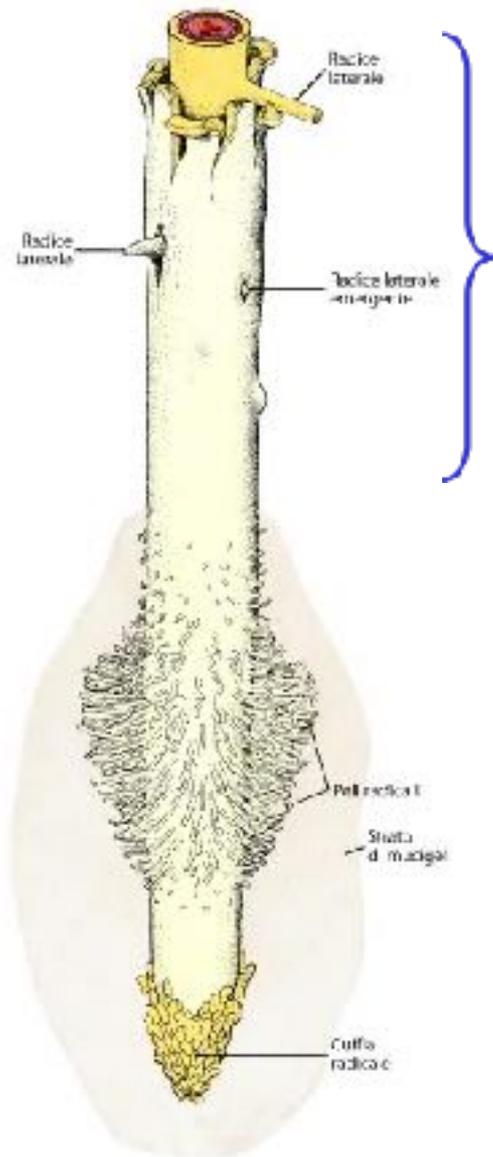


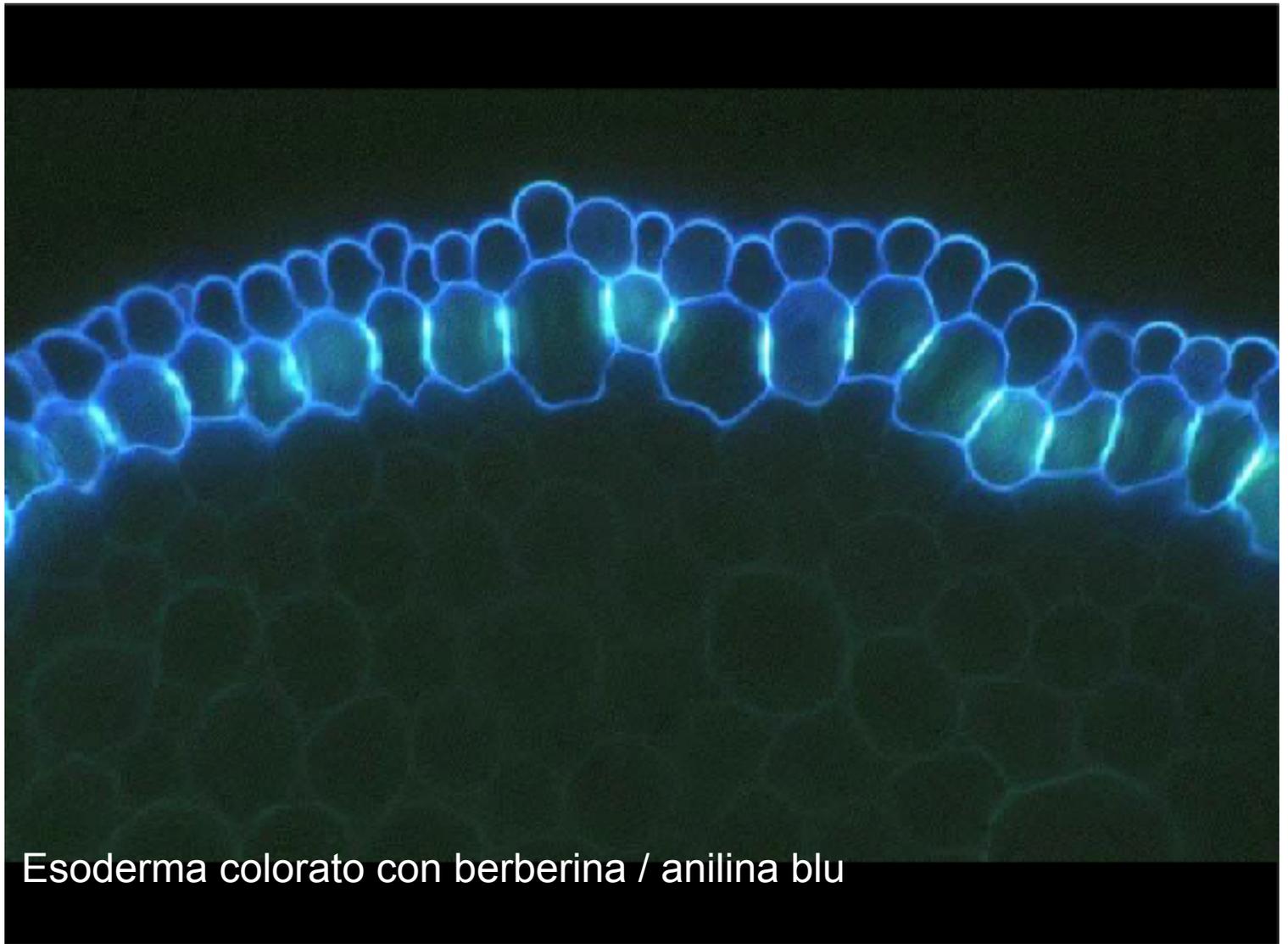
L'**esoderma** sostituisce il rizoderma nella zona appena sopra la zona pilifera delle radici. Di origine primaria, riveste la porzione tra la struttura primaria e quella secondaria della radice.

Si forma dopo la morte del rizoderma, quando lo strato parenchimatico corticale immediatamente sottostante si trasforma per suberificazione della parete (ma le cellule restano vive).

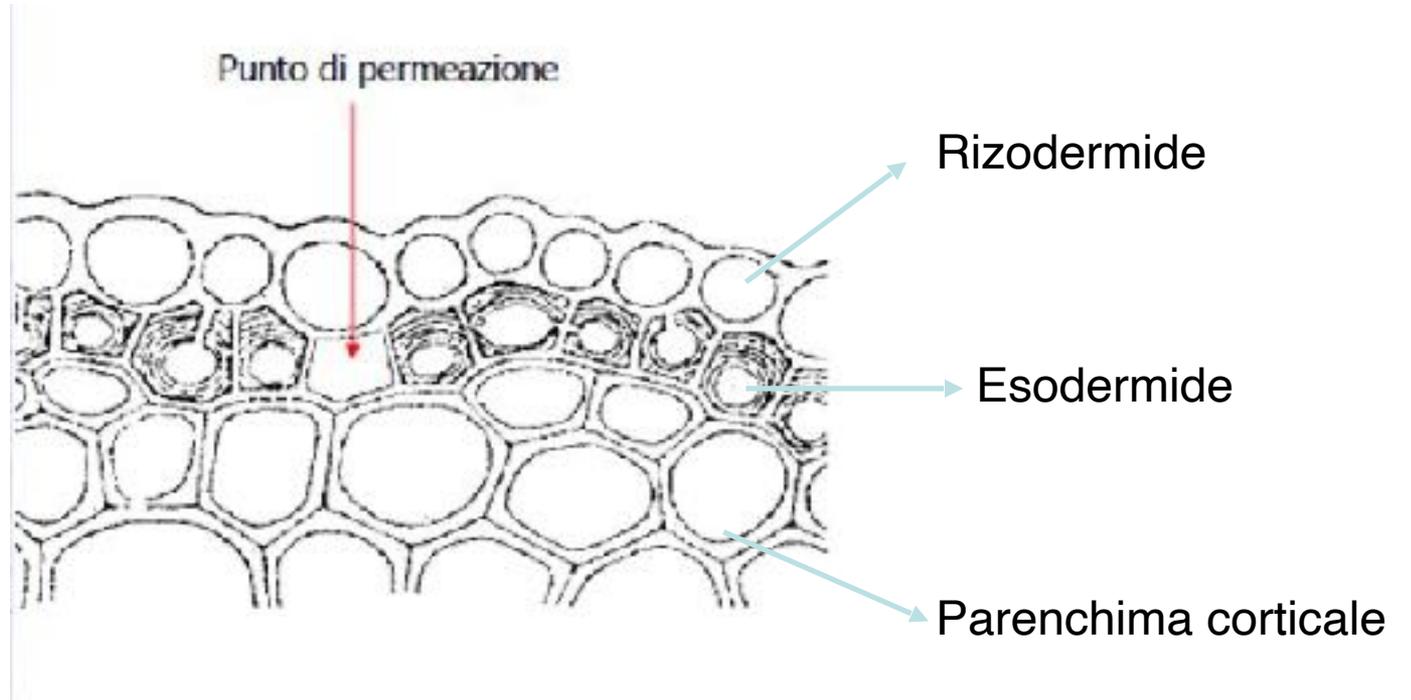
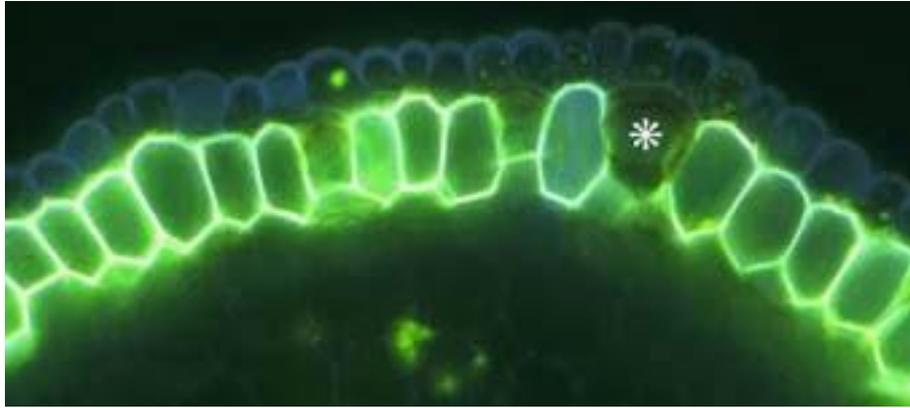
L'esoderma è per lo più unistratificato e poco permeabile, ed ha funzione di rivestimento e protezione.

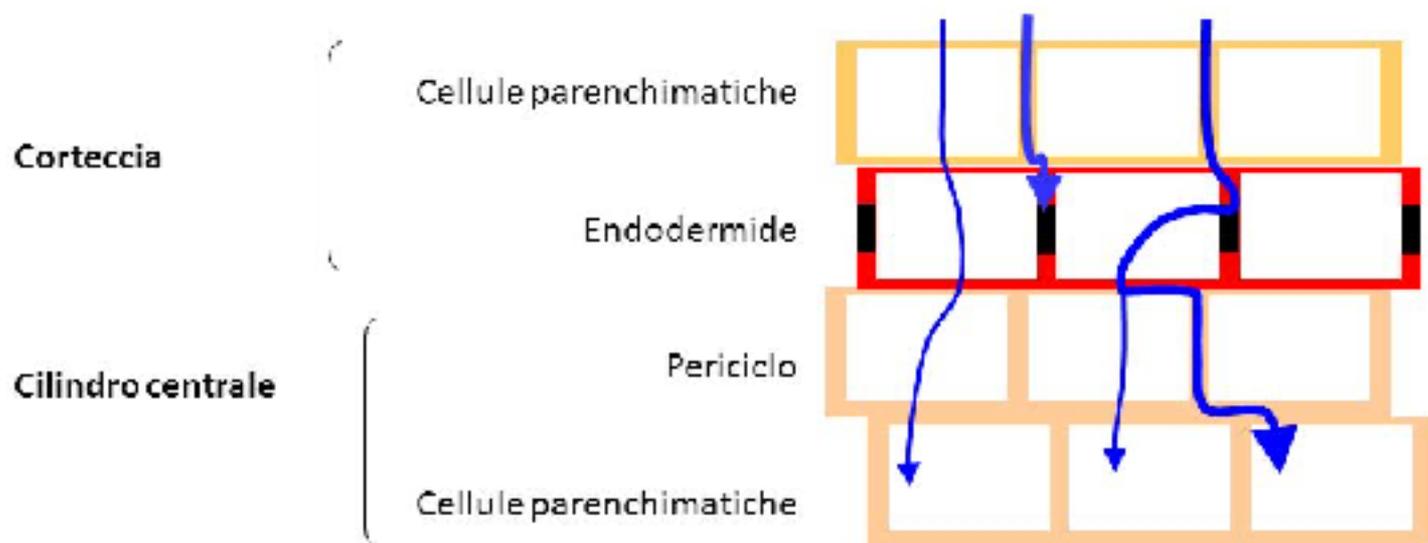
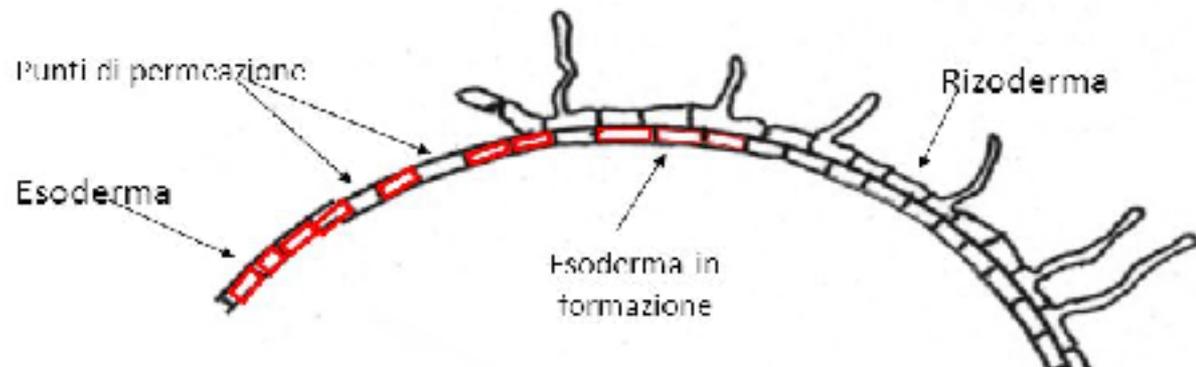
In struttura secondaria viene sostituito dal sughero.





Esoderma colorato con berberina / anilina blu







Tessuti TEGUMENTALI

Assunzione di acqua e soluti dall'esterno: TESSUTO di ASSORBIMENTO:

- RIZODERMIDE 

Protezione e limitazione della perdita di acqua verso l'esterno: TESSUTI di RIVESTIMENTO.

- EPIDERMIDE 
 - ENDODERMIDE 
 - ESODERMA 
 - SUGHERO 
- Tessuti primari
- Tessuto secondario, derivante da accrescimento in spessore





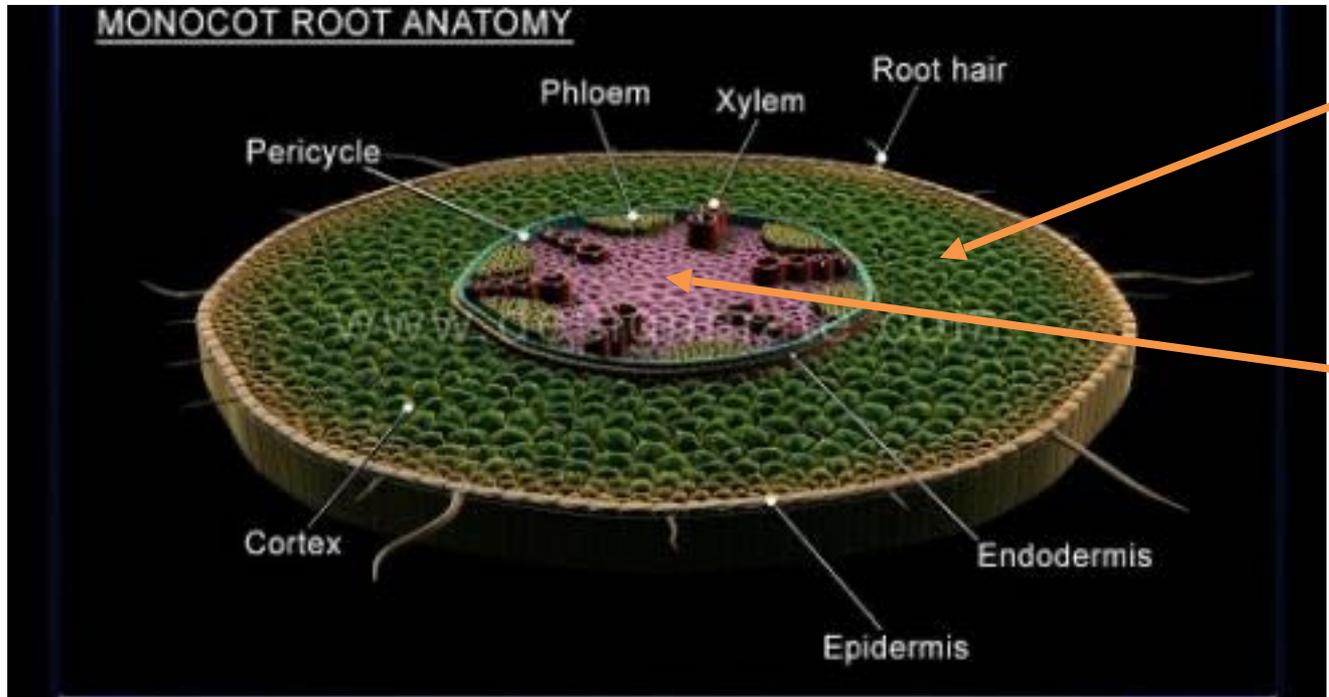
ENDODERMIDE - di origine primaria.

Tessuto tegumentale interno: separa la zona corticale (più esterna) da quella centrale (più interna) della **radice** e in alcuni casi anche del caule (fusti sotterranei, o nel caso di piante acquatiche), frapponendosi tra zona corticale e zona dei tessuti di conduzione (floema e xilema).

E' un tessuto tipico degli organi che hanno funzione di assorbimento. Il suo scopo è quello di fornire una barriera selettiva alle sostanze assorbite, barriera che esoderna e corteccia non sono in grado di fornire.

Le sue cellule sono vive, e prive di spazi intercellulari. Inoltre, presentano ispessimenti parietali ricchi di suberina e lignina, le bande del Caspary, che inibiscono la via apoplastica.

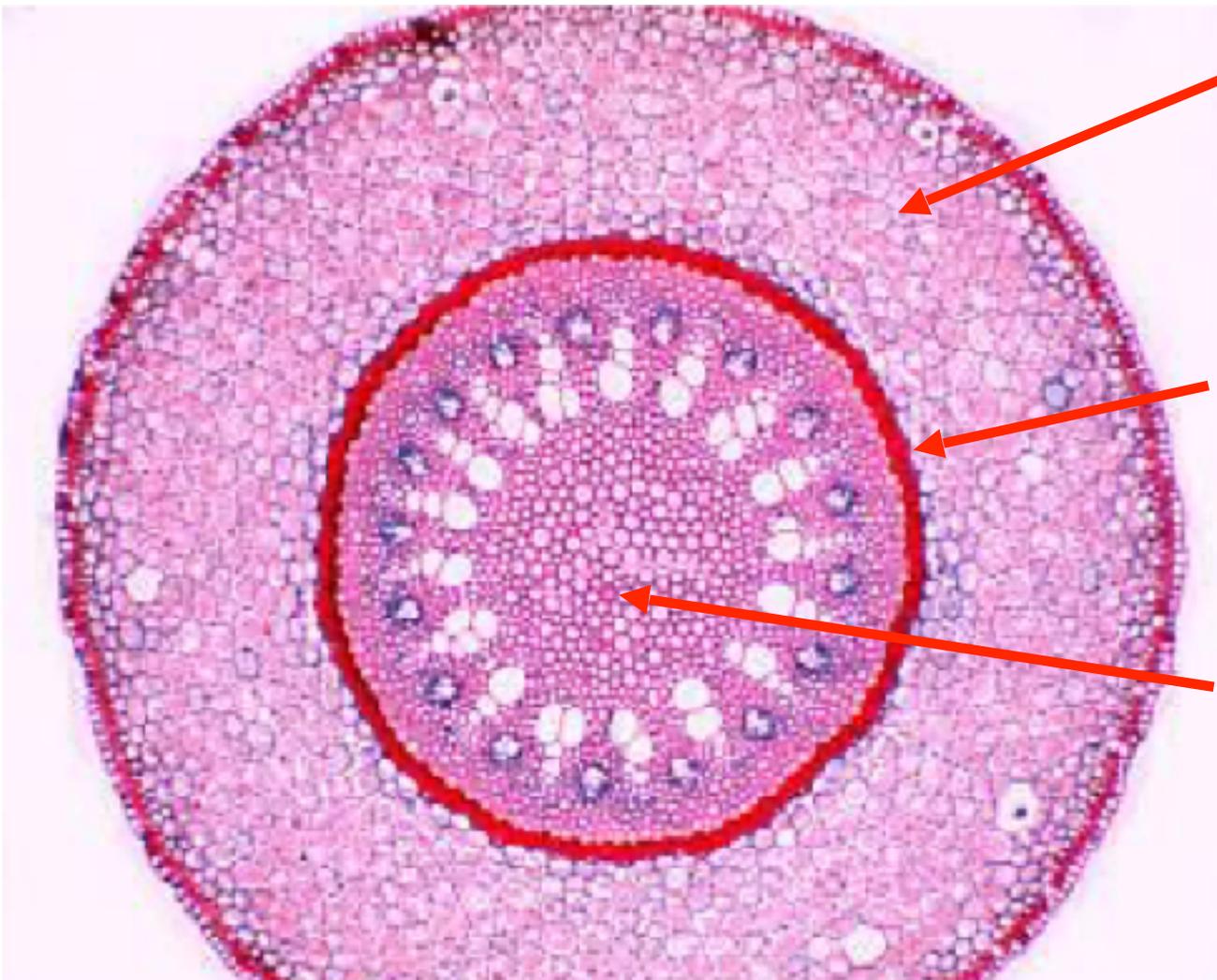
E' più agevole riconoscere l'endoermide nella radice in struttura primaria.



zona corticale

cilindro centrale

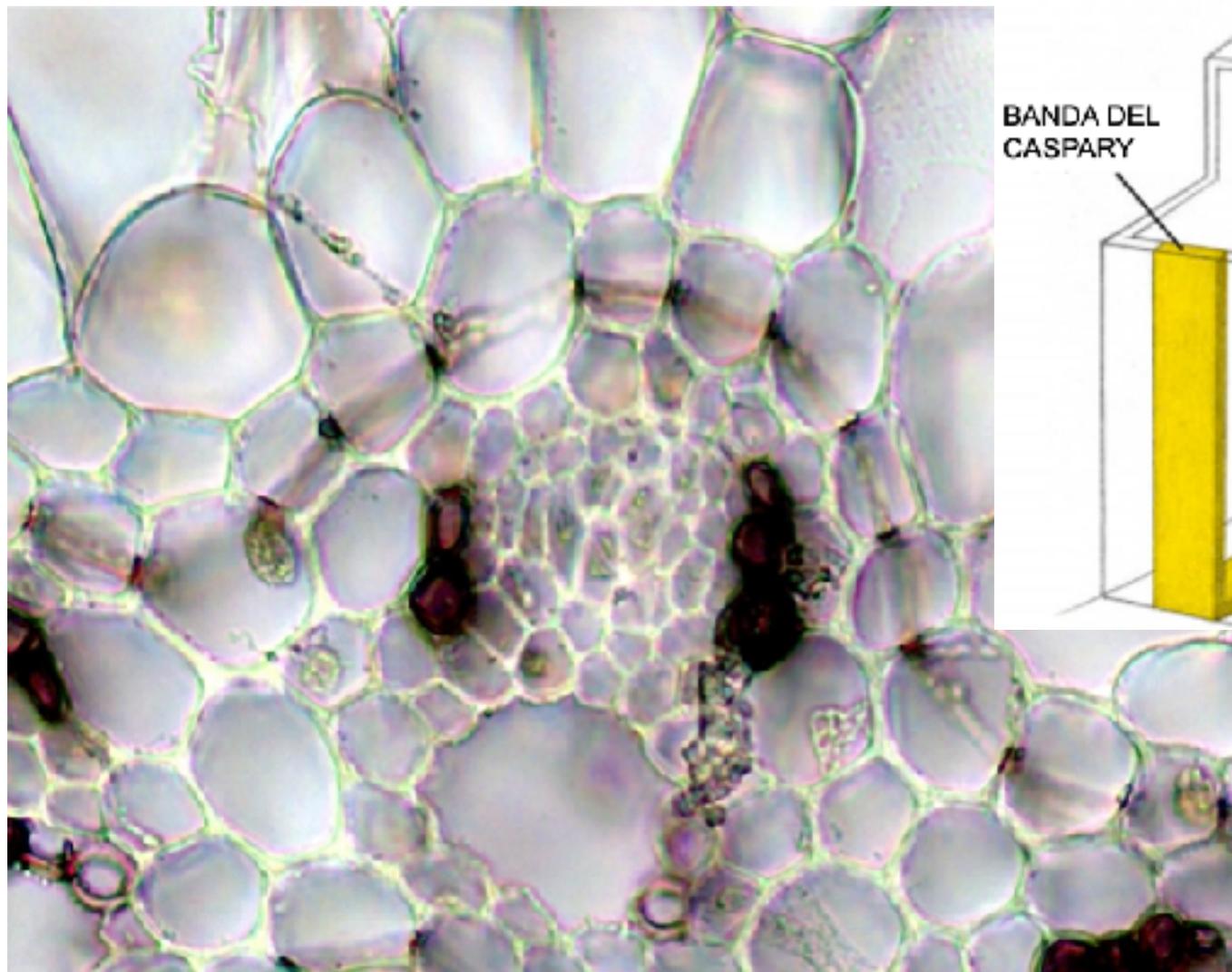
Sez. trasversale di radice in struttura primaria



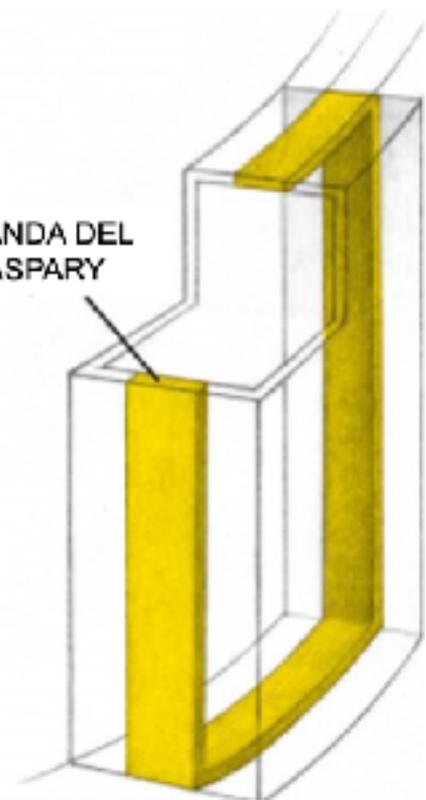
zona
corticale

endoderme

cilindro
centrale



BANDA DEL
CASPARY





L'**endoderma** è caratterizzato dalla presenza della **banda del Caspary** nelle sue pareti anticlinali (le pareti cellulari radiali e trasversali, che sono perpendicolari alla superficie della radice).

Questa non è semplicemente un ispessimento della parete, ma una porzione integrale a forma di banda della parete primaria e della lamella mediana (lo strato di materiale intercellulare che unisce le cellule adiacenti) che è impregnata di suberina e talvolta di lignina. La suberina e la lignina si infiltrano negli spazi della parete solitamente occupati dall'acqua, conferendo così una proprietà idrofoba a queste specifiche regioni della parete cellulare.



Siccome l'endoderma è compatto e la banda del Caspary è impermeabile all'acqua e agli ioni, il **movimento apoplastico** dell'acqua e dei soluti attraverso l'endoderma è bloccato.

Tutte le sostanze che entrano ed escono dal cilindro vascolare devono passare attraverso i protoplasti delle cellule endodermiche. Ciò avviene con il passaggio attraverso le membrane plasmatiche delle cellule dell'endodermide, o simplasticamente attraverso i numerosi plasmodesmi che collegano le cellule endodermiche con i protoplasti delle cellule della corteccia e del cilindro centrale.

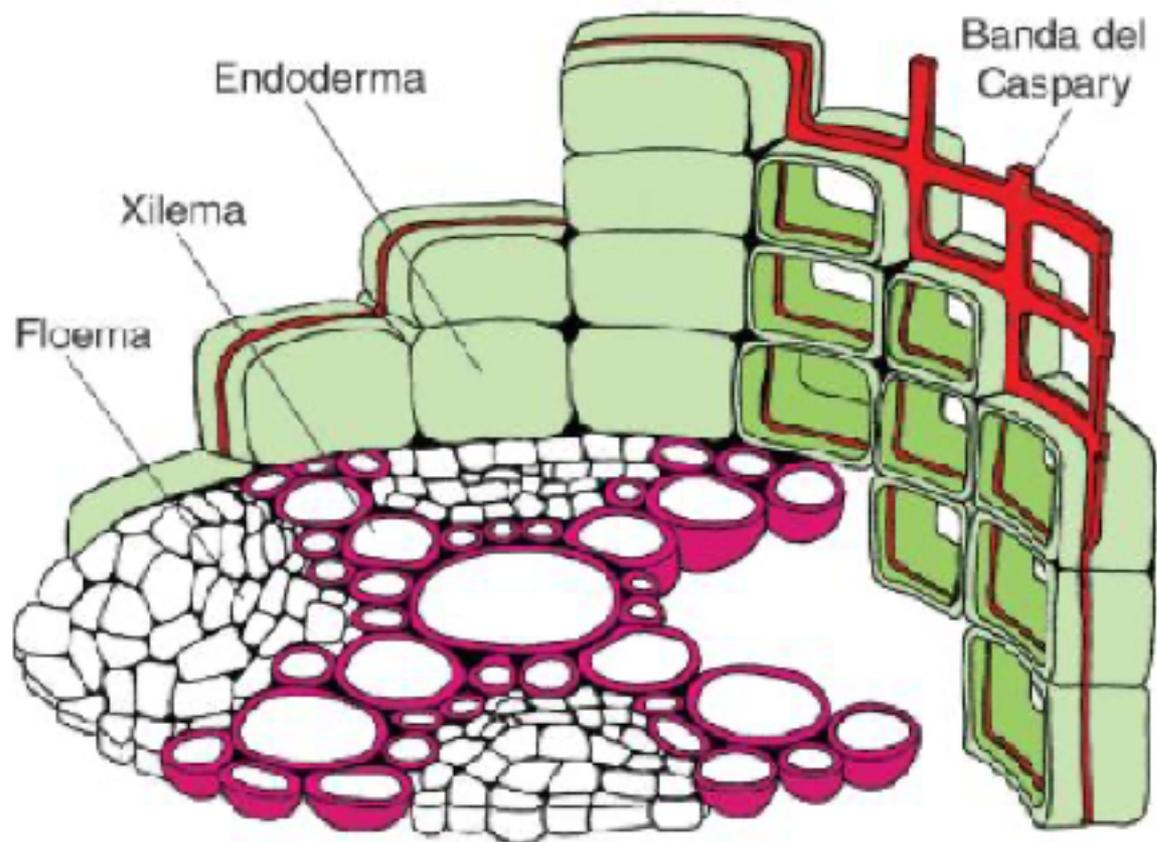
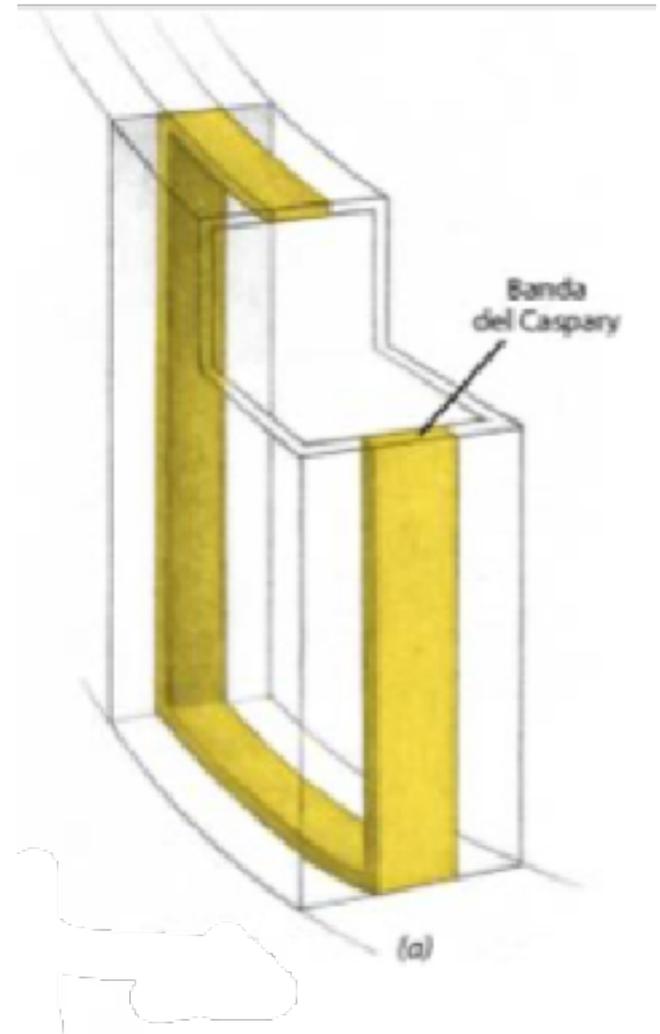


Figura 8.13

Banda del Caspary nelle pareti delle cellule dell'endoderma (disegno di R. Braglia).

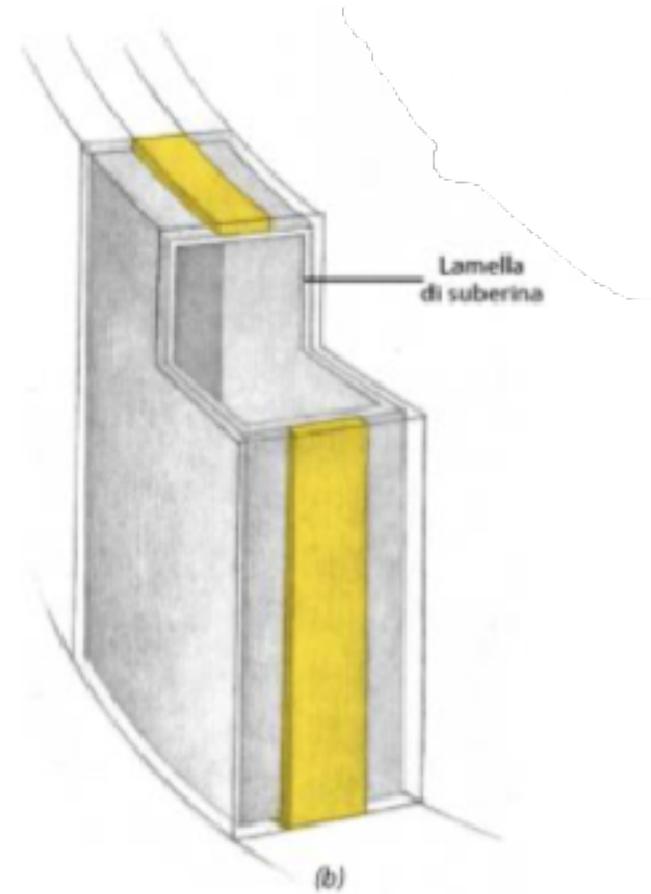


ENDODERMIDE PRIMARIA:
solo banda del Caspary:
suberina, a volte lignina



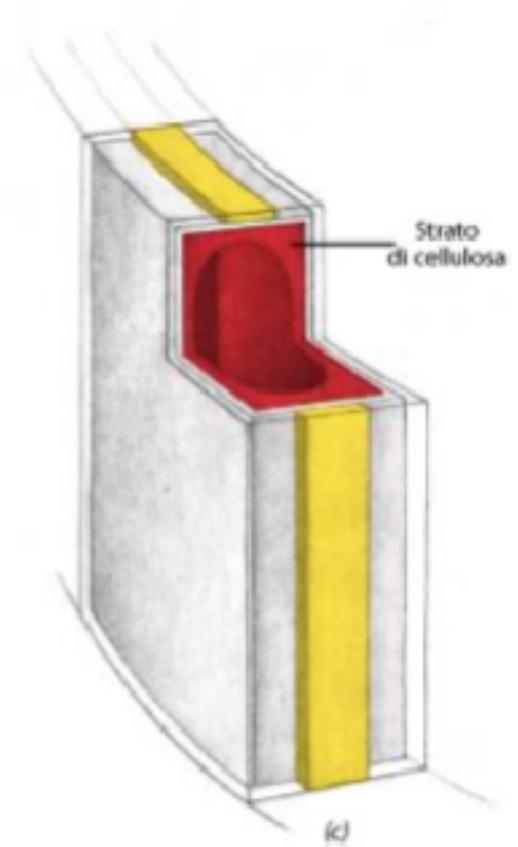


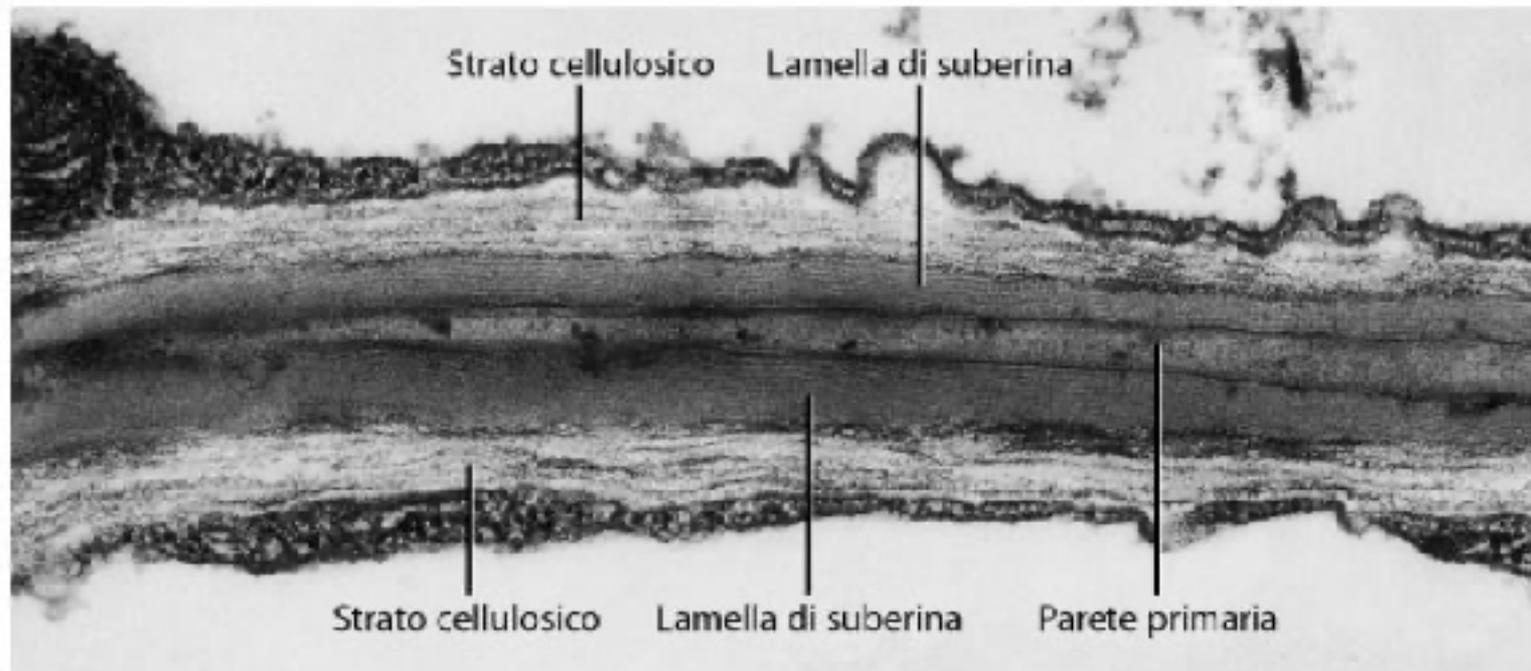
ENDODERMIDE SECONDARIA:
suberificazione diffusa di tutta la
parete





ENDODERMIDE TERZIARIA:
rinforzo di cellulosa su alcune
facce





Strato cellulosico

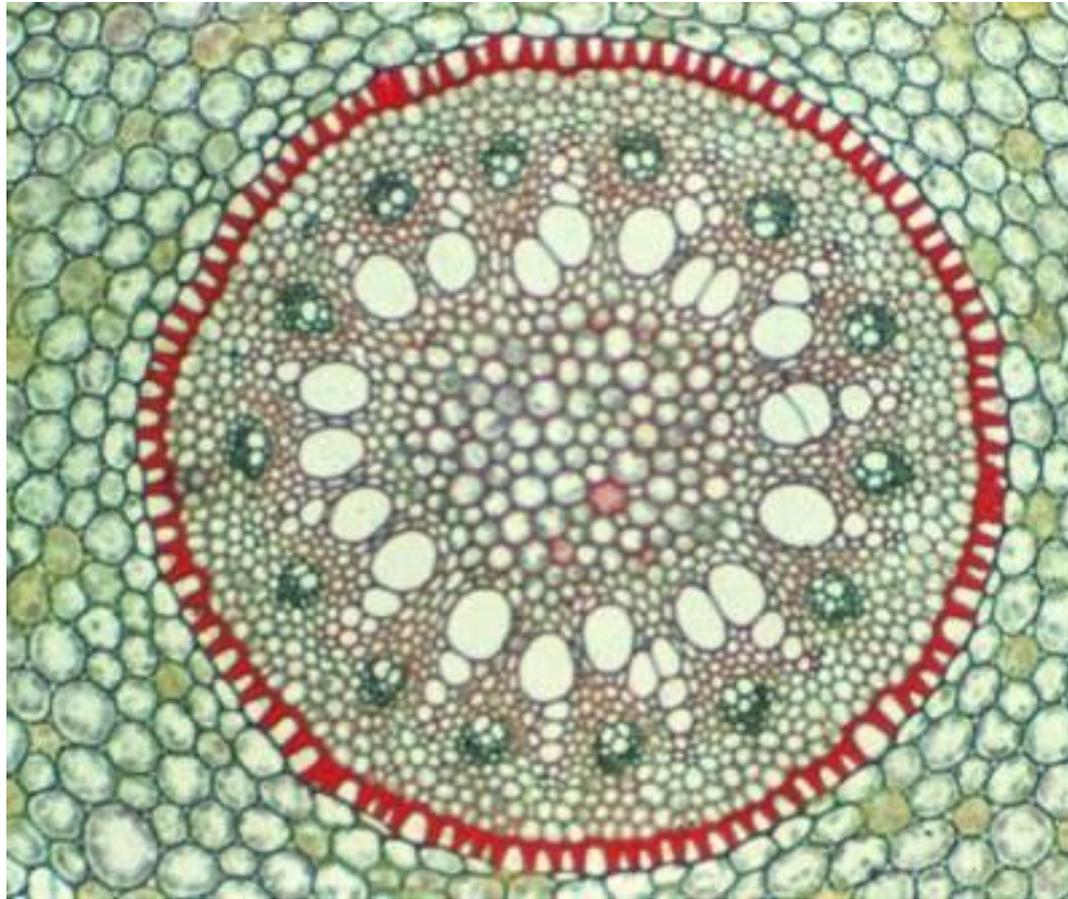
Lamella di suberina

Strato cellulosico

Lamella di suberina

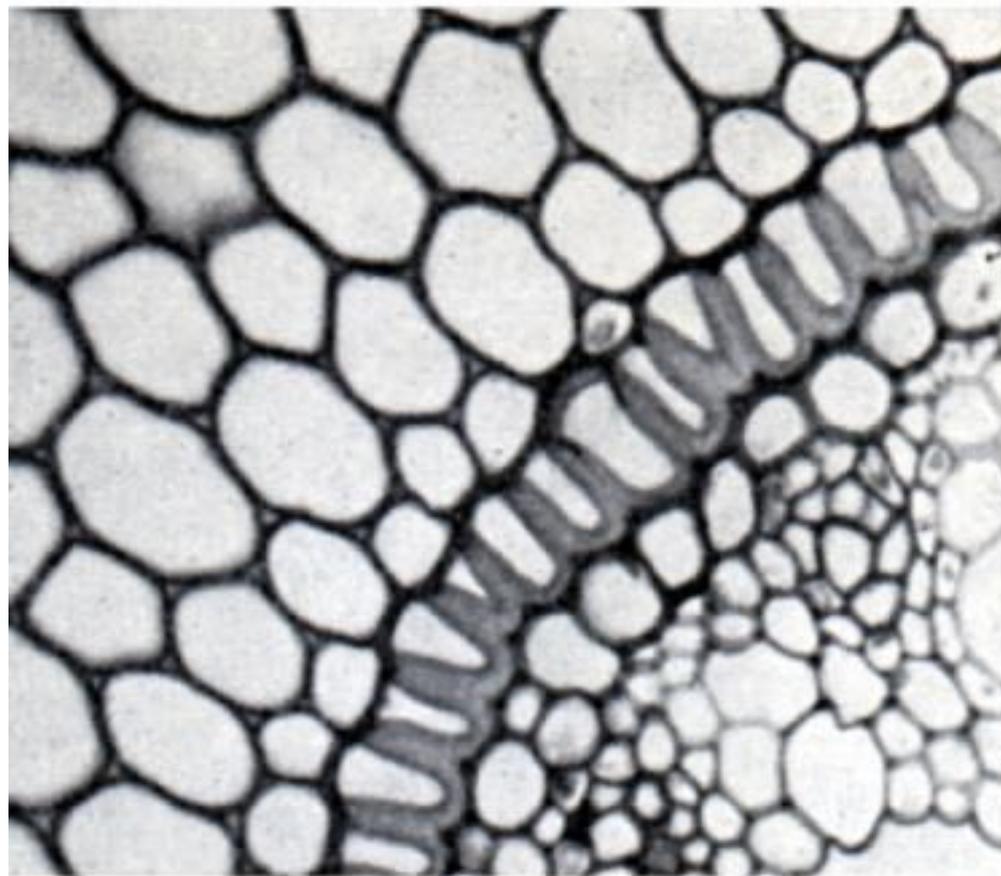
Parete primaria

0,2 μ m



Sezione trasversale radice
di Monocotiledone (in
struttura primaria)





- corteccia primaria
- endoderme
- periciclo
- protoxilema
- metaxilema
- floema

Sezione trasversale radice di Monocotiledone (in struttura primaria)



Una radice in struttura primaria ha una grande capacità di assorbimento.

Il **rizoderma** presenta uno strato di **cutina** molto sottile (o assente) e peli radicali che ne aumentano la superficie per l'assorbimento di acqua e soluti. L'acqua si sposta dal rizoderma al cilindro centrale attraverso tre possibili vie:

- **apoplastica** (movimento attraverso gli spazi tra le cellule, in particolare le pareti cellulari)
- **simplastica** (movimento attraverso i protoplasti delle cellule, tramite i plasmodesmi)
- **transcellulare** (movimento di cellula in cellula, attraversandone anche i vacuoli)

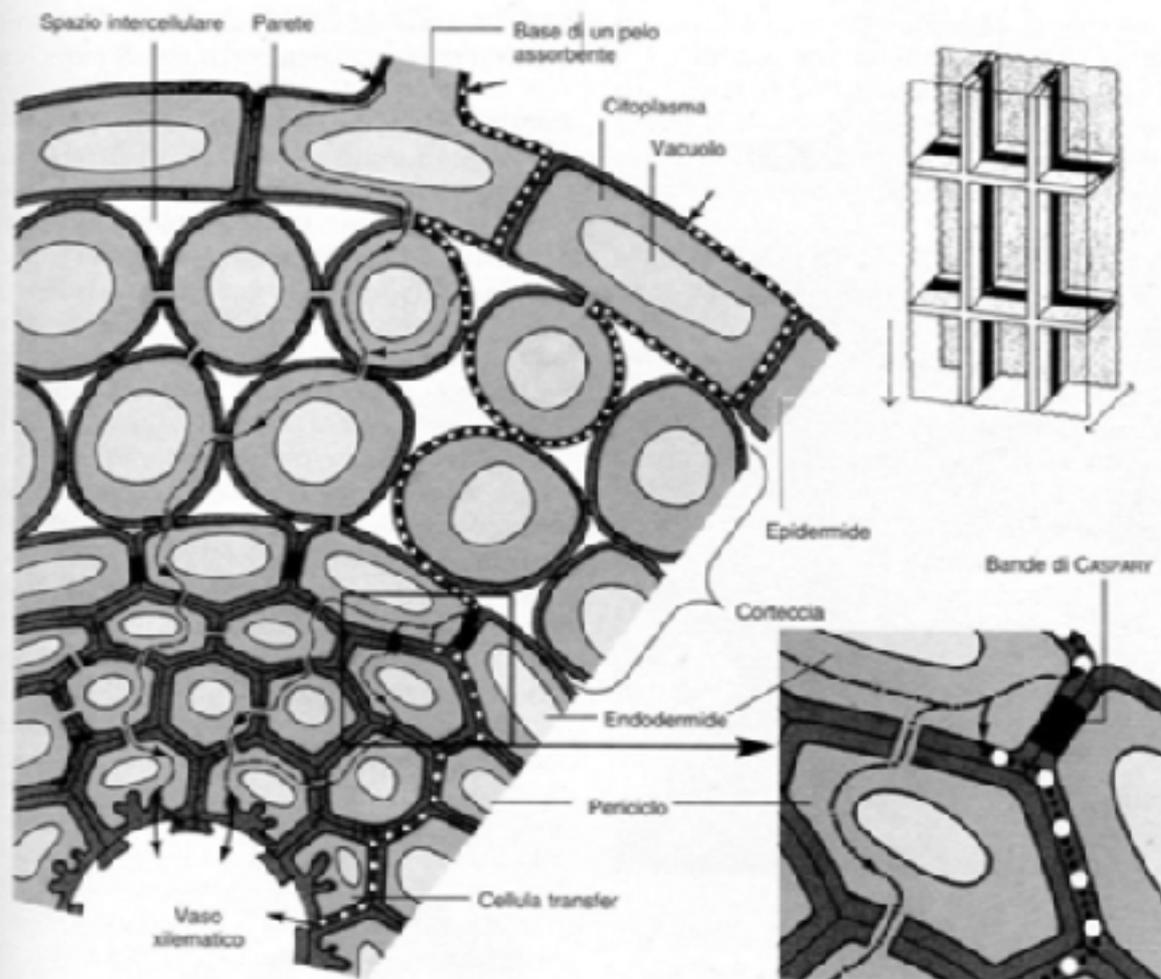
Sostanze potenzialmente dannose o inutili disciolte nell'acqua potrebbero quindi raggiungere il cilindro centrale per via apoplastica.



La banda di Caspary, spesso strato di materiale idrofobo, blocca il passaggio dei fluidi attraverso la via apoplastica a livello endodermico. Qualsiasi sostanza deve quindi attraversare la membrana delle cellule endodermiche. Queste, grazie alla permeabilità selettiva, bloccano possibili sostanze indesiderate.

In altre parole, i soluti vengono forzati a muoversi attraverso la via simplastica attraverso l'edodermide, per poi riprendere anche la via apoplastica nel cilindro centrale.

Quella endodermica non è però una barriera assoluta. Diverse sostanze tossiche possono raggiungere il germoglio col flusso xilematico. Esempi sono erbicidi o metalli pesanti che vengono trattenuti solo in parte nei tessuti radicali.



Vie di trasporto radiale dell'acqua e dei sali nutritivi nella radice primaria a livello dei peli radicali. Linee punteggiate: trasporto apoplasmatico; linee tratteggiate: trasporto simplasmatico.

Il particolare in basso a destra mostra l'interruzione del trasporto apoplasmatico a livello delle bande di CASPARY. Lo schema tridimensionale in alto a destra mostra la posizione spaziale delle bande

di CASPARY (bande nere) rispetto alle quali si deve pensare che la corteccia sia davanti e il cilindro centrale dietro (da LÜTTGE e HIGINBOTHAM, *Transport in Plants*, Springer, New York 1979).



In struttura secondaria alcune cellule dell'endoderma mantengono una parte sottile e la banda di Caspary. Queste cellule vengono definite cellule di passaggio, e hanno una maggiore permeabilità all'acqua e ai soluti rispetto alle altre cellule con le pareti suberificate e con depositi di cellulosa.

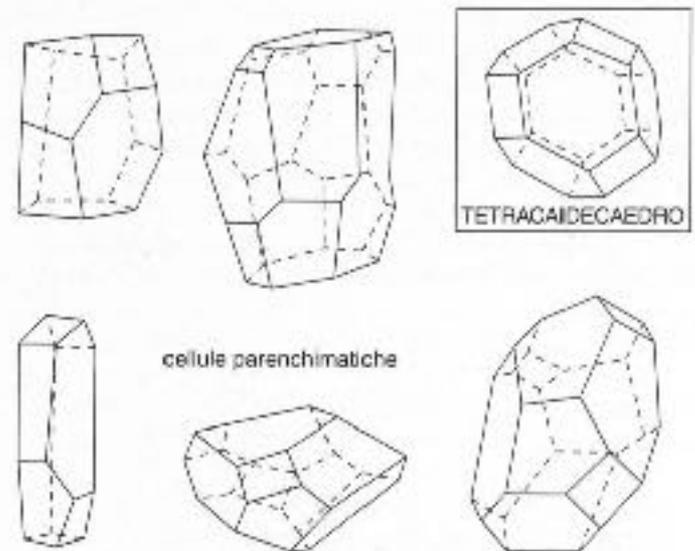
In ogni caso, le cellule dell'endodermide, sino a che restano vive, mantengono la capacità di veicolare acqua e soluti per via sinplastica tramite i loro plasmodesmi. Infatti, anche se la parte delle radici più attiva nell'assorbimento di acqua e soluti sono quelle vicine agli apici in attivo accrescimento, anche le porzioni più vecchie sono capaci di assorbire almeno in parte. Da qui la necessità di mantenere la possibilità di passaggio dalla corteccia al cilindro centrale tramite l'endodermide.

PARÈNCIMI

(pará énychima, (massa) versata in mezzo = tessuto di riempimento) è il tessuto vegetale apparentemente meno specializzato, di derivazione primaria, con molteplicità di funzioni, formato da cellule grosse, con pareti sottili, in genere isodiametriche, e spazi intercellulari bene sviluppati.

La parete è in genere di tipo primario.

Le cellule sono in grado di riprendere a dividersi, per cui sono molto importanti nella rigenerazione e nella cicatrizzazione di ferite



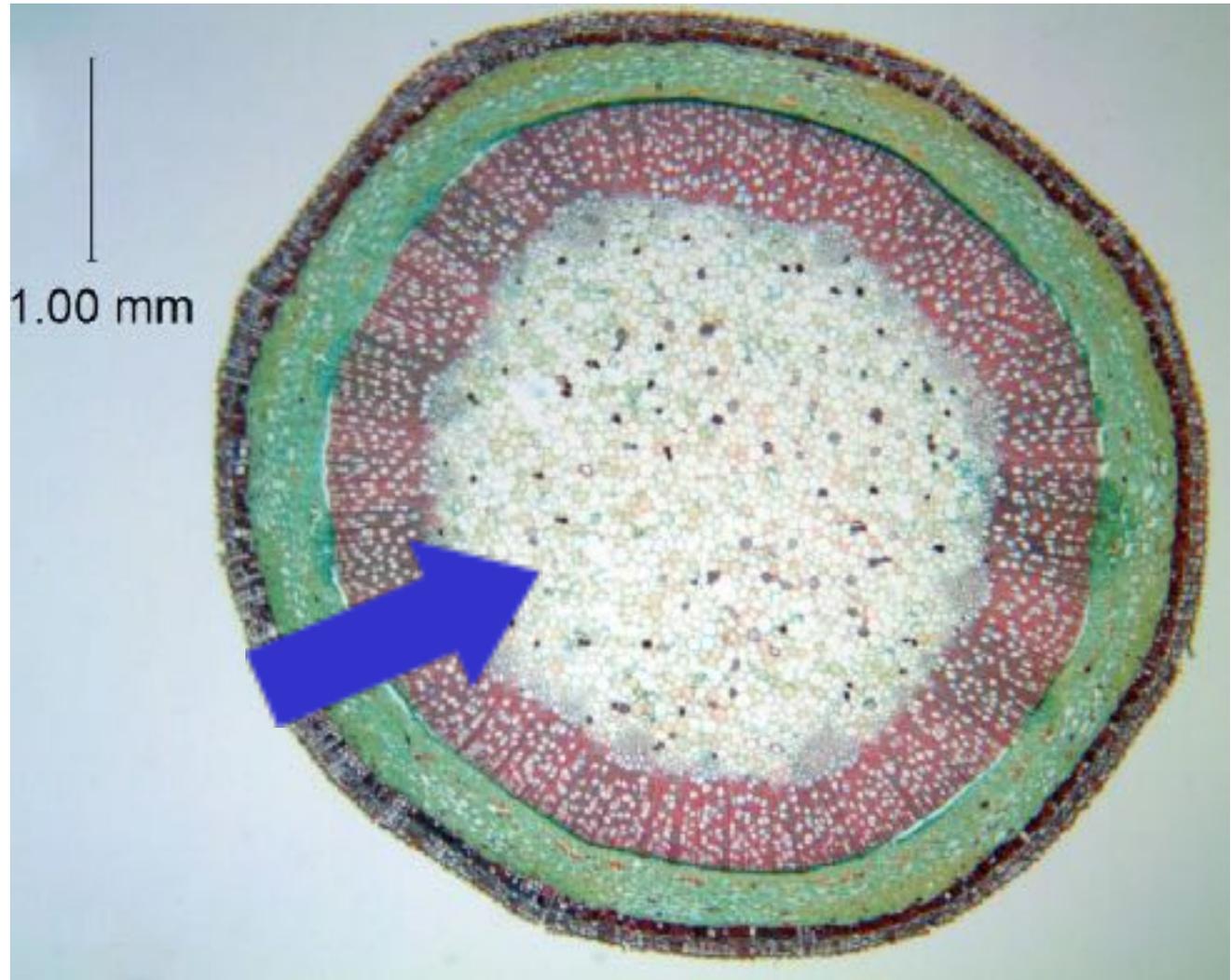
Molte cellule parenchimatice (per esempio quelle del midollo di un fusto) appaiono circolari se viste in sezione. Questo farebbe pensare a una forma sferica. Invece la forma più comune è quella poliedrica. Il poliedro a cui si avvicinano di più le cellule parenchimatice è il tetraicaidecaedro, un poliedro semiregolare con 8 facce esagonali e 6 quadrilateri. Questo poliedro si avvicina abbastanza alla sfera consentendo quindi un risparmio di materiale della parete (tra tutti i solidi la sfera ha infatti la più piccola superficie relativa). Rispetto alla sfera esso ha però il vantaggio di consentire un maggior contatto fra cellule. (Due sfere adiacenti si toccano solo con un punto, due poliedri con una faccia). Il modello «tetraicaidecaedro» viene interpretato con grandissima libertà.



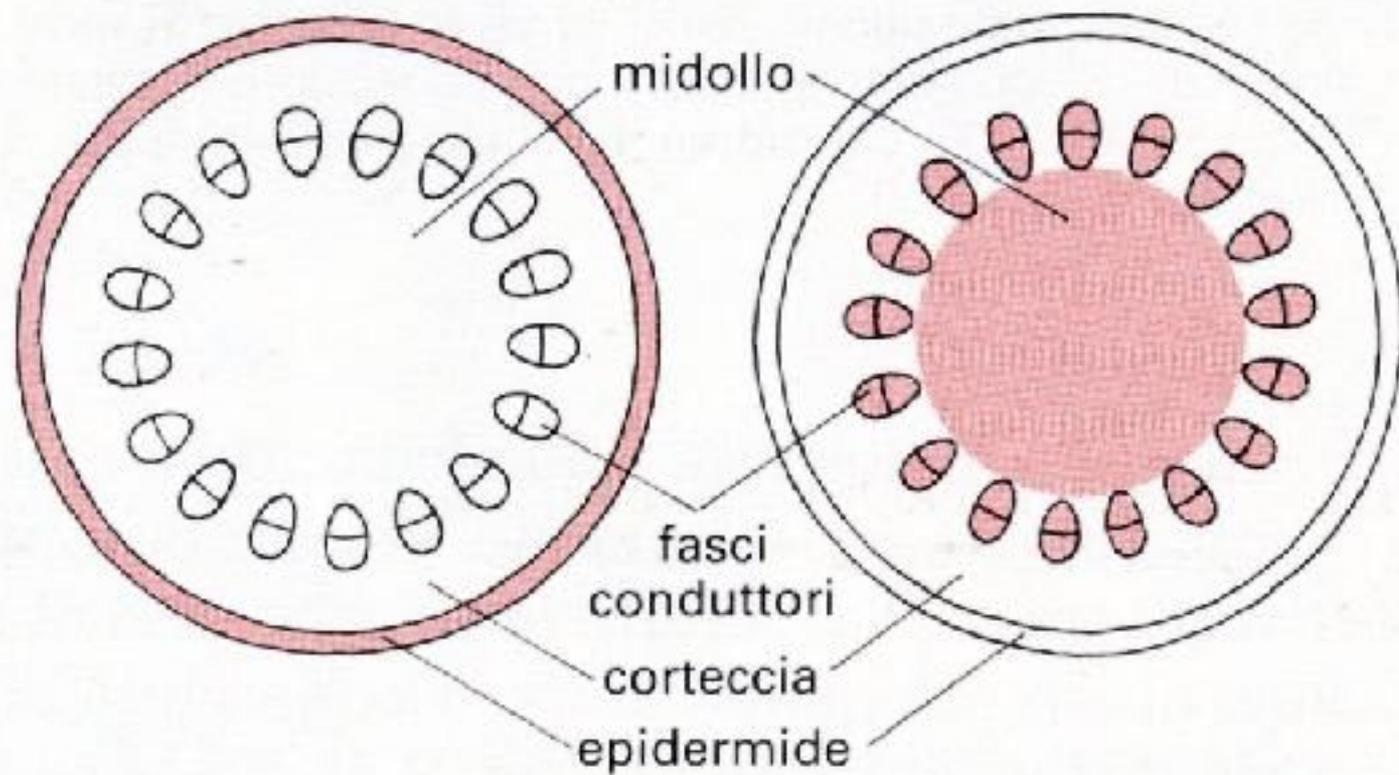
Le cellule parenchimatiche sono coinvolte nella fotosintesi, nell'accumulo di riserve e nella secrezione, attività che sono possibili solo con un **protoplasto vivente**. In base alla loro funzione, possiamo riconoscere diversi tipi di parenchimi. Essenziale è osservare la presenza di plastidi (**cloro-**, **cromo-** o **leucoplasti**, rispettivamente verdi, colorati di giallo, arancio o rosso, o biancastri), lo sviluppo del vacuolo e degli spazi intercellulari, e la loro collocazione spaziale.

- midollare
- di assimilazione (clorenchima)
- di riserva di sostanze quali proteine o amido
- di riserva d'acqua (idrenchima)
- aerifero (aerenchima)
- di trasfusione (o di trasferimento)
- conduttore (o legnoso)

PARENCHIMA MIDOLLARE

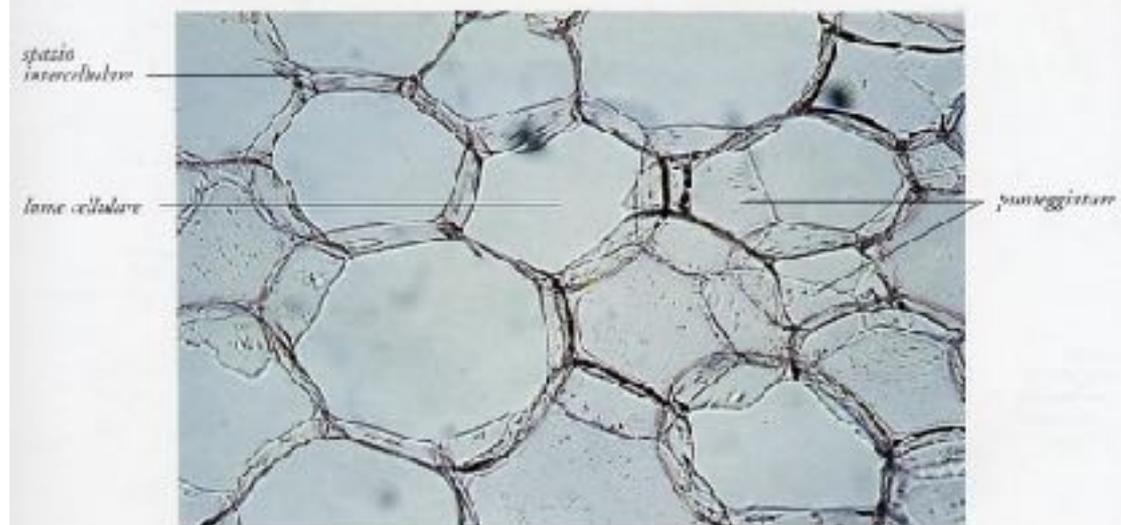


Sezione trasversale del fusto di sambuco (*Sambucus nigra*)





Sambucus nigra L.

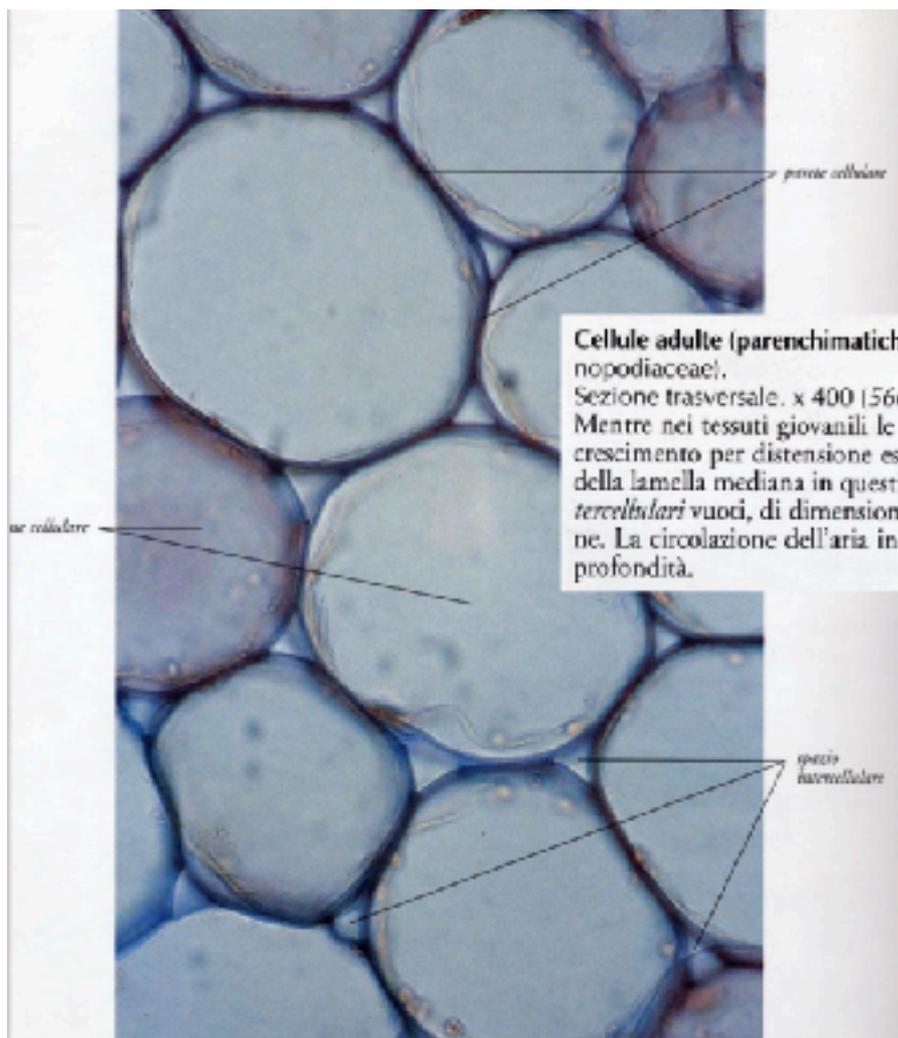


Parenchima nel midollo del fusto di sambuco (*Sambucus nigra* L., fm. Caprifoliaceae).

Sezione trasversale. x 100 (80); x 200 (160)

La parete delle cellule parenchimatice è generalmente sottile, di natura primaria; ma a volte viene costruita una parete secondaria, di spessore variabile. Nel caso rappresentato dalla figura le pareti cellulari sono sottili, di tipo secondario poiché presentano delle punteggiature.

Il lume cellulare appare vuoto trattandosi di un tessuto essiccato, quindi costituito dall'attenuazione delle sole pareti cellulari. In vivo, invece, questo tessuto parenchimatice situato nella zona più interna del fusto, si presenta generalmente ricco di sostanze di riserva.



Cellule adulte (parenchimatiche) nel midollo del fusto di romice (*Rumex crispus* L., fam. Chenopodiaceae).

Sezione trasversale. x 400 (560)

Mentre nei tessuti giovanili le cellule sono strettamente ravvicinate le une alle altre, con l'accrescimento per distensione esse tendono a separarsi negli angoli di contatto: lo scollamento della lamella mediana in questi punti di 'arrotondamento' degli spigoli delimita degli *spazi intercellulari* vuoti, di dimensioni variabili, di forma per lo più triangolare sul piano della sezione. La circolazione dell'aria in questi spazi è garanzia per la respirazione dei tessuti situati in profondità.

parete cellulare

parete cellulare

spazio intercellulare



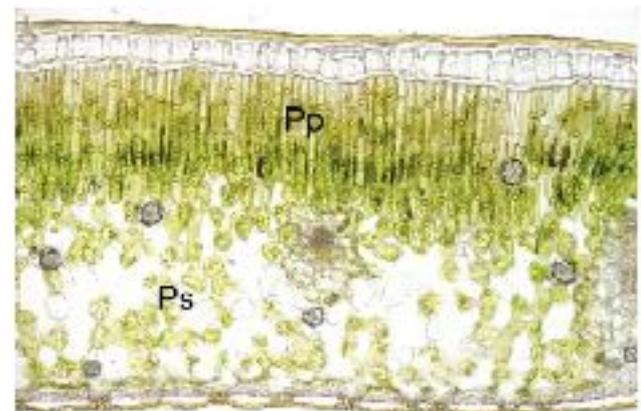
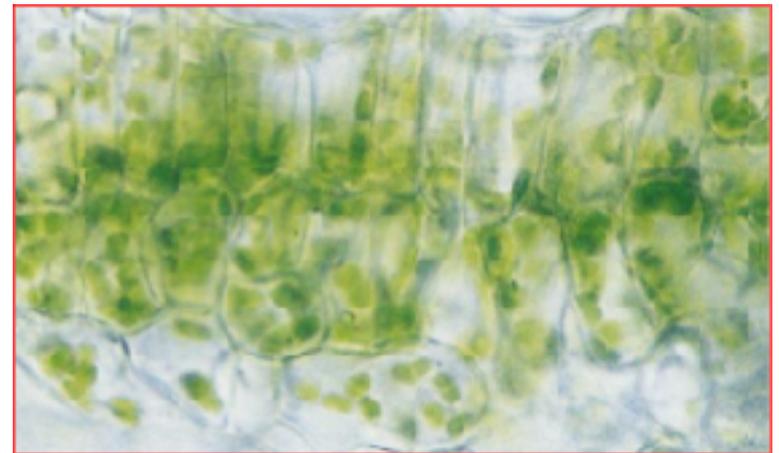
CLORENCHIMI (parenchimi di assimilazione)

Tessuto tipico della foglia, ma presente anche nella parte più periferica del caule in struttura primaria (che infatti è verde). E' specializzato nella **funzione fotosintetica** (di assimilazione). Si caratterizza per l'elevato numero di piccoli cloroplasti verde brillante, di forma moniliforme.

Nella foglia, che è l'organo a crescita definitiva deputato all'assimilazione fotosintetica, è spesso distinto in due tipi:

- a) tessuto a palizzata;
- b) tessuto lacunoso.

Forma il **MESOFILLO** fogliare, racchiuso dalle epidermidi.



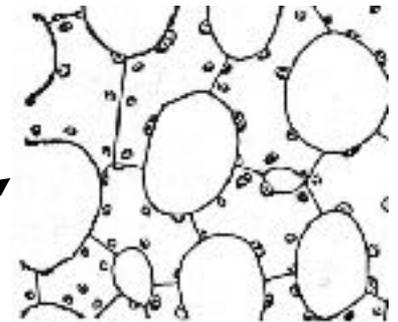
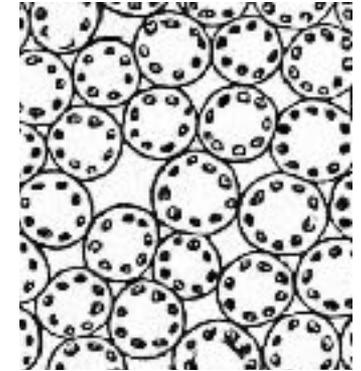
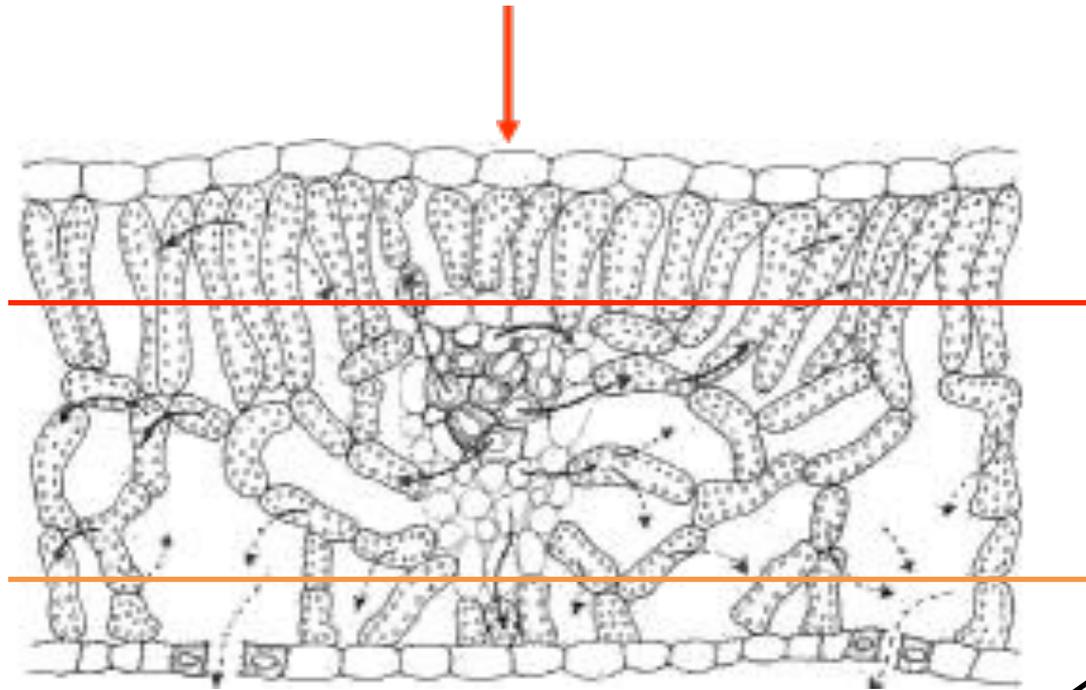


Il "tessuto a palizzata" ha cellule fortemente appressate, molto ricche in cloroplasti, di forma allungata in direzione perpendicolare alla superficie esterna della foglia.

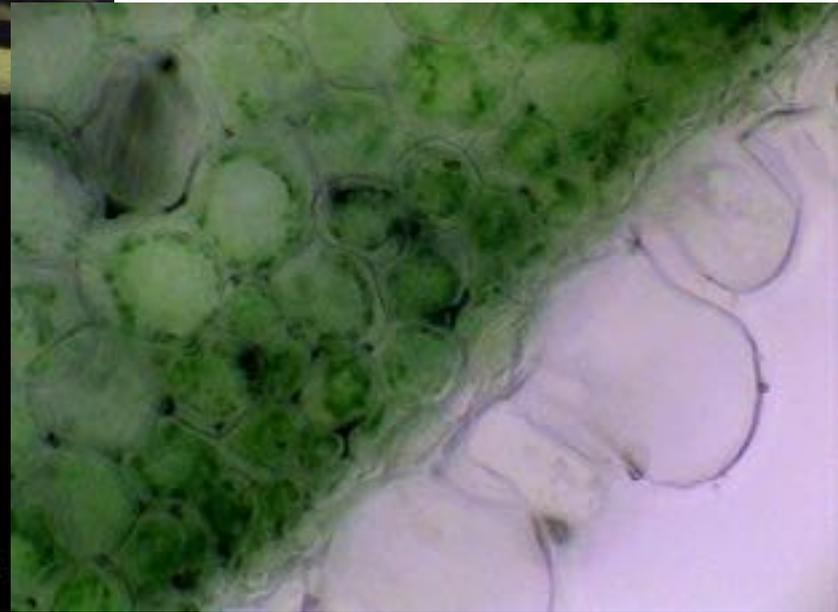
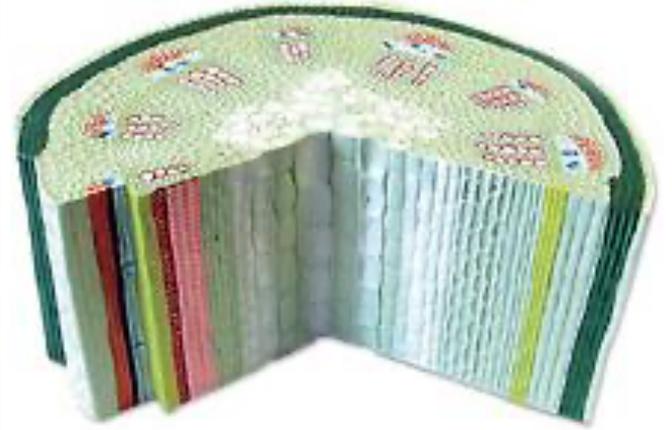
Il "tessuto lacunoso" (o "spugnoso") ha cellule molto più lasse e disposte in varie direzioni, con spazi aeriferi molto sviluppati, che sono in diretto contatto con le camere sottostomatiche.

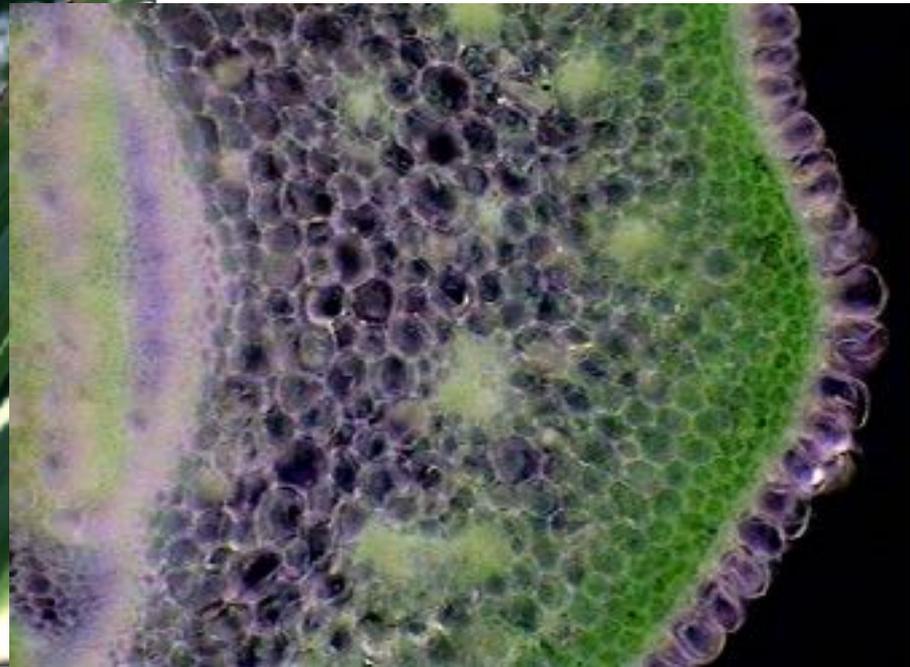


Sezione trasversale di una foglia dorsiventratale



sezioni tangenziali (parallele alla superficie esterna) attraverso il parenchima a palizzata nella parte superiore e il parenchima spongioso nella parte inferiore della foglia di *Helleborus foetidus*.



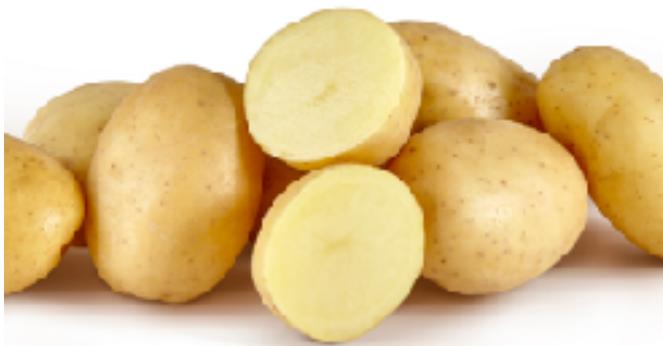




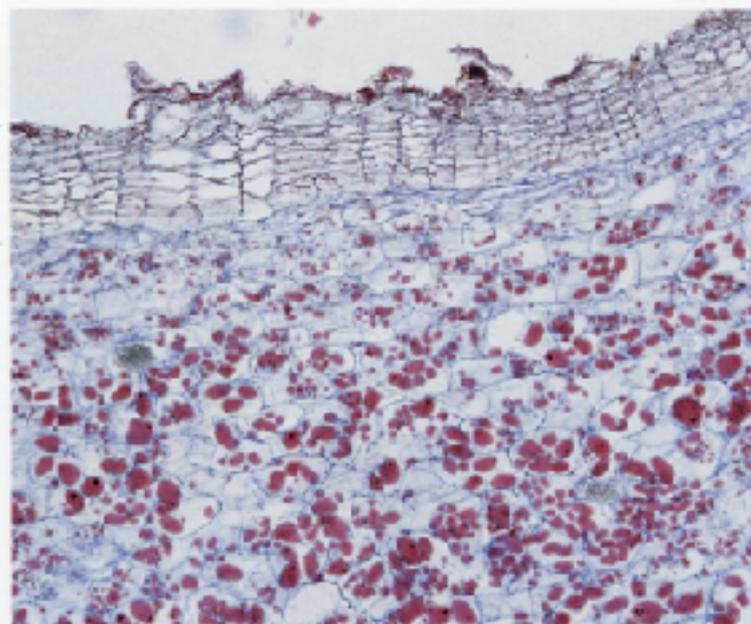
PARENCHIMA DI RISERVA

Questo tipo di parenchima è particolarmente sviluppato in organi di riserva (tuberi, bulbi, bulbotuberi, radici tuberizzate) ma anche nella parte corticale di alcuni cauli (subito sotto lo strato clorenchimatico più esterno), e soprattutto delle radici.

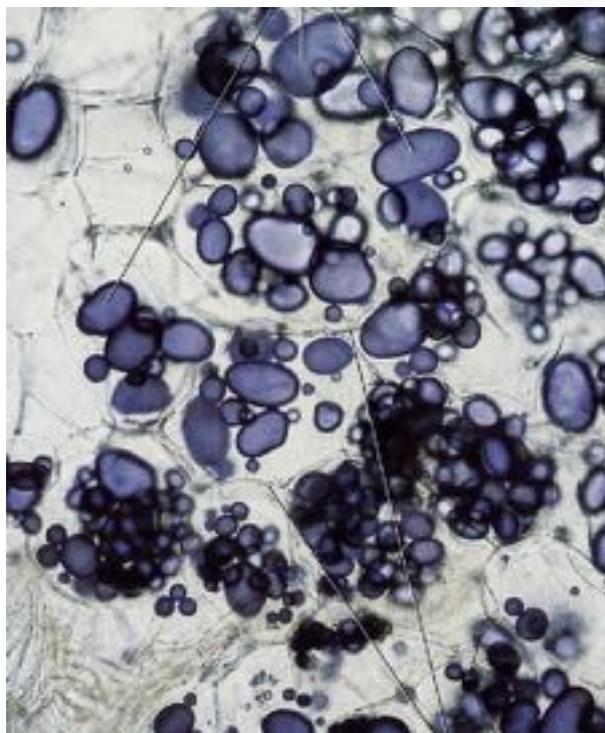
Le cellule contengono granuli di amido (negli amiloplasti), cristalli di proteine (nei proteoplasti), e olii grassi (negli oleosomi).



cuticole



parenchima
di riserva
con amido
secondario



Parenchima di riserva amilifero nel tubero di patata (*Solanum tuberosum* L., fam. Solanaceae).
Sezione trasversale, x 100 (100)
Il caso più comune è quello del parenchima cosiddetto amilifero, in cui la sostanza immagazzinata è amido (secondario), contenuto nei leucoplasti.

IDRENCHIMI

Presenti nei tessuti succulenti, sono caratterizzati da un grande sviluppo del volume cellulare, grazie all'ingrandimento del vacuolo (es. fusto delle piante grasse, polpa dell'anguria).





In *Sempervivum* e in molte Crassulaceae non c'è una netta distinzione tra il parenchima di assimilazione e quello di riserva d'acqua: le cellule più interne della foglia hanno però dimensioni veramente cospicue.



Foglie di *Aloe vera*.

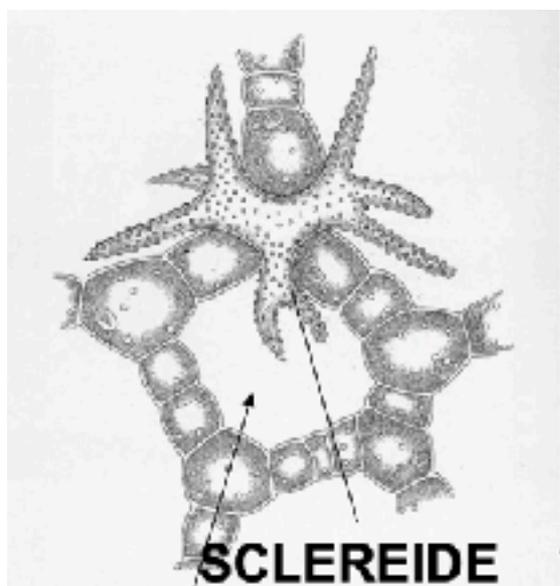
Nelle cellule del parenchima acquifero l'acqua è contenuta nel grande vacuolo, che occupa quasi tutto il volume cellulare, e che contiene sostanze mucillaginose con funzione di trattenere l'acqua.

AERENCHIMI (tessuti aeriferi)

Si caratterizzano per spazi intercellulari preponderanti; sono particolarmente frequenti nei piccioli e nei culmi di piante acquatiche, per permettere il passaggio dell'aria (e quindi soprattutto dell'O₂) dalle foglie galleggianti all'apparato radicale sommerso, che vive in genere in un ambiente asfittico (es. ninfea).

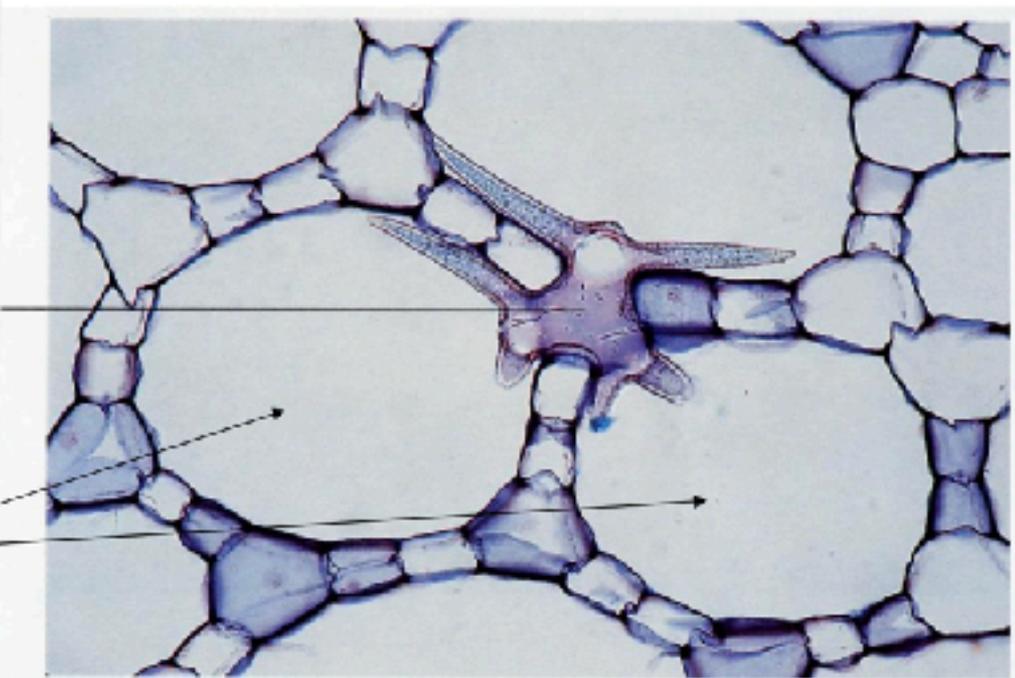


AERENCHIMI



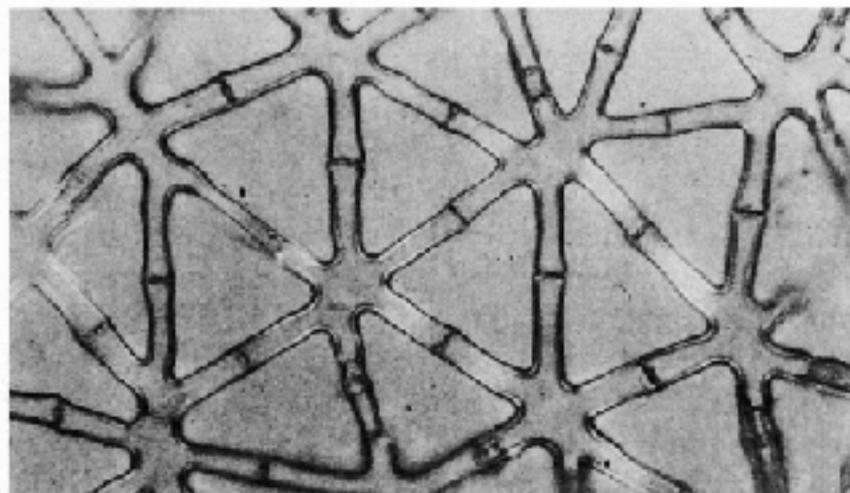
SCLEREIDE

SPAZI BEANTI



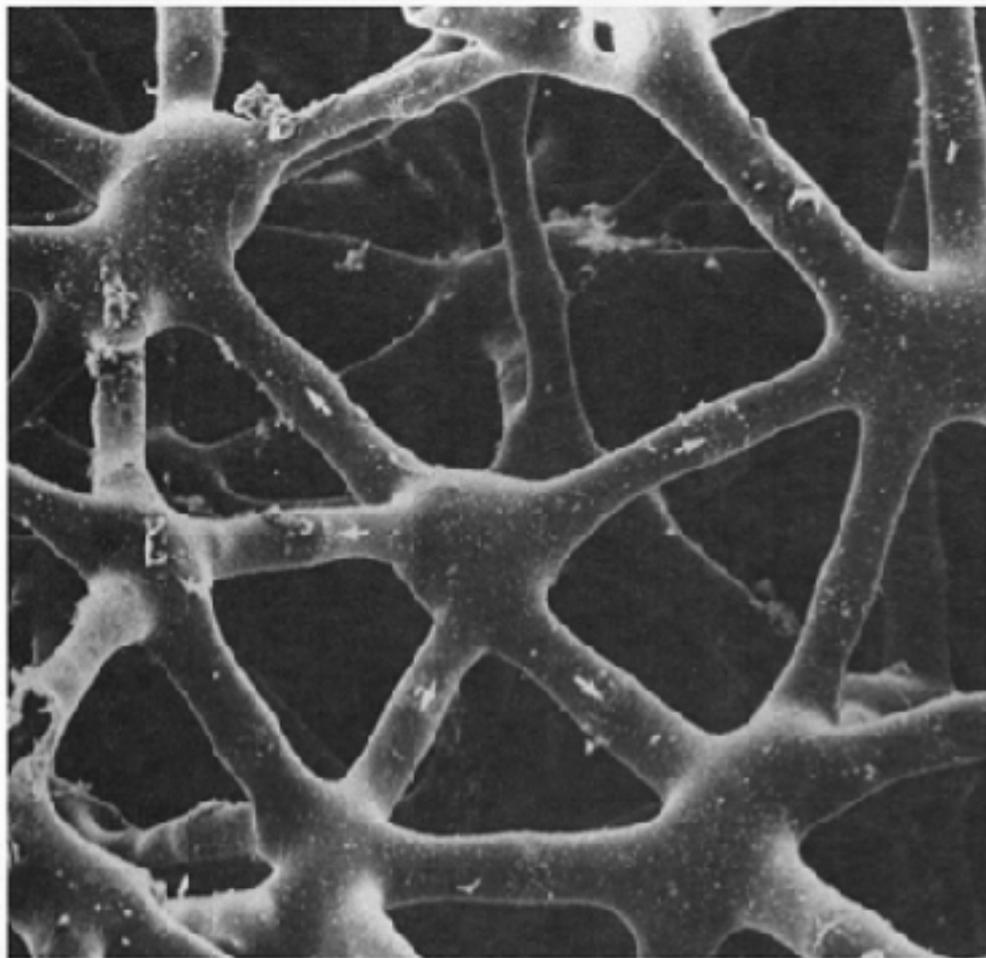
Parenchima aerifero nel picciolo di ninfea (*Nymphaea* L., fam. Nymphaeaceae).
Sezione trasversale. x 100 (80); x 200 (160)

Nel lembo fogliare o nel picciolo, come rappresentato nella figura, i grandi spazi intercellulari pieni d'aria servono anche per il galleggiamento.



parenchima «stellato» nel parenchima midollare bianco del giunco *Juncus*, gli spazi intercellulari sorpassano come volume le cellule vere e proprie (200: 1; originale).

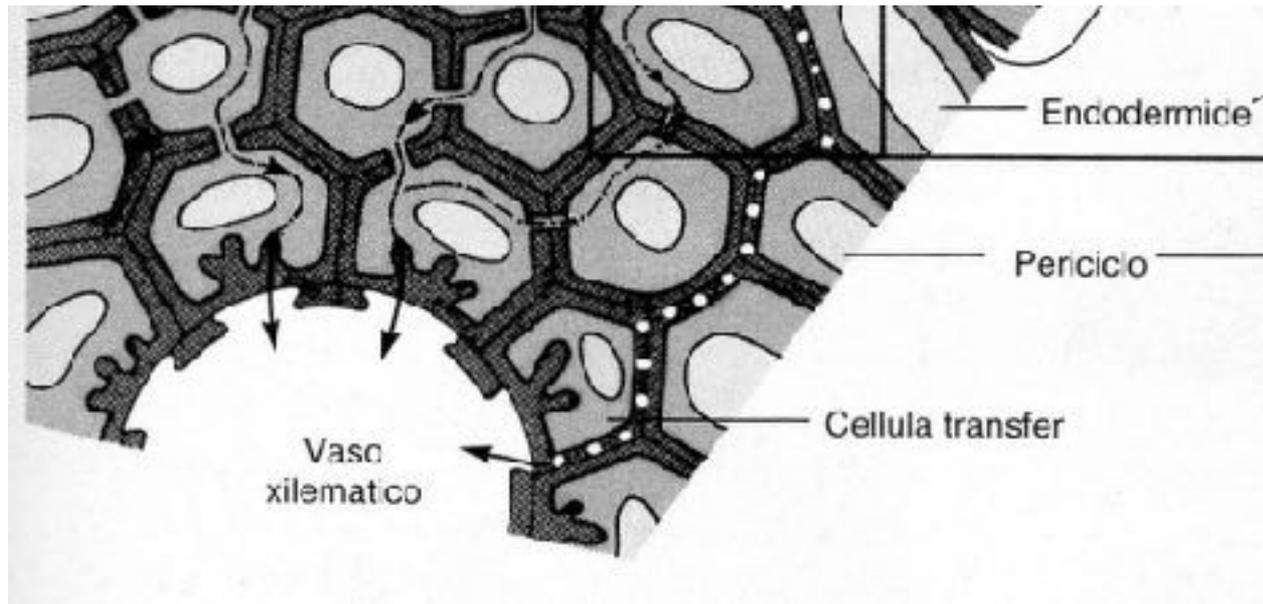




Parenchima aerifero del midollo di giunco visto al microscopio a scansione. Le cellule hanno la forma di stelle unite fra loro attraverso le braccia (le frecce indicano la zona di congiunzione). Ne risulta un tessuto spugnoso con larghissimi spazi pieni d'aria fra una cellula e l'altra.

PARENCHIMA DI TRASFUSIONE

Specializzato per trasferimento di soluti a breve distanza. Esistono delle cellule parenchimatiche molto particolari, caratterizzate da una parete fortemente invaginata. Sono le cosiddette “**CELLULE di TRASFERIMENTO**”, o “**transfer cells**”, che presentano (a causa di queste introflessioni) una notevole superficie della membrana cellulare. La loro presenza è generalmente correlata all’esistenza di un intenso flusso di soluti (in entrata e in uscita) con le cellule vicine.





Le “**transfer cells**” si trovano associate con particolare frequenza:

- ai due tessuti di trasporto (**xilema** e **floema**) nelle foglie di molte eucotiledoni, che contribuiscono a “caricare” e “scaricare”;
- alle strutture riproduttive (es. **sacco embrionale**, **endosperma**) e ghiandolari, dove è più intenso il trasferimento di molecole a breve distanza.



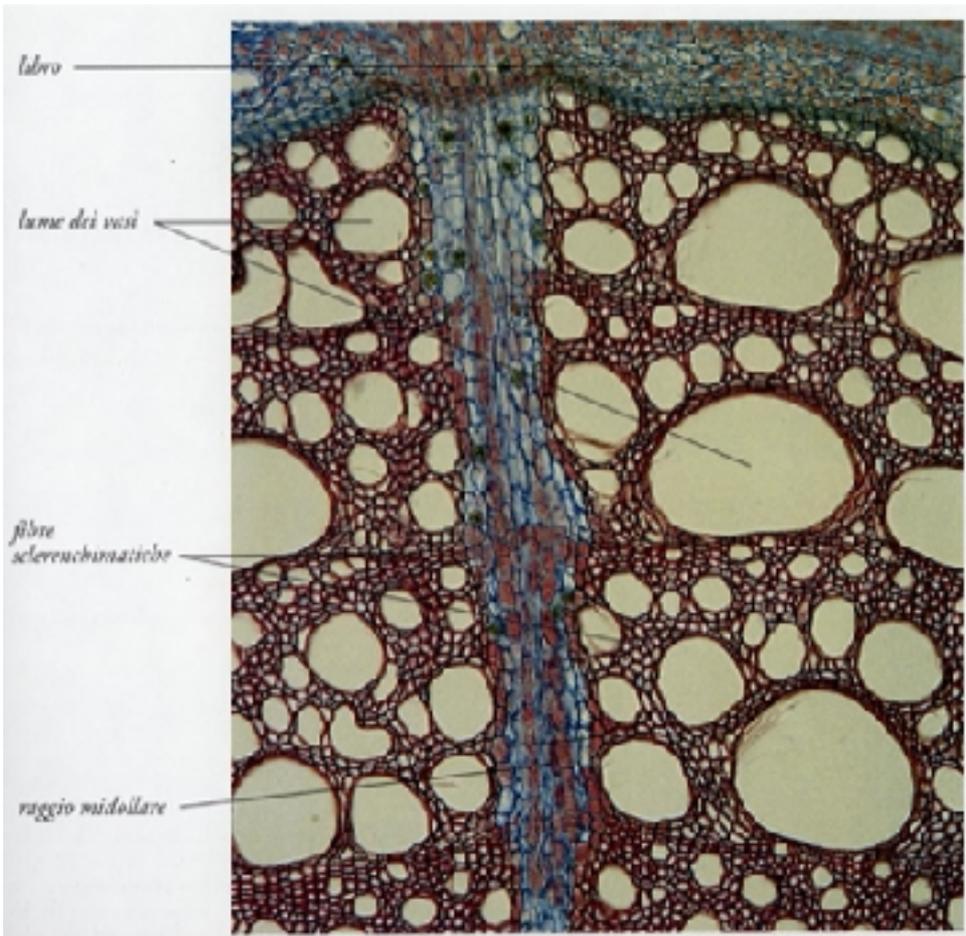
PARENCHIMA CONDUTTORE (o LEGNOSO)

Presente nello **xilema**, ha funzione di accumulo di acqua e/o sostanze di riserva, e di trasporto a media distanza.

E' l'unico parenchima di origine secondaria, perché viene prodotto dal cambio cribro-vascolare, che produce appunto lo xilema.

Nello xilema queste cellule parenchimatiche sono organizzate in file longitudinali e orizzontali (raggi parenchimatici), a costituire una maglia tridimensionale per il deposito di sostanze di riserva e di acqua.

Negli alberi questi depositi sono molto importanti soprattutto per permettere la rapida ripresa della crescita nel periodo primaverile.



labro

lume dei vasi

fibre sclerenchimatose

raggio midollare

cambio cribro-legnoso

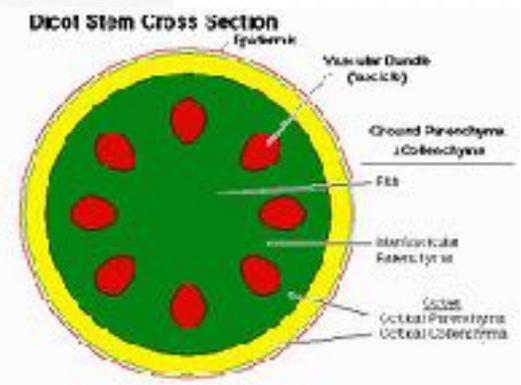


legno secondario

Fusto di aristolochia (Aristolochia L., fam. Aristolochiaceae)

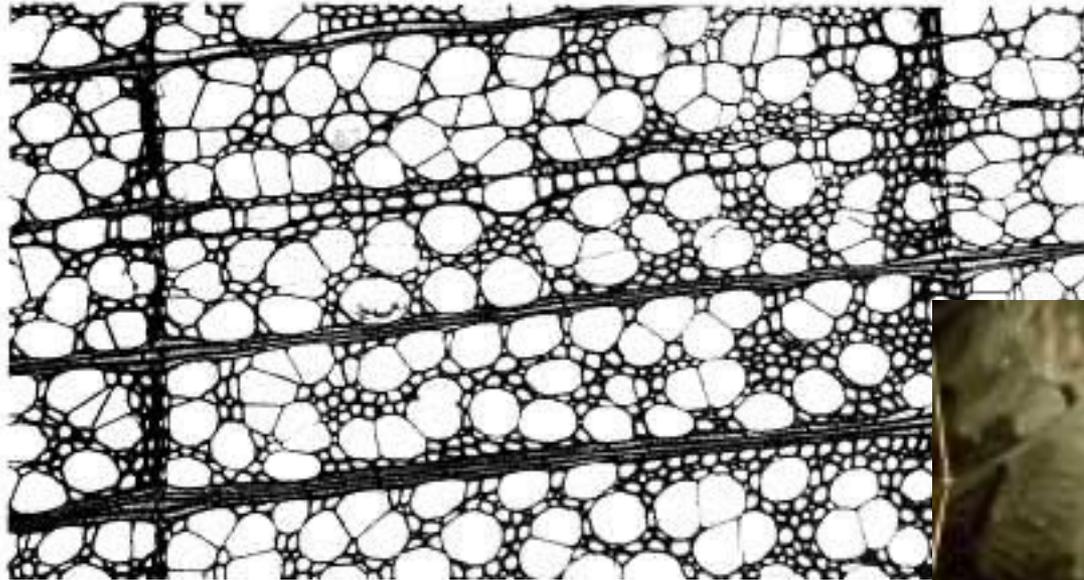
Sezione trasversale, x 100 (30)

Il dettaglio mette in evidenza sia la larghezza delle regioni parenchimariche che separano i settori di legno, sia un'altra peculiarità dei fusti lianosi: la presenza di trachee con lume notevolmente ampio che assicura un'elevata velocità di flusso del succo xilematico.



Diffuse-porous hardwood

Transverse view of yellow poplar (*Liriodendron tulipifera*). x80

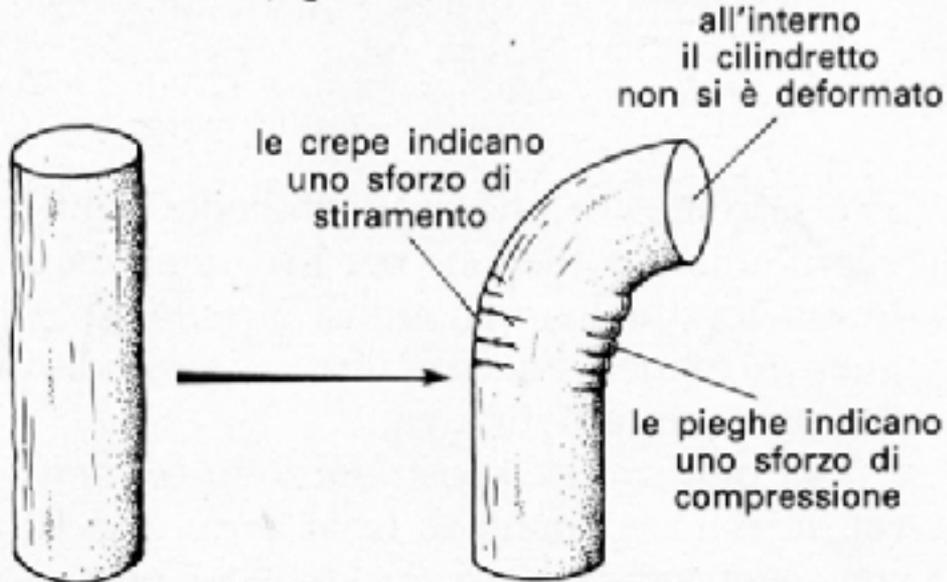


Tessuti MECCANICI o DI SOSTEGNO

Il loro compito è di fronteggiare i vari tipi di forze cui un organo o l'intera pianta vengono sottoposti.

Sono in genere più abbondanti nel fusto (dove sono tipicamente localizzati nelle parti più periferiche) rispetto alla radice (dove invece sono concentrati nella zona centrale).

Se un oggetto viene sottoposto a una flessione gli sforzi si manifestano in periferia, non al centro. Questo principio può essere facilmente verificato piegando un cilindretto di materiale modellabile (argilla, creta, ecc.).



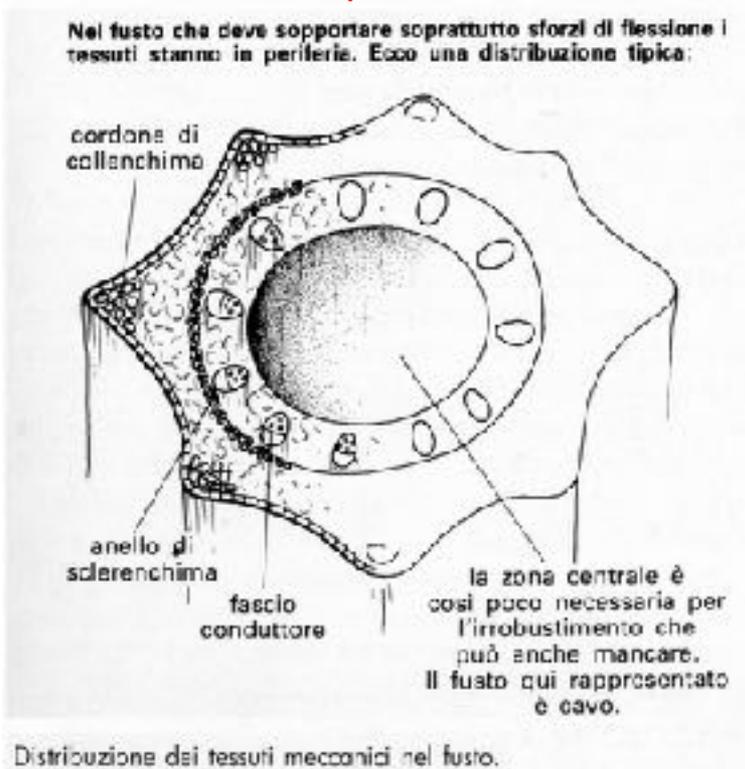


I tessuti meccanici o di sostegno sono due:

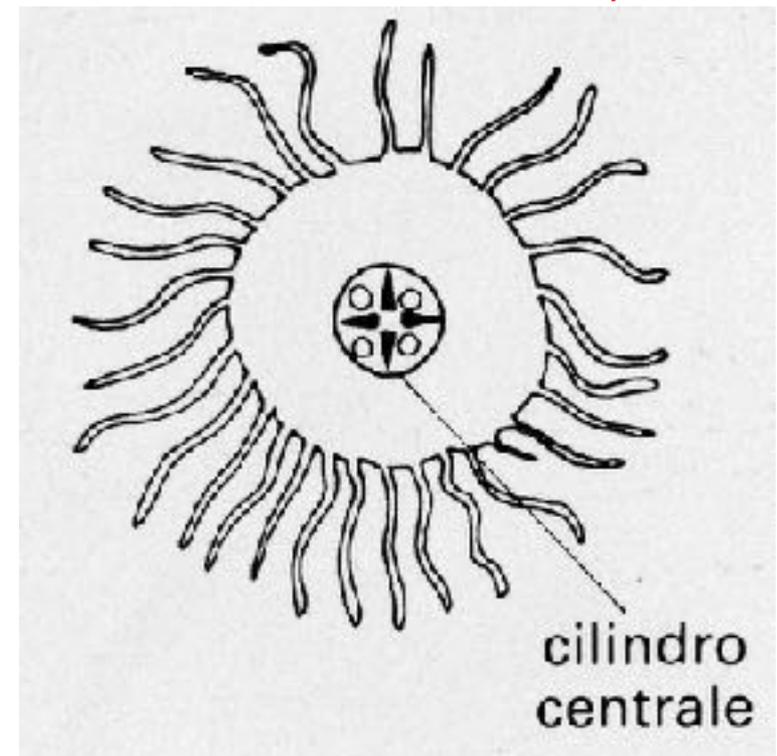
- **COLLENCHIMA**
- **SCLERENCHIMA**

Le loro cellule sono caratterizzate da **pareti spesse e robuste**; mancano o sono molto rari gli spazi intercellulari.

Fusto in struttura primaria



Radice in struttura primaria





COLLENCHIMA (dal gr. "**kolla**", colla)

è un tessuto meccanico caratteristico delle strutture primarie (presente, ad es., in piante erbacee dicotiledoni, soprattutto nelle parti della pianta in attiva crescita).

Le cellule sono fortemente allungate ("**prosenchimatiche**"), e rimangono vive.

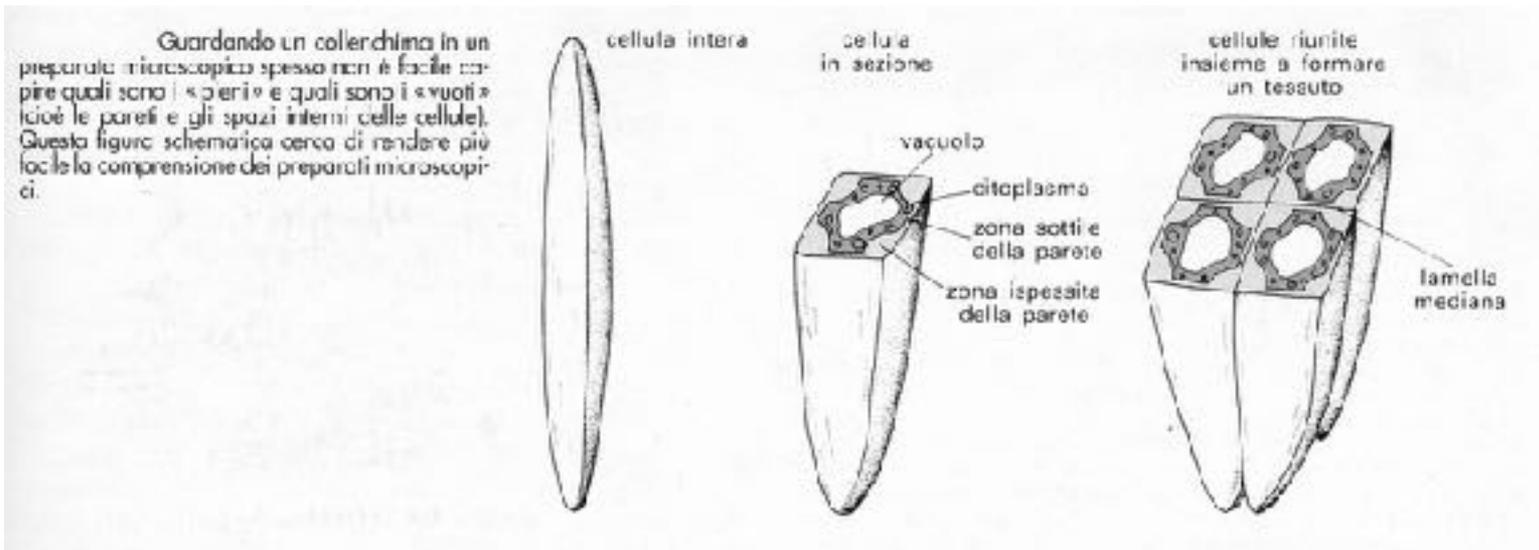
Presentano una **parete ispessita**, in genere in maniera irregolare formata da **lamelle di cellulosa** alternate a **lamelle di sostanze pectiche, non lignificata**, estensibile.

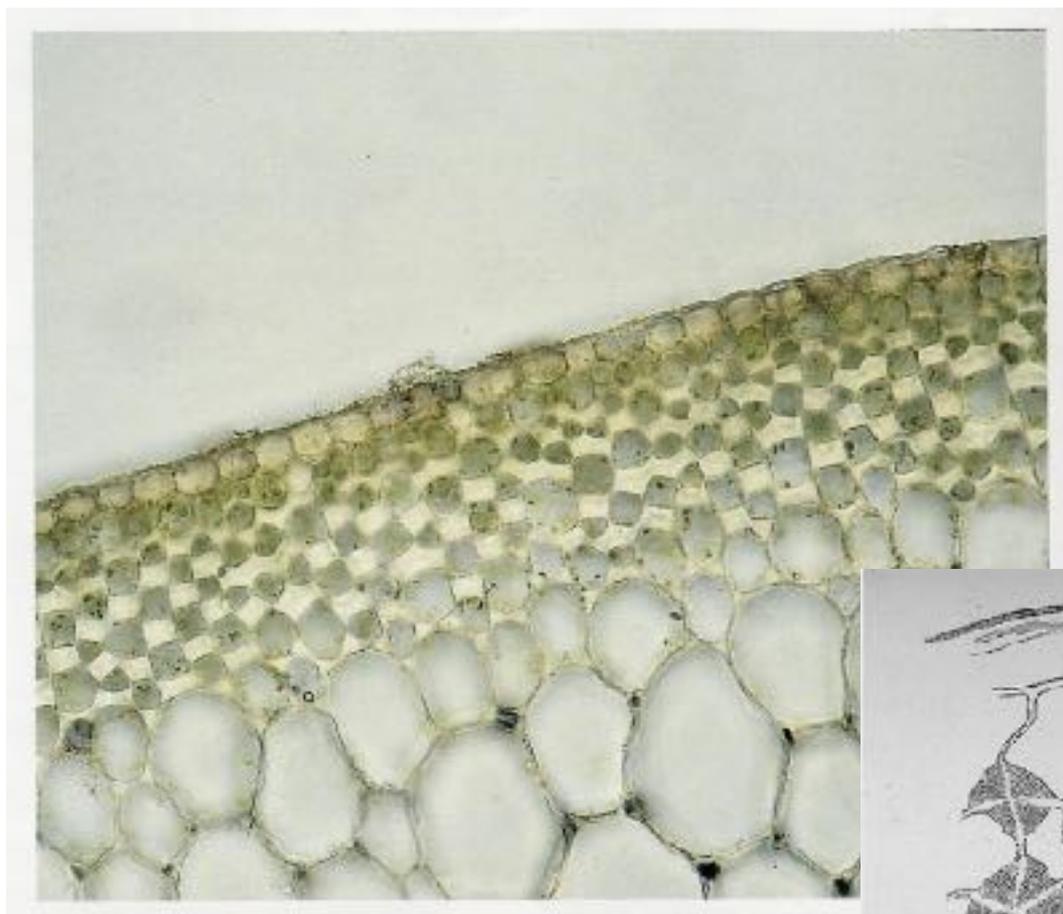
In base alla forma degli ispessimenti, è possibile riconoscere tre tipi fondamentali di collenchima:

- **Angolare**
- **Lamellare**
- **Circolare**

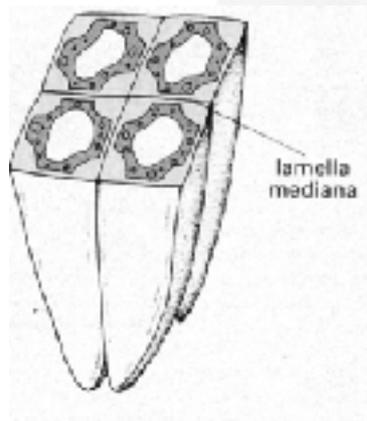
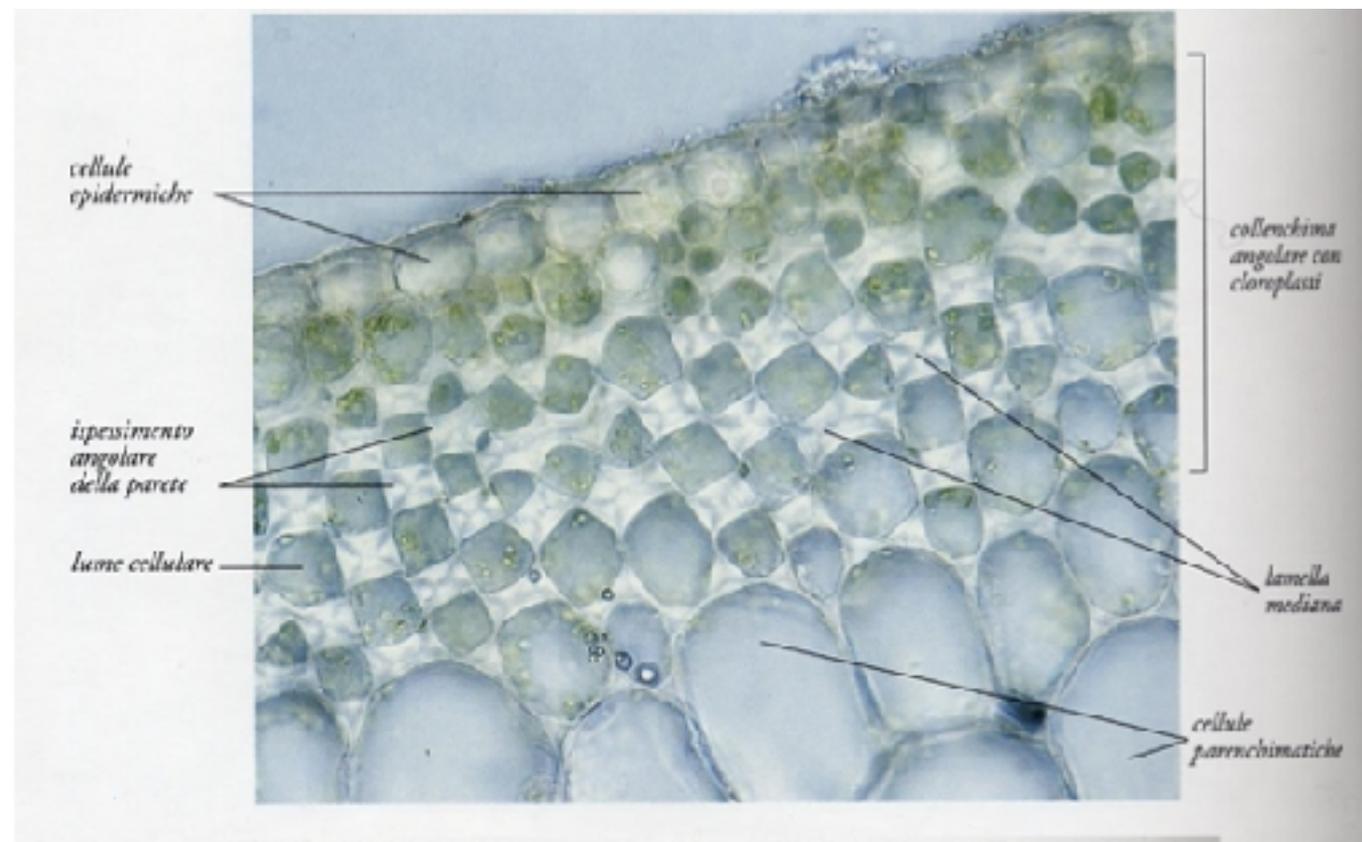
COLLENCHIMA ANGOLARE.

Gli ispessimenti sono presenti solo agli angoli di una cellula a sezione trasversale più o meno quadrangolare





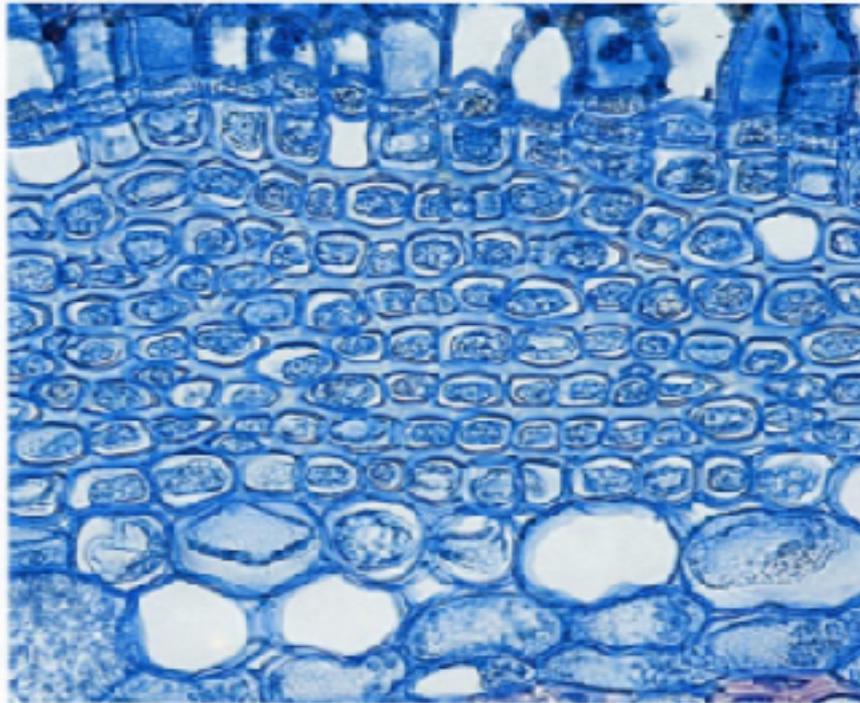
Collenchima nel picciolo di ruellia (*Ruellia picta* Lodd.).



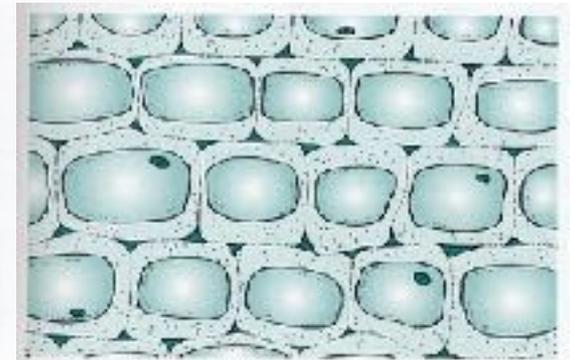
Collenchima angolare nel picciolo di ninfea (*Nymphaea alba* L., fam. Nymphaeaceae).
Sezione trasversale. x 200 (210); x 400 (420)
A livello degli angoli, dove è localizzato l'ispessimento cellulosico, le lamelle mediane delle cellule contigue sembrano incrociarsi. La presenza di cloroplasti indica chiaramente che il collenchima ha cellule vive.

COLLENCHIMA LAMELLARE.

Gli ispessimenti interessano singole pareti, in genere quelle tangenziali alla superficie esterna dell'organo in cui il tessuto si differenzia.



anati di
collenchima
lamellare



collenchima lamellare

Collenchima lamellare nel fusto di sambuco (*Sambucus nigra* L., fam. Caprifoliaceae).
Sezione trasversale. x 400 (450)

In questo tipo di collenchima le pareti cellulari iniziano ad ispessirsi in corrispondenza degli angoli delle cellule: l'ispessimento poi si completa fino ad interessare le pareti tangenziali (quelle parallele alla superficie dell'organo in cui il tessuto è contenuto). Le pareti radiali restano invece sottili.



COLLENCHIMA CIRCOLARE.

E' il tipo di collenchima più raro; gli ispessimenti interessano tutte le pareti; spesso con la maturità dell'organo le cellule moriranno, dopo aver lignificato la propria parete, diventando di fatto uno **sclerenchima**.



SCLERENCHIMA (dal gr. "skleros": duro, ruvido)

è un tessuto meccanico caratteristico delle strutture secondarie, ma presente anche in quelle primarie, soprattutto nelle monocotiledoni, dove è il tessuto meccanico prevalente. Tipico delle parti della pianta che hanno completato la crescita per distensione.

Le **cellule** sono fortemente allungate ("**prosenchimatiche**"), presentano una parete fortemente ispessita e rigida (formata da cellulosa spesso incrostata da **lignina** e attraversata da punteggiature ramificate), e **alla maturazione del tessuto muoiono**, seguendo un preciso schema di morte cellulare programmata ("Programmed Cell Death", **PCD**).

Contenendo **lignina**, le cellule sclerenchimatiche possono essere differenziate mediante colorazione (es. **Verde iodio**).

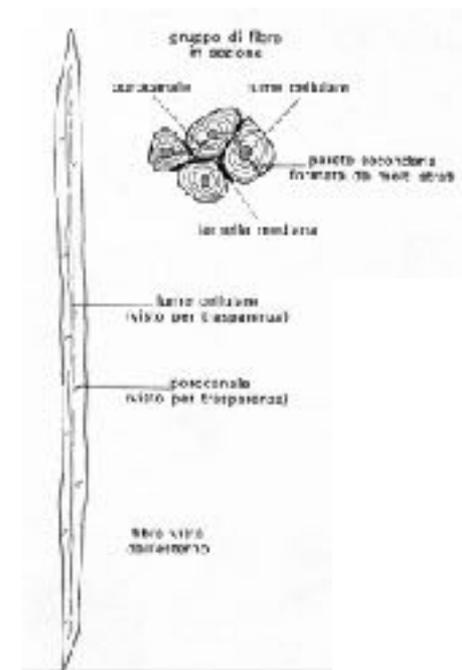
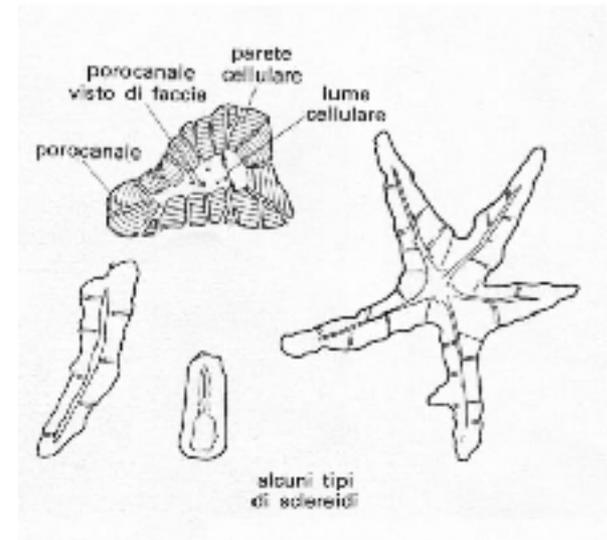


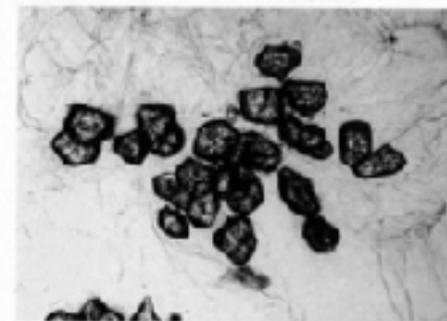
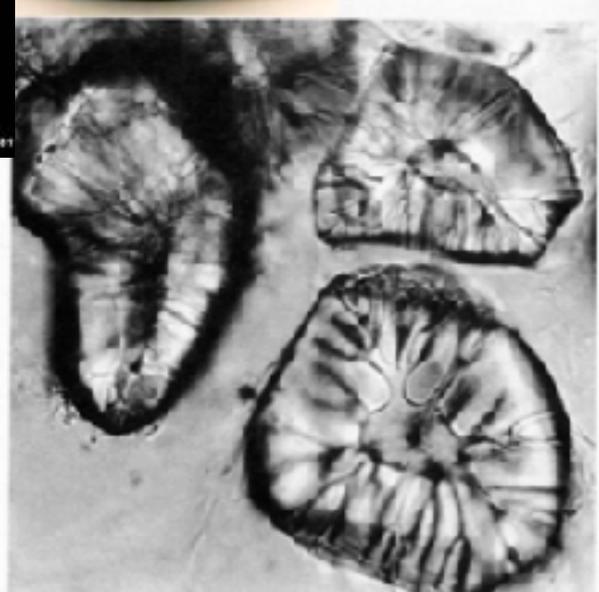
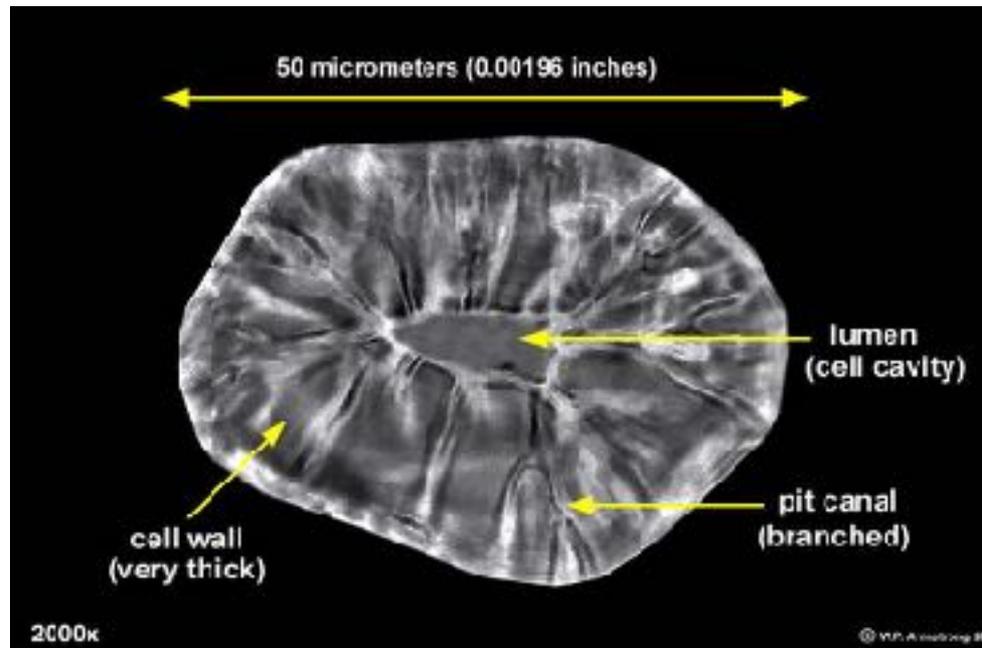
E' possibile riconoscere due tipi fondamentali di cellule sclerenchimatiche:

SCLEREIDI: corte, spesso ramificate, con funzione di protezione (es. guscio dei semi) e di sostegno (es. all'interno della lamina fogliare).

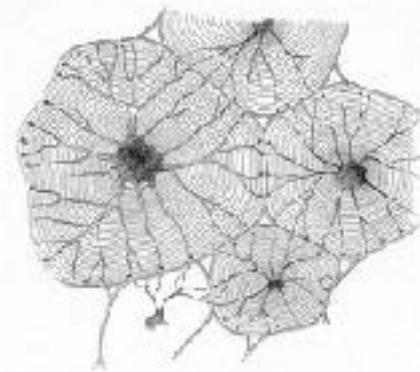
FIBRE: lunghe anche alcuni mm, eccezionalmente 10 cm (es. nel fusto del lino, *Linum lusitaticum* L., 1753), presenti soprattutto nei fusti, nei piccioli delle foglie e lungo i fasci cribro-vascolari, con funzione di irrobustimento.

A seconda della posizione si distinguono le fibre *xilari* ed *extra-xilari*.





Sopra: un gruppetto di sclereidi nella polpa di una pera (micr. ottico). Questi gruppetti danno alla polpa della pera la caratteristica consistenza granulosa. A destra: sclereidi di pera a maggiore ingrandimento. Sono evidenti i numerosi porocanali ramificati nelle pareti.



Scleridi nel frutto della palma da cocco (*Cocos nucifera* L.)

Sclereidi nel frutto della palma da cocco (*Cocos nucifera* L., fam. Palmae).

Sezione trasversale, x 200 (210); x 400 (420)

Riunite in spessi strati, le sclereidi sono presenti nei tegumenti di molti semi, o costituiscono l'endocarpo di frutti come noci, albicocche, pesche, ciliege. L'immagine mostra le sclereidi dell'endocarpo della noce di cocco.

Spesso le punteggiature di una cellula confluiscono direttamente in quelle della cellula contigua; in questo caso le punteggiature sono dette *appaiate*.



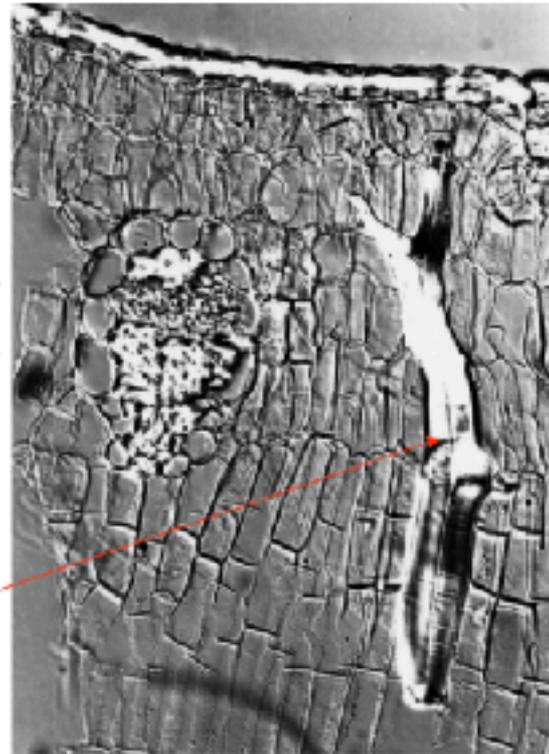
SCLEREIDI



Fascio di trasporto



sclereide

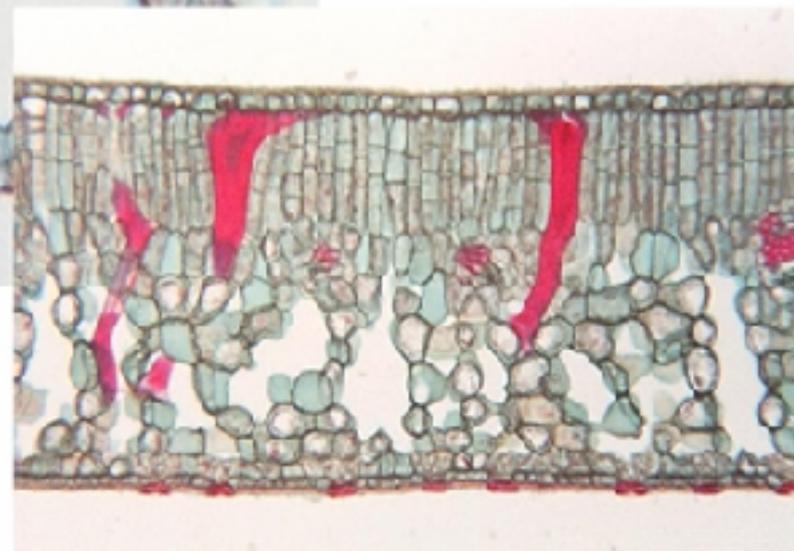
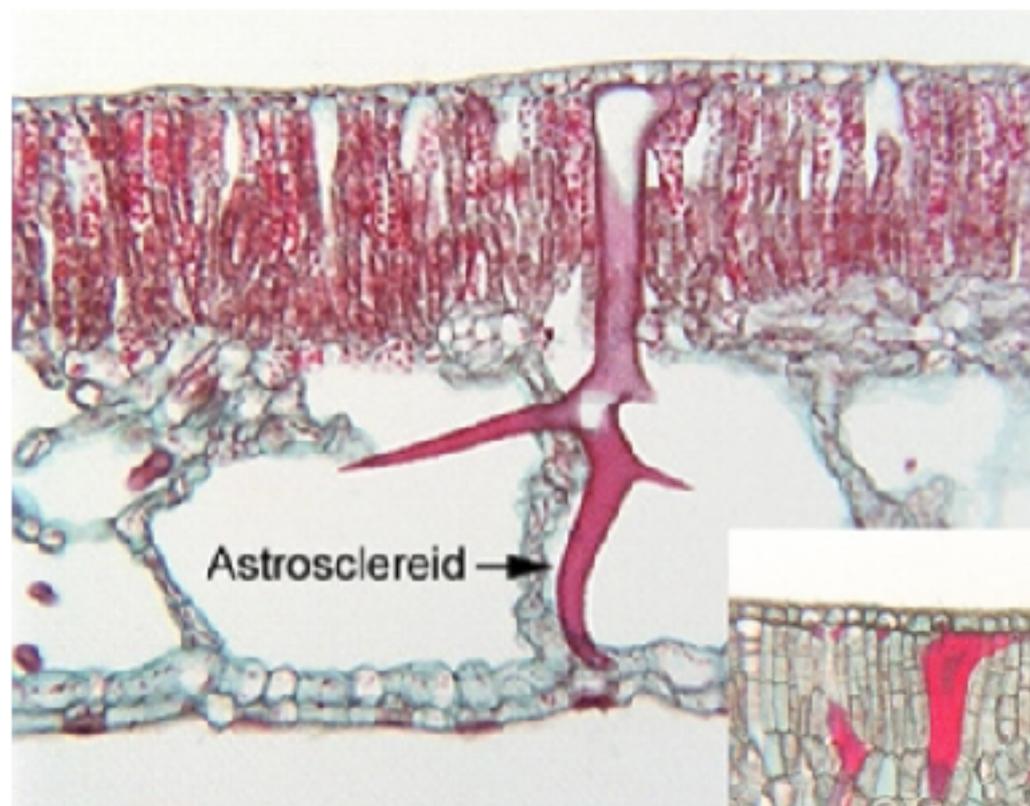


mesofillo

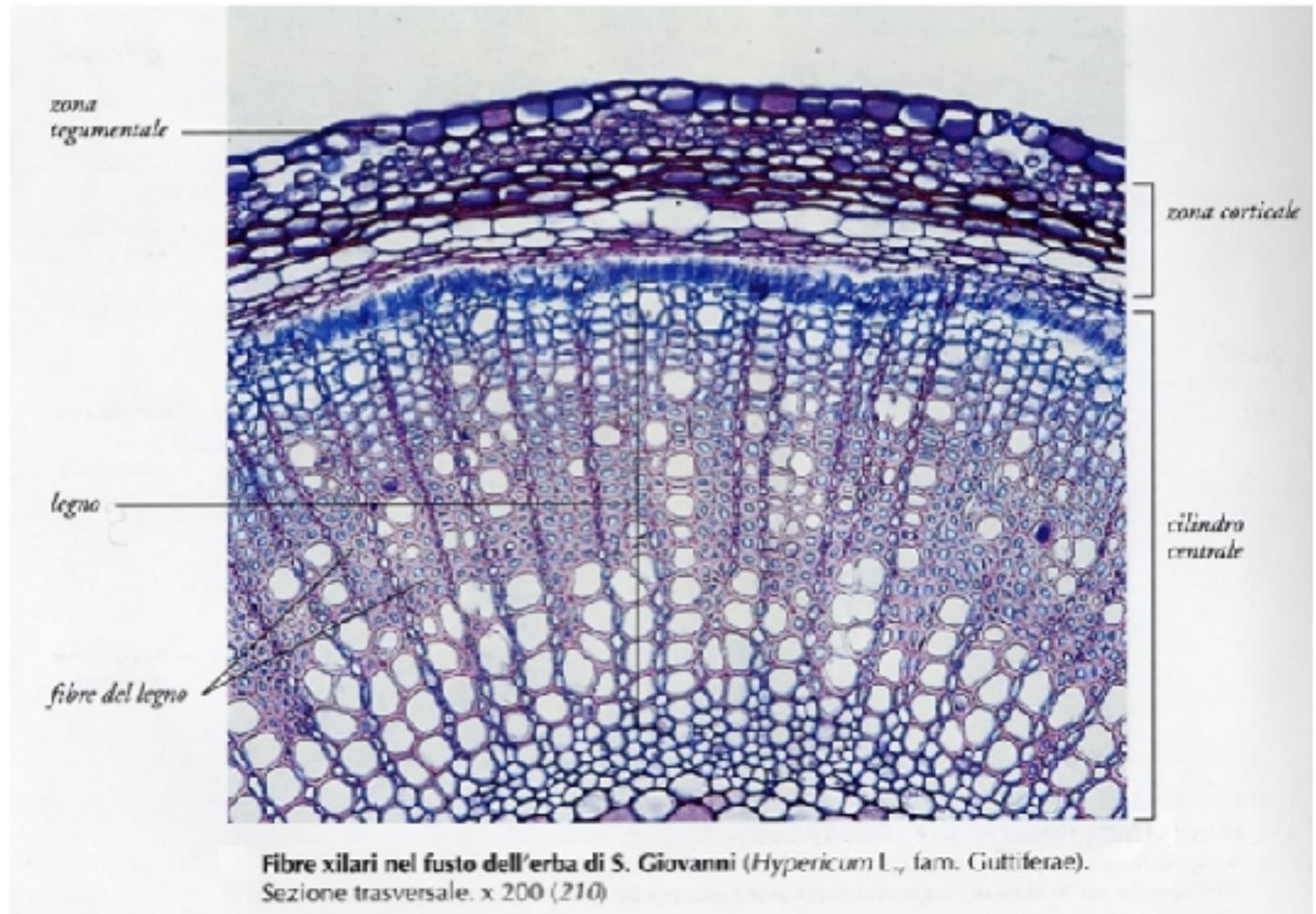


Foglia sclerofilla di *Phillyrea latifolia*, un albero a distribuzione circum-Mediterranea

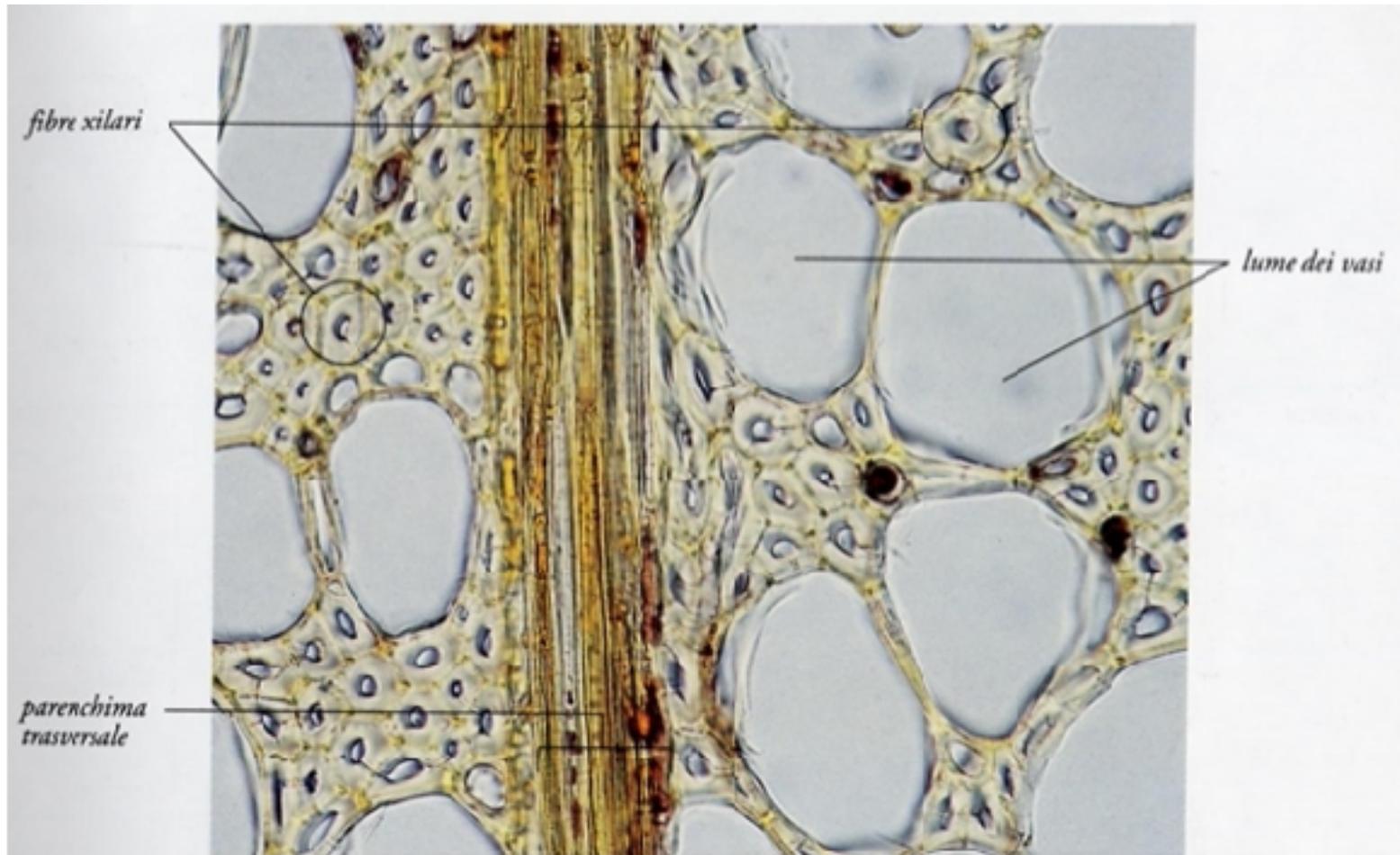




Fibre xilari



Fibre xilari

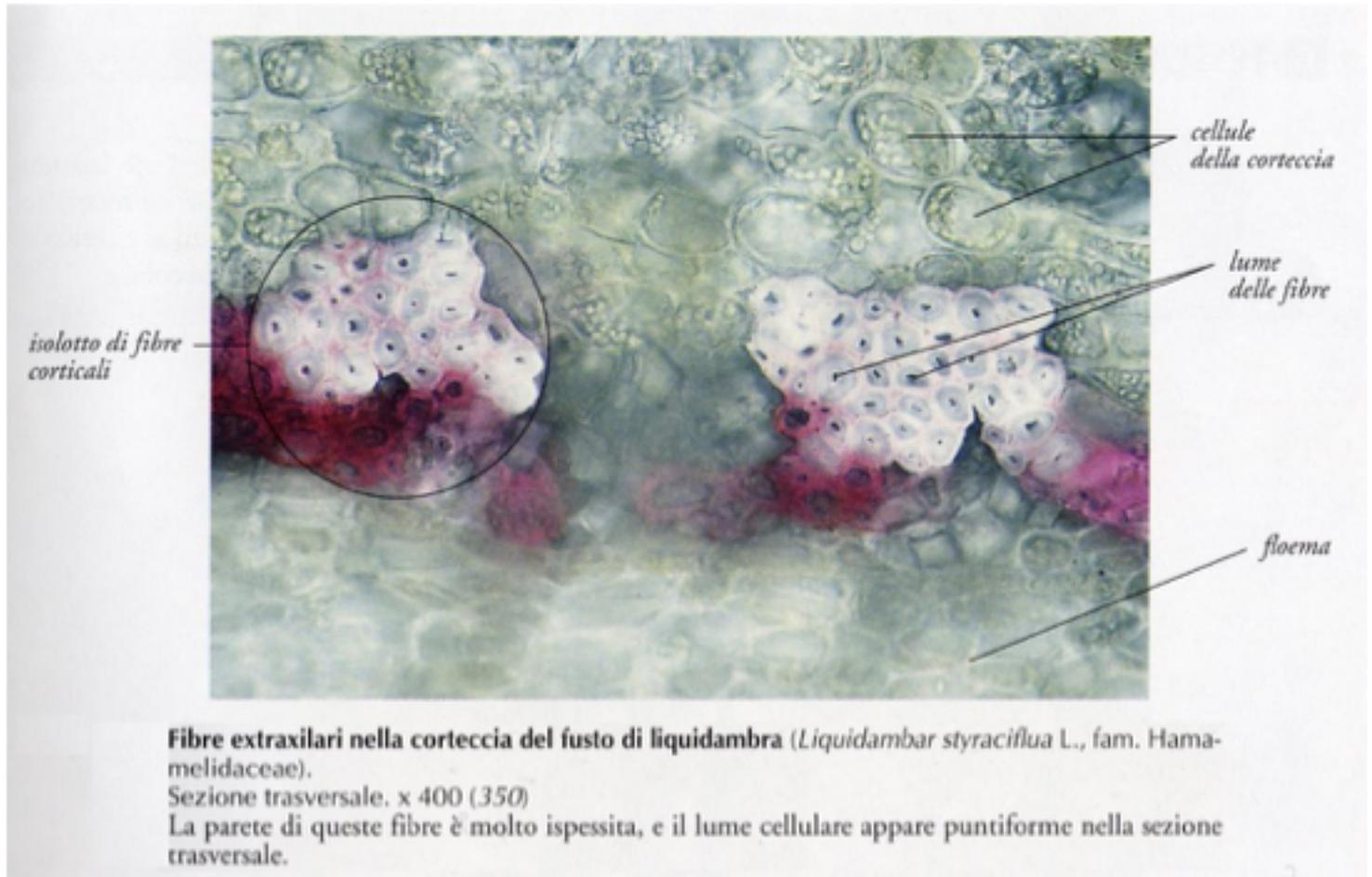


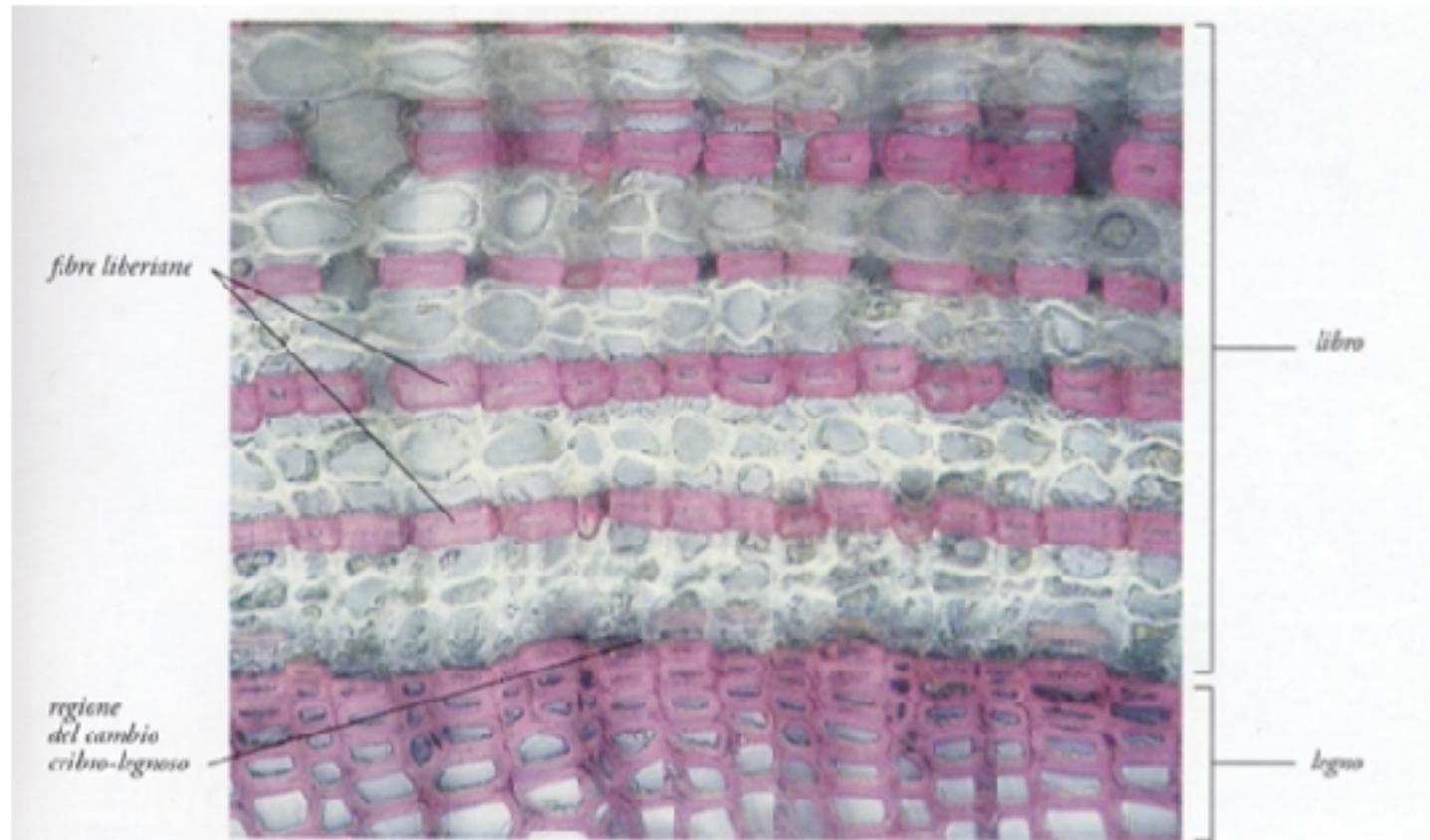
Fibre de **Fibre del legno di faggio** (*Fagus sylvatica* L., fam. Fagaceae).

Sezione Sezione trasversale. x 400 (420)

Le fibre Le fibre xilari possono avere, come nel caso rappresentato, una parete notevolmente ispessita.

Fibre extra-xilari





Fibre extraxilari nel libro del fusto di tuia (*Thuja plicata* D. Don., fam. Cupressaceae).

Sezione trasversale. x 400 (430)

Le fibre del libro si presentano qui in sottili bande regolarmente alternate agli altri elementi floematici: nella sezione appaiono di forma rettangolare, con lume cellulare molto ridotto. In questo tipo di piante il legno è privo di elementi ad esclusiva funzione meccanica.

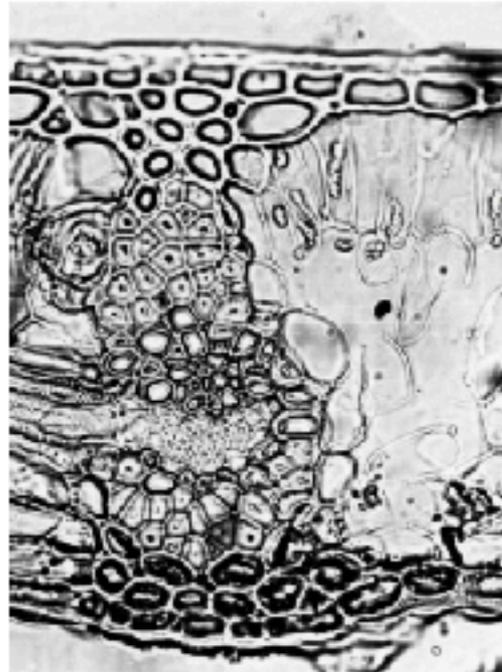


Fibre extra-xilari

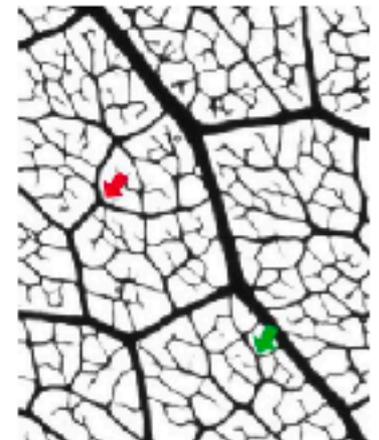
Fascio di fibre



Fascio di trasporto



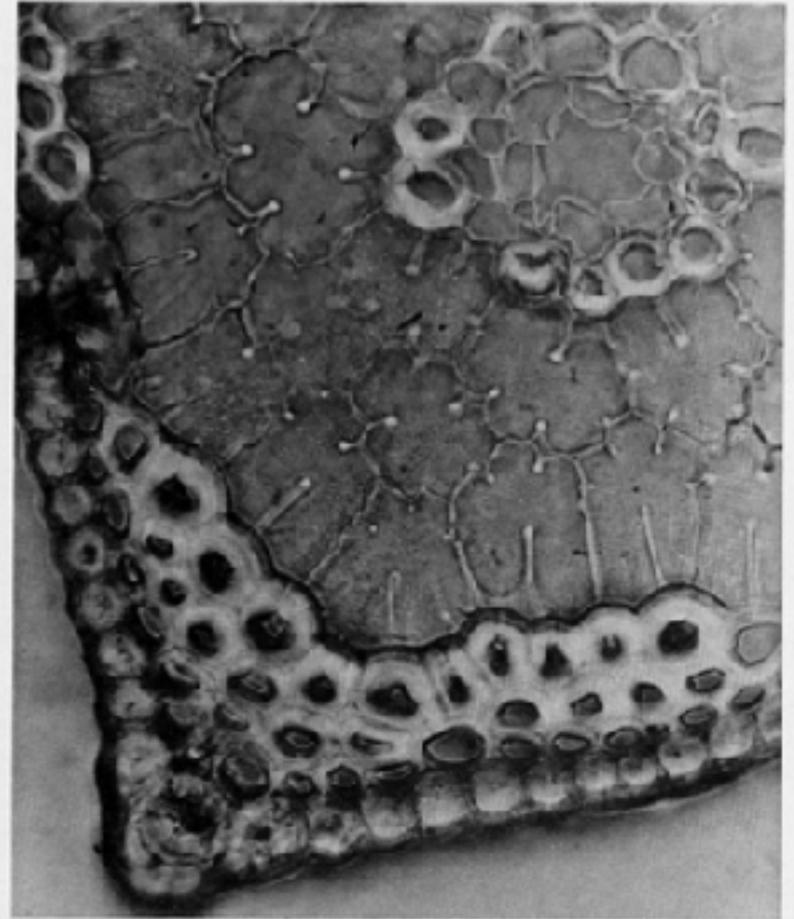
mesofillo



Sezione trasversale di foglia sclerofilla di *Quercus ilex* (leccio), una specie a distribuzione circum-Mediterranea.

Fibre extra-xilari

Foglia di una gimnosperma (pino) vista in sezione a più forte ingrandimento. L'epidermide è formata da cellule rivestite da una spessa cuticola con parete grossissima e lume quasi invisibile. Sotto l'epidermide c'è una zona di sclerenchima che è più sviluppata in corrispondenza dello spigolo della foglia. Le cellule del mesofillo sono molto caratteristiche per le immaginazioni della parete. In alto a destra si vede un canale resinifero.





TIPO DI FIBRA TESSILE



lino, canapa, iuta, ecc.

Fibre sclerenchimatiche situate nella zona periferica del fusto, talvolta non lignificate (per esempio nel lino).



colone, kapok



agave sisalana ecc.

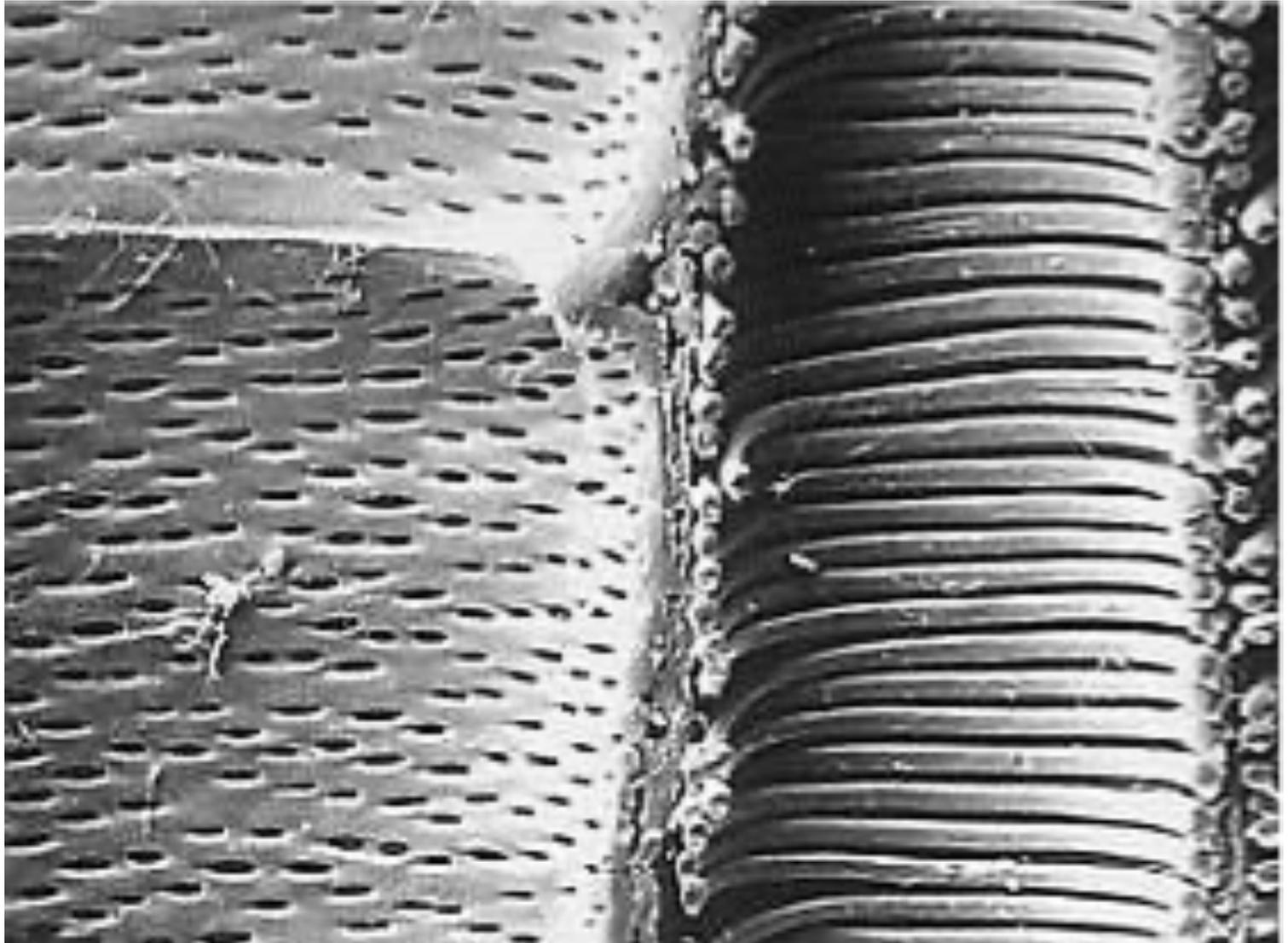
Interi fasci conduttori formati da cellule di tipo diverso (vasi del legno, tubi cribrosi, fibre sclerenchimatiche, ecc.).

Tutte le fibre tessili naturali fuorché lana e seta hanno origine vegetale. Lo schema mostra la loro eterogeneità dal punto di vista istologico. Le fibre formate da interi fasci conduttori robuste e grossolane vengono usate per corde e tele da sacco. I delicati filamenti sono privi di lignina.

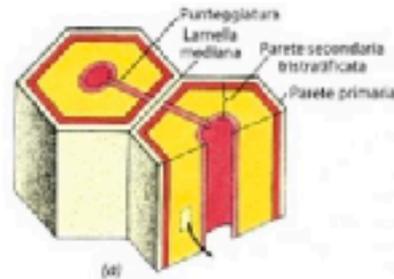


Agave sisalana

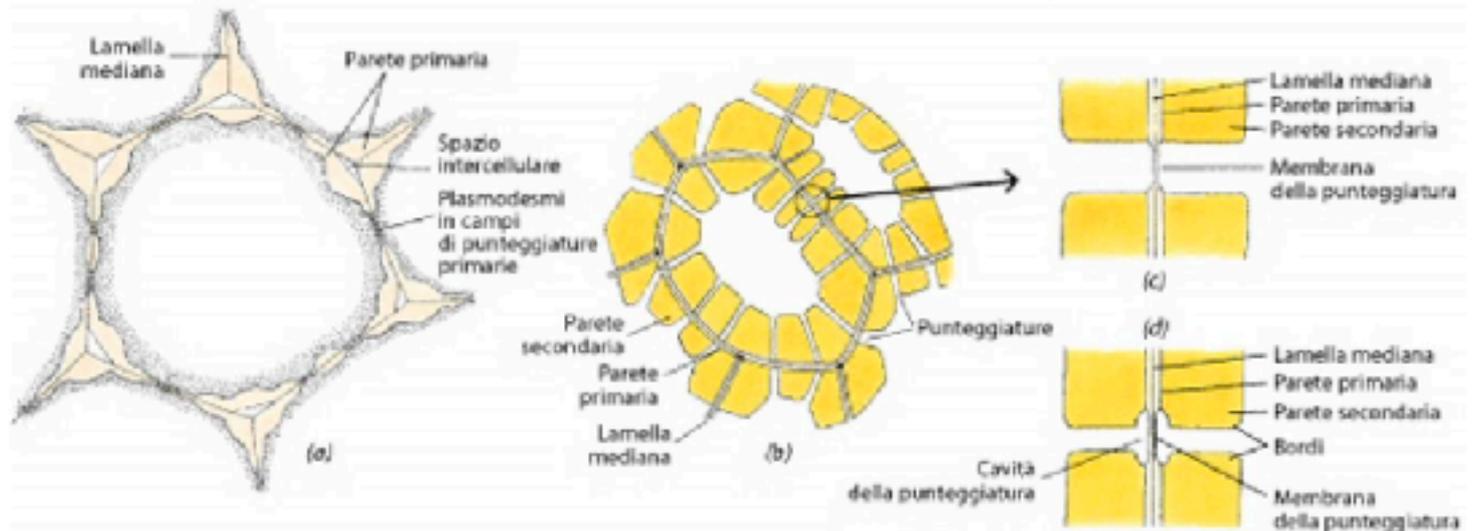
Tessuti di trasporto



Ripasso: Plasmodesmi, campi di punteggiature primarie, punteggiature



Sclereidi della polpa di pera: ogni cellula ha pareti secondarie ispessite in cui sono evidenti numerose punteggiature



- a) Cellula parenchimatosa con pareti primarie e campi di punteggiature primarie (le aree sottili delle pareti). I plasmodesmi che collegano due cellule vicine sono generalmente concentrati in aree (campi di punteggiature primarie).
- b) Cellule con pareti secondarie e numerose punteggiature semplici: il deposito della parete secondaria non avviene in corrispondenza dei campi di punteggiature primarie. La parete secondaria così presenta delle interruzioni: punteggiature.
- c) Una coppia di punteggiature semplici. d) Una coppia di punteggiature areolate



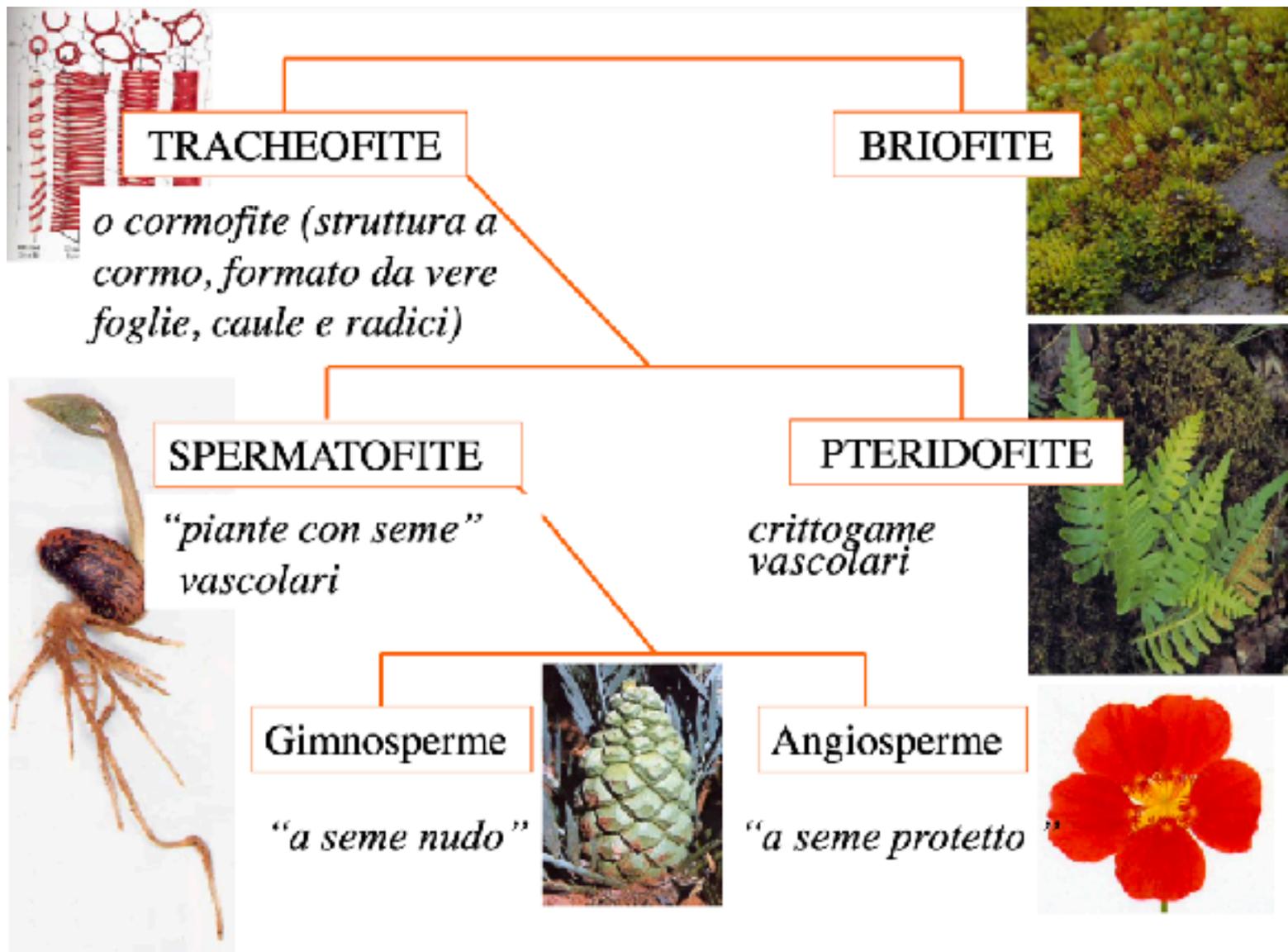
I tessuti di trasporto sono specializzati per il trasporto di sostanze tra le varie parti della pianta.

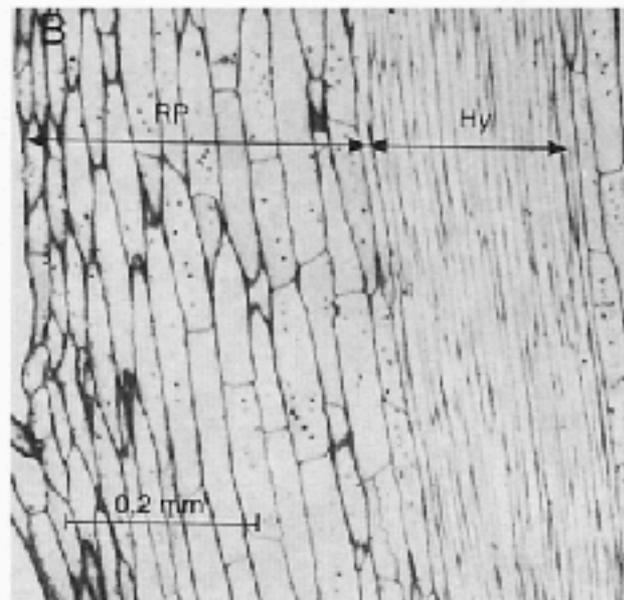
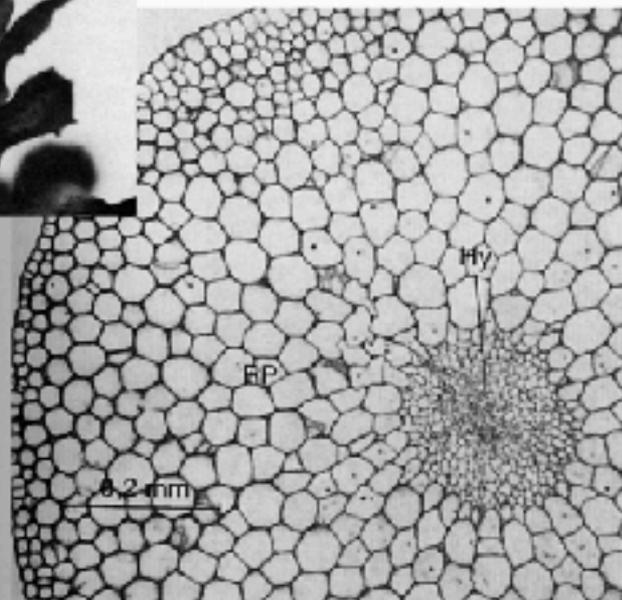
Si distinguono due tessuti diversi:

- 1. tessuto vascolare (xilema)**, adatto al trasporto di acqua e sali minerali (linfa grezza). Le pareti sono ispessite con lignina
- 2. tessuto cribroso (floema)**, adatto al trasporto di sostanze organiche prodotte dalla fotosintesi (linfa elaborata)

L'importanza strutturale ed evolutiva dei tessuti specializzati per la conduzione ha portato a denominare Tracheofite o piante vascolari le piante che dominano le terre emerse.

Questi termini si riferiscono in particolare alla presenza di vasi, gli elementi conduttori del tessuto vascolare.





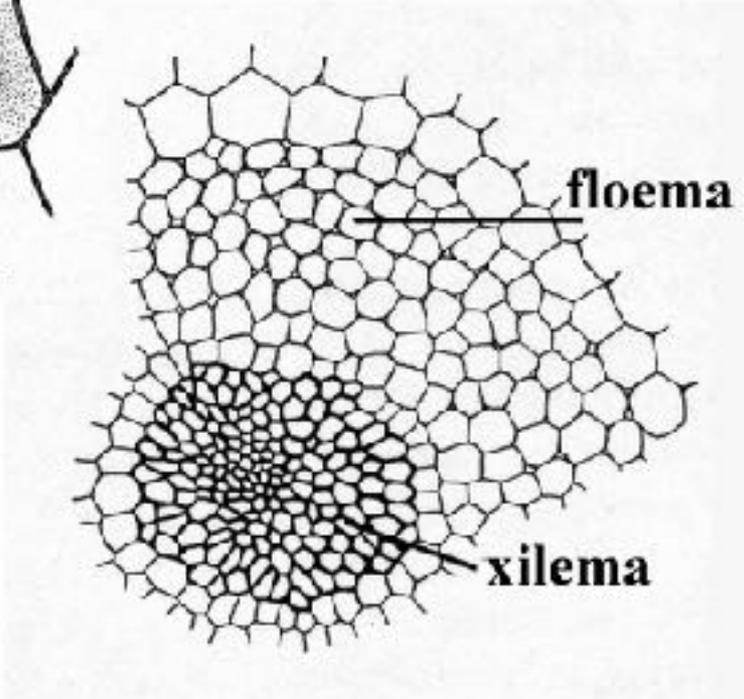
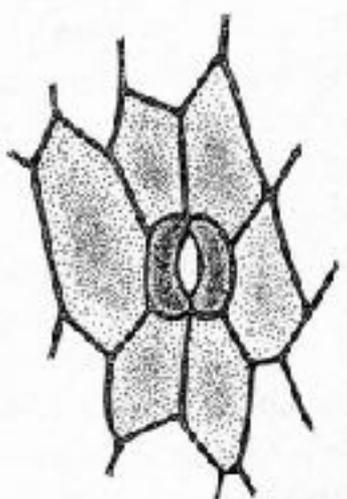
MUSCHI

Idroidi. (A) Sezione di un fusticino appartenente a uno sporofito di un muschio (*Plagiommium undulatum*). Al centro gli idroidi (Hy) forma-

no un fascio conduttore. Il fascio è circondato da un parenchima corticale (RP). (B) Sezione longitudinale dello stesso. Gli idroidi presentano un lume

stretto ma sono molto più lunghi delle cellule parenchimatice corticali. I leptoidi non sono visibili nel campione (foto di R. LIGRONE).

Rhynia gwynne-vaughani



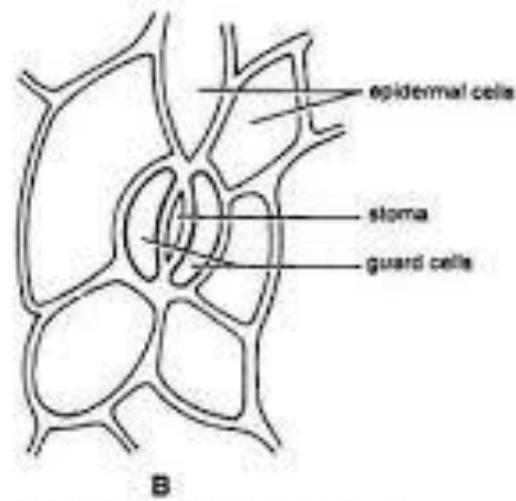
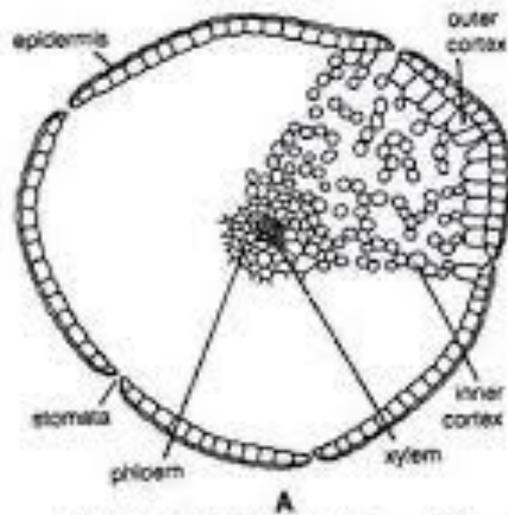
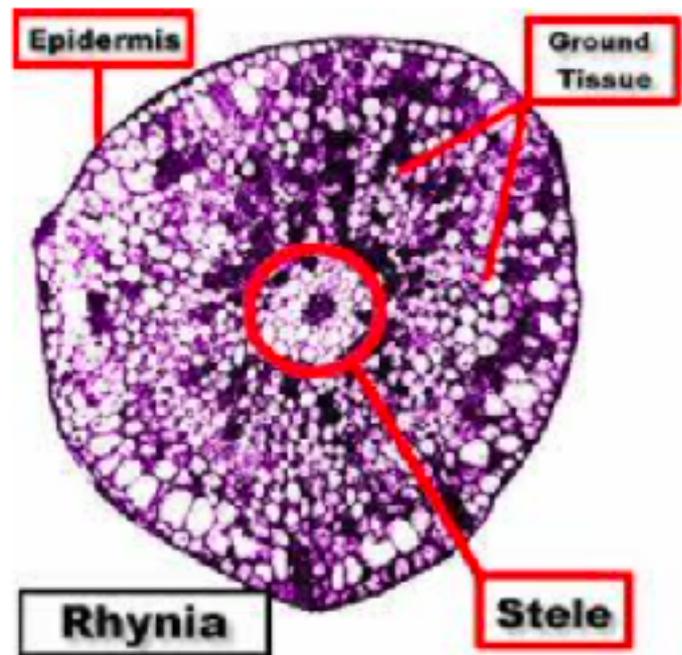
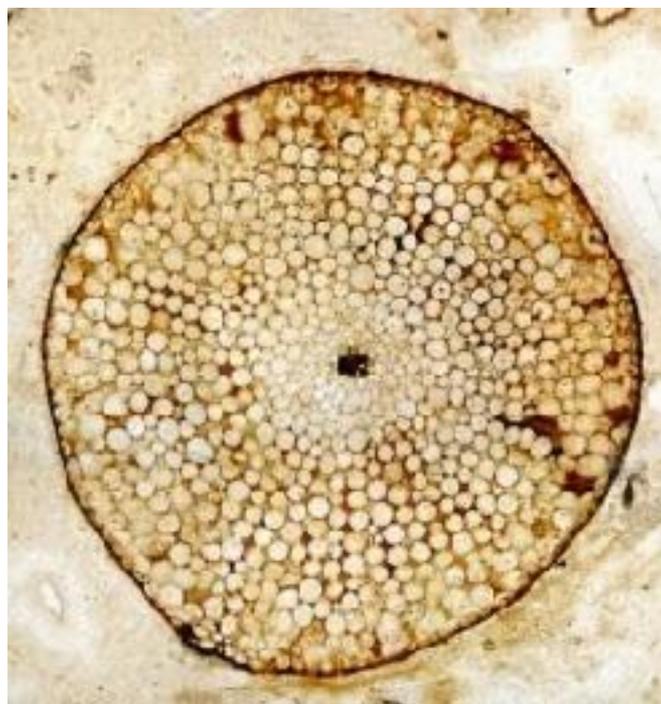
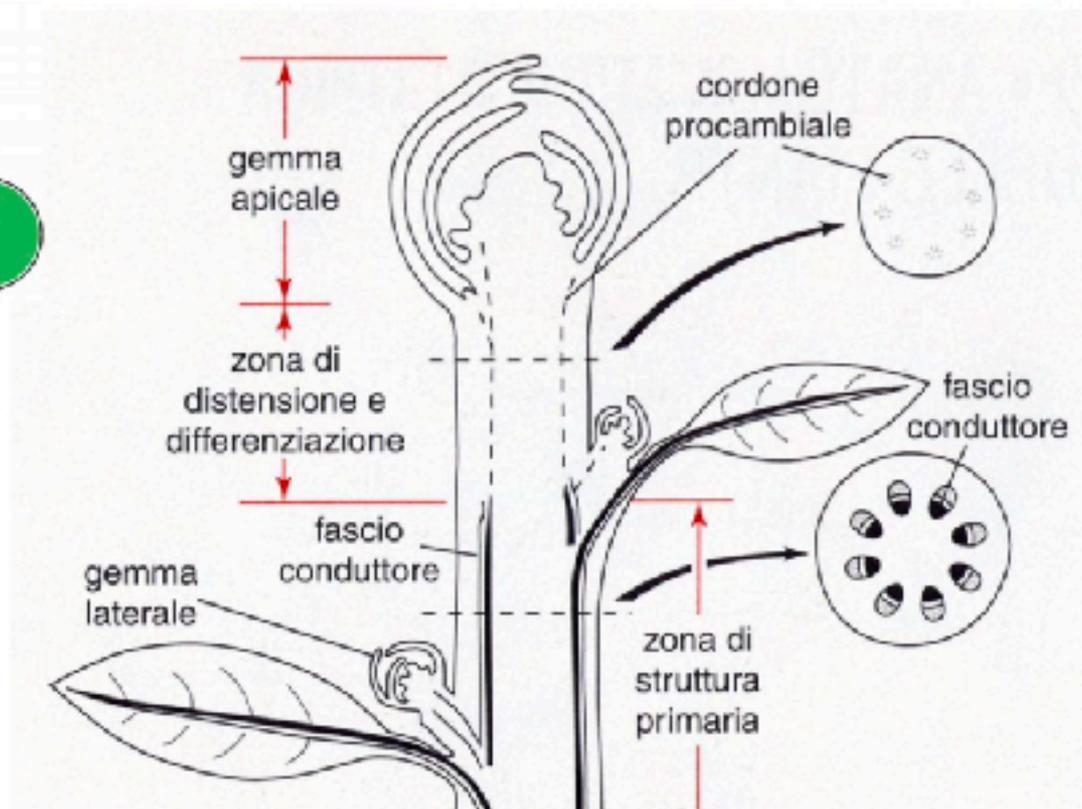
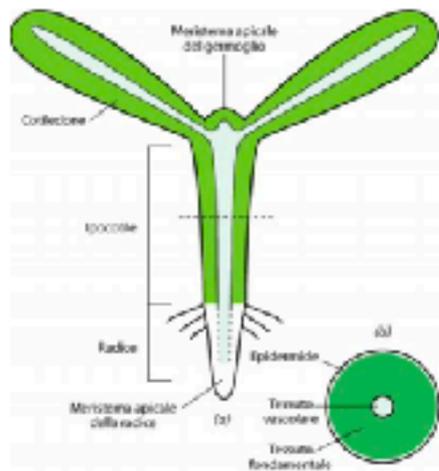


Fig. 2 (A-B). Rhynia. Internal Structure : A. T. S. of aerial shoot, B. a stoma



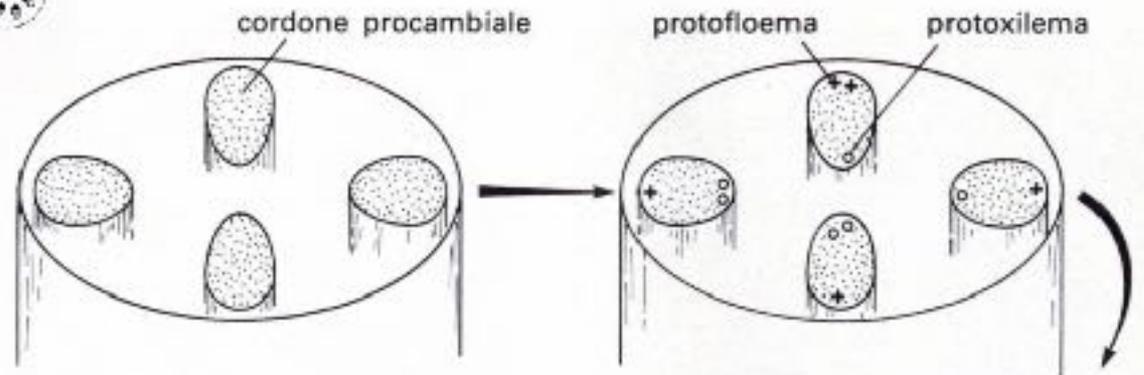
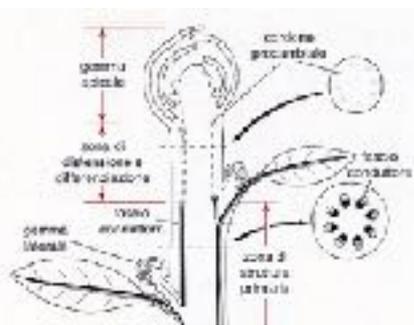
Sviluppo delle spermatofite (Angiosperme)



I tessuti di trasporto si originano dal **procambio** (zona di determinazione).

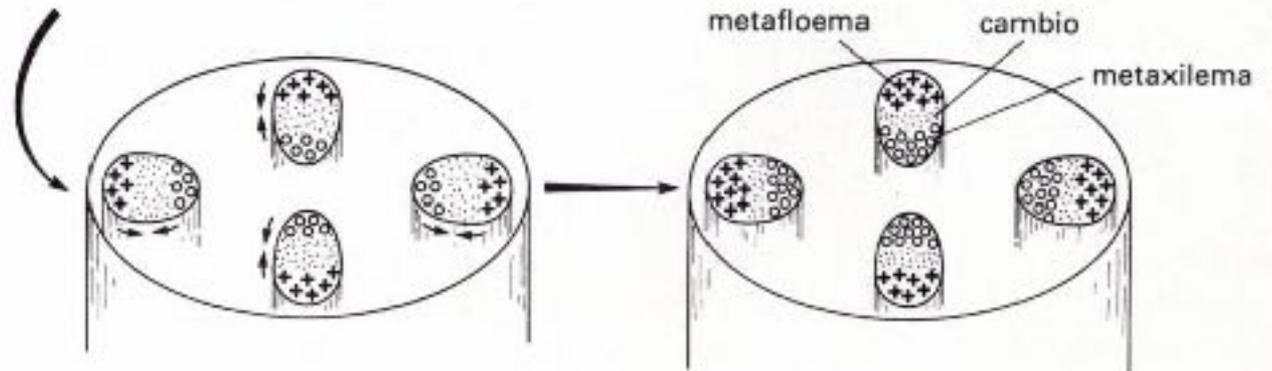
I cordoni procambiali si differenziano rapidamente in **fasci cribro-vascolari, aperti o chiusi** a seconda che alcune cellule rimangano indifferenziate nella zona di contatto tra i due tessuti fondamentali: **xilema** e **floema**.

Il differenziamento procede in maniera diversa nel caule e nella radice, a causa della diversa organizzazione generale dei due organi.



I cordoni procambiali sono formati da cellule indifferenziate.

I primi elementi (protofloema e protoxilema) si differenziano ai poli opposti di ciascun cordone.

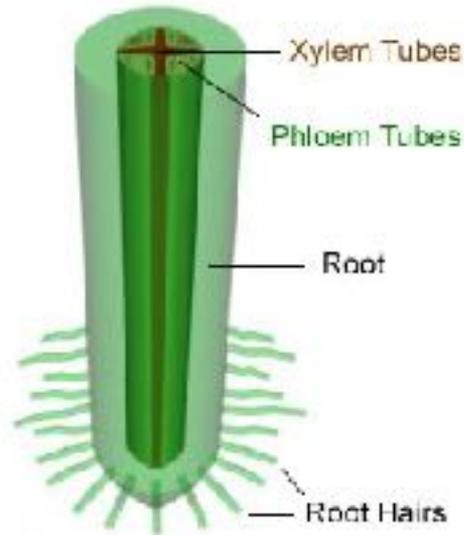


Successivi elementi si differenziano in direzioni opposte (indicate dalle frecce).

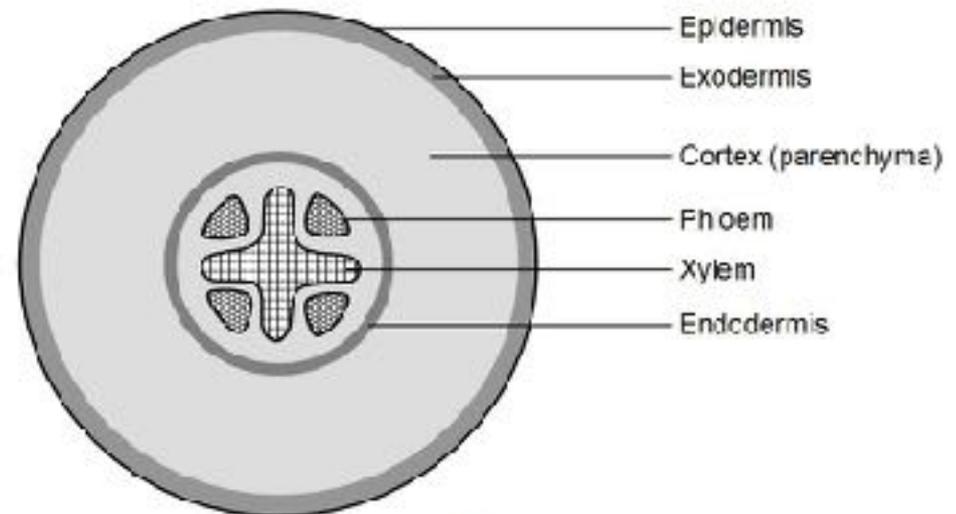
I cordoni procambiali si sono differenziati in fasci. Tra i due tessuti è rimasta una striscia di cellule indifferenziate (cambio).

Nella radice c'è un unico grosso cordone procambiale, collocato centralmente. I due tessuti si differenziano in senso centripeto, cioè dall'esterno verso l'interno.

I primi vasi xilematici che si differenziano si trovano più all'esterno rispetto a quelli che si differenziano dopo, che avranno caratteristiche diverse (ad esempio, lumi delle cellule più ampi).



Root
Copyright © 2003 science-resources.co.uk



Cross-section through a young non-woody dicot root