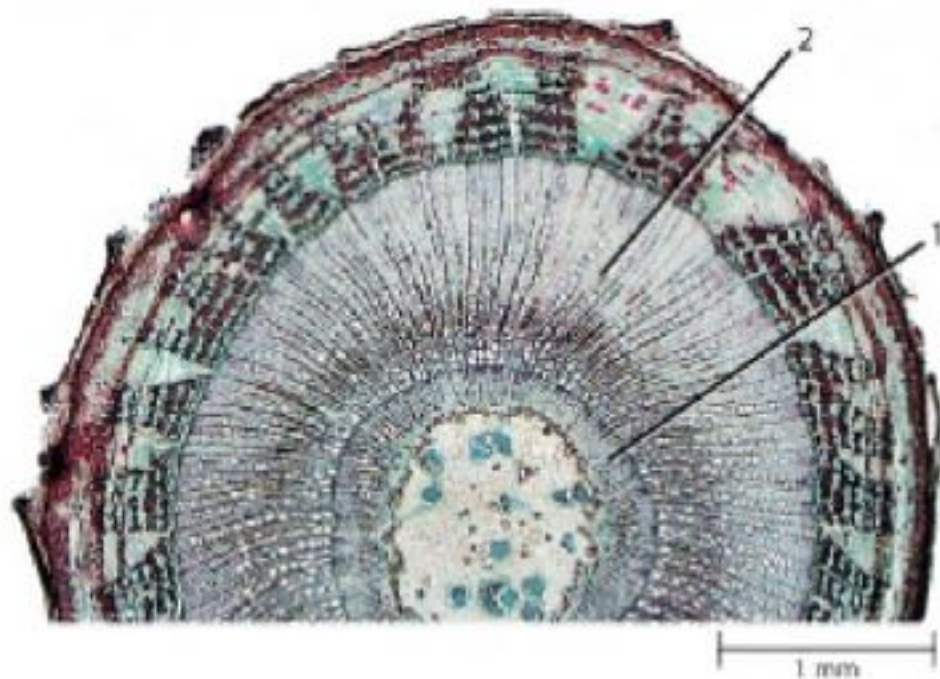
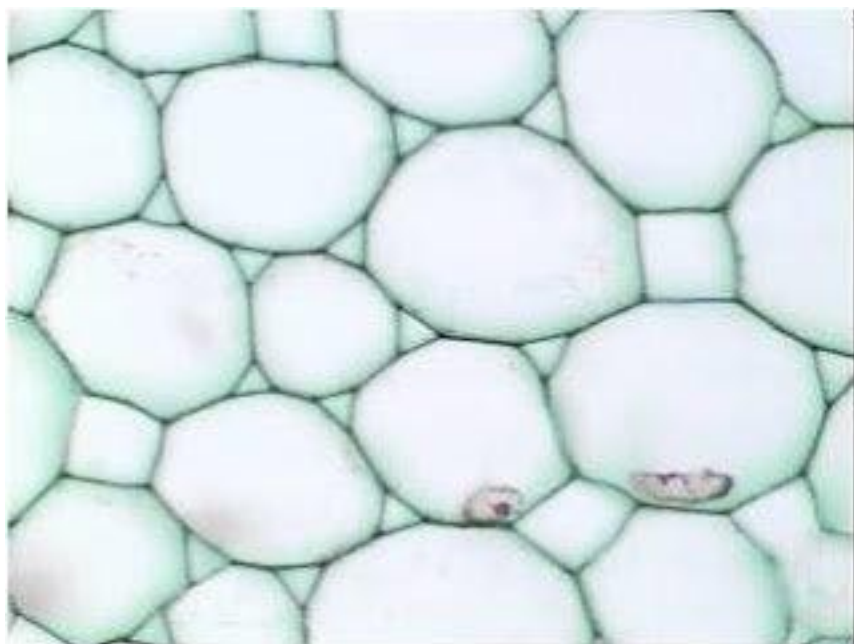


Istologia e anatomia vegetale





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 CO_2** **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 turgore delle cellule di guardia è regolato da un potenziale idrico che influisce sulle cellule di guardia.

Le cellule di guardia diventano turgide



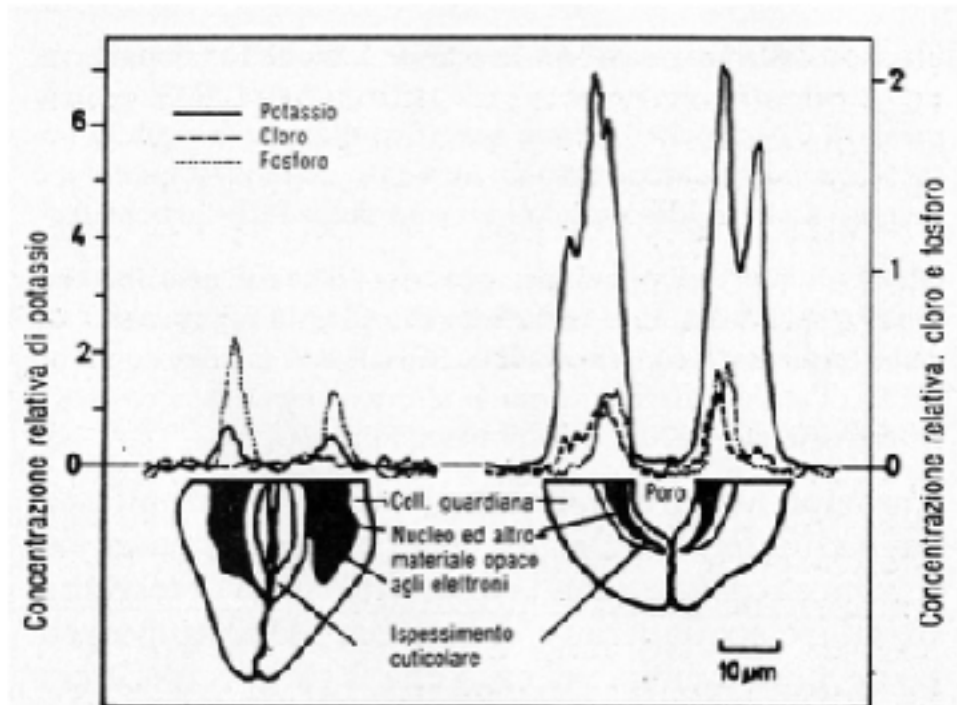
Le cellule di guardia perdono turgidità



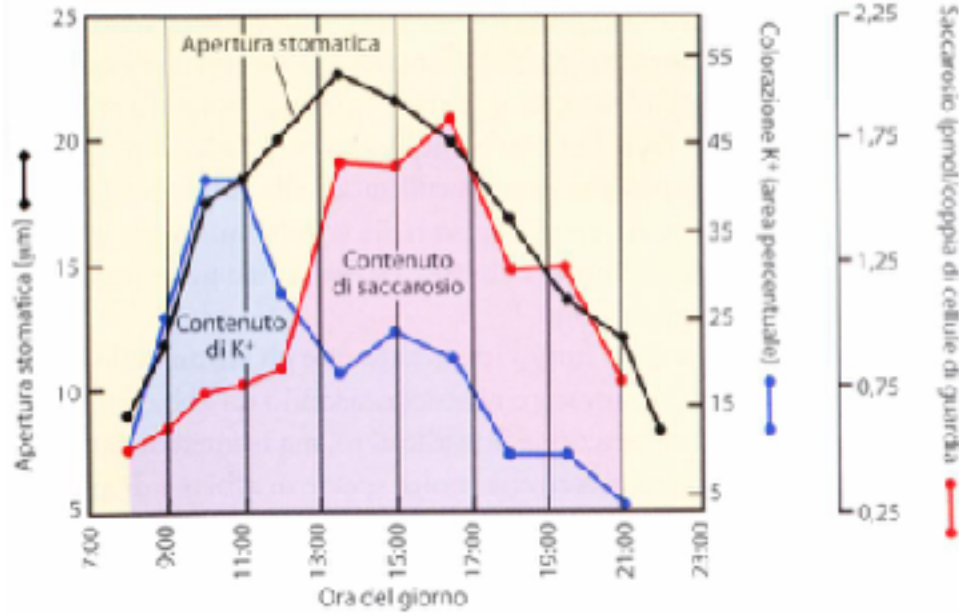
Il meccanismo di apertura/chiusura è legato a variazioni del turgore delle cell. di guardia. Il turgore viene acquisto o perduto grazie a movimenti passivi di acqua secondo un gradiente di potenziale idrico creato da un trasporto attivo di soluti.

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.

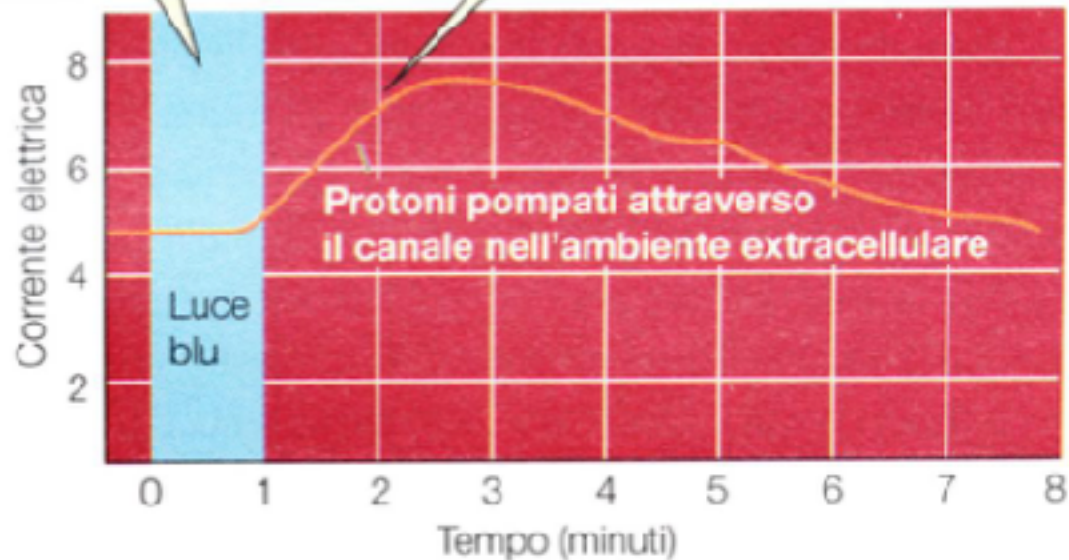
Stomi e luce

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.

A vertical strip on the left side of the slide shows a microscopic view of plant tissue. It displays a column of cells with prominent, thickened corners, characteristic of mesophyll cells. Interspersed among these cells are stomata, which appear as small, dark, oval-shaped openings. The overall color of the tissue is a reddish-brown, likely due to staining.

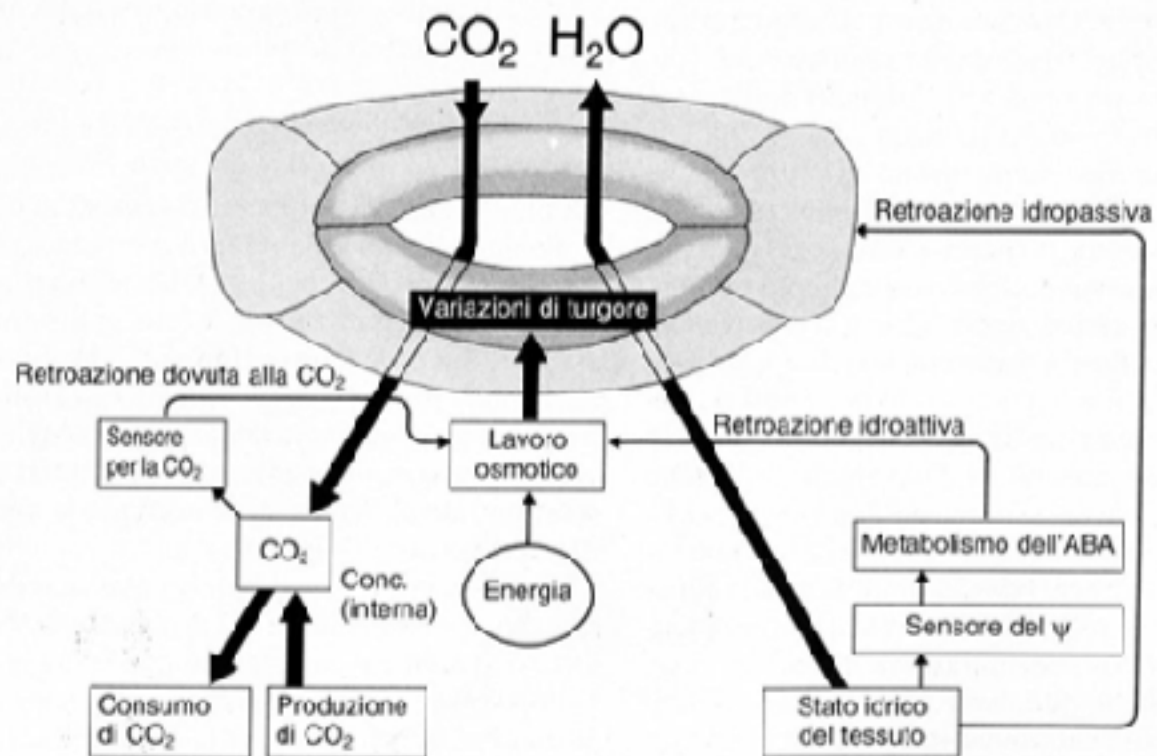
Acido abscissico

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...



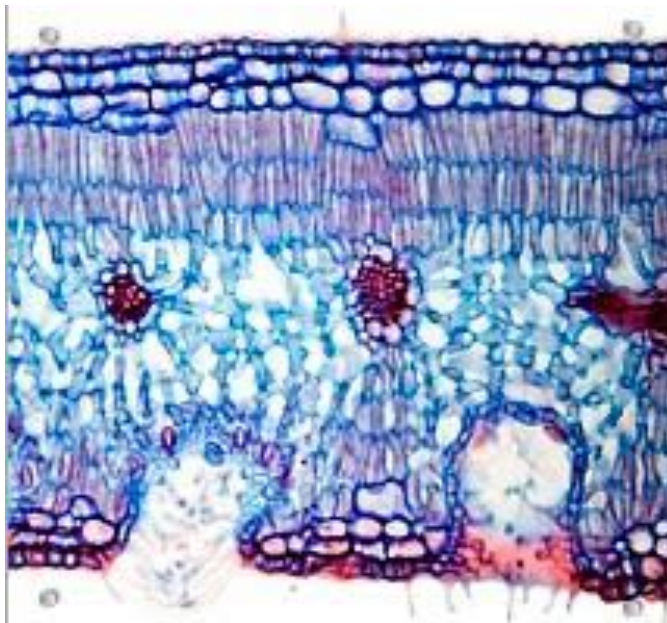
Modello di sistema di retroazione che interviene nel controllo dei movimenti di apertura degli stomi. I sensori per la concentrazione di CO_2 e per il potenziale idrico fogliare (ψ) sono situati nelle cellule stomatiche. ABA: acido abscissico (da RASCHKE).

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 CO_2 .

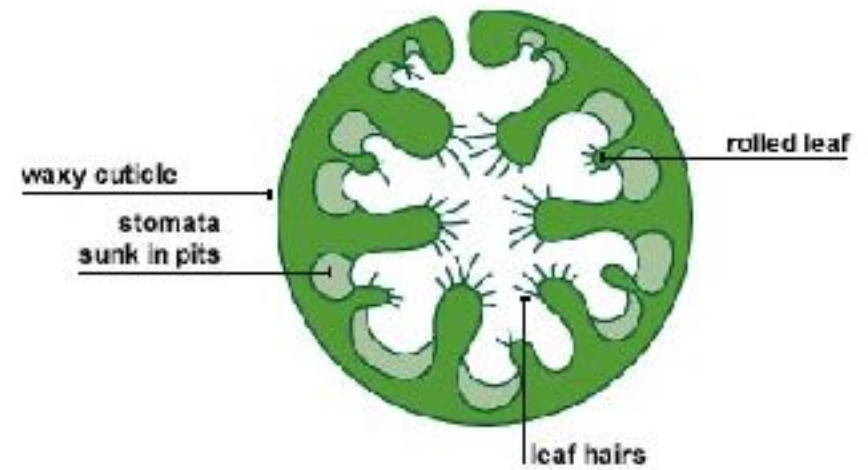


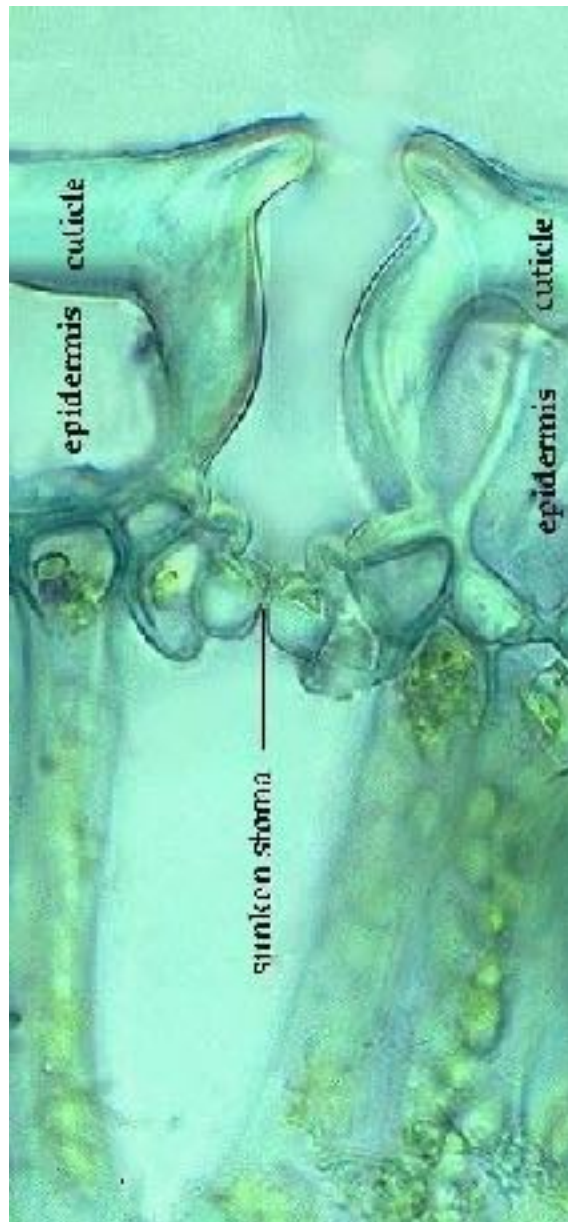
Nerium oleander L.



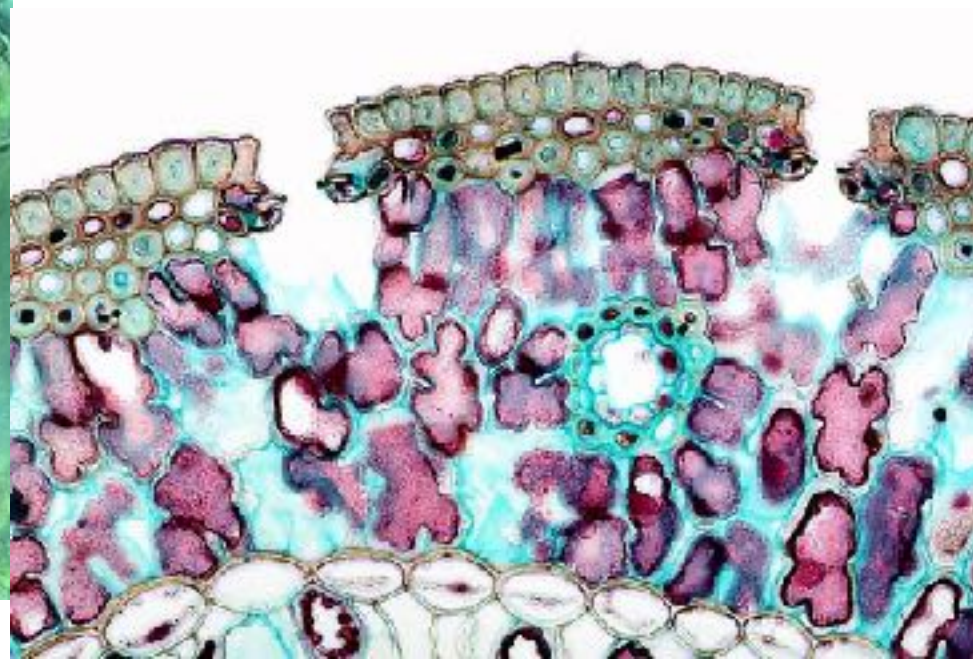


Ammophila arenaria (L.) Link



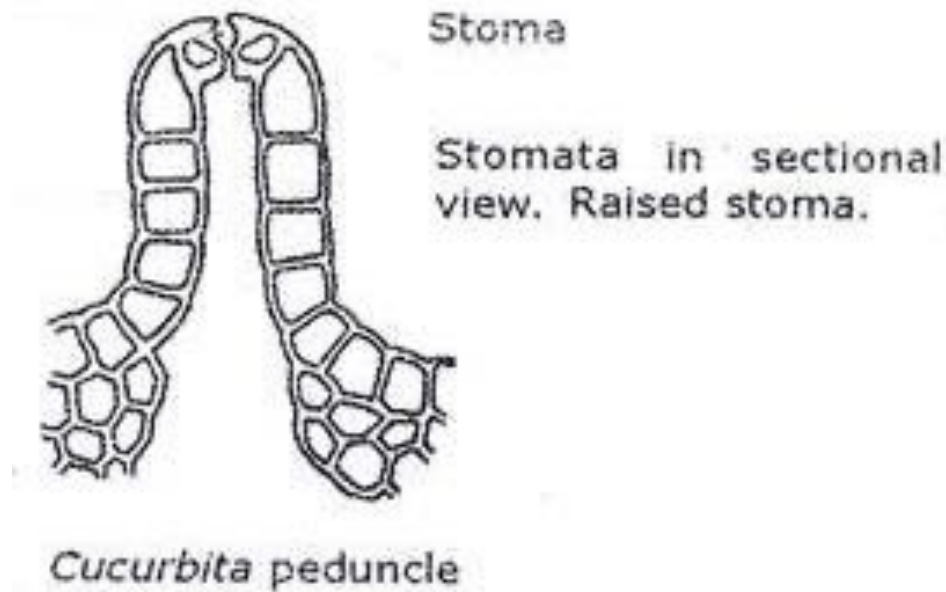


Pinus nigra L.



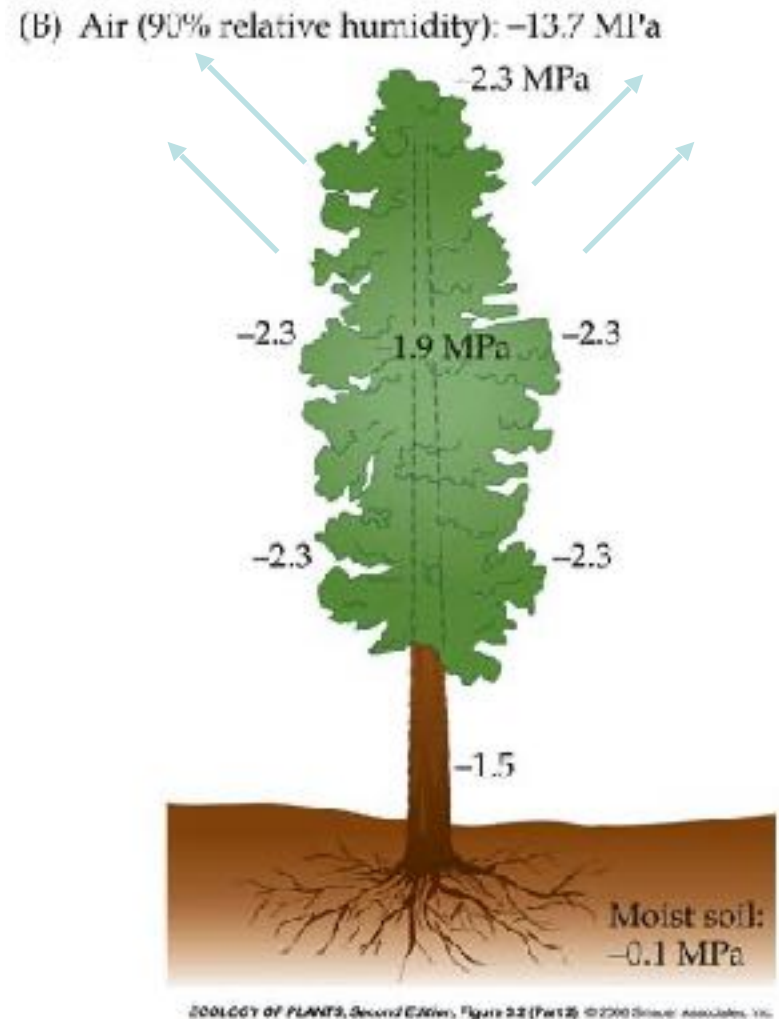


In piante di ambienti molto umidi (es. piante del sottobosco di foreste pluviali) si osservano stomi estroflessi, cioè collocati lungo creste o estroflessioni della lamina fogliare, per cercare di incrementare la traspirazione, quando l'aria è solitamente molto prossima alla saturazione.



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.



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

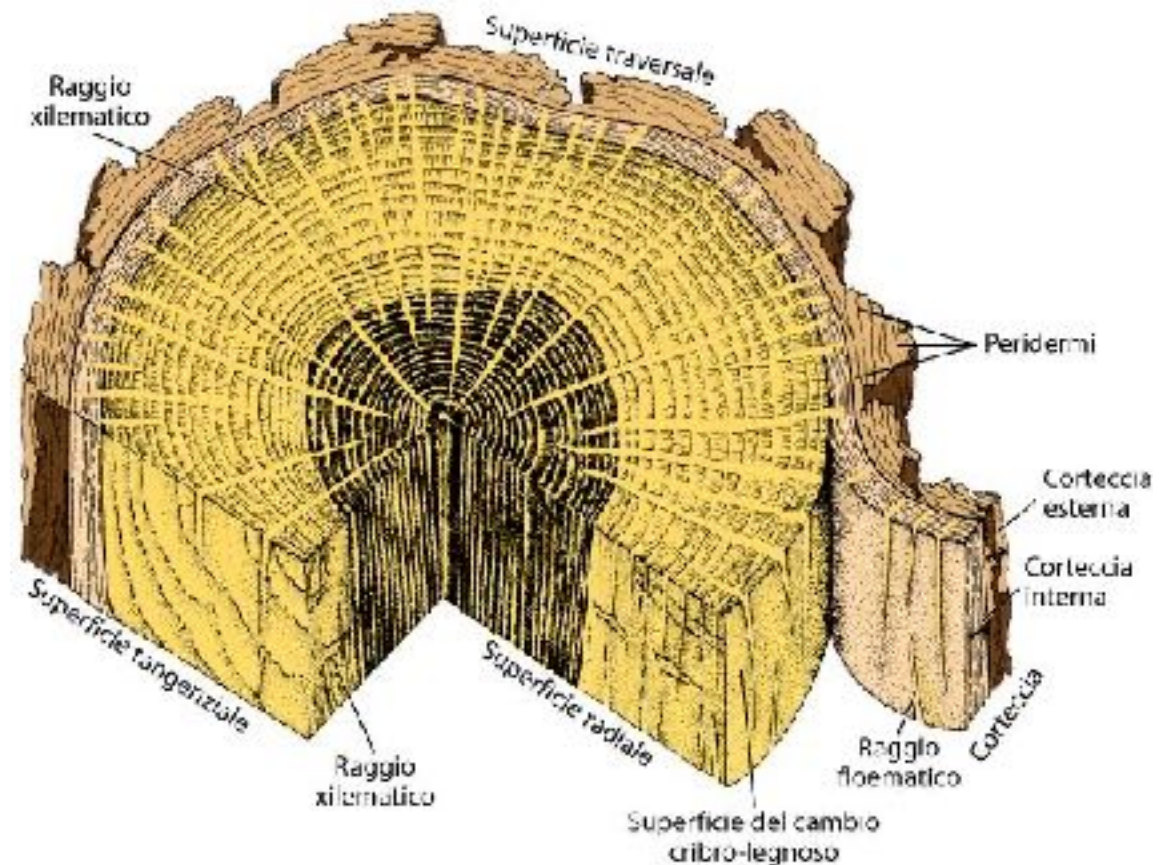


- SUGHERO

- 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**-----

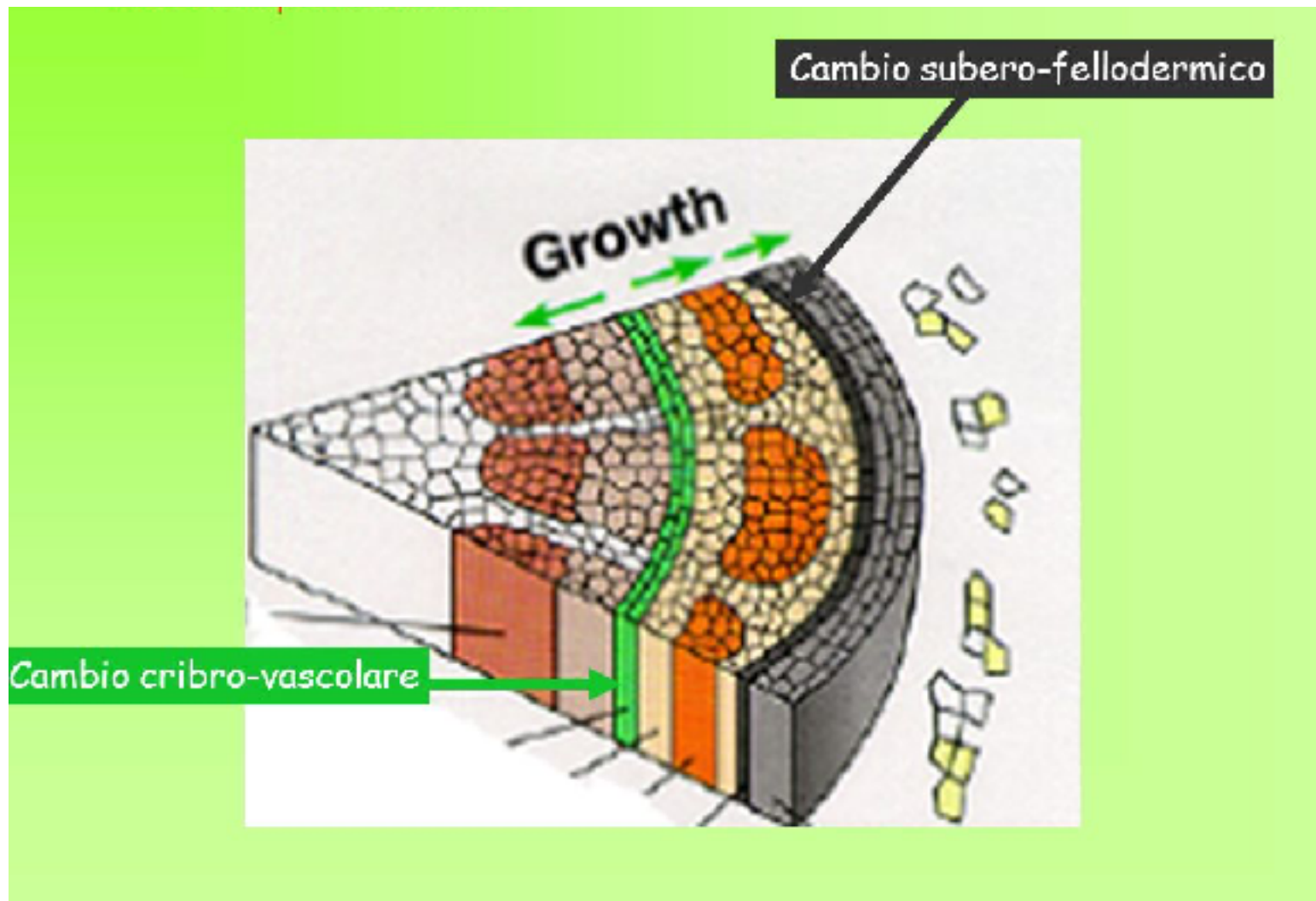
(FELLODERMA)

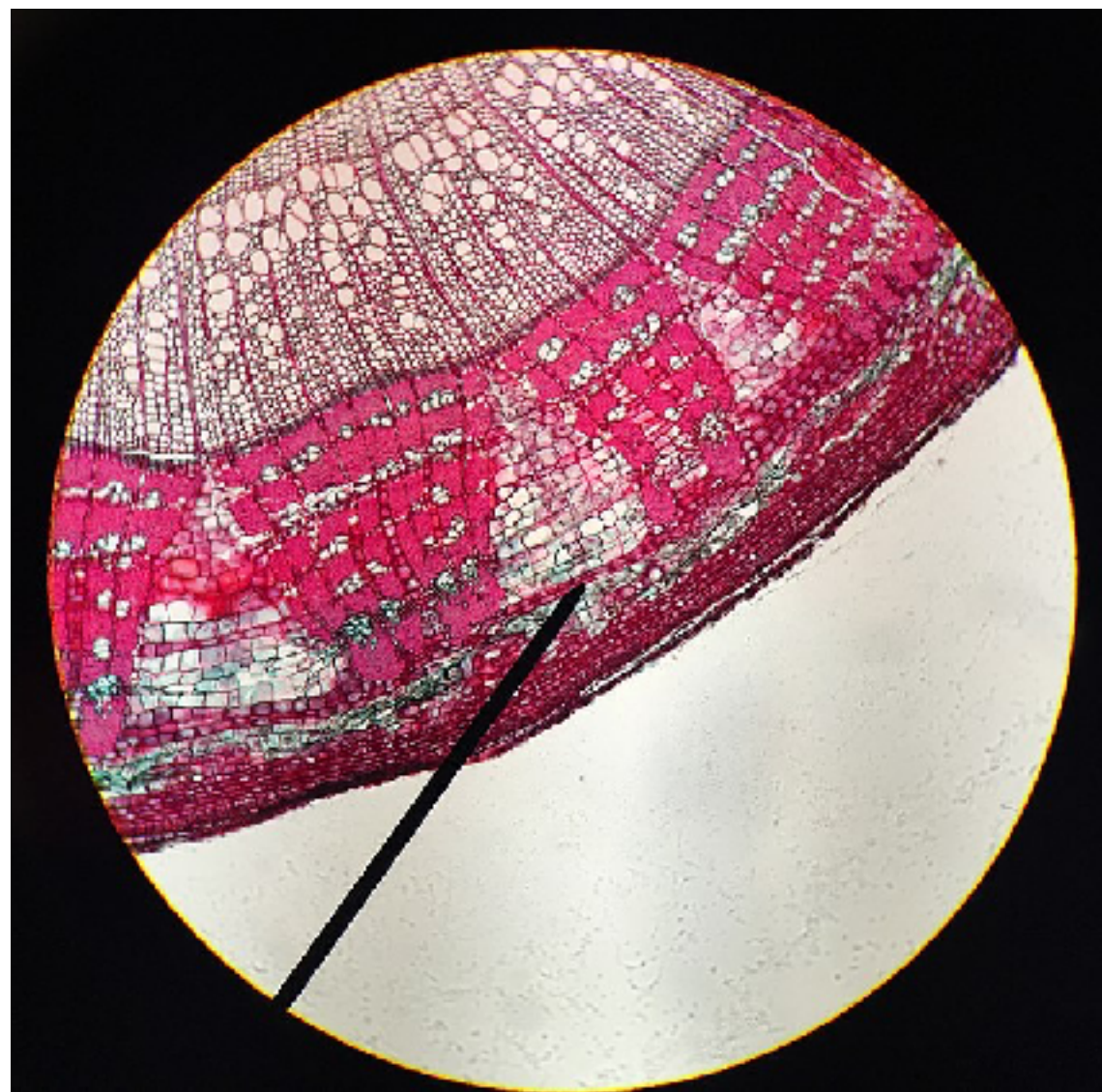
(FLOEMA)

-----**CAMBIO**-----

(XILEMA - FIBRE - PARENCHIMA)

ESTERNO DELLA PIANTA





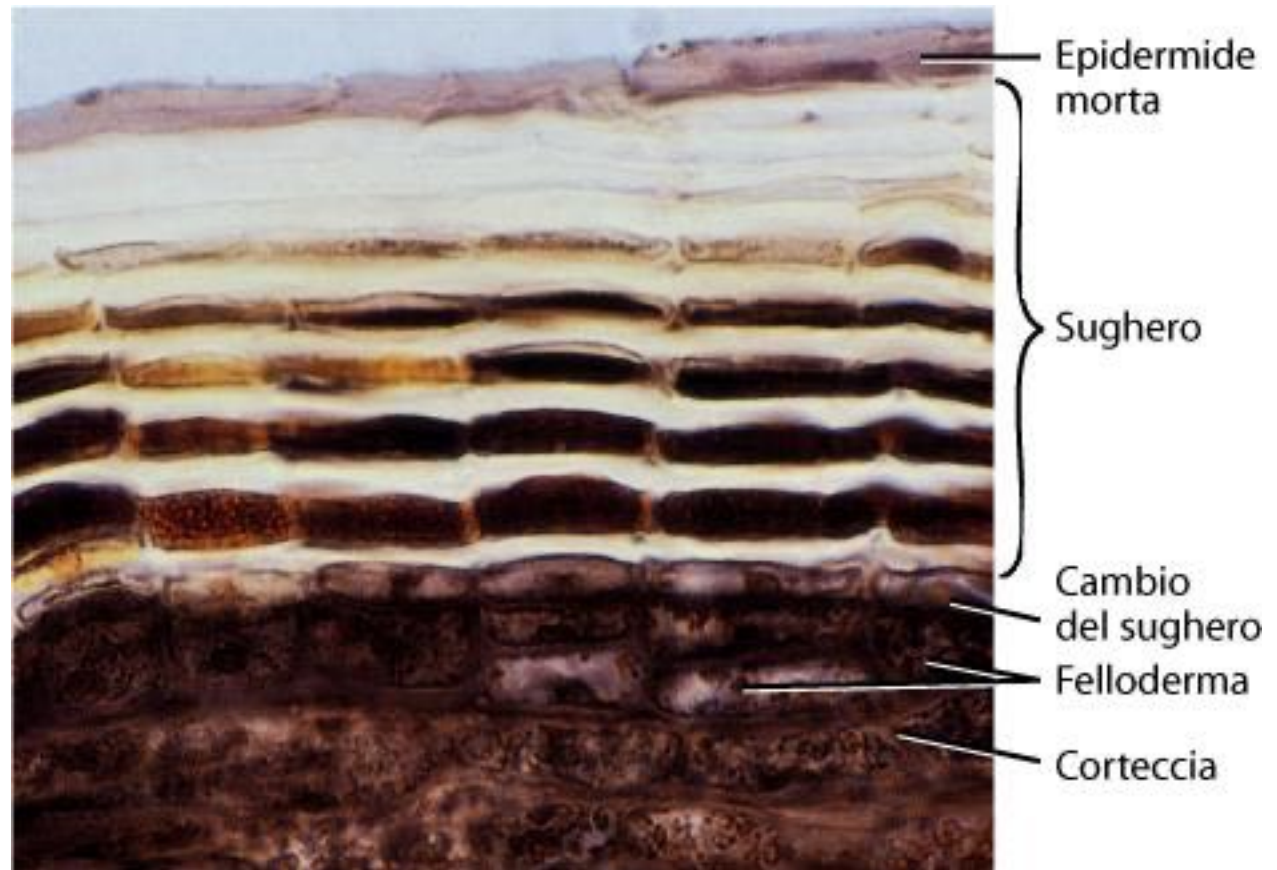


Il **cambio subero-fellodermico**, o fellojeno, è uno dei due tessuti **meristematici secondari** delle piante vascolari capaci di crescita secondaria (gimnosperme e angiosperme eudicotiledoni).

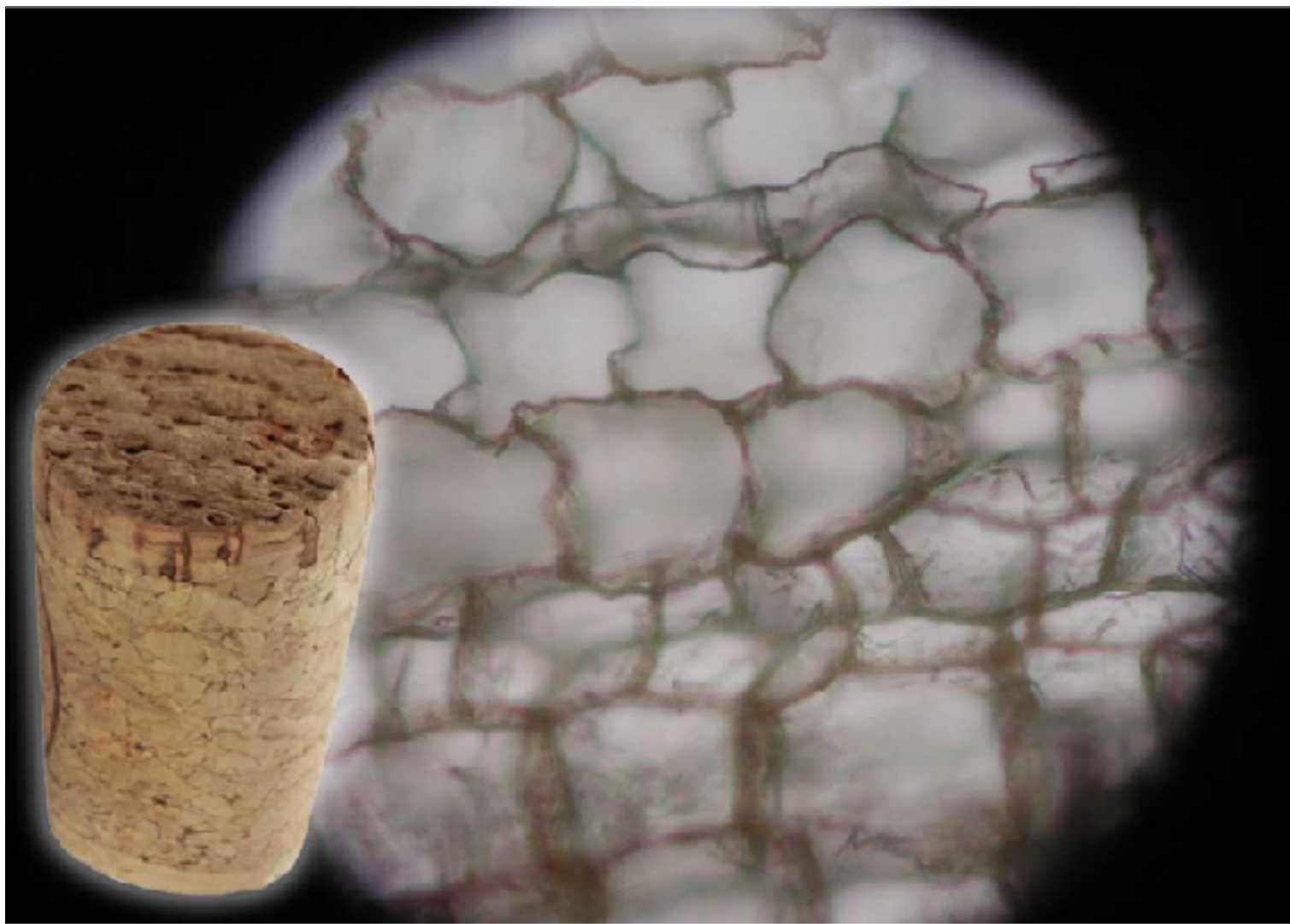
A differenza del cambio cribro-vascolare, questo spesso viene sostituito ogni anno. Infatti, nelle zone con clima stagionale, la sua attività termina nel periodo autunnale, e muore, per poi ri-differenziarsi nella successiva fase vegetativa.

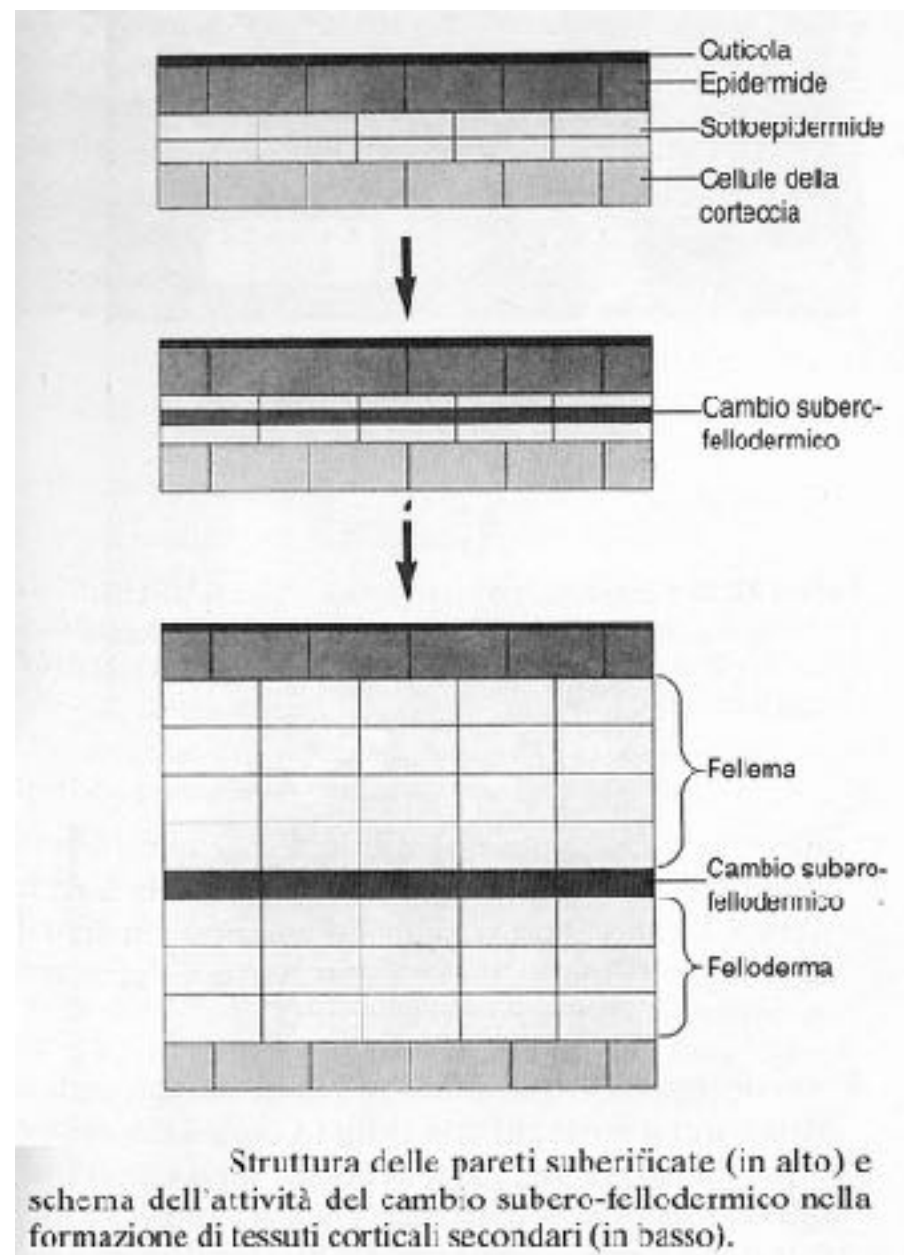
Si origina dal parenchima corticale o, in alcuni casi, dal floema.

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.

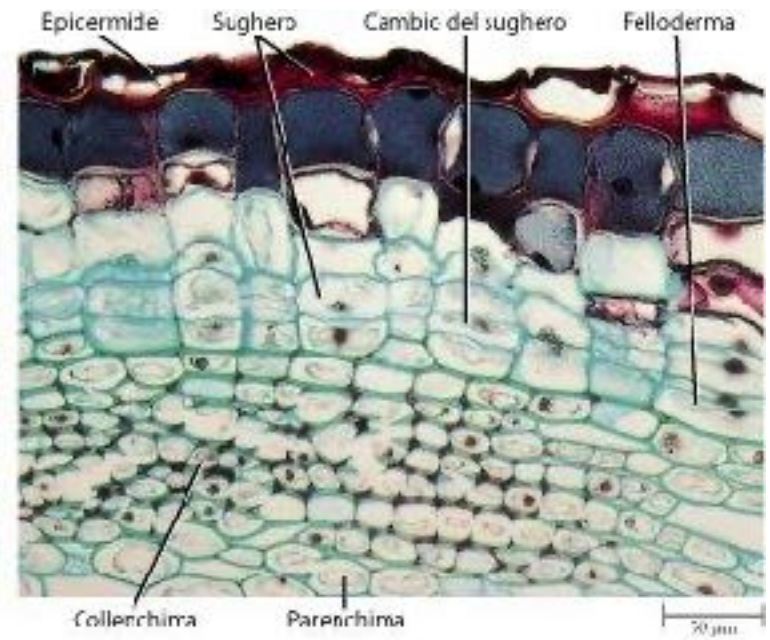
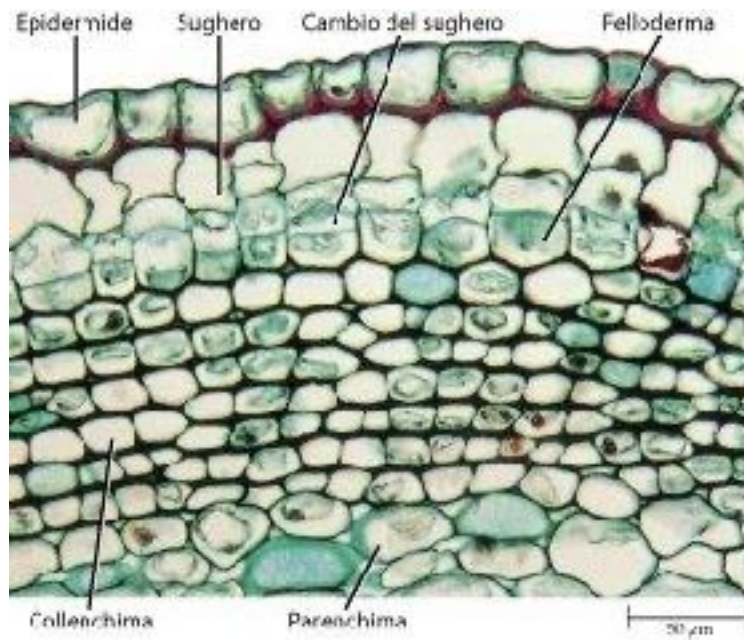




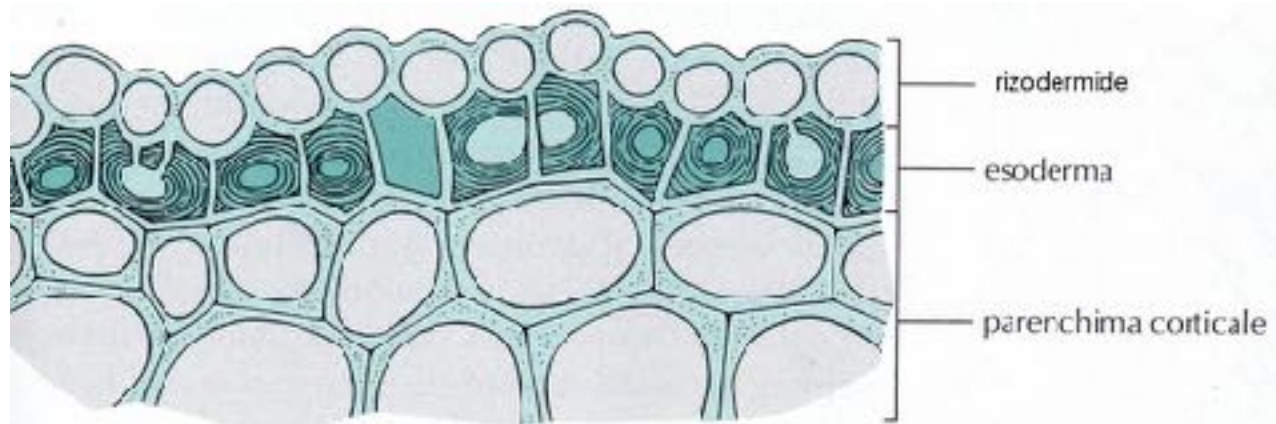




Il sughero sostituisce l'epidermide negli organi che hanno accrescimento secondario.



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.

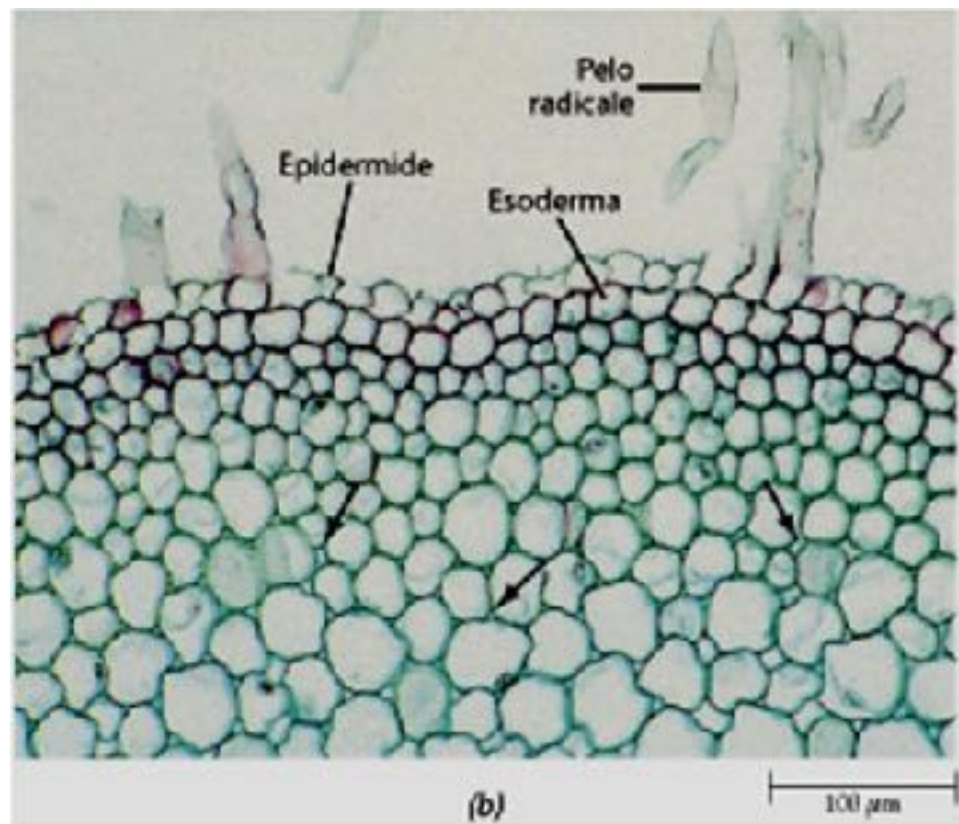
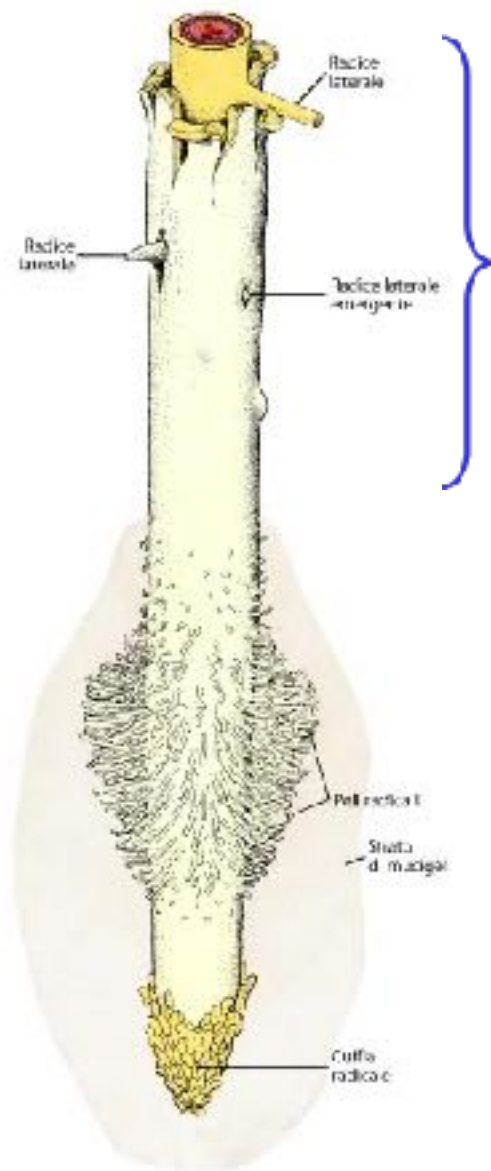


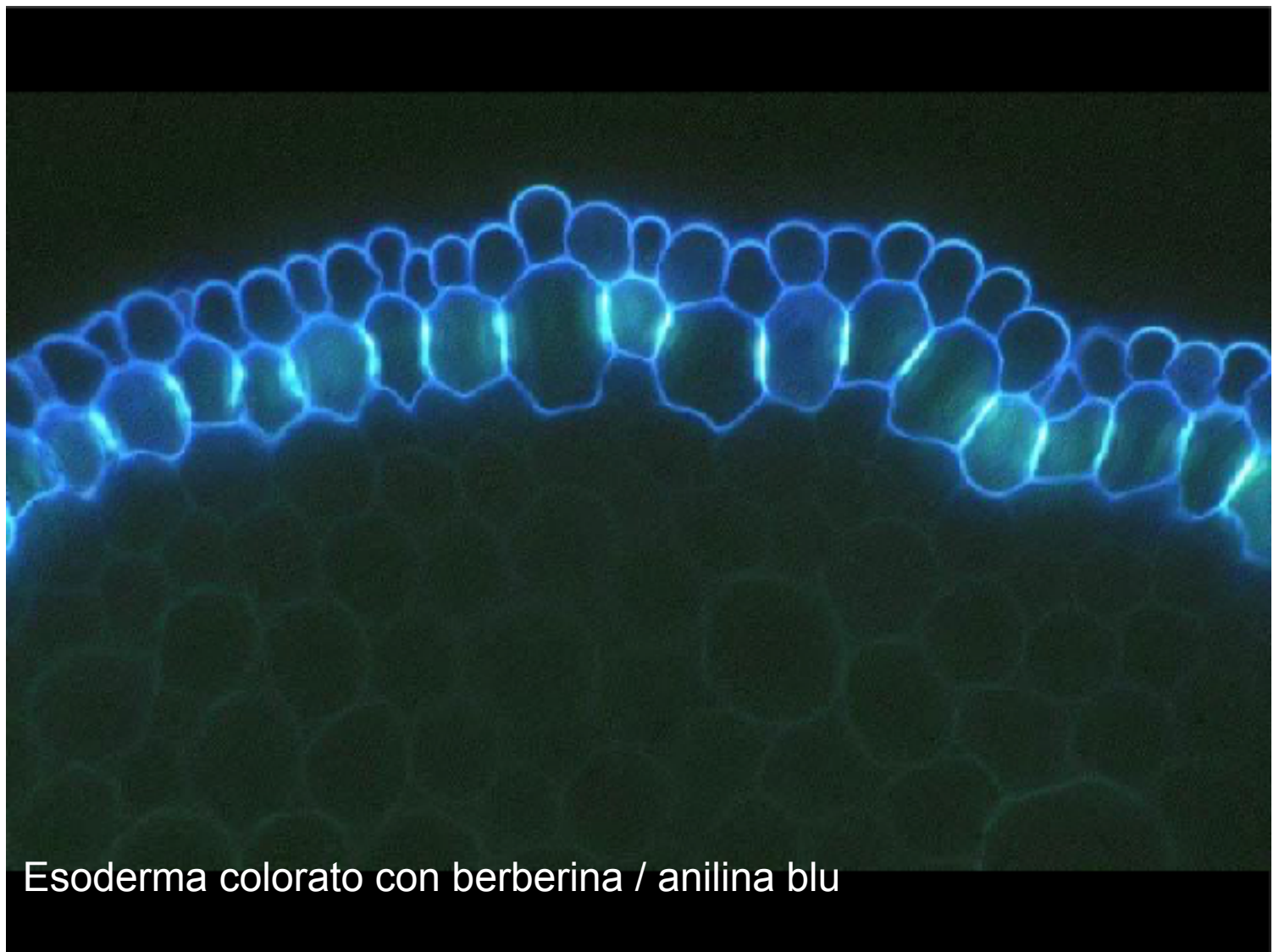
L'**esoderma** sostituisce il rizoderma nella zona appena sopra la zona pilifera delle radici. Di origine primaria, riveste la porzione tra la struttura primaria e quella secondaria della radice.

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).

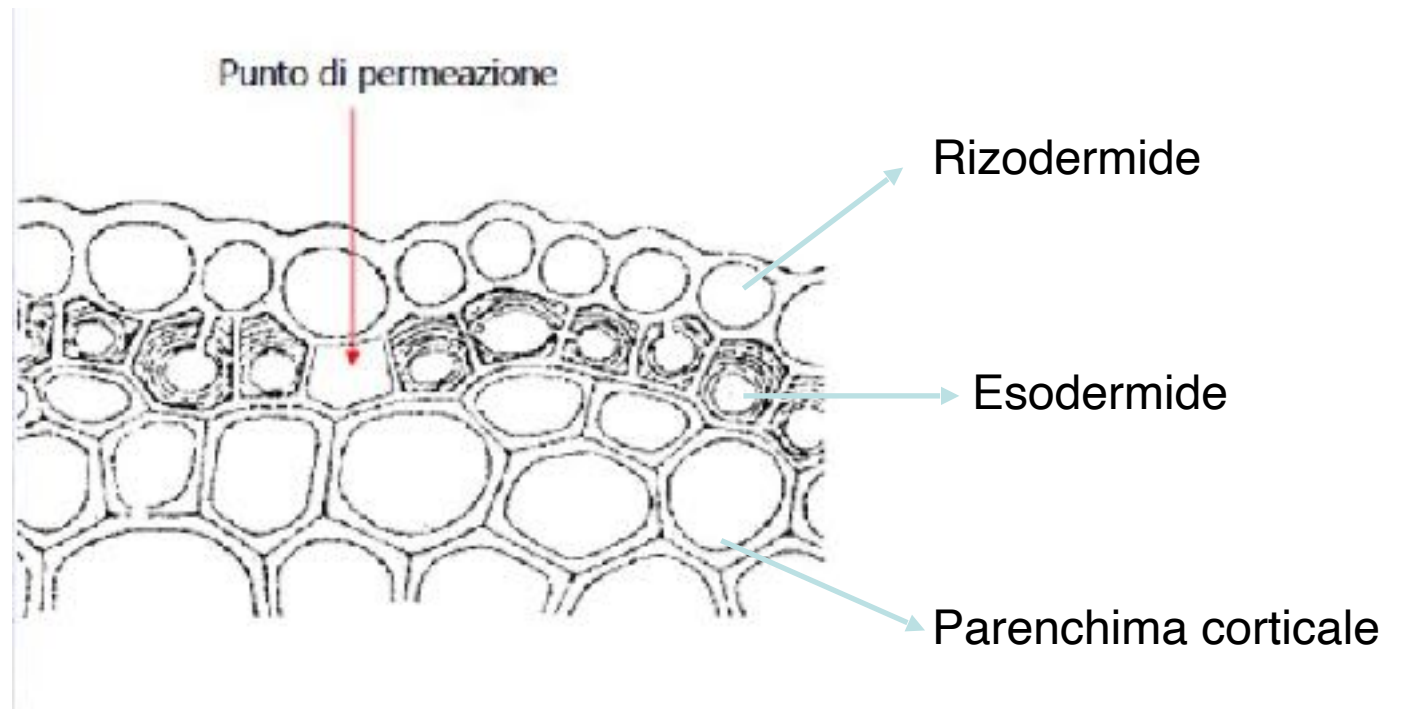
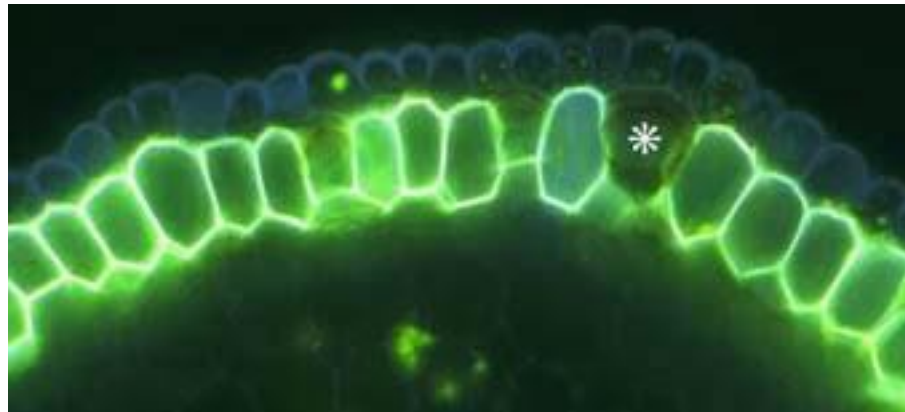
L'esoderma è per lo più unistratificato e poco permeabile, ed ha funzione di rivestimento e protezione.

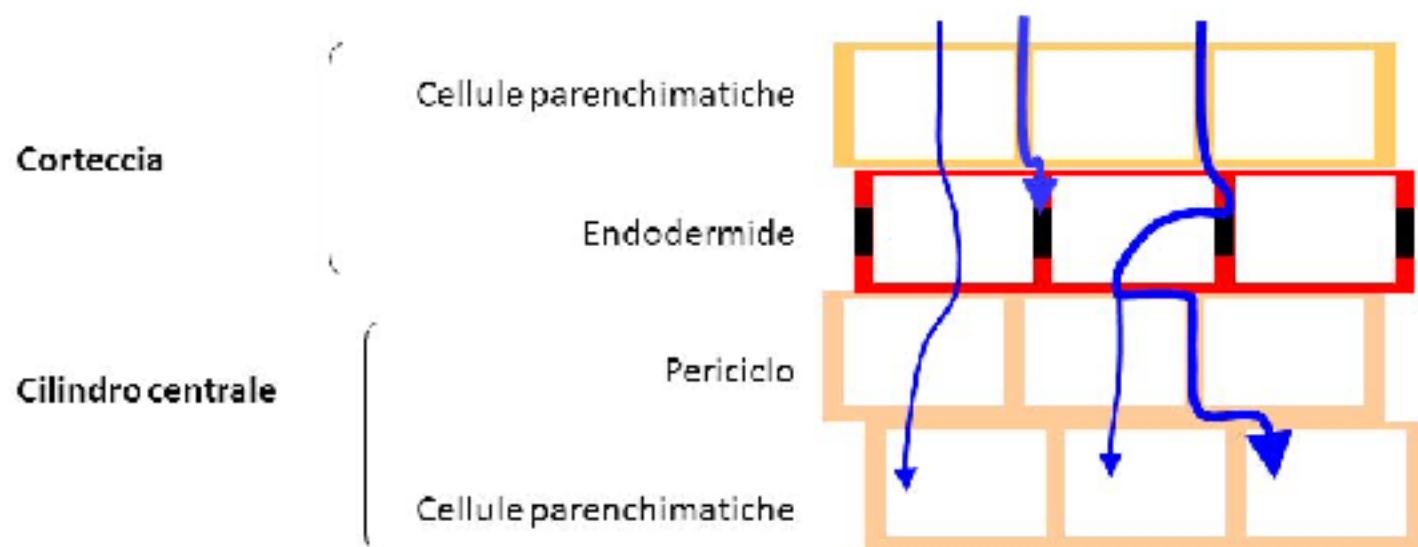
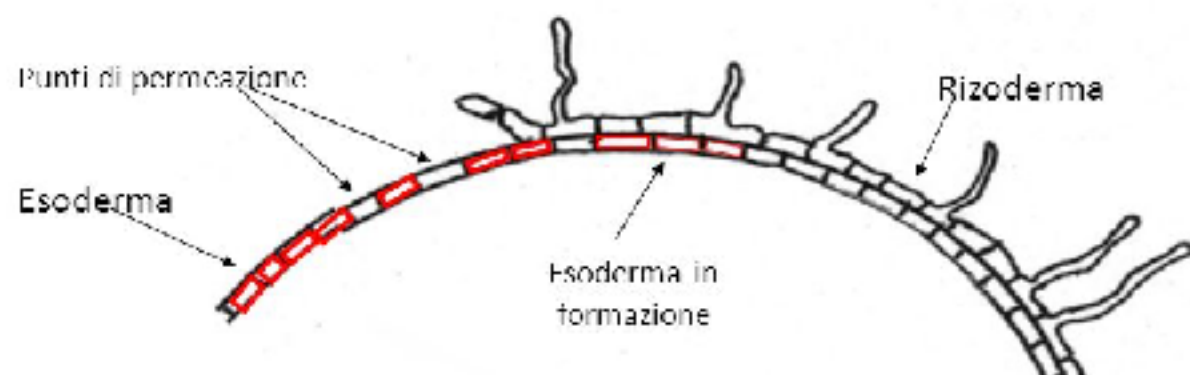
In struttura secondaria viene sostituito dal sughero.





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





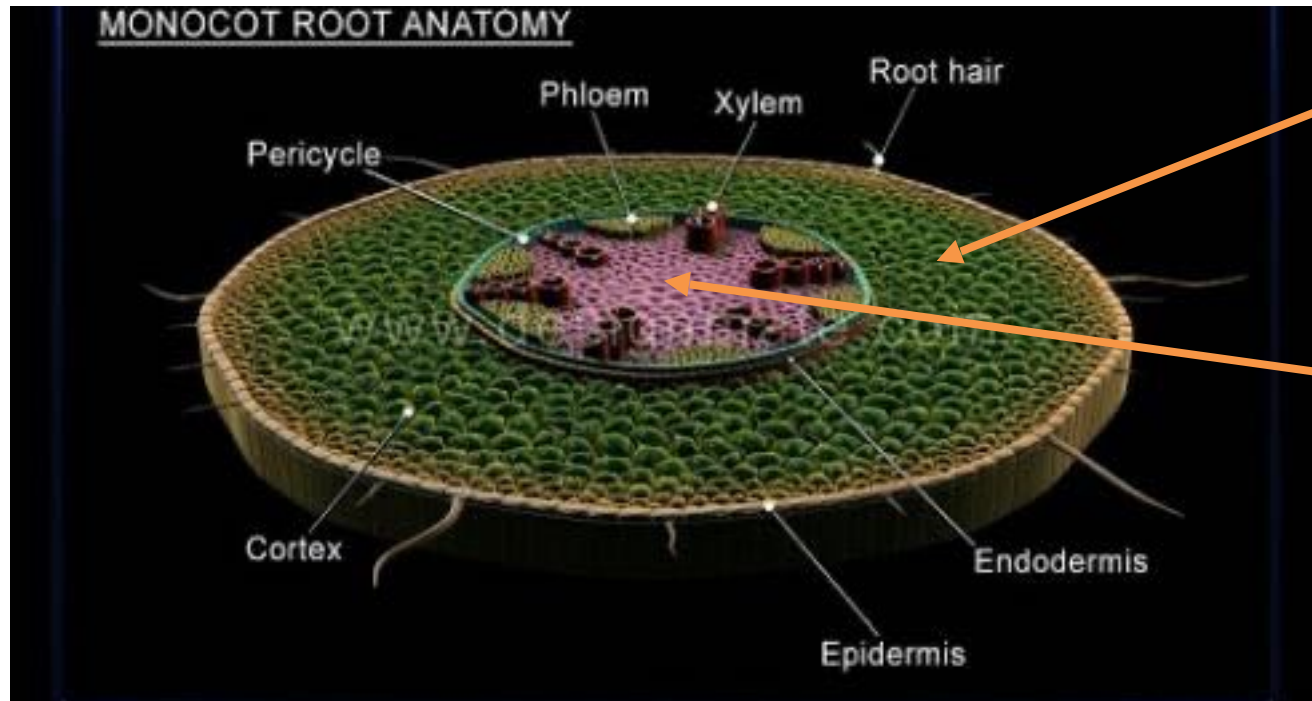
ENDODERMIDE - di origine primaria.

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.

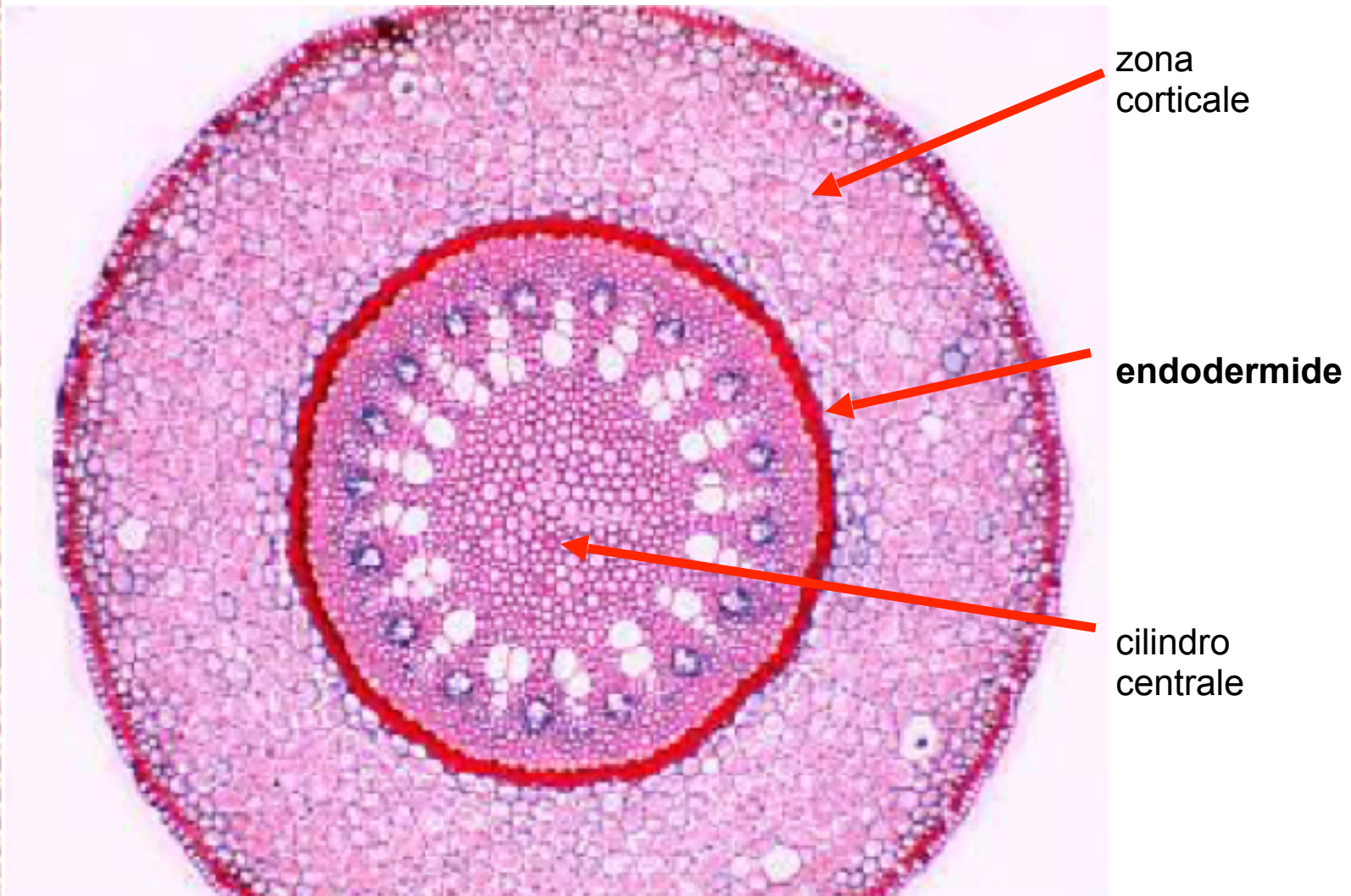
E' più agevole riconoscere l'endoermide nella radice in struttura primaria.

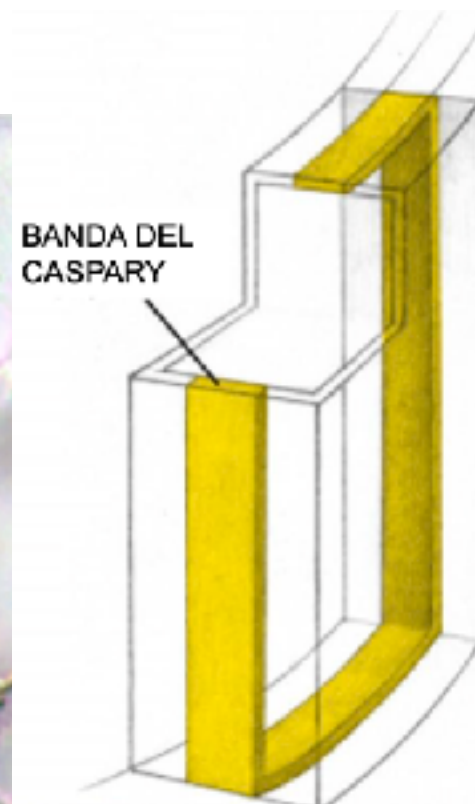
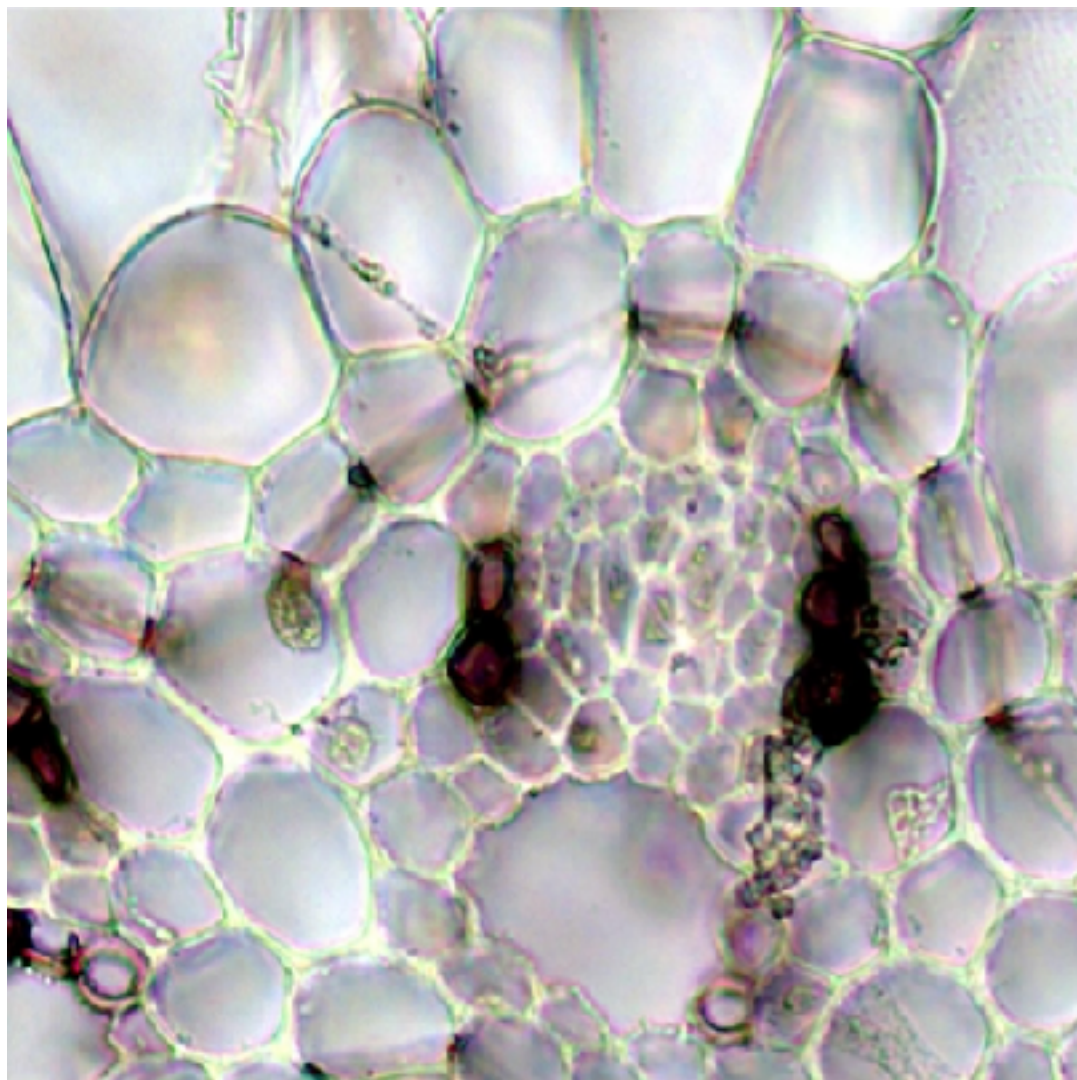


zona
corticale

cilindro
centrale

Sez. trasversale di radice in struttura primaria







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.

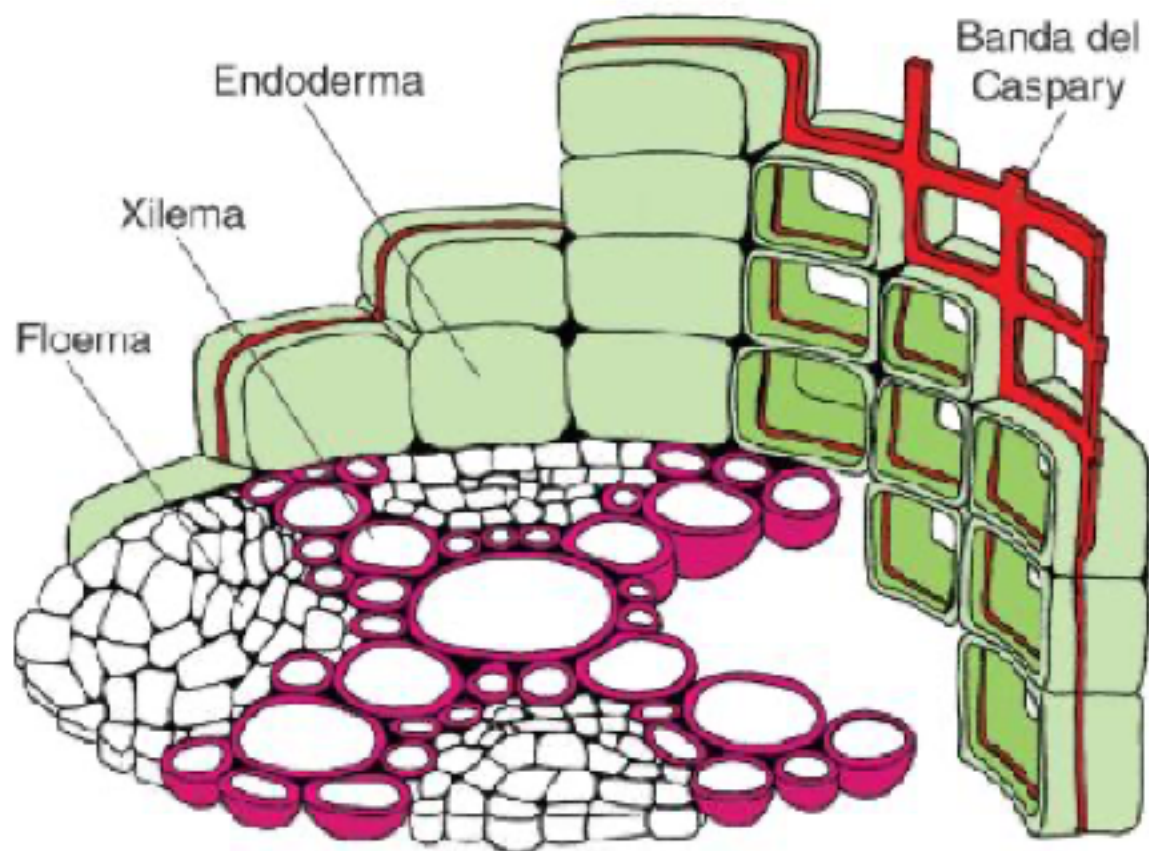
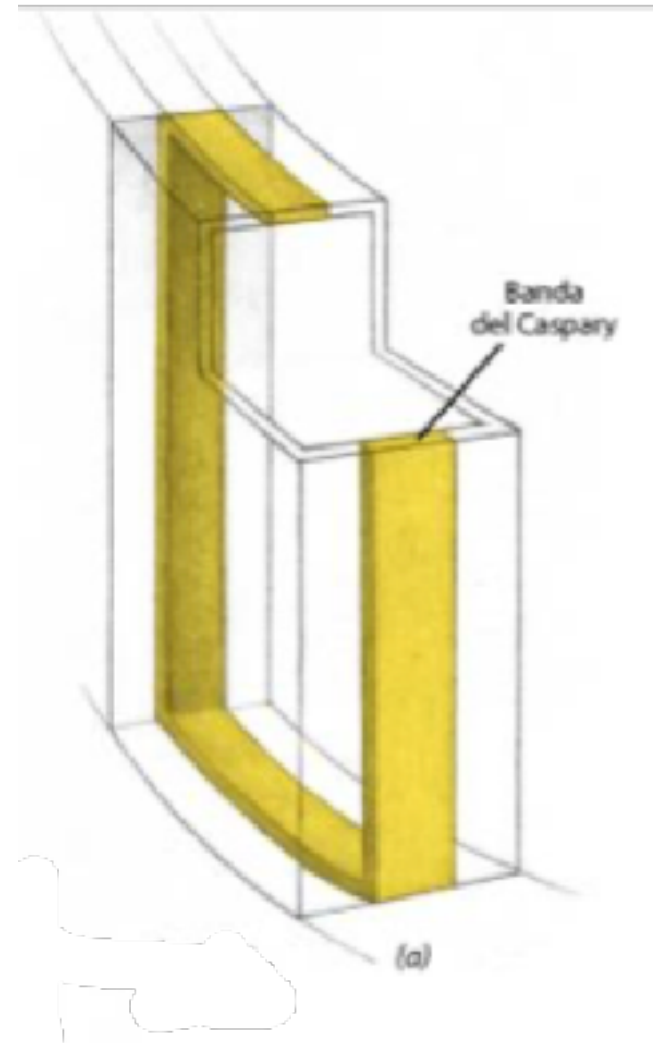


Figura 8.13

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

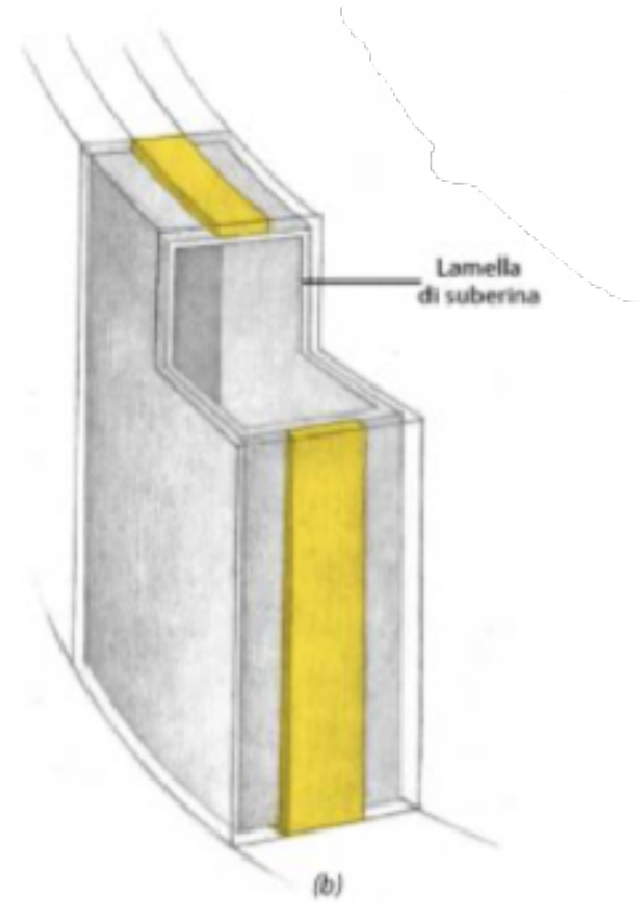


ENDODERMIDE PRIMARIA:
solo banda del Caspary:
suberina, a volte lignina



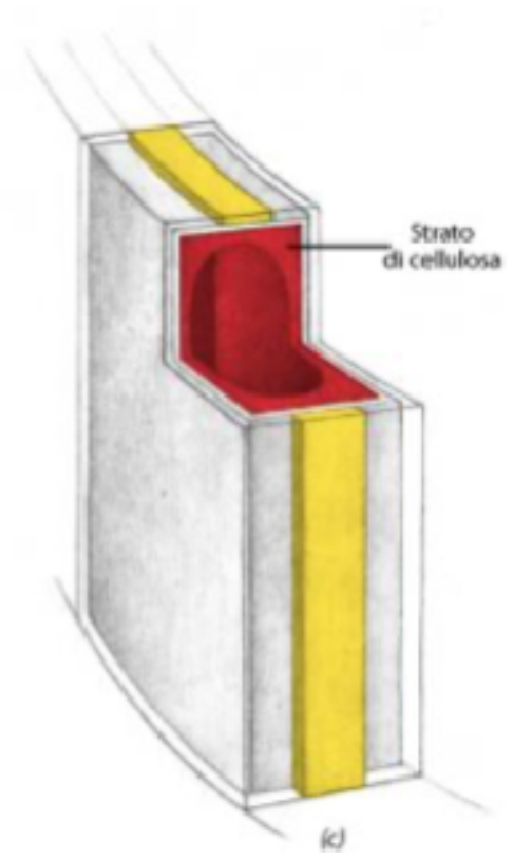


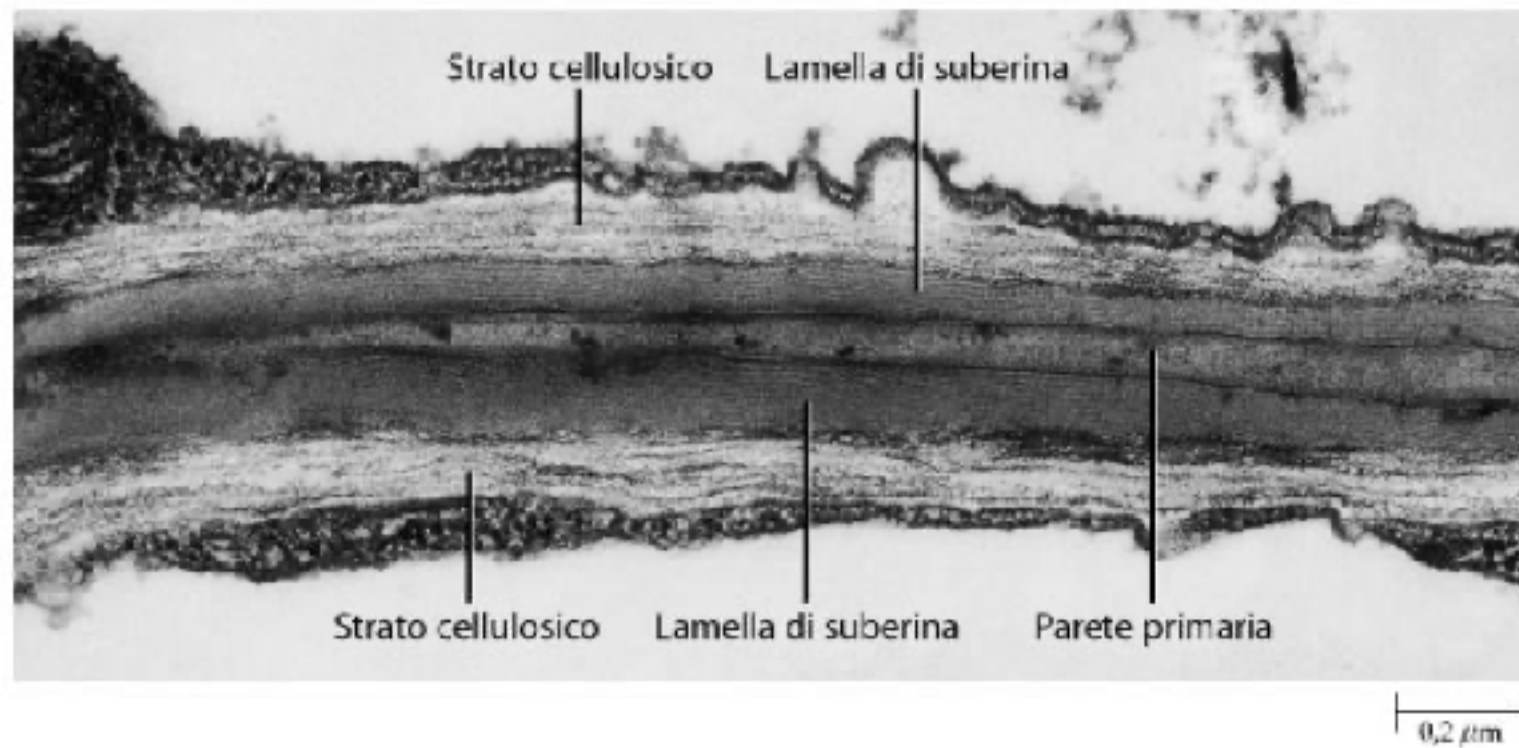
ENDODERMIDE SECONDARIA:
suberificazione diffusa di tutta la
parete

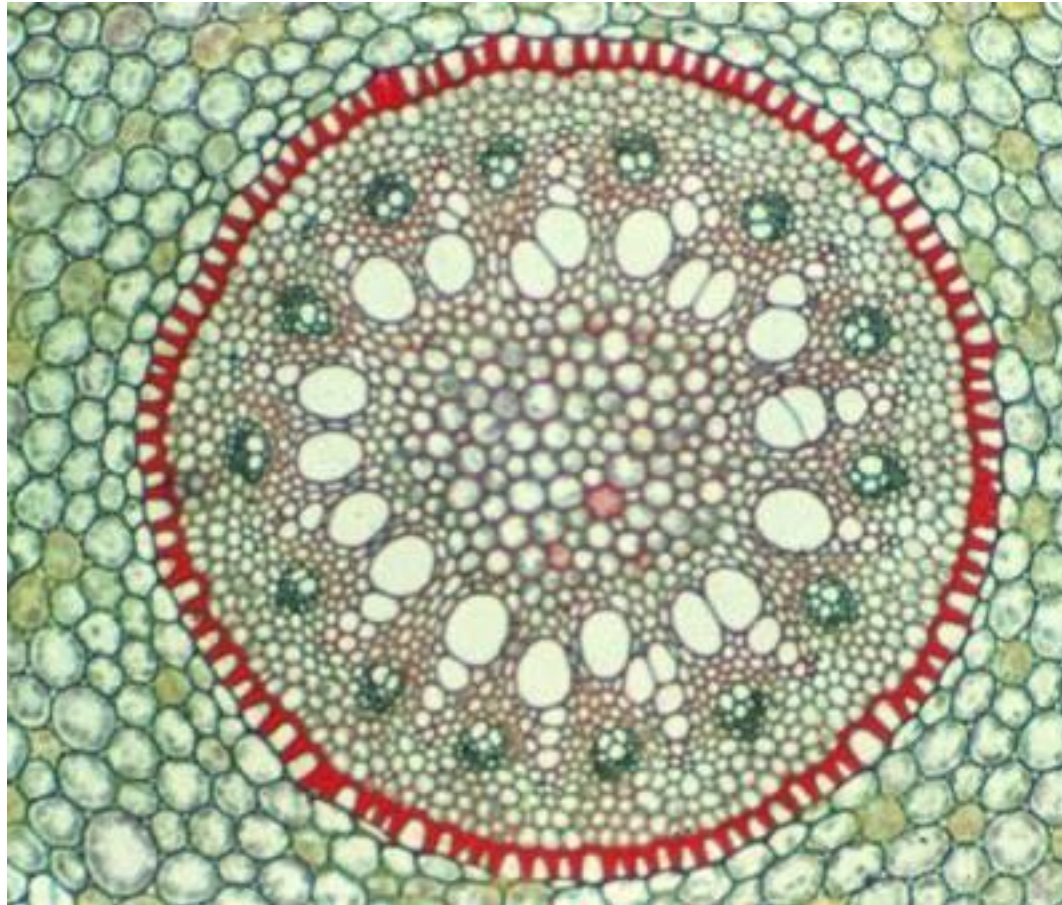




ENDODERMIDE TERZIARIA:
rinforzo di cellulosa su alcune
facce

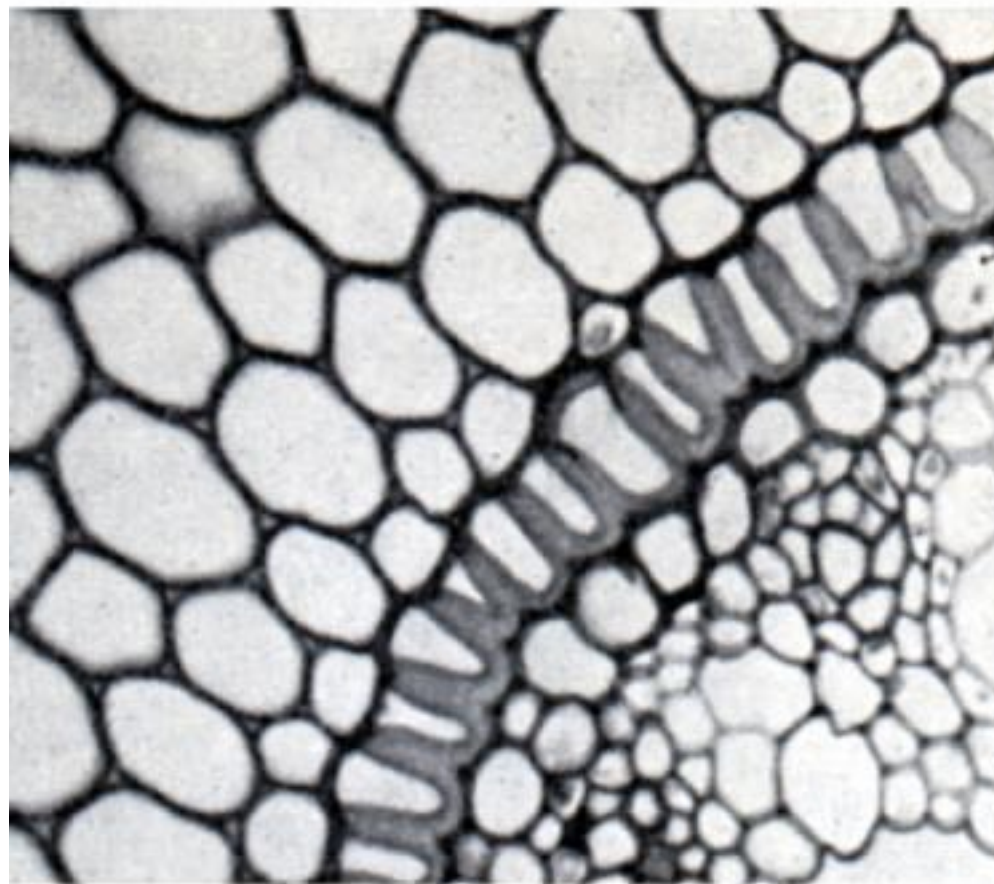






Sezione trasversale radice
di Monocotiledone (in
struttura primaria)





- 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)

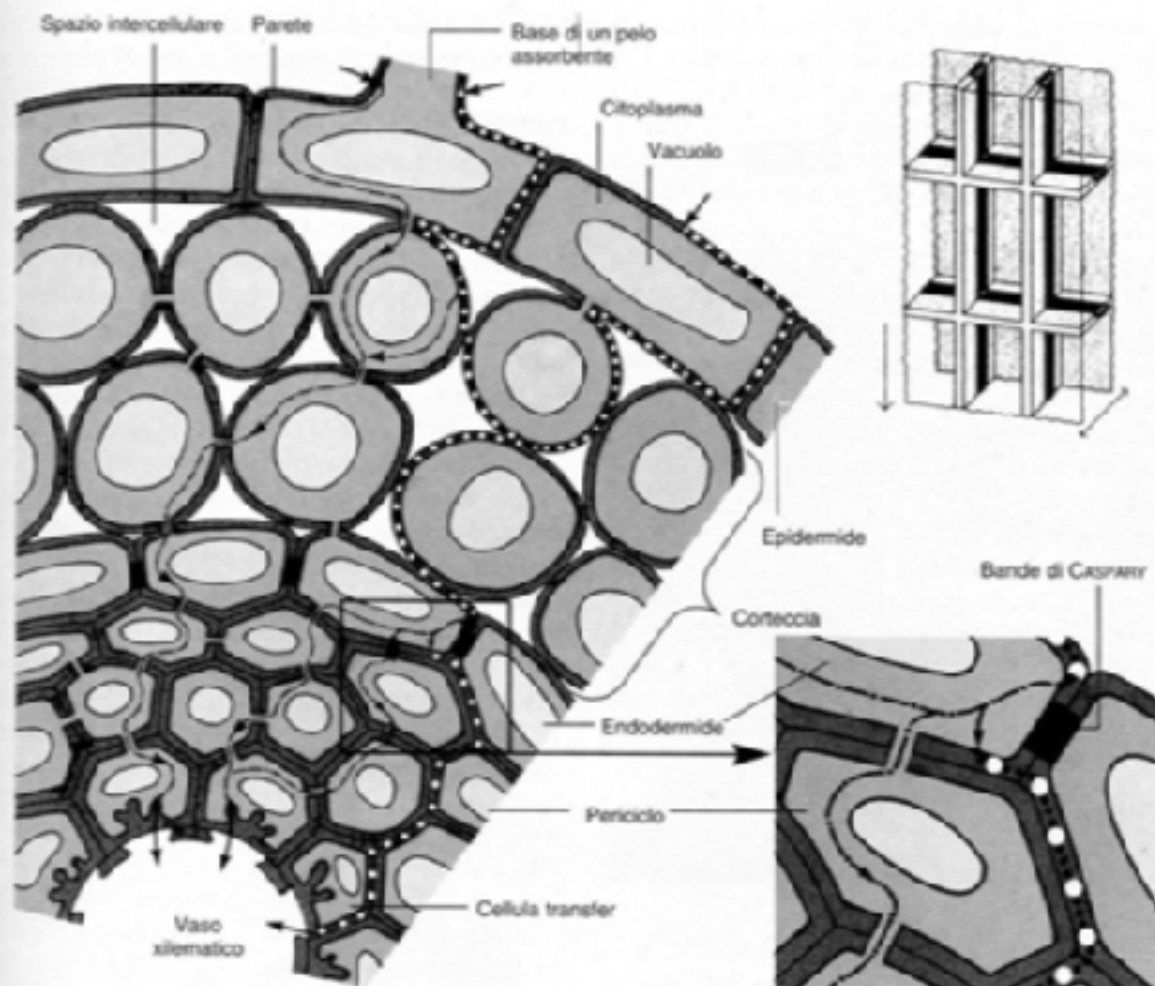
Sostanze potenzialmente dannose o inutili disciolte nell'acqua potrebbero quindi raggiungere il cilindro centrale per via apoplastica.



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.

eo. 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.

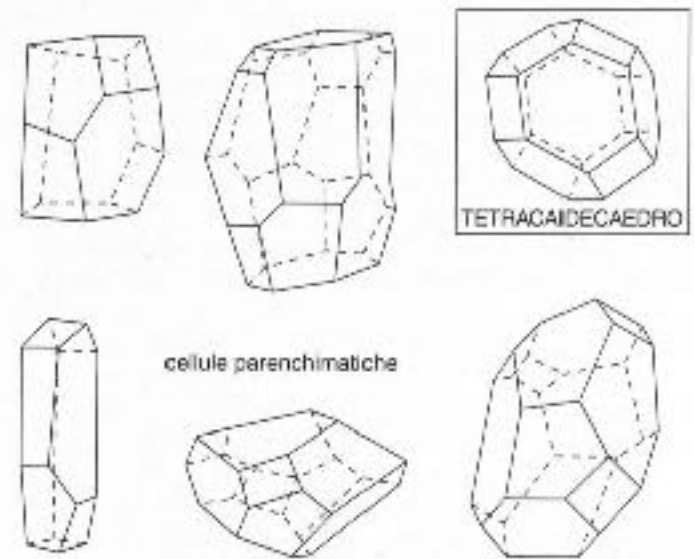
In ogni caso, le cellule dell'endodermide, sino a che restano vive, mantengono la capacità di veicolare acqua e soluti per via sinplastica tramite i loro plasmodesmi. Infatti, anche se la parte delle radici più attiva nell'assorbimento di acqua e soluti sono quelle vicine agli apici in attivo accrescimento, 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



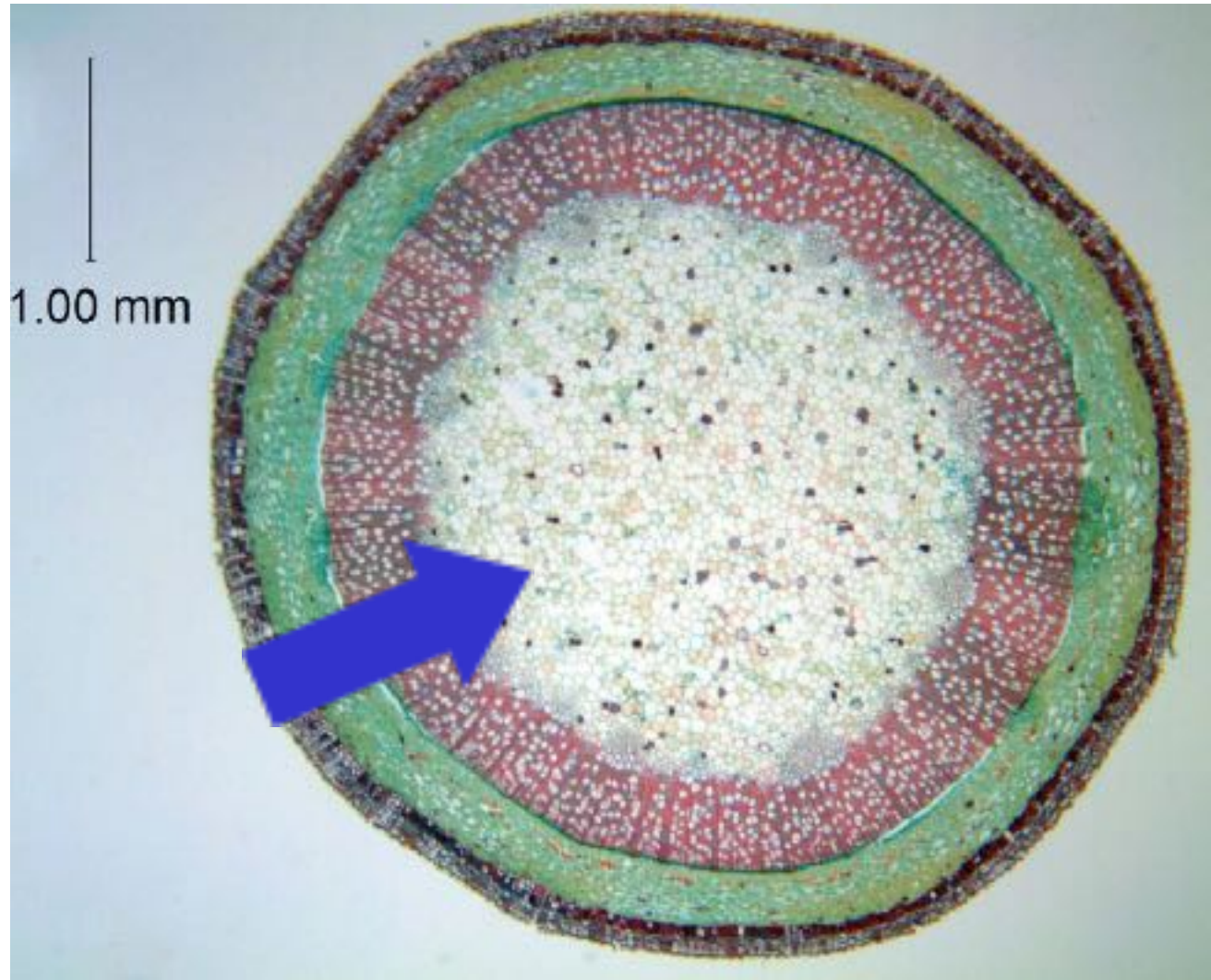
Molte cellule parenchimali (per esempio quelle del midollo di un fusto) appaiono circolari se viste in sezione. Questo farebbe pensare a una forma sferica, invece la forma più comune è quella poliedrica. Il poliedro a cui si avvicinano di più le cellule parenchimali è il tetraicaidecaedro, un poliedro 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.



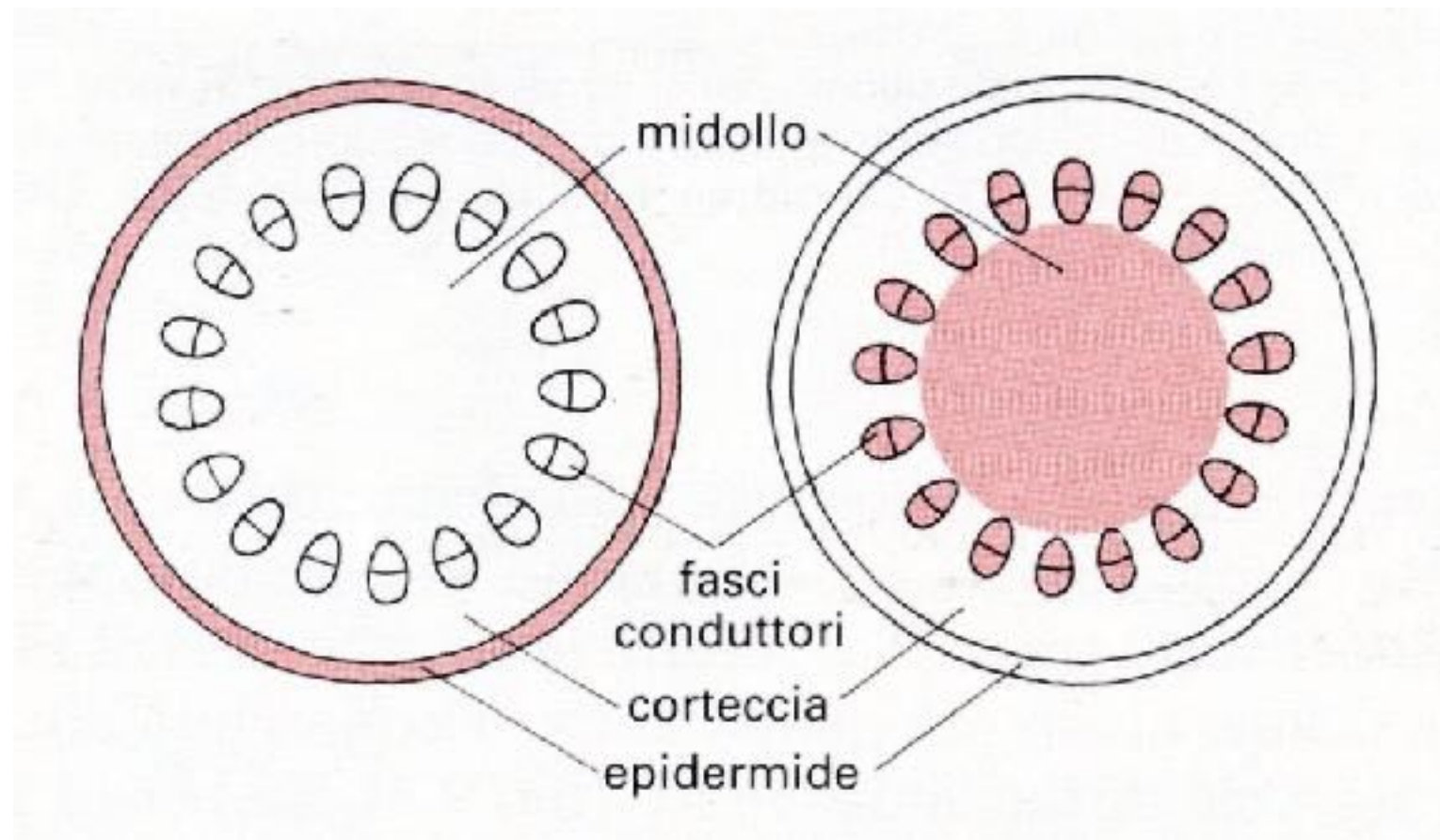
Le cellule parenchimatiche sono coinvolte nella fotosintesi, nell'accumulo di riserve e nella secrezione, attività che sono possibili solo con un **protoplasto vivente**. In base alla loro funzione, possiamo riconoscere diversi tipi di parenchimi. Essenziale è osservare la presenza di plastidi (**cloro-**, **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

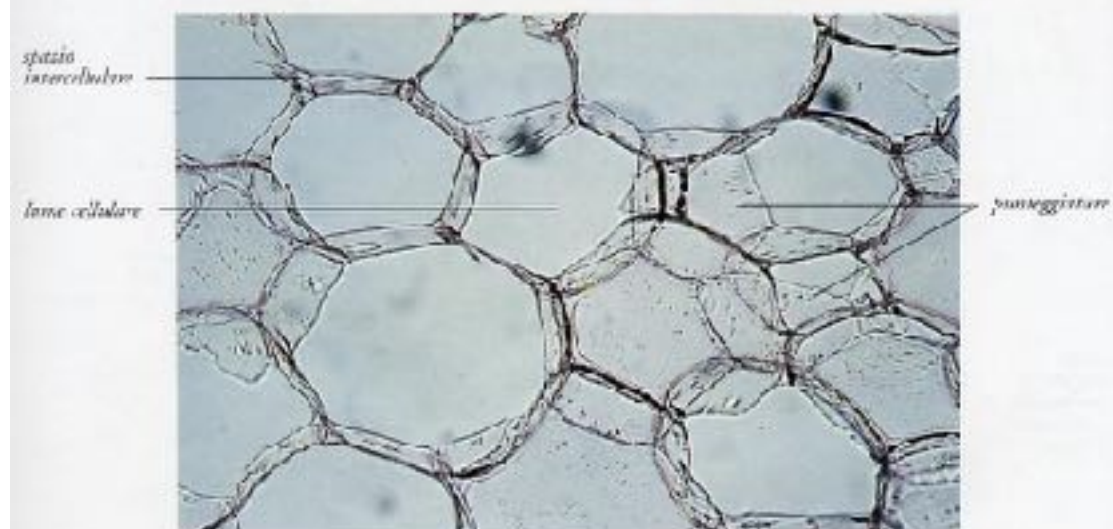


Sezione trasversale del fusto di sambuco (*Sambucus nigra*)





Sambucus nigra L.

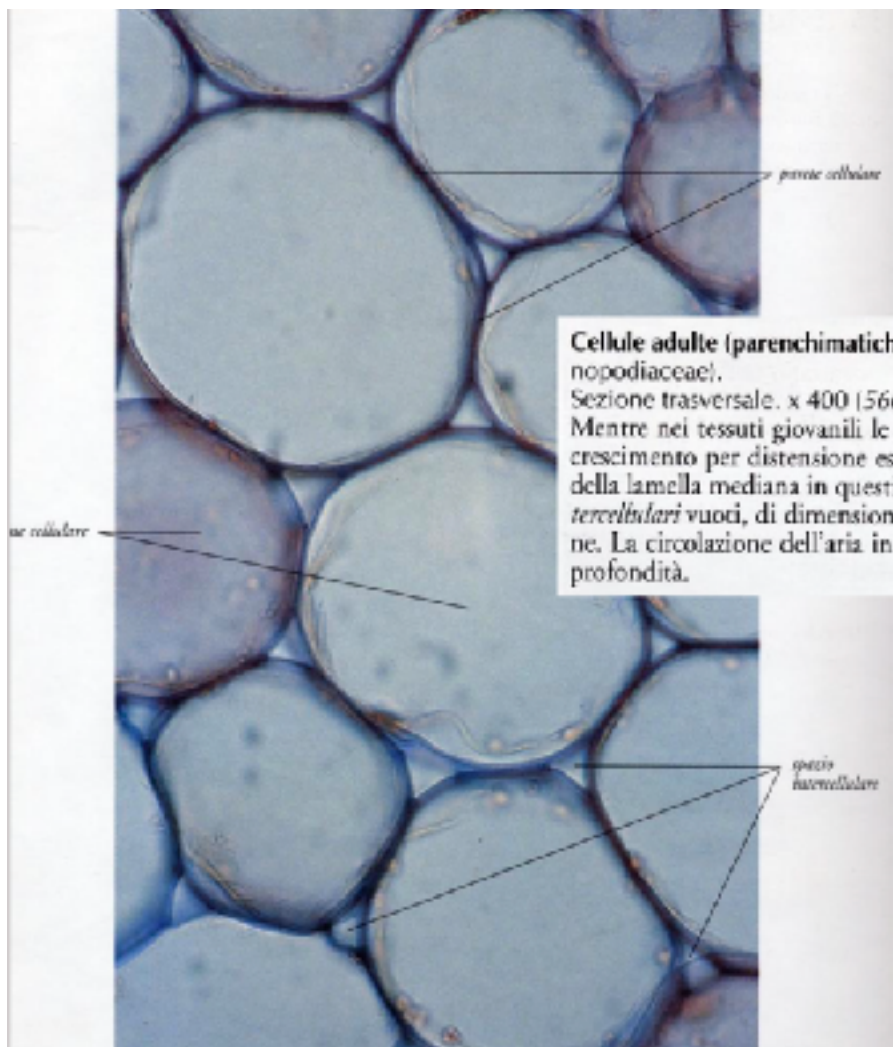


Parenchima nel midollo del fusto di sambuco (*Sambucus nigra* L., fam. Caprifoliaceae).

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

La parete delle cellule parenchimatiche 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'intelaiatura delle sole pareti cellulari. In vivo, invece, questo tessuto parenchimatico 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.



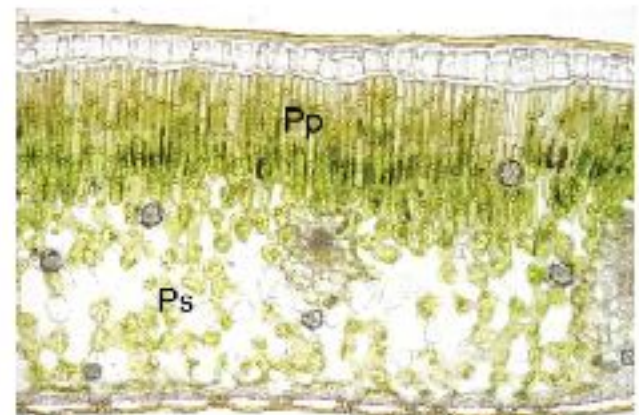
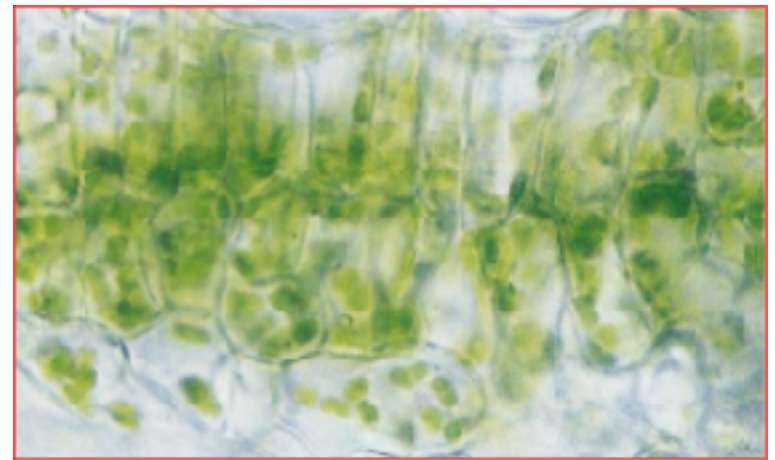
CLORENCHIMI (parenchimi di assimilazione)

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 definita deputato all'assimilazione fotosintetica, è spesso distinto in due tipi:

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

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



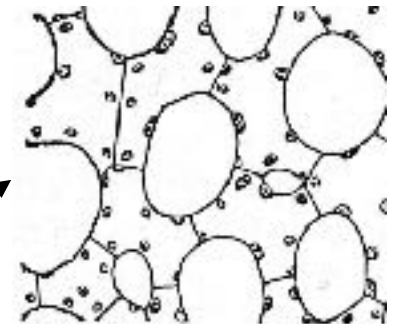
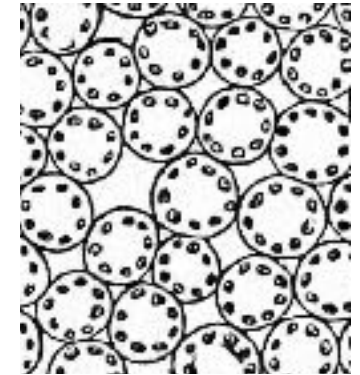
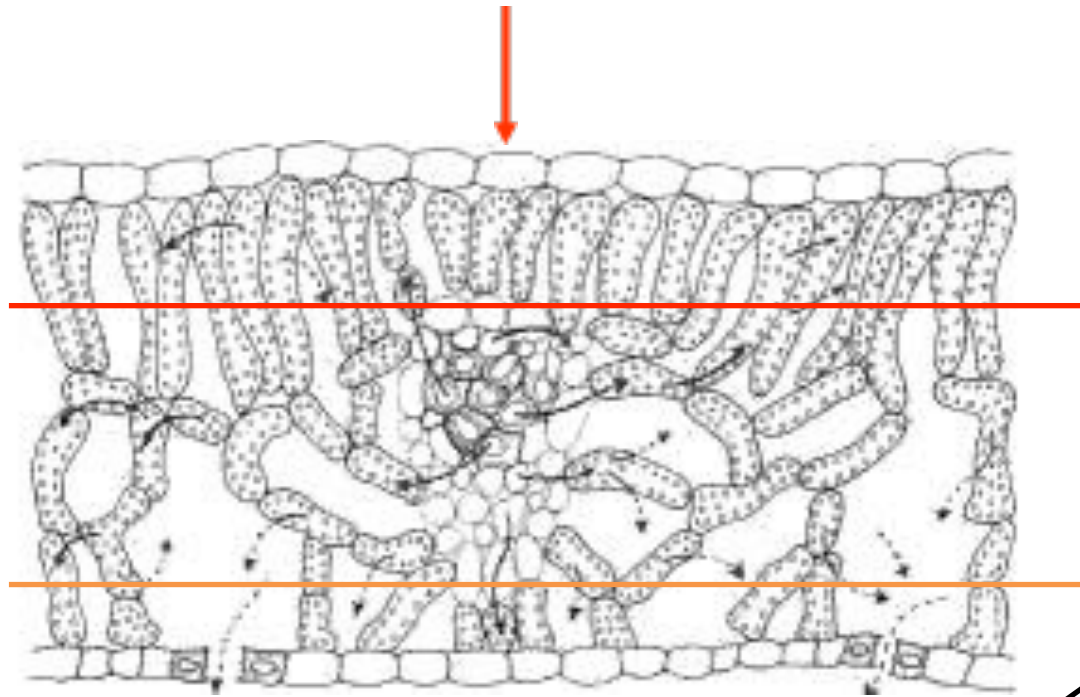


Il "**tessuto a palizzata**" ha cellule fortemente appressate, molto ricche in cloroplasti, di forma allungata in direzione perpendicolare alla superficie esterna della foglia.

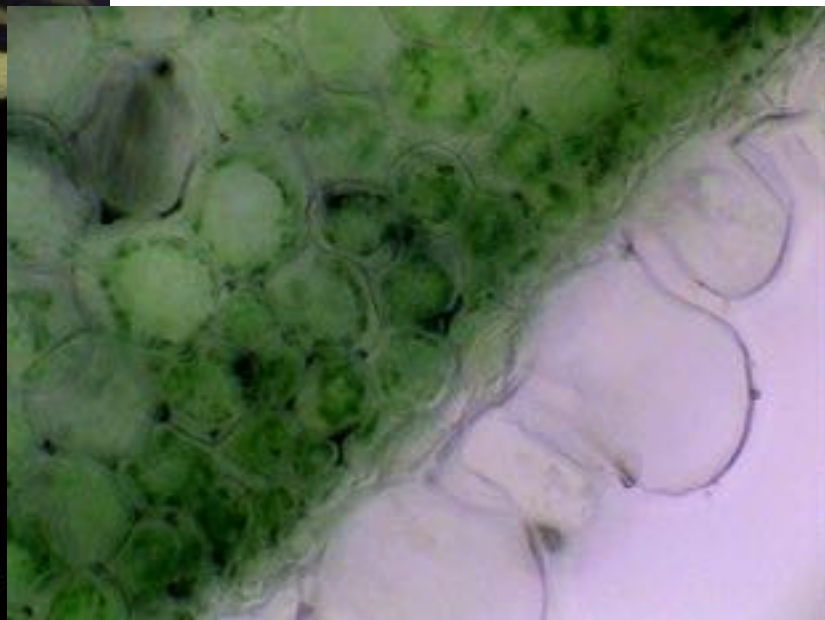
Il "**tessuto lacunoso**" (o "spugnoso") ha cellule molto più lasse e disposte in varie direzioni, con spazi aeriferi molto sviluppati, che sono in diretto contatto con le camere sottostomatiche.

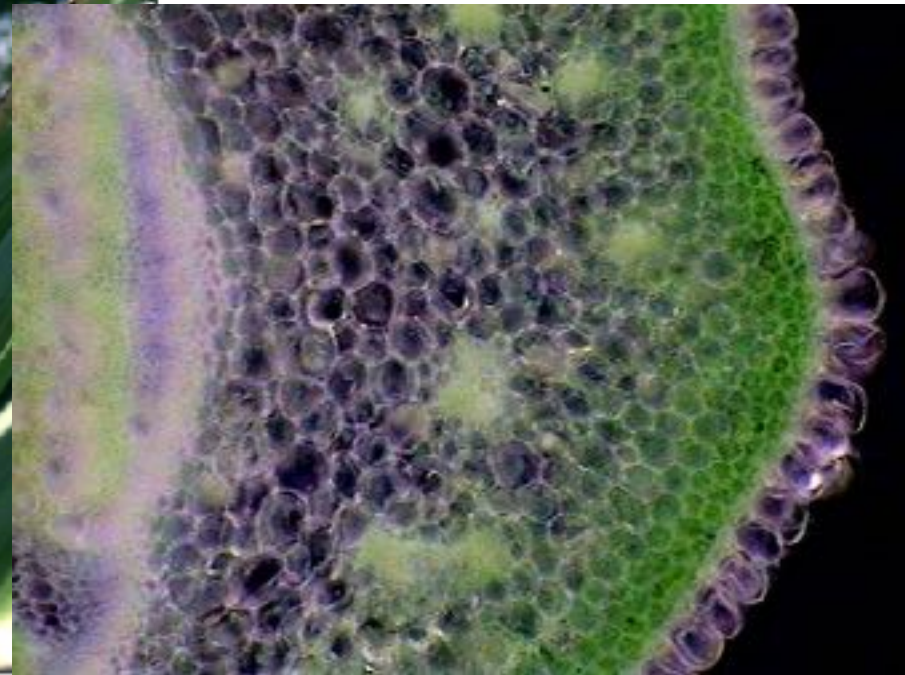


Sezione trasversale di una foglia dorsiventrale



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







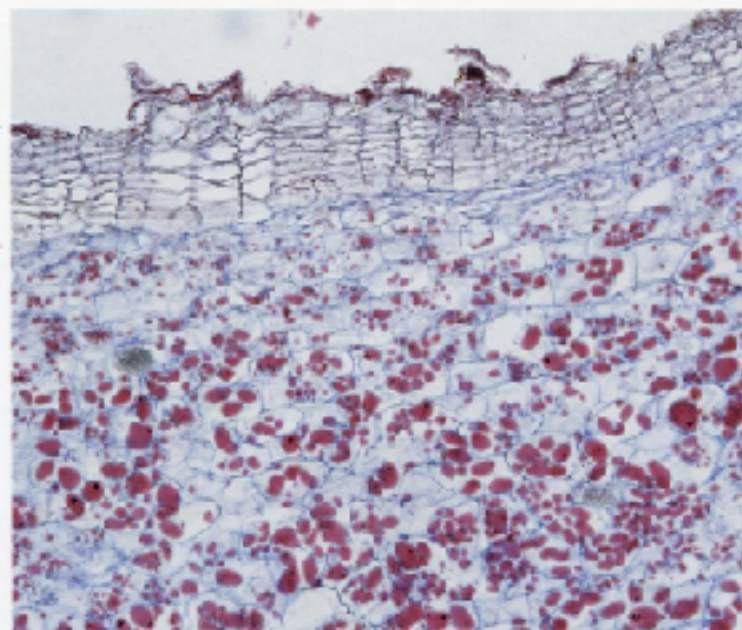
PARENCHIMA DI RISERVA

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.

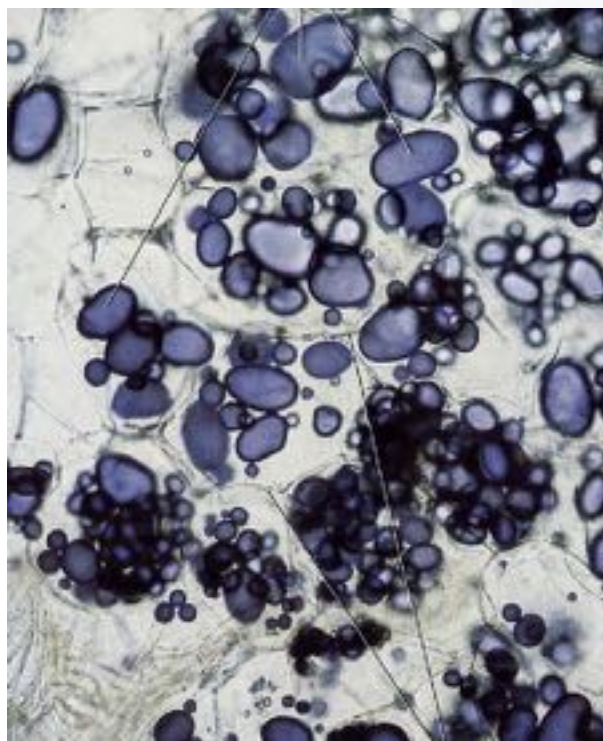
Le cellule contengono granuli di amido (negli amiloplasti), cristalli di proteine (nei proteoplasti), e olii grassi (negli oleosomi).



sclerenchima



parenchima
di riserva
con amido
secondario



Parenchima di riserva amilifero nel tubero di patata (*Solanum tuberosum* L., fam. Solanaceae).
Sezione trasversale, x 100 (700)

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.

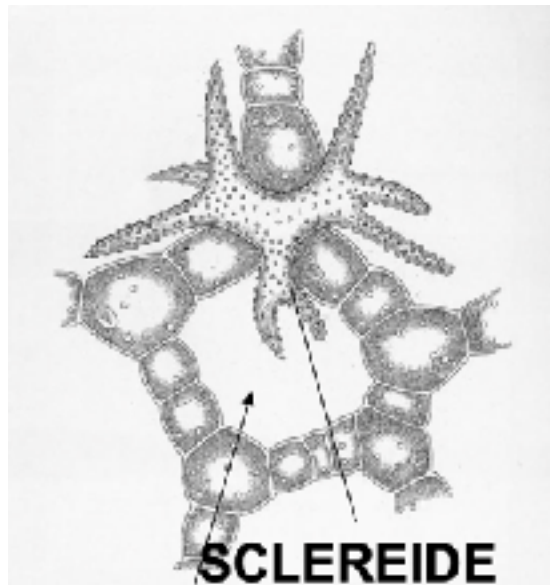
AERENCHIMI (tessuti aeriferi)

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).

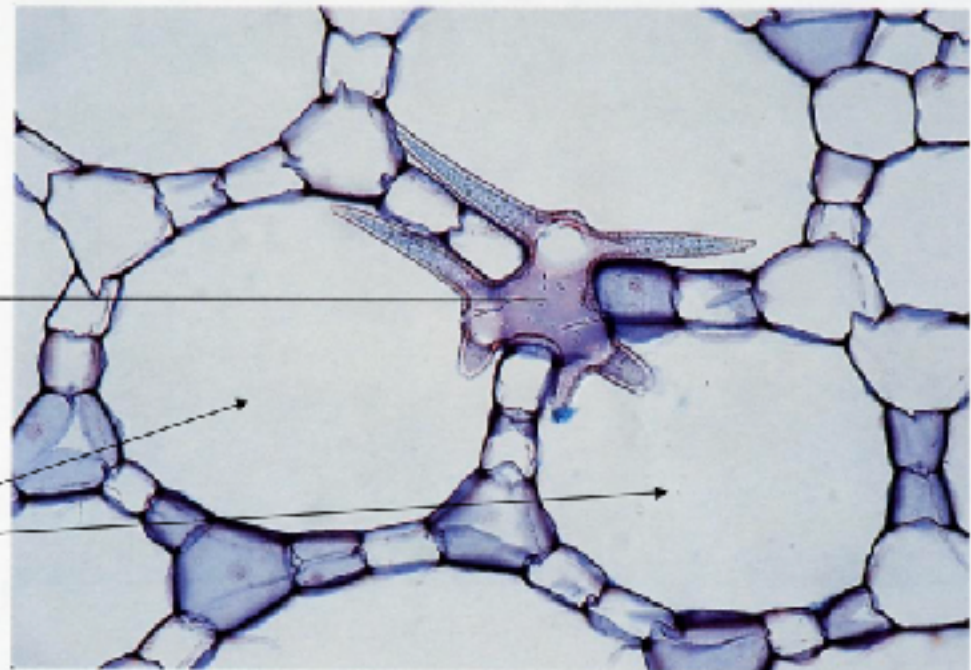


Un ricetto plasmato
flessibile collega la
foglia alla radice ancorata
nel fondo acquatico

AERENCHIMI



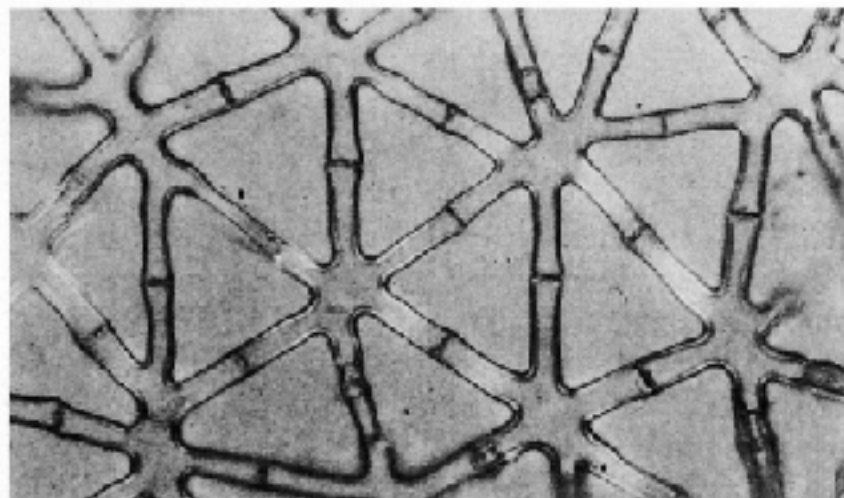
SPAZI BEANTI



Parenchima aerifero nel picciolo di ninfea (*Nymphaea* L., fam. Nymphaeaceae).

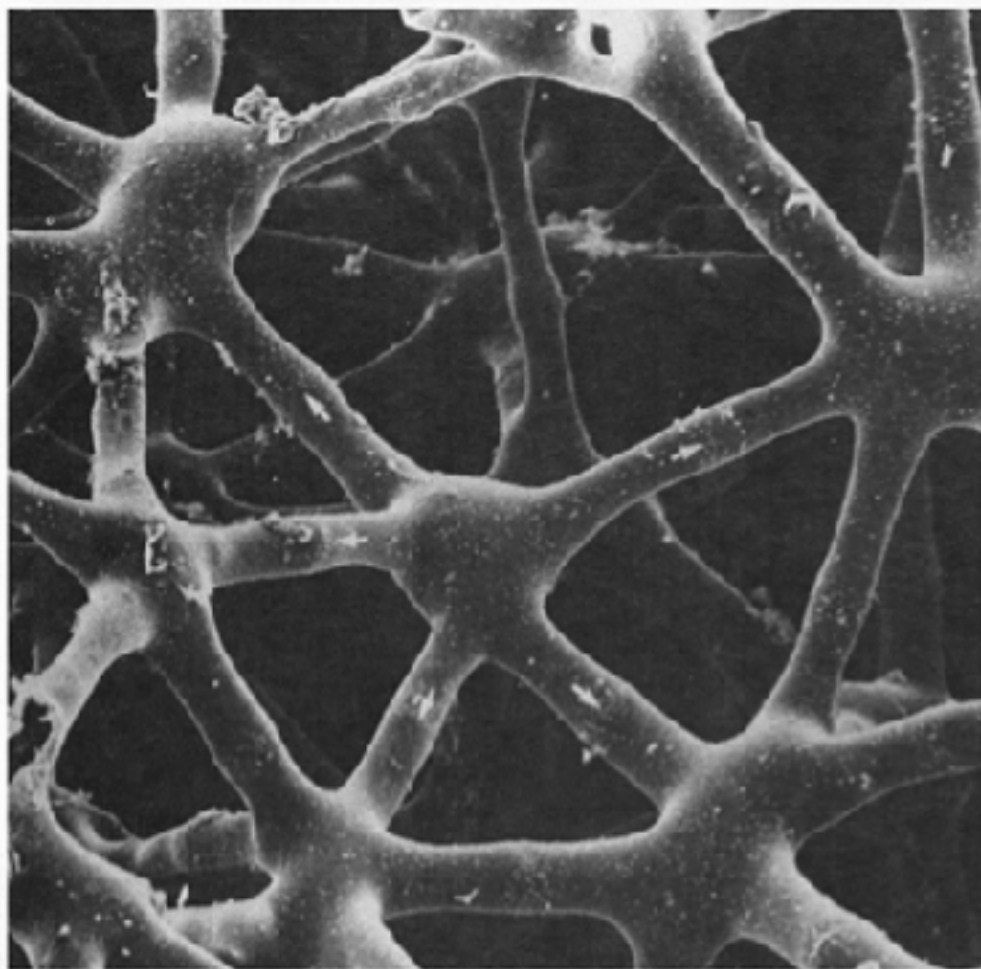
Sezione trasversale. x 100 (80); x 200 (160)

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).

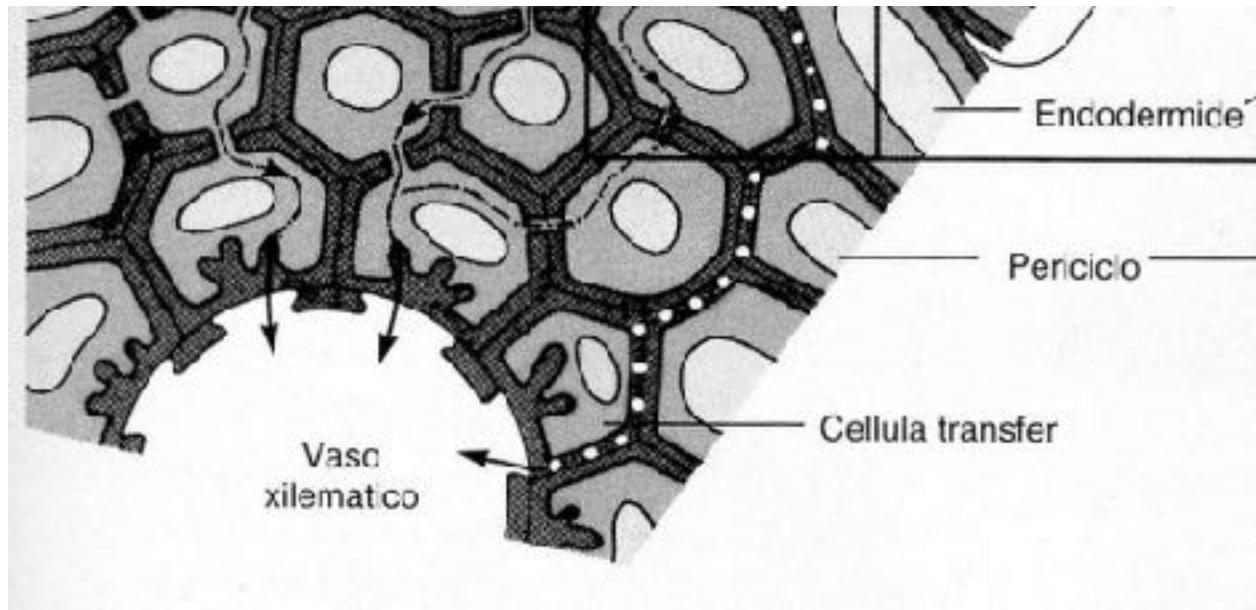




Parenchima aerifero del midollo di giunco visto al microscopio a scansione. Le cellule hanno la forma di stelle unite fra loro attraverso le braccia (le frecce indicano la zona di congiunzione). Ne risulta un tessuto spugnoso con larghissimi spazi pieni d'aria fra una cellula e l'altra.

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.



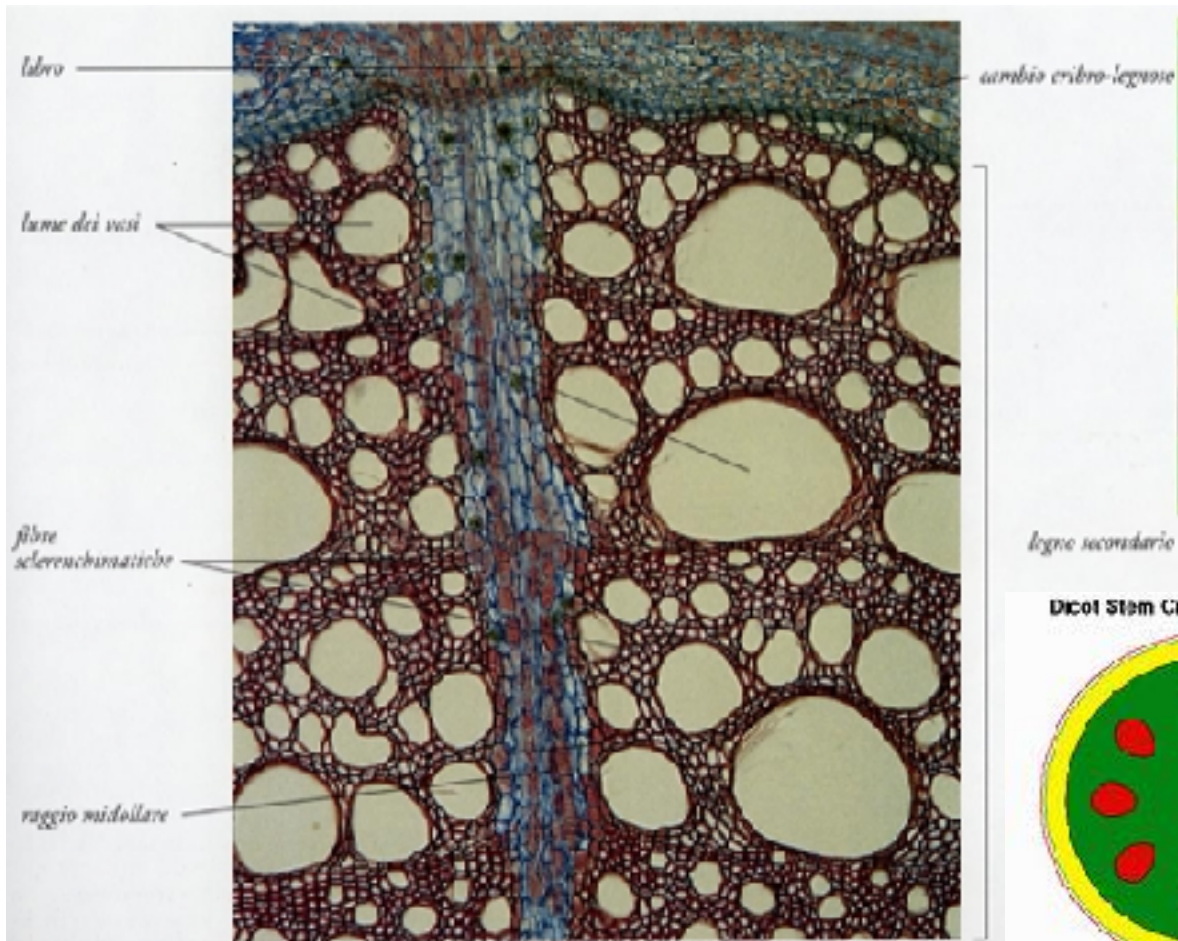
PARENCHIMA CONDUTTORE (o LEGNOSO)

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.

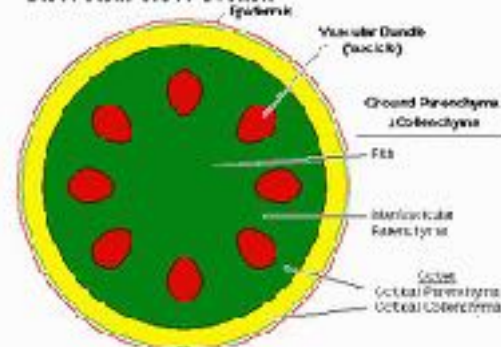
Nello xilema queste cellule parenchimatiche sono organizzate in file longitudinali e orizzontali (raggi parenchimatici), a costituire una maglia tridimensionale per il deposito di sostanze di riserva e di acqua.

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



legno secondario

Dicot Stem Cross Section



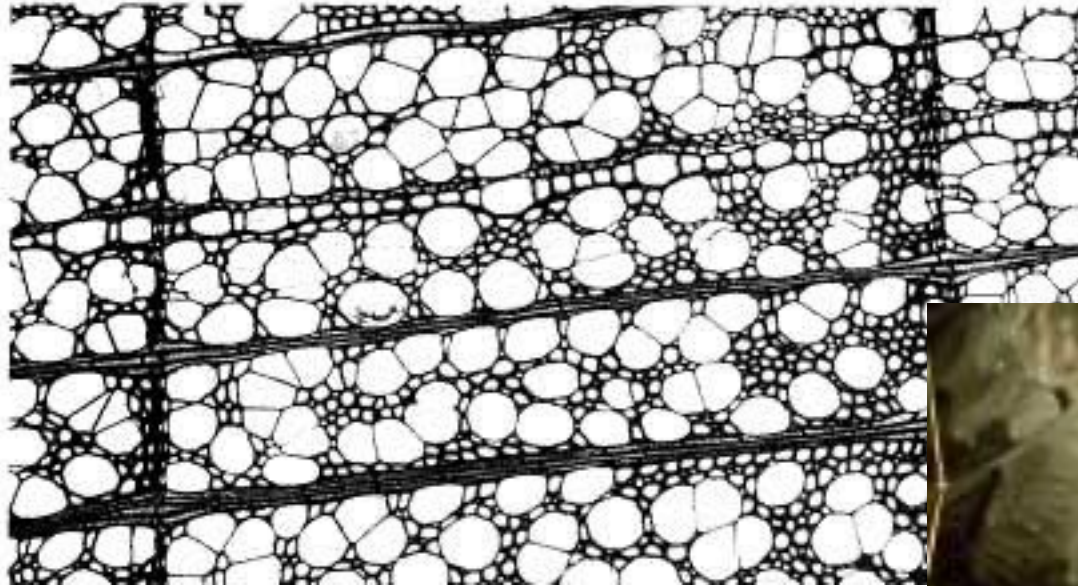
Fusto di aristolochia (*Aristolochia* L., fam. Aristolochiaceae).

Sezione trasversale, x 100 (80)

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

Diffuse-porous hardwood

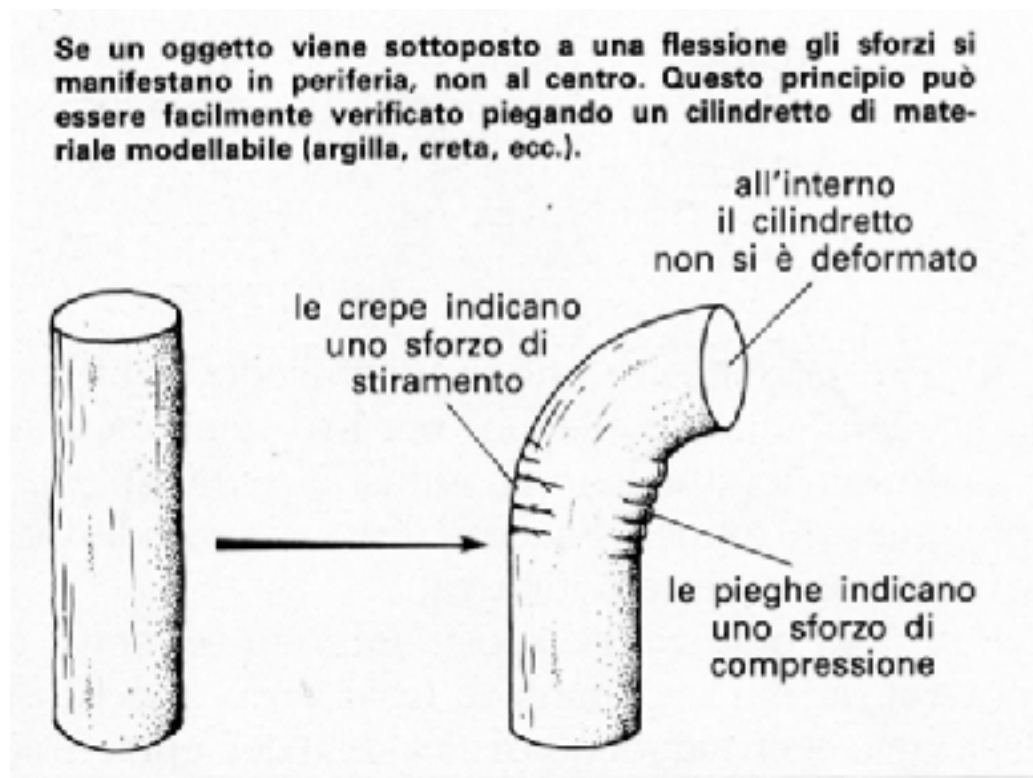
Transverse view of yellow poplar (*Liriodendron tulipifera*). x80



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).

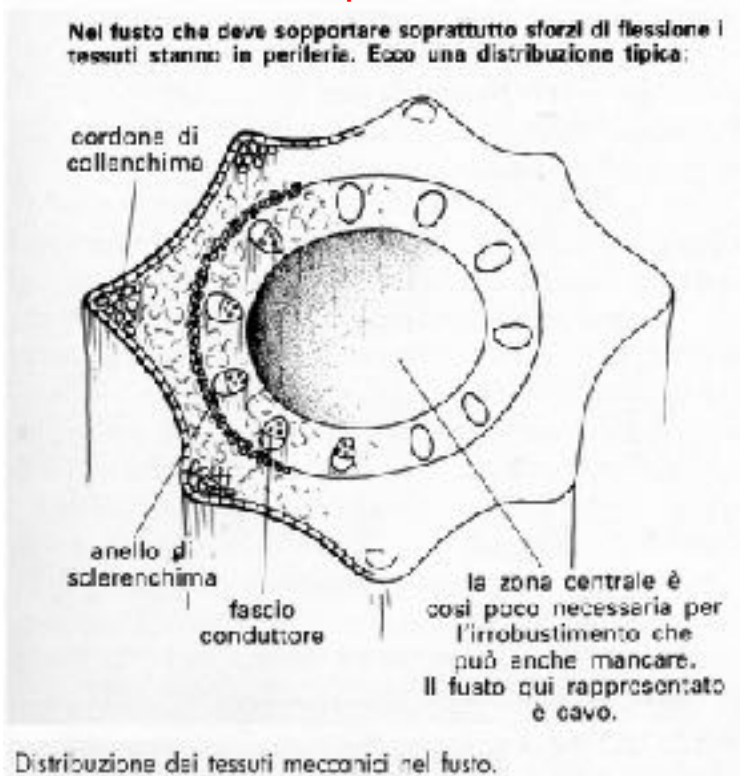


I tessuti meccanici o di sostegno sono due:

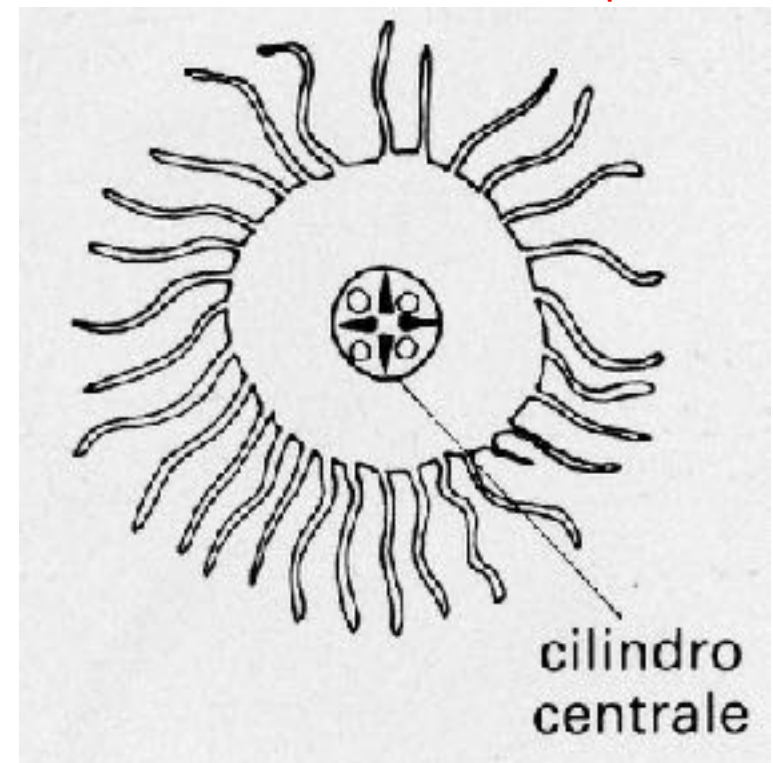
- **COLLENCHIMA**
- **SCLERENCHIMA**

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.

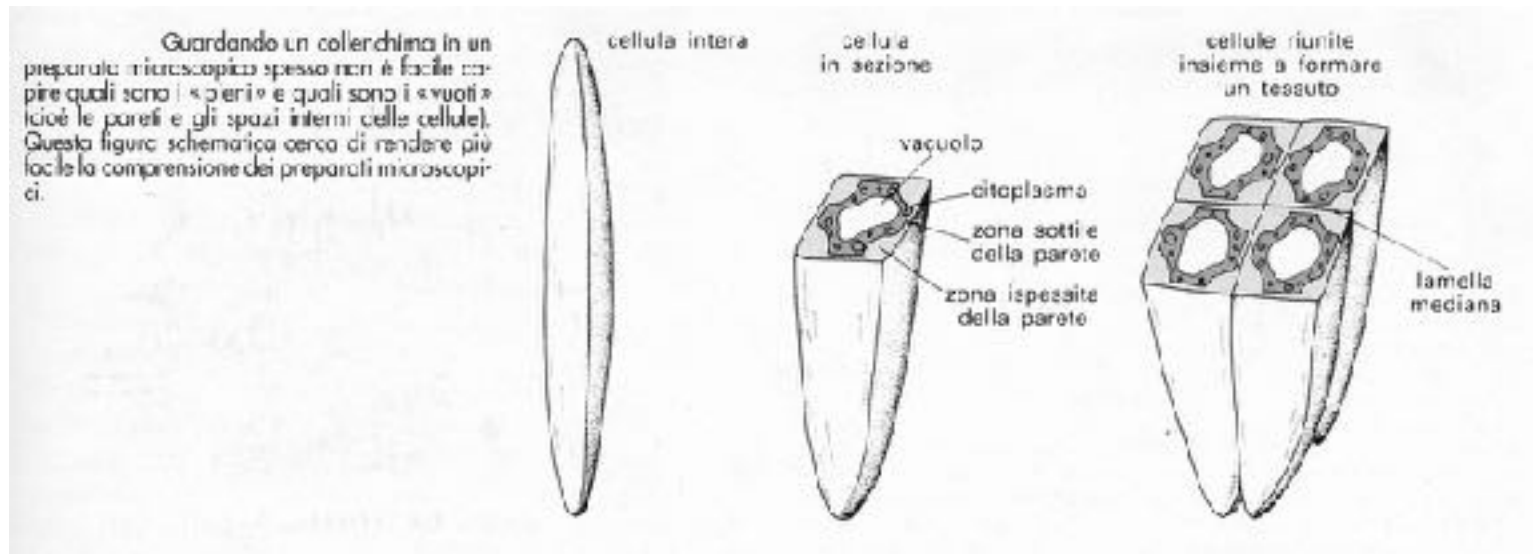
Presentano una **parete ispessita**, in genere in maniera irregolare formata da **lamelle di cellulosa** alternate a **lamelle di sostanze pectiche**, **non lignificata**, estensibile.

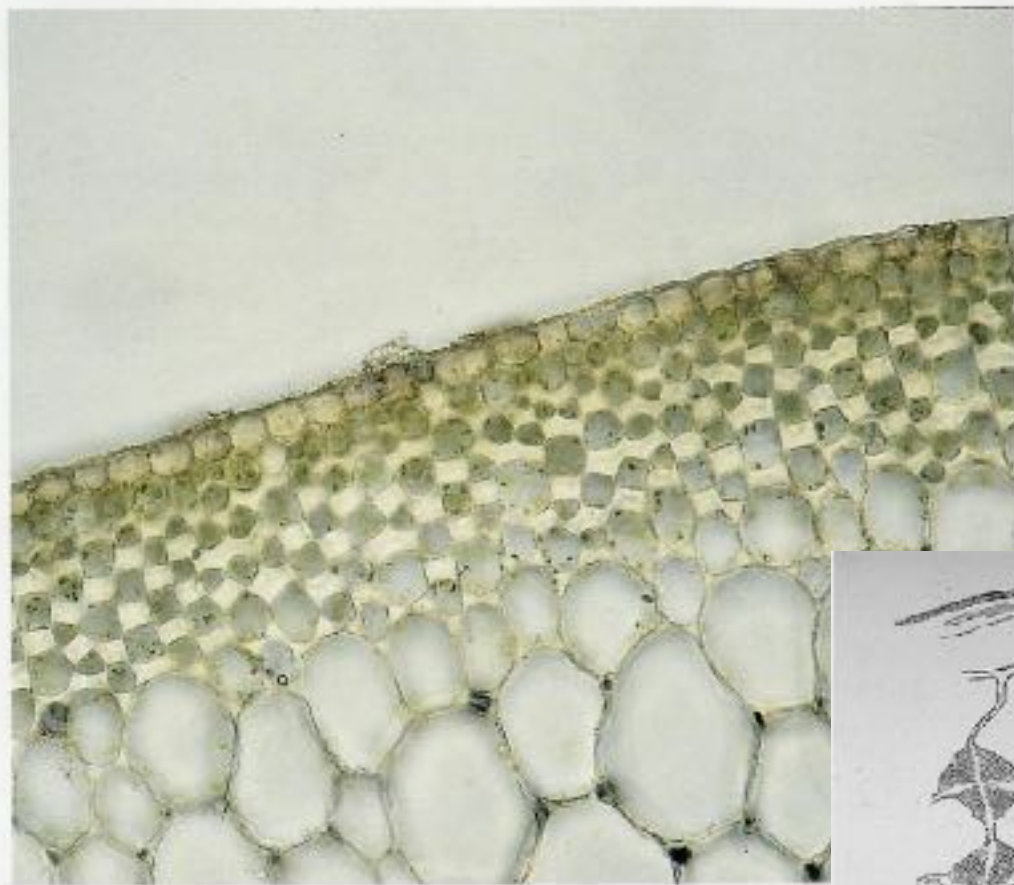
In base alla forma degli ispessimenti, è possibile riconoscere tre tipi fondamentali di collenchima:

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

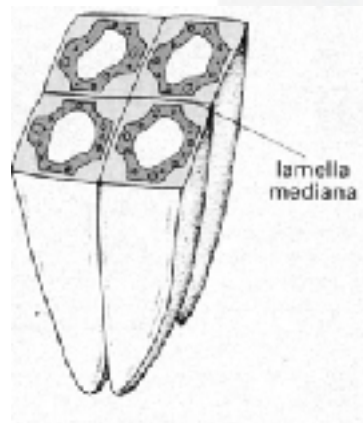
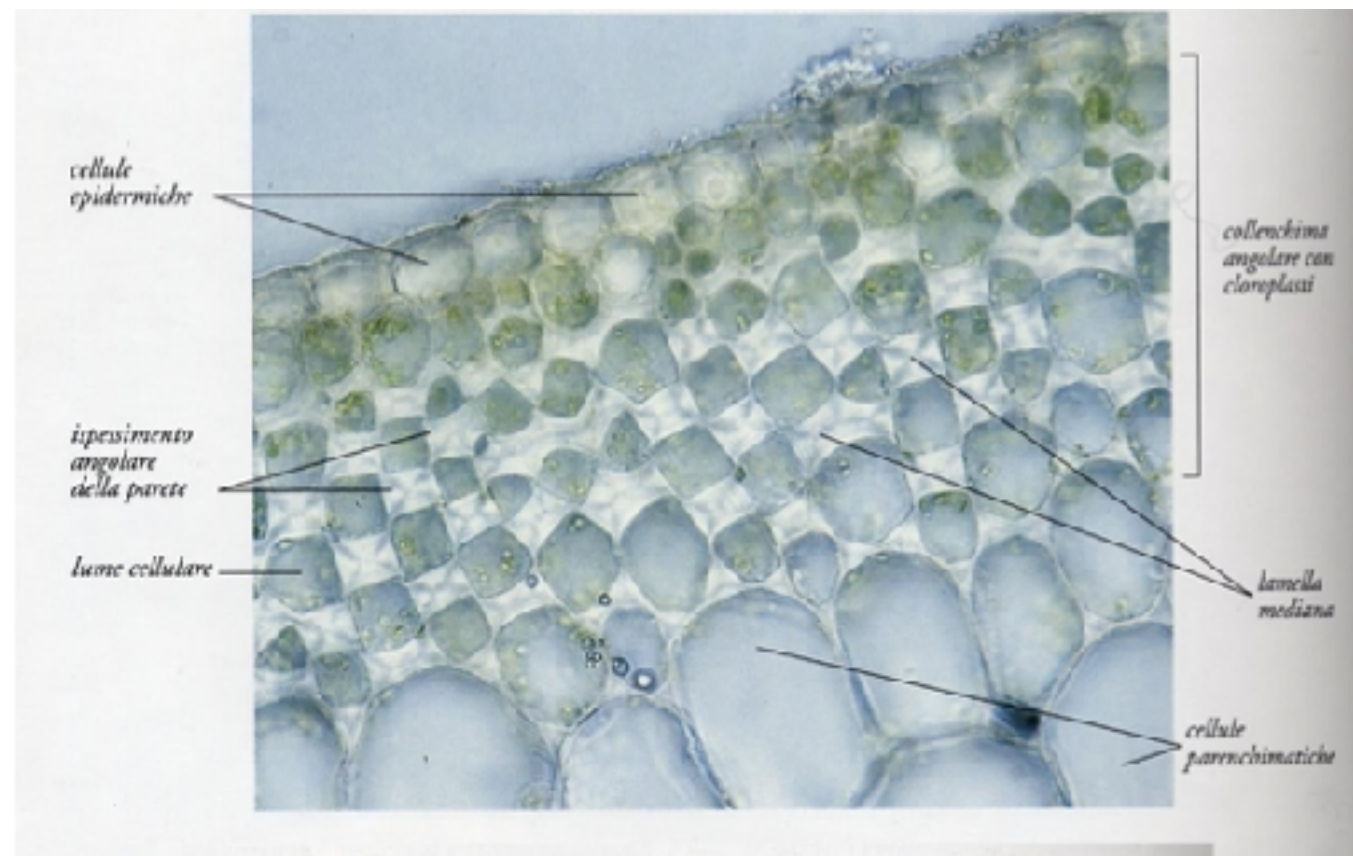
COLLENCHIMA ANGOLARE.

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





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



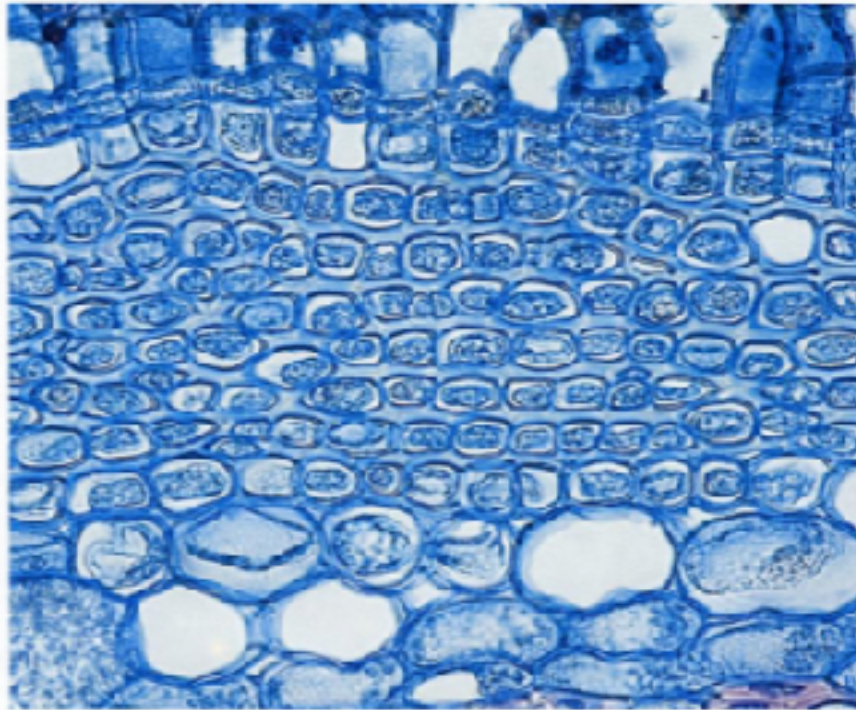
Collenchima angolare nel picciolo di ninfea (*Nymphaea alba* L., fam. Nymphaeaceae).

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.

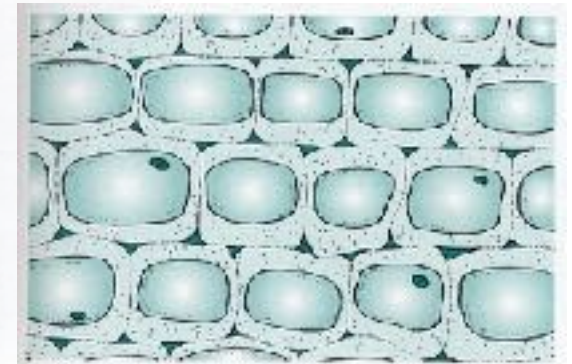
Gli ispessimenti interessano singole pareti, in genere quelle tangenziali alla superficie esterna dell'organo in cui il tessuto si differenzia.



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.

strati di
collenchima
lamellare



collenchima lamellare



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**).

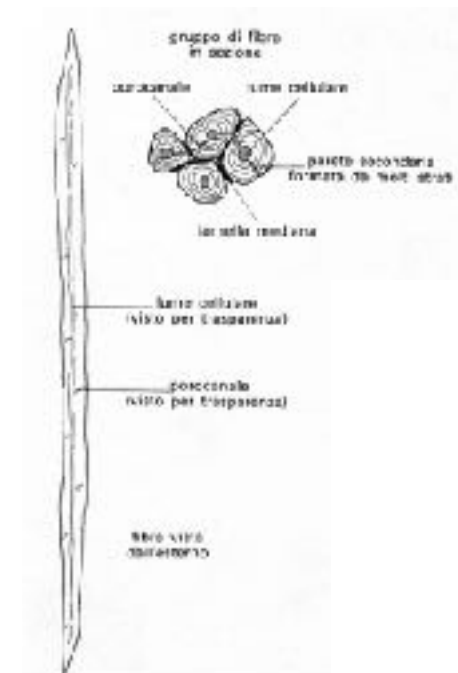
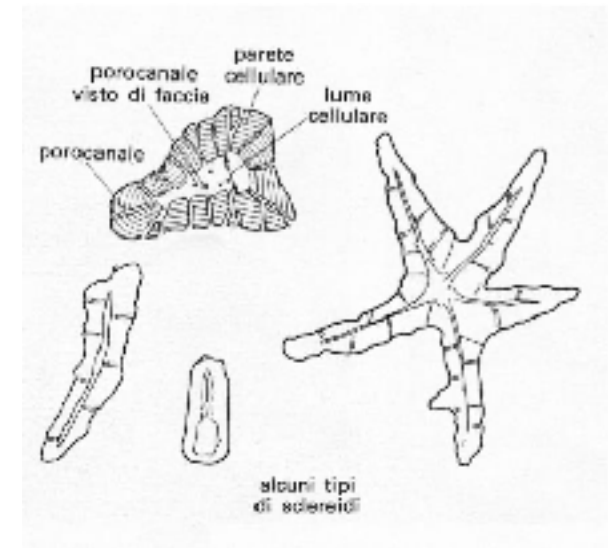


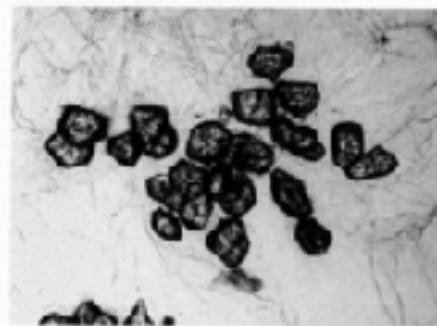
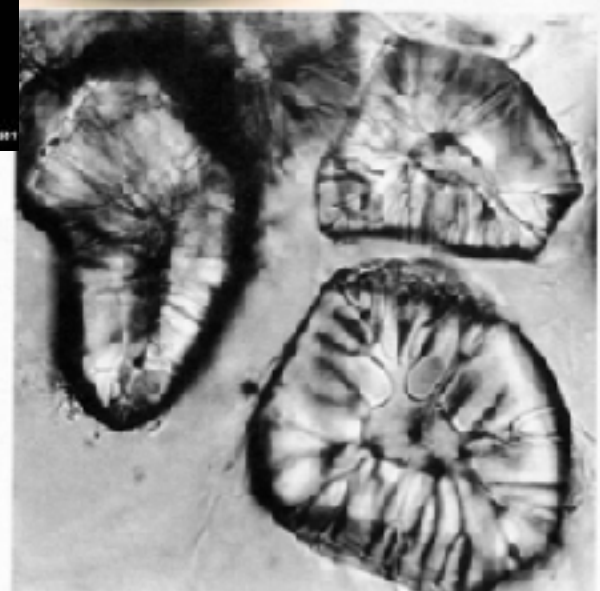
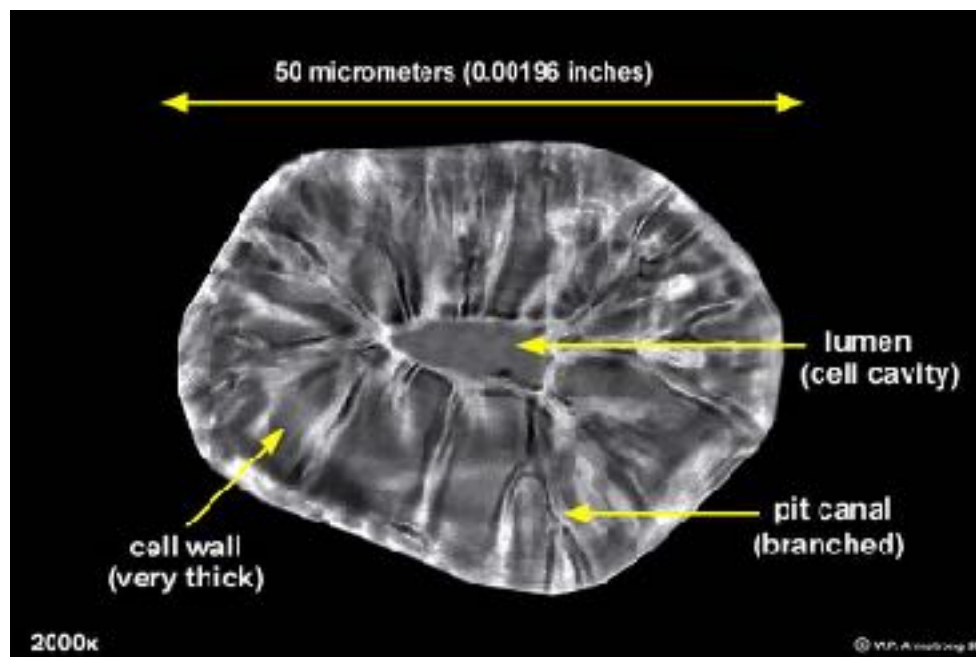
E' possibile riconoscere due tipi fondamentali di cellule sclerenchimatiche:

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

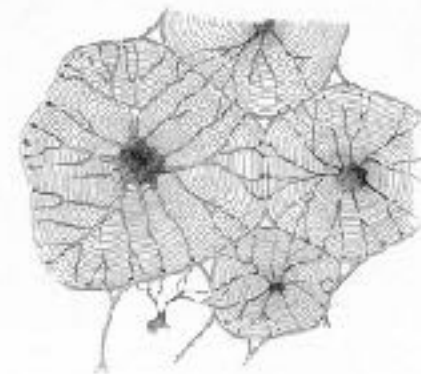
FIBRE: lunghe anche alcuni mm, eccezionalmente 10 cm (es. nel fusto del lino, *Linum lusitatissimum* L., 1753), presenti soprattutto nei fusti, nei piccioli delle foglie e lungo i fasci cribro-vascolari, con funzione di irrobustimento.

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.



Sclereidi 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.

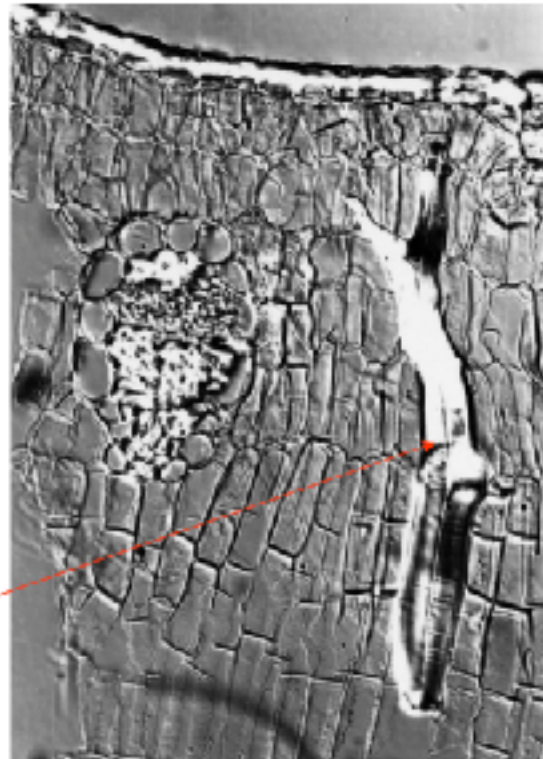
Spesso le punteggiature di una cellula confluiscono direttamente in quelle della cellula contigua: in questo caso le punteggiature sono dette *appresse*.



SCLEREIDI

Fascio di
trasporto

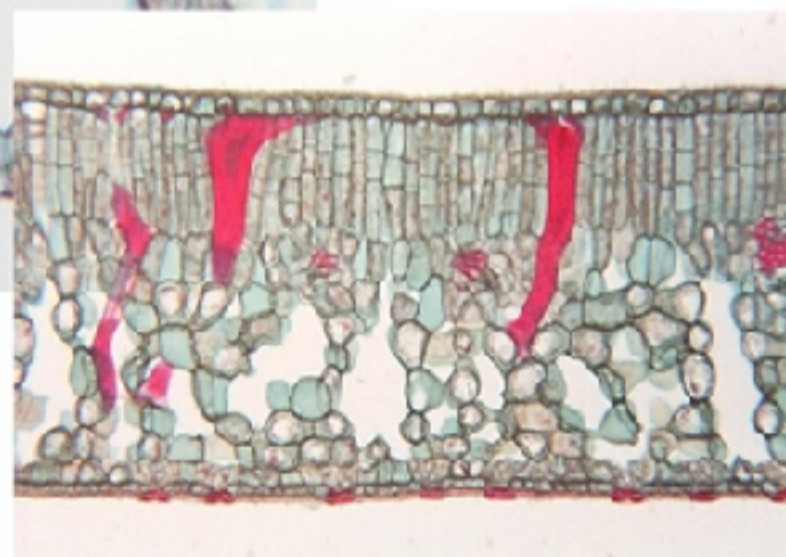
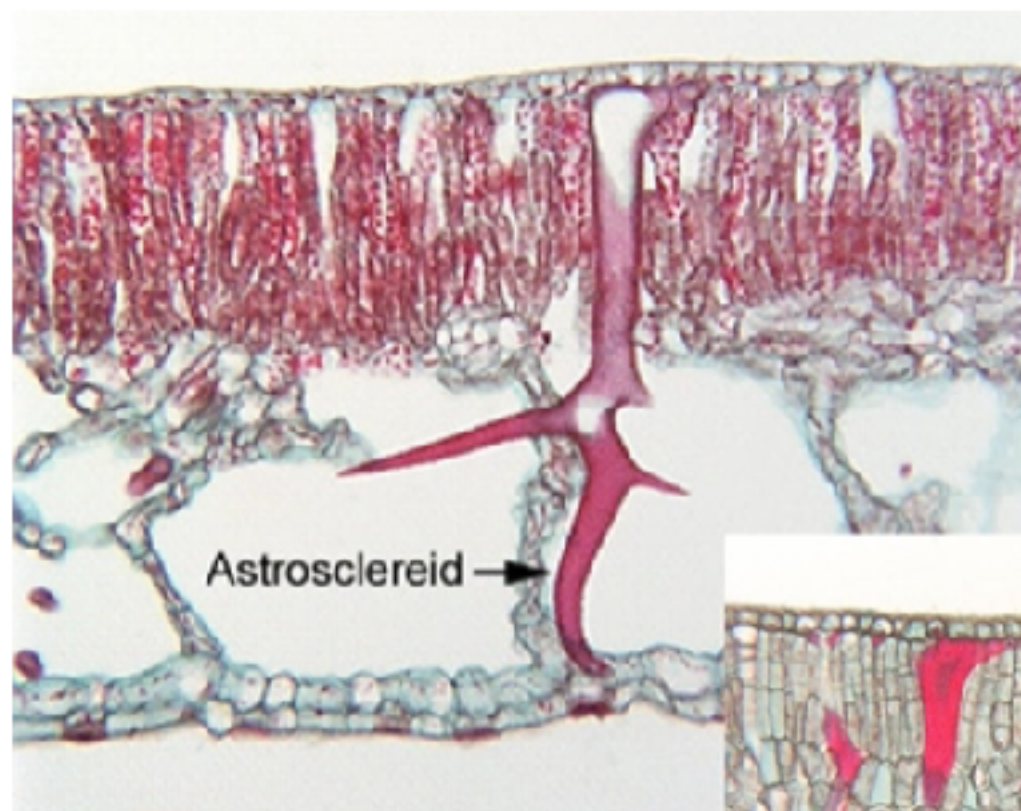
sclereide



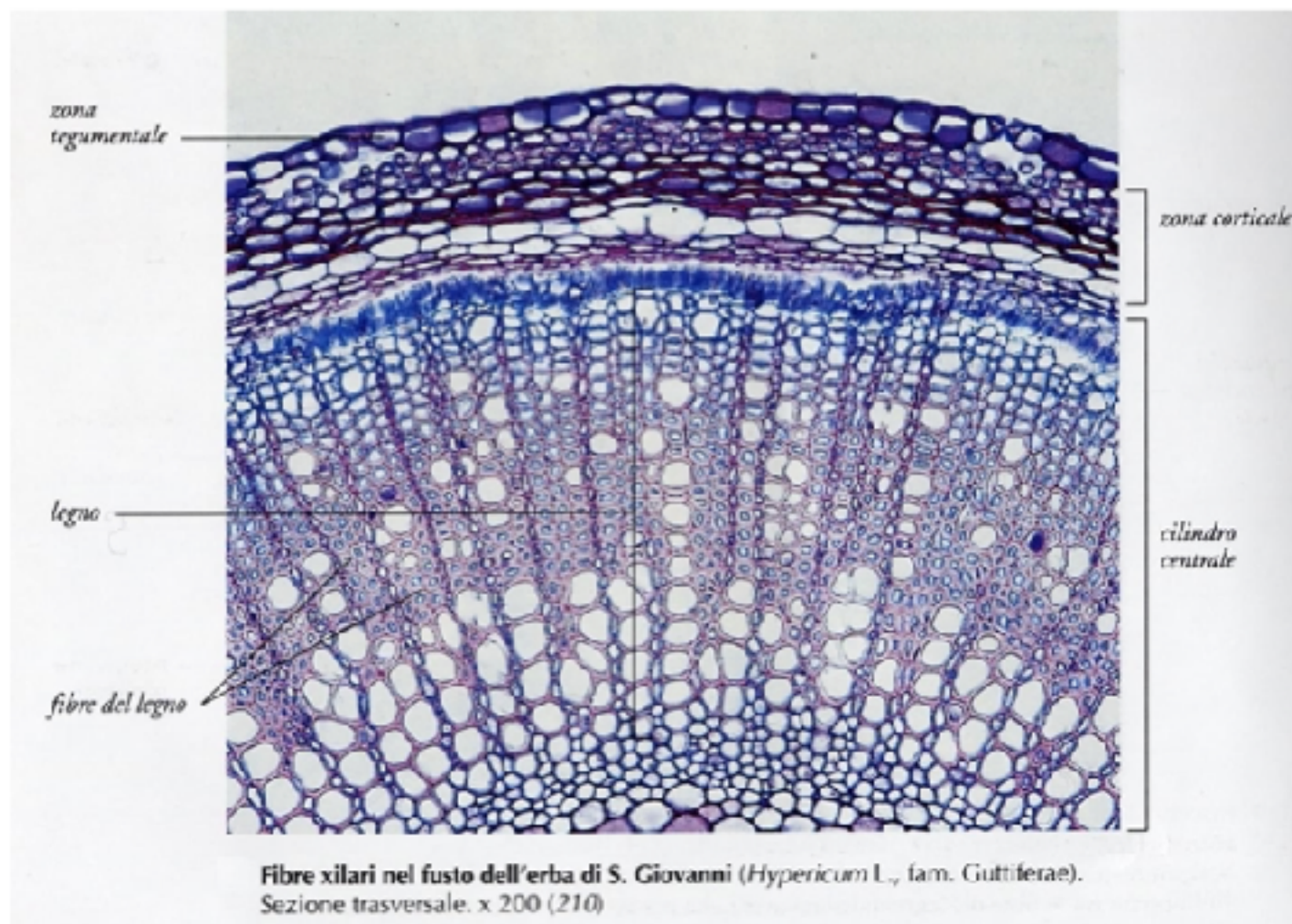
mesofillo

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

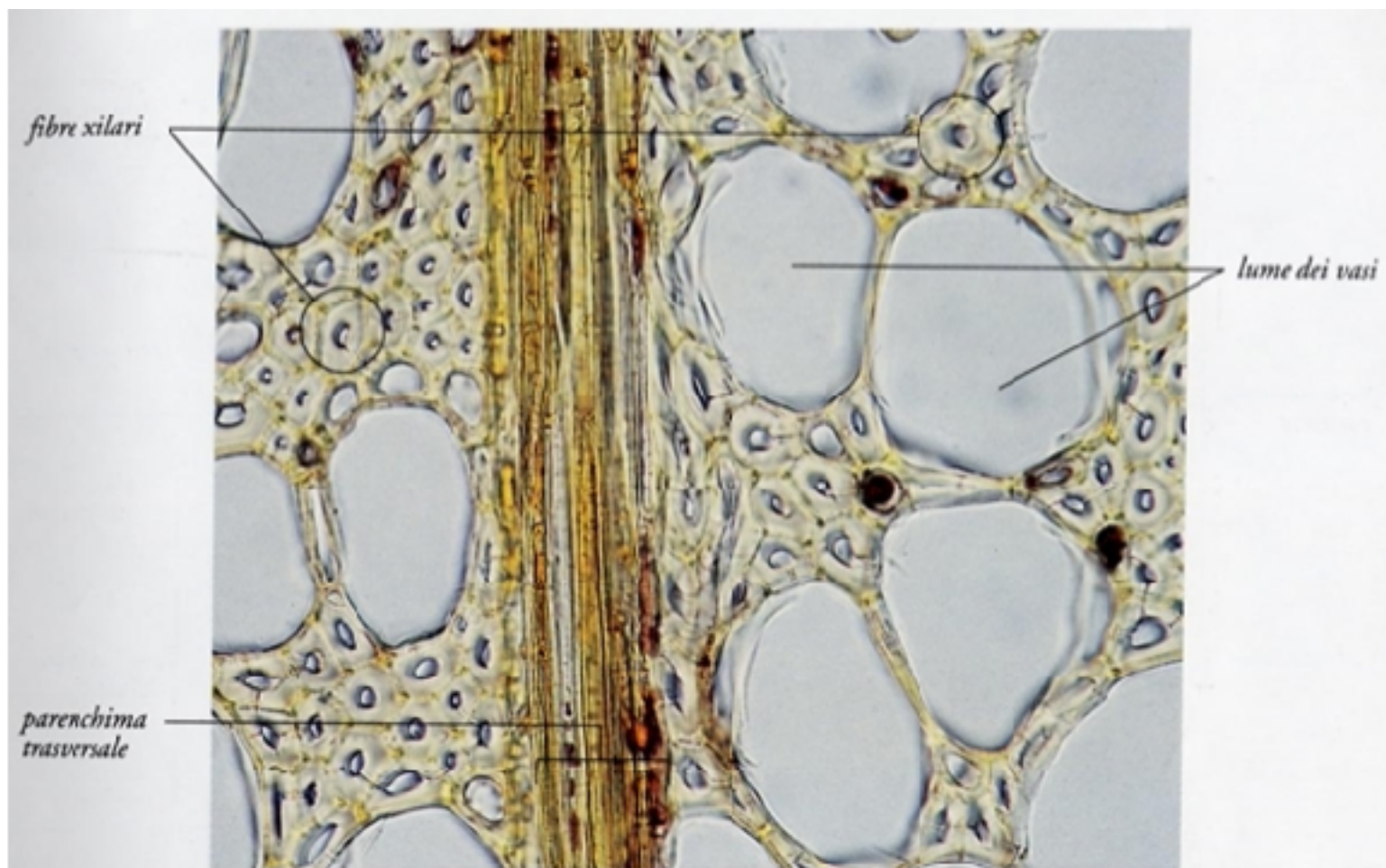




Fibre xilari



Fibre xilari

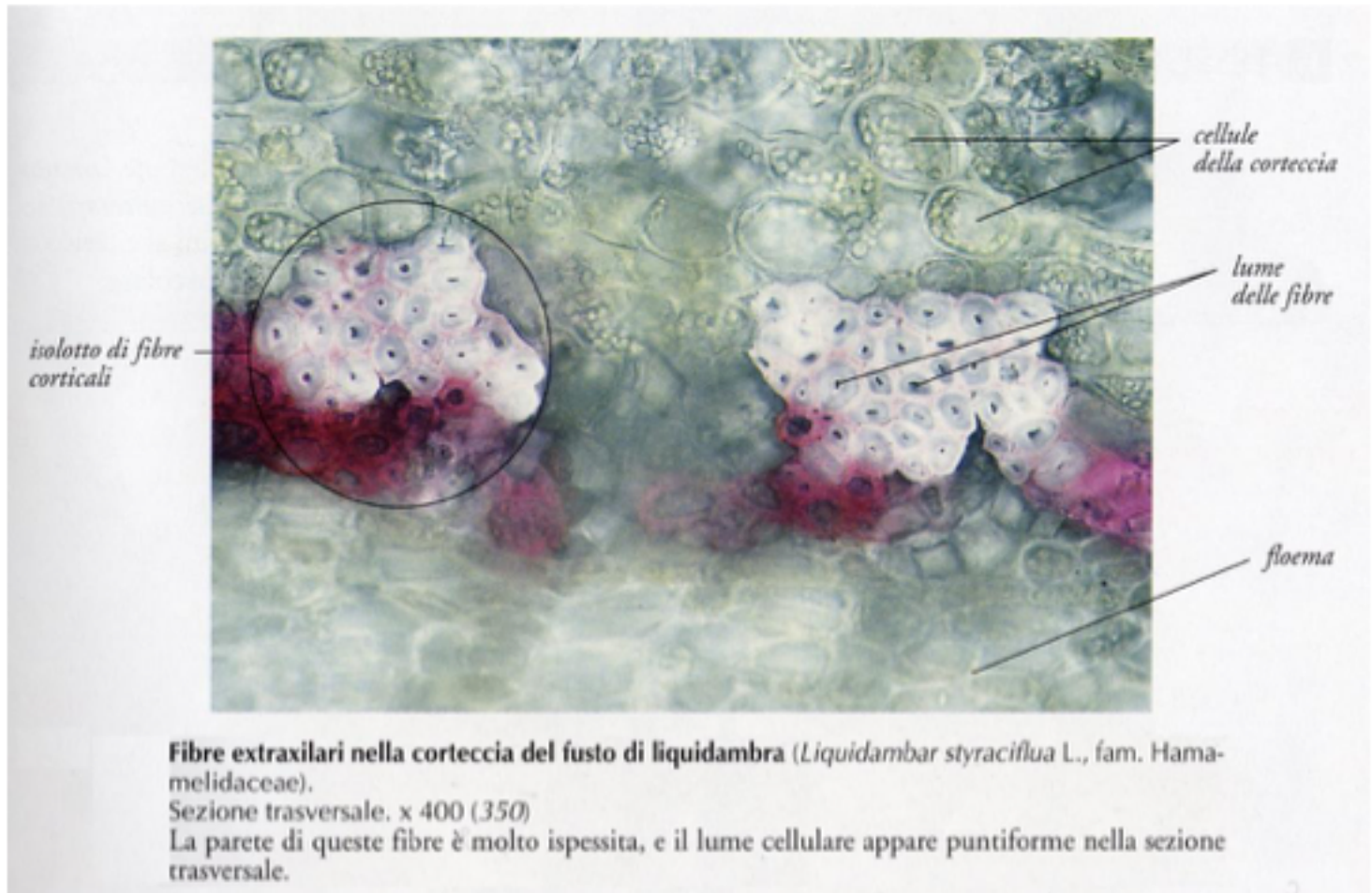


Fibre de **Fibre del legno di faggio** (*Fagus sylvatica* L., fam. Fagaceae).

Sezione Sezione trasversale. x 400 (420)

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

Fibre extra-xilari



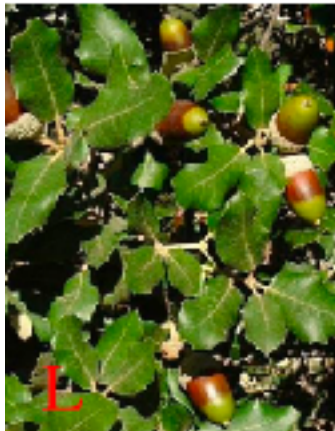
Fibre extra-xilari



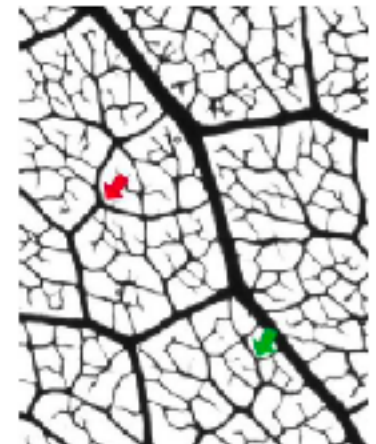
Fibre extra-xilari

Fascio di fibre

Fascio di
trasporto



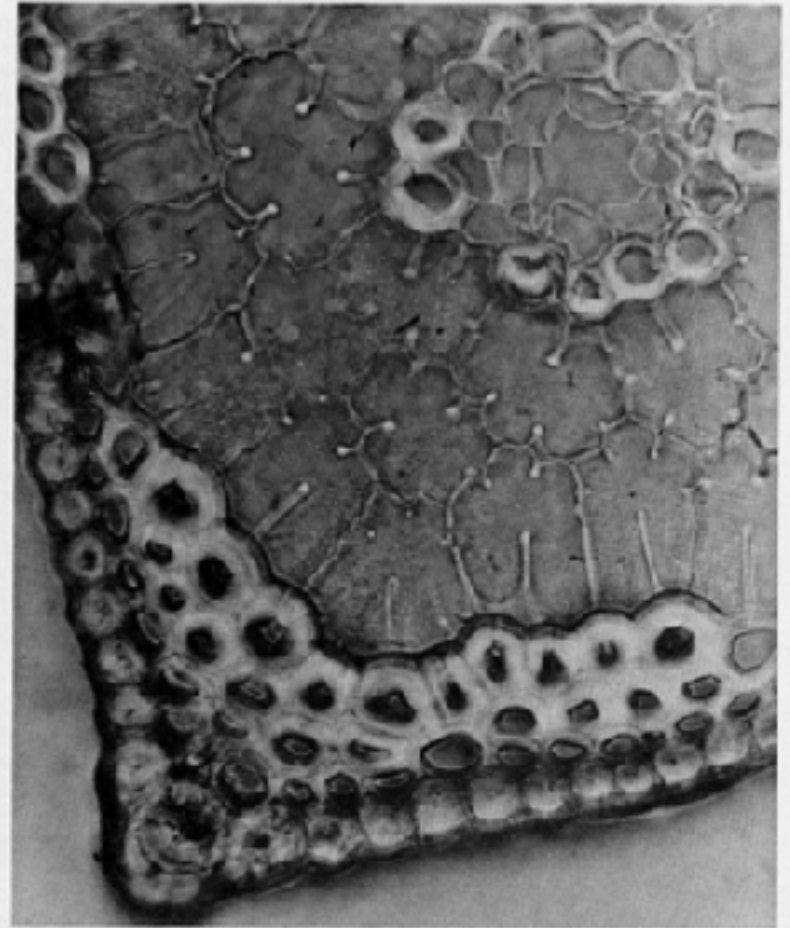
mesofillo



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'epi-
dermide 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 corri-
spondenza 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



Fibre sclerenchimatiche si-
tuate nella zona periferica
del fusto, talvolta non li-
gnificate (per esempio nel
lino).

lino, canapa, iuta, ecc.



colone, kapok



Interi fasci conduttori for-
mati da cellule di tipo di-
verso (vasi del legno, tubi
cribrosi, fibre sclerenchi-
matiche, ecc.).

agave sisalana ecc.

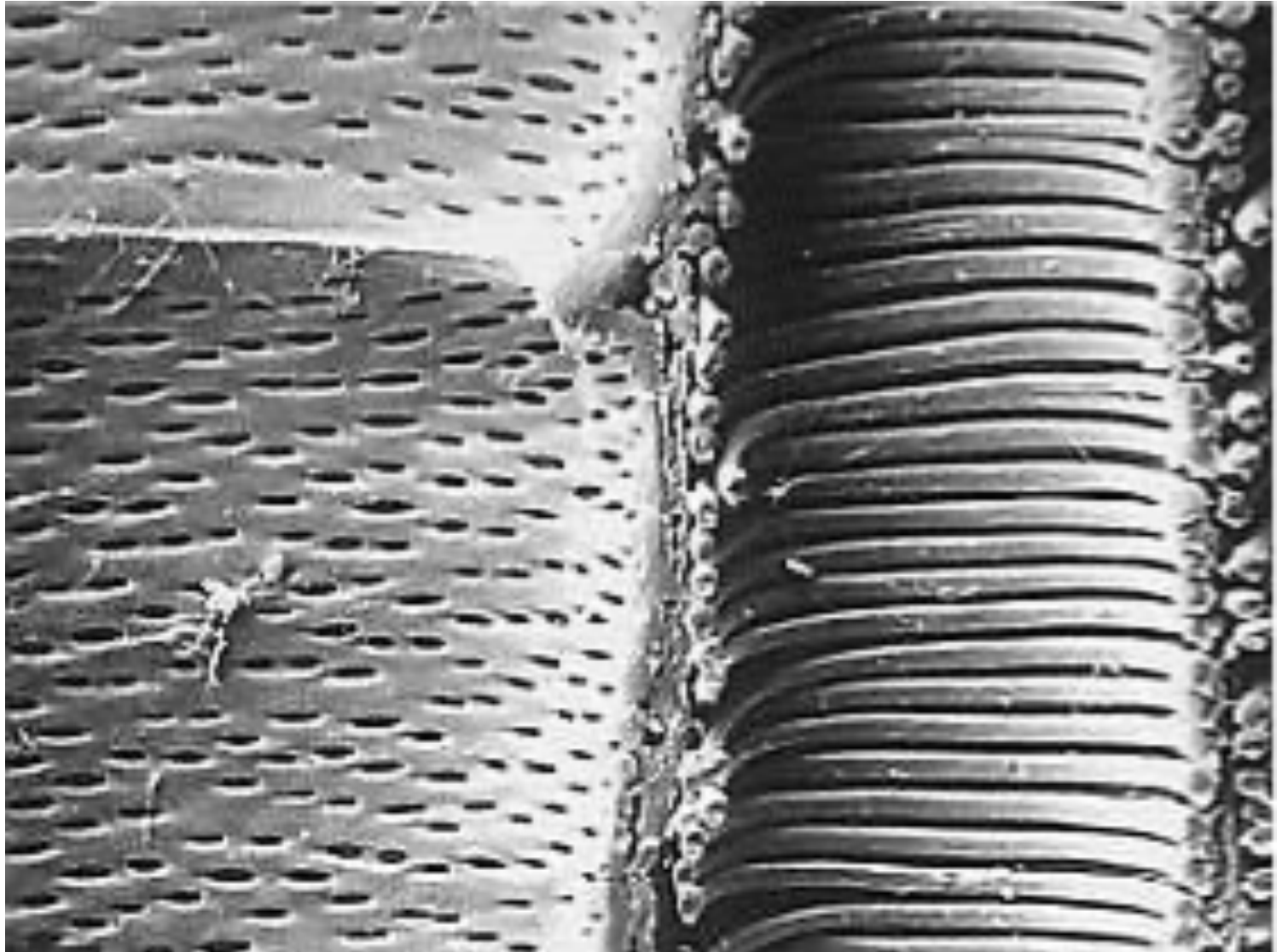


Tutte le fibre tessili naturali fuorché lana e seta hanno origine vegetale. Lo schema mostra la loro eterogeneità dal punto di vista istologico. Le fibre formate da interi fasci conduttori robuste e grossolane vengono usate per corde e tele da sacco. I delicati
prive di lignina.

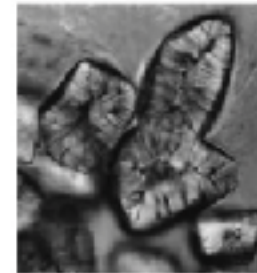
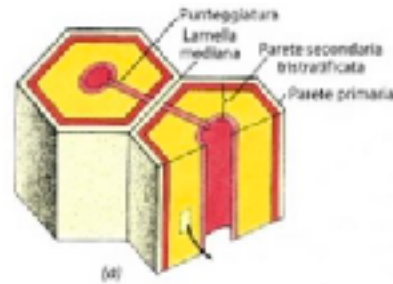


Agave sisalana

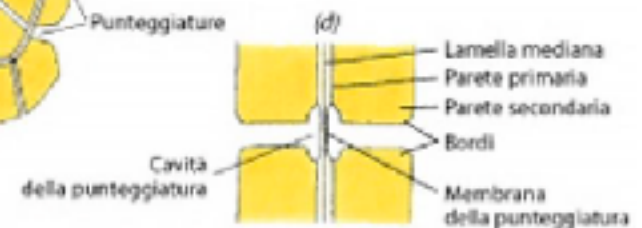
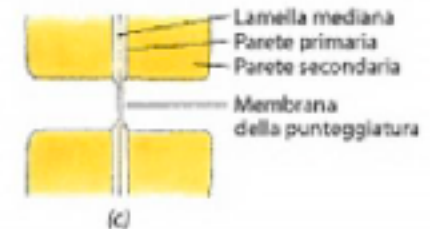
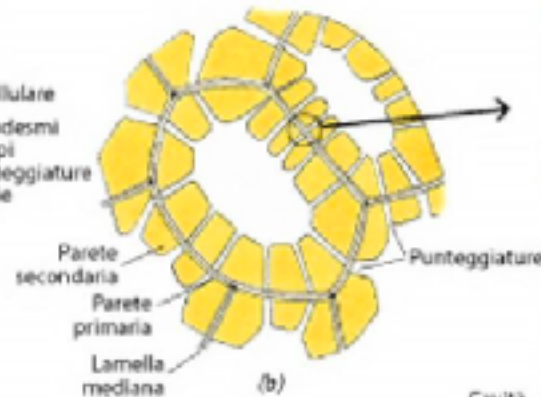
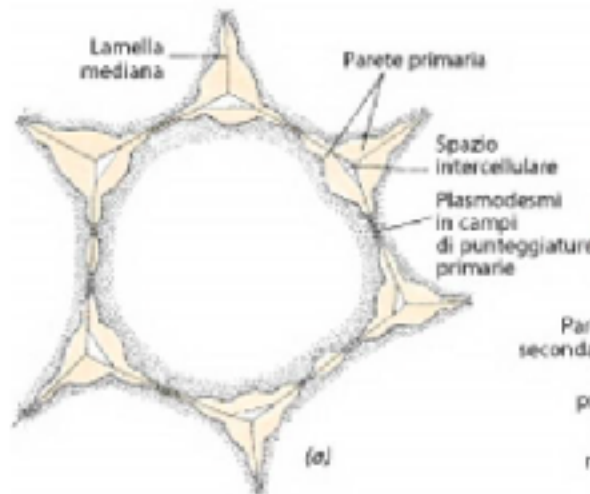
Tessuti di trasporto



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 parenchimatica 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



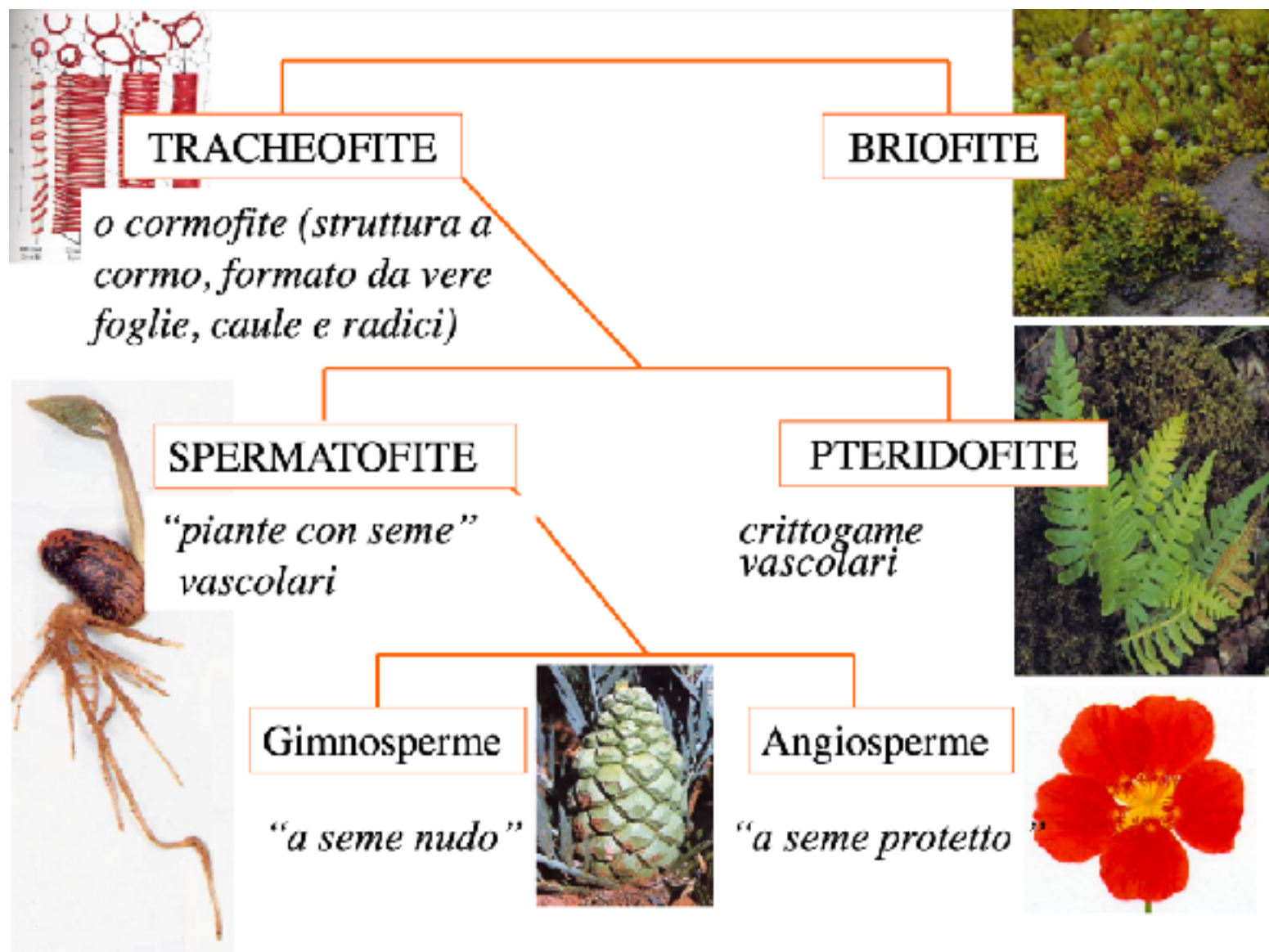
I tessuti di trasporto sono specializzati per il trasporto di sostanze tra le varie parti della pianta.

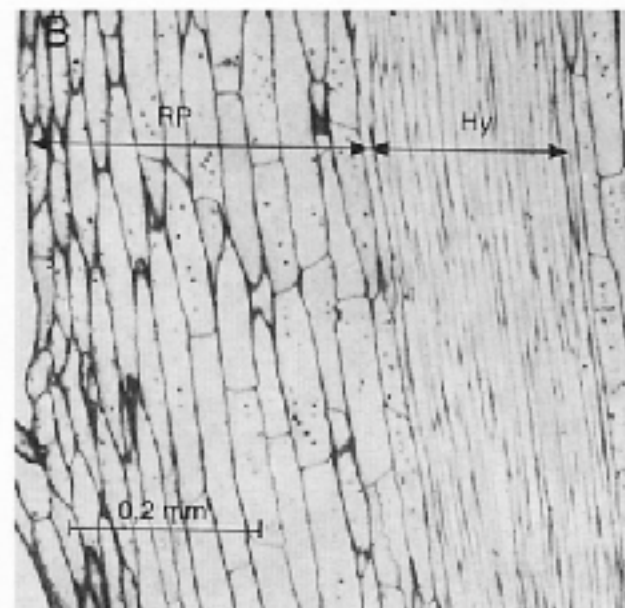
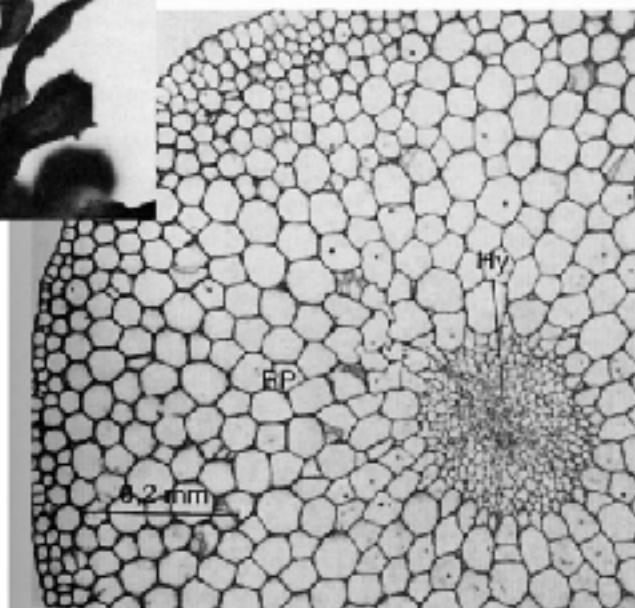
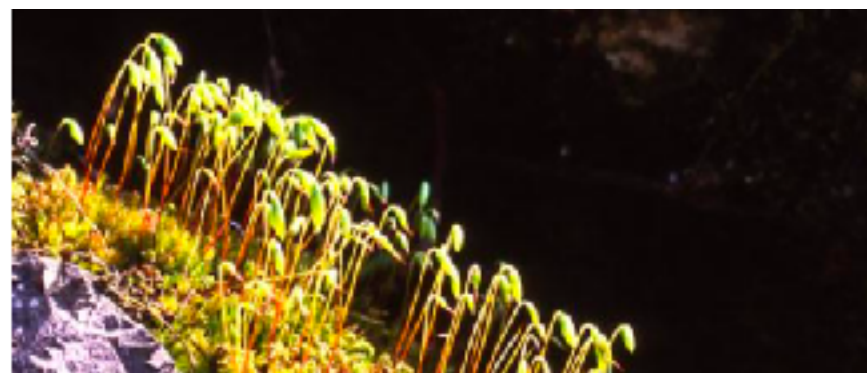
Si distinguono due tessuti diversi:

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.



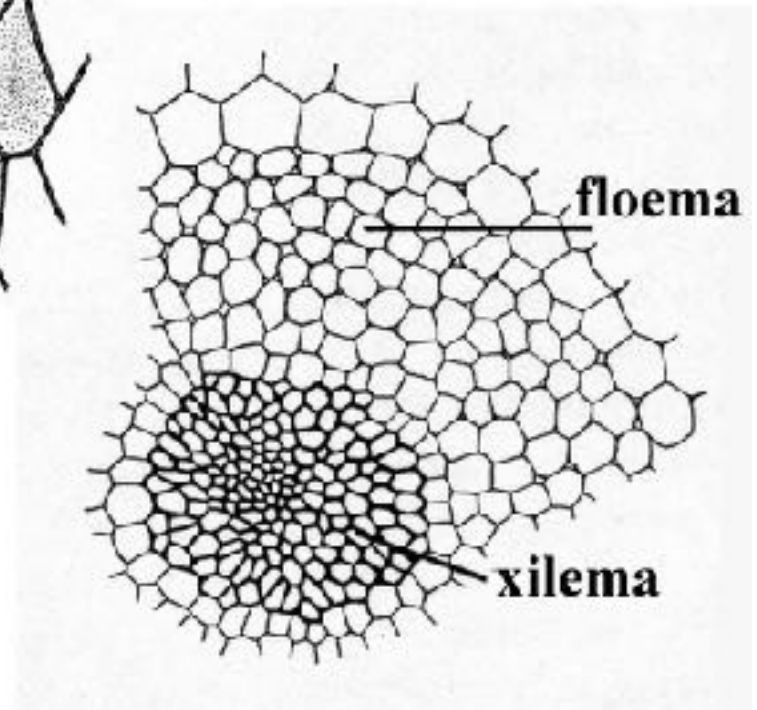
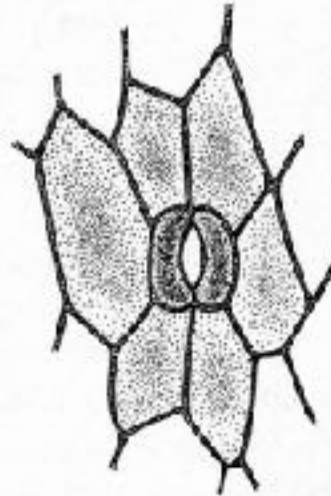


MUSCHI

Idroidi. (A) Sezione di un fusticino appartenente a uno sporofito di un muschio (*Plagiomnium 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 parenchimatiche corticali. I leptoidi non sono visibili nel campione (foto di R. LIGRONE).



Rhynia gwynne-vauchani

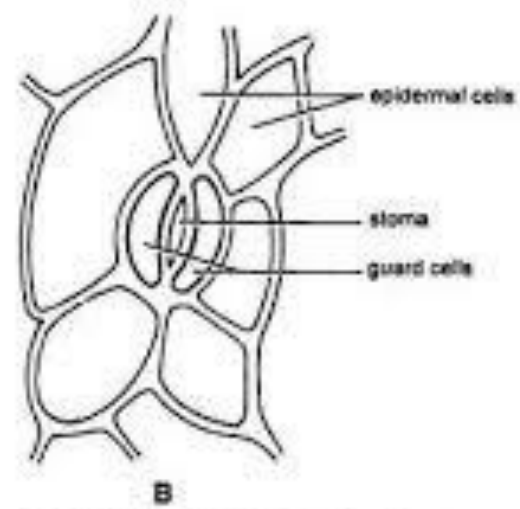
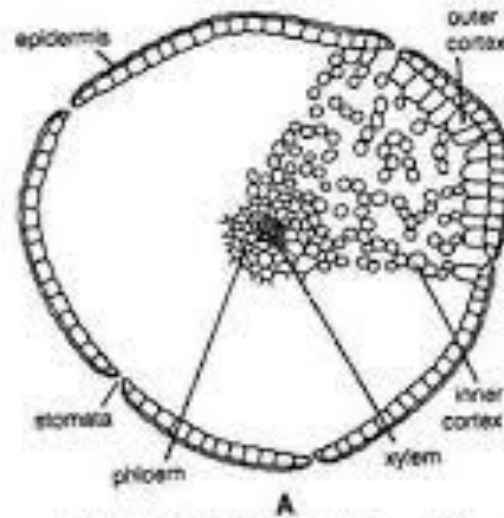
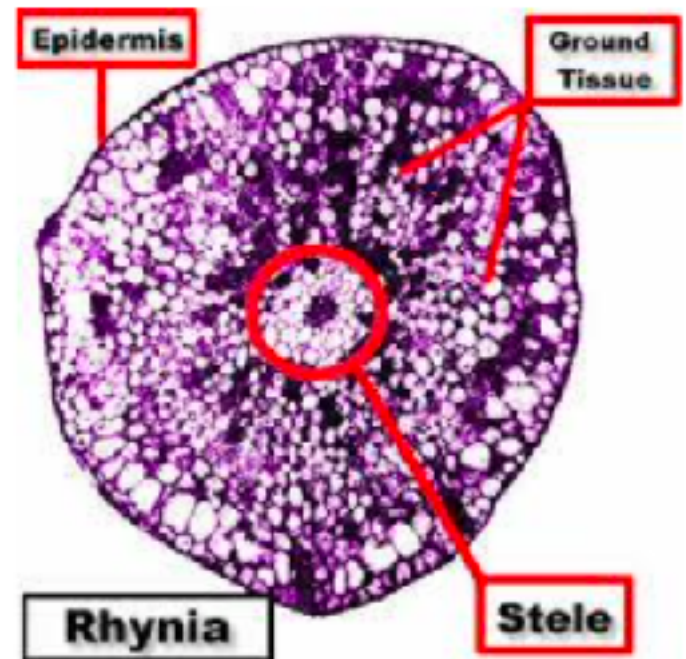
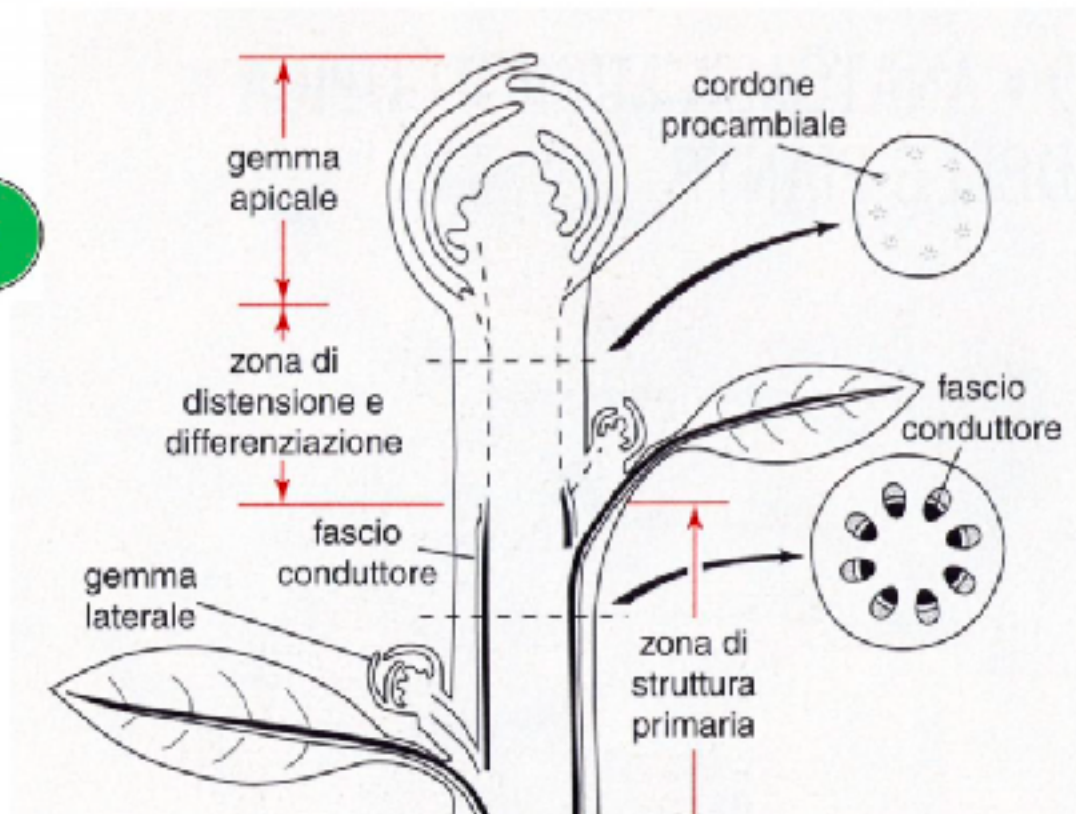
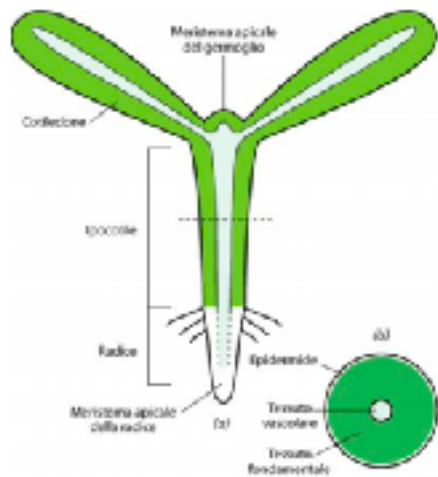


Fig. 2 (A-B). Rhynia. Internal Structure : A. T. S. of aerial shoot, B. a stoma



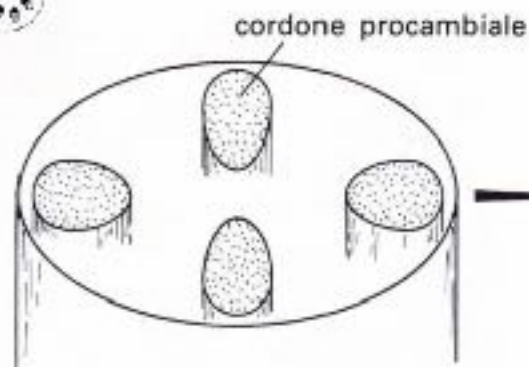
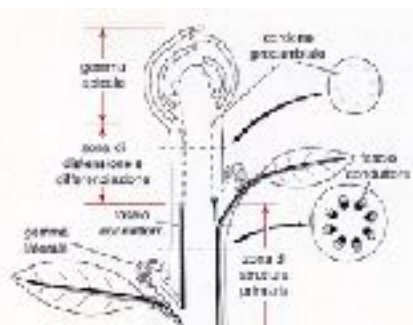
Sviluppo delle spermatofite (Angiosperme)



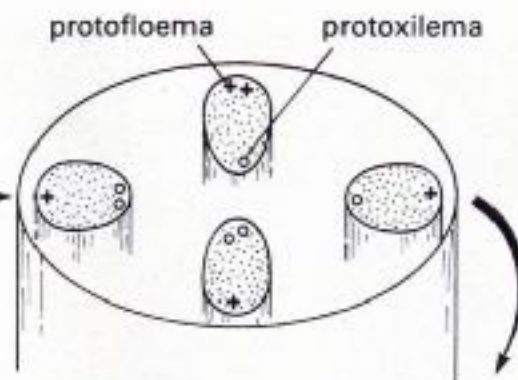
I tessuti di trasporto si originano dal **procambio** (zona di determinazione).

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**.

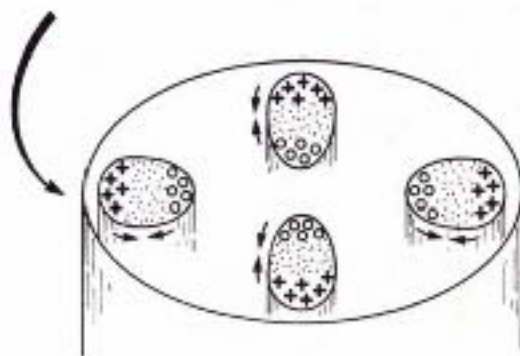
Il differenziamento procede in maniera diversa nel caule e nella radice, a causa della diversa organizzazione generale dei due organi.



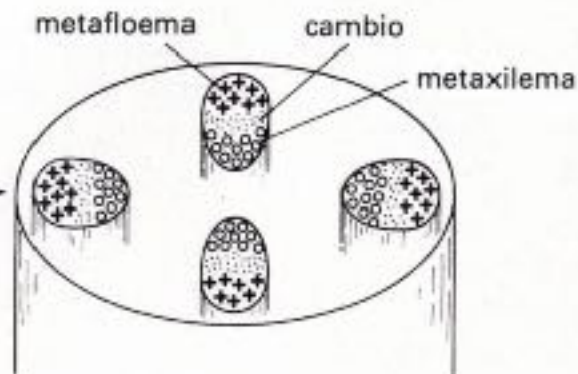
I cordoni procambiali sono formati da cellule indifferenziate.



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



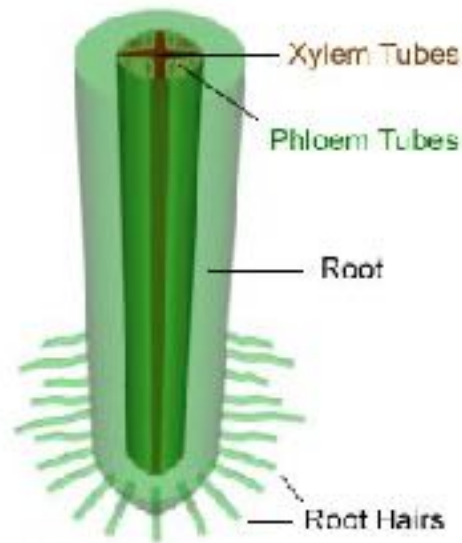
Successivi elementi si differenziano in direzioni opposte (indicate dalle frecce).



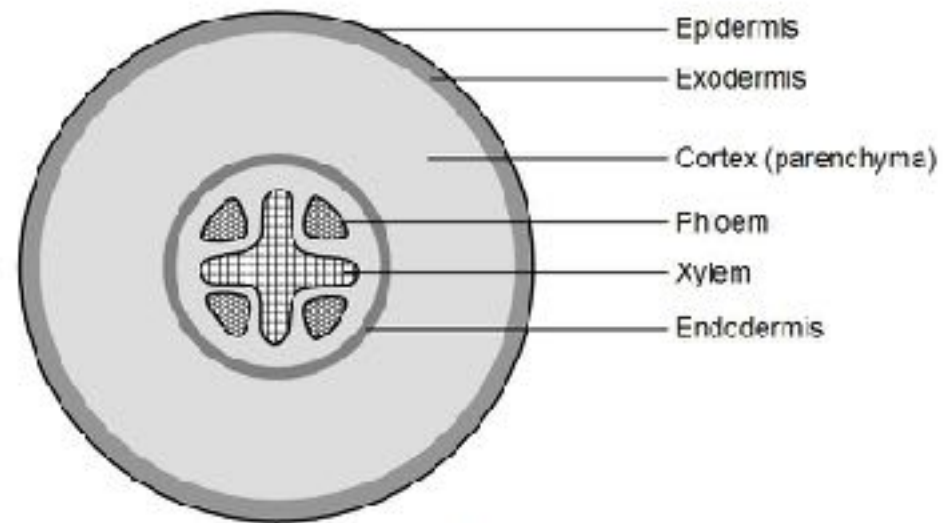
I cordoni procambiali si sono differenziati in fasci. Tra i due tessuti è rimasta una striscia di cellule indifferenziate (cambio).

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



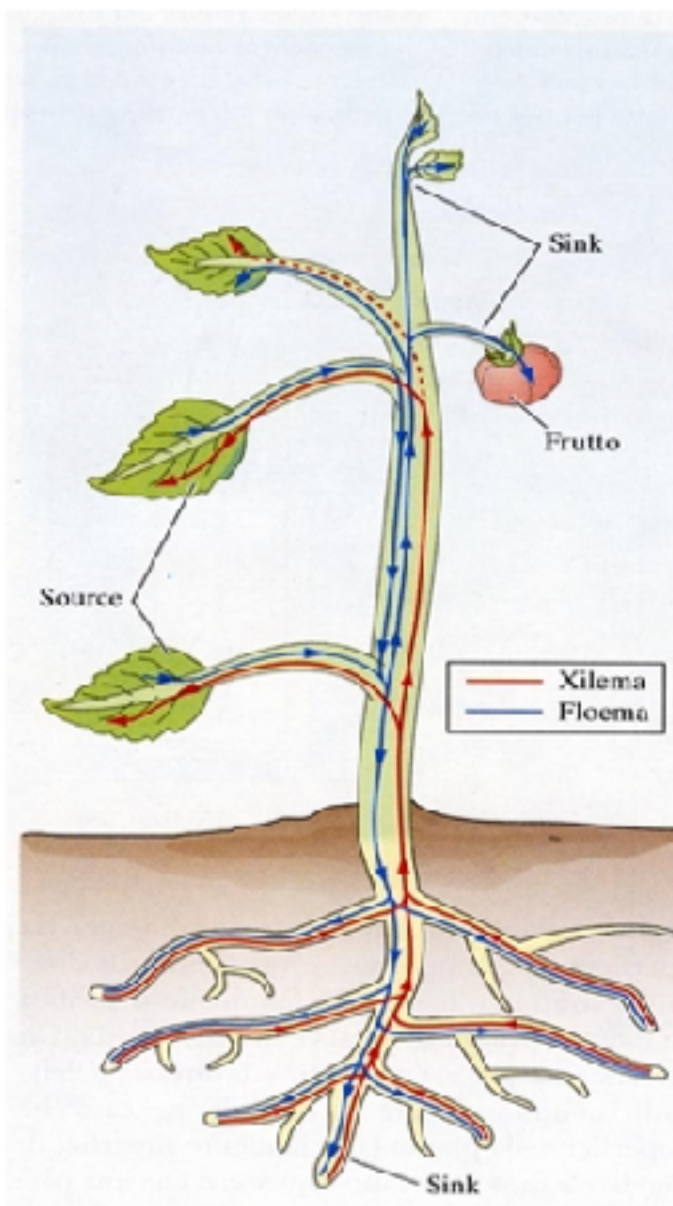
Cross-section through a young non-woody dicot root



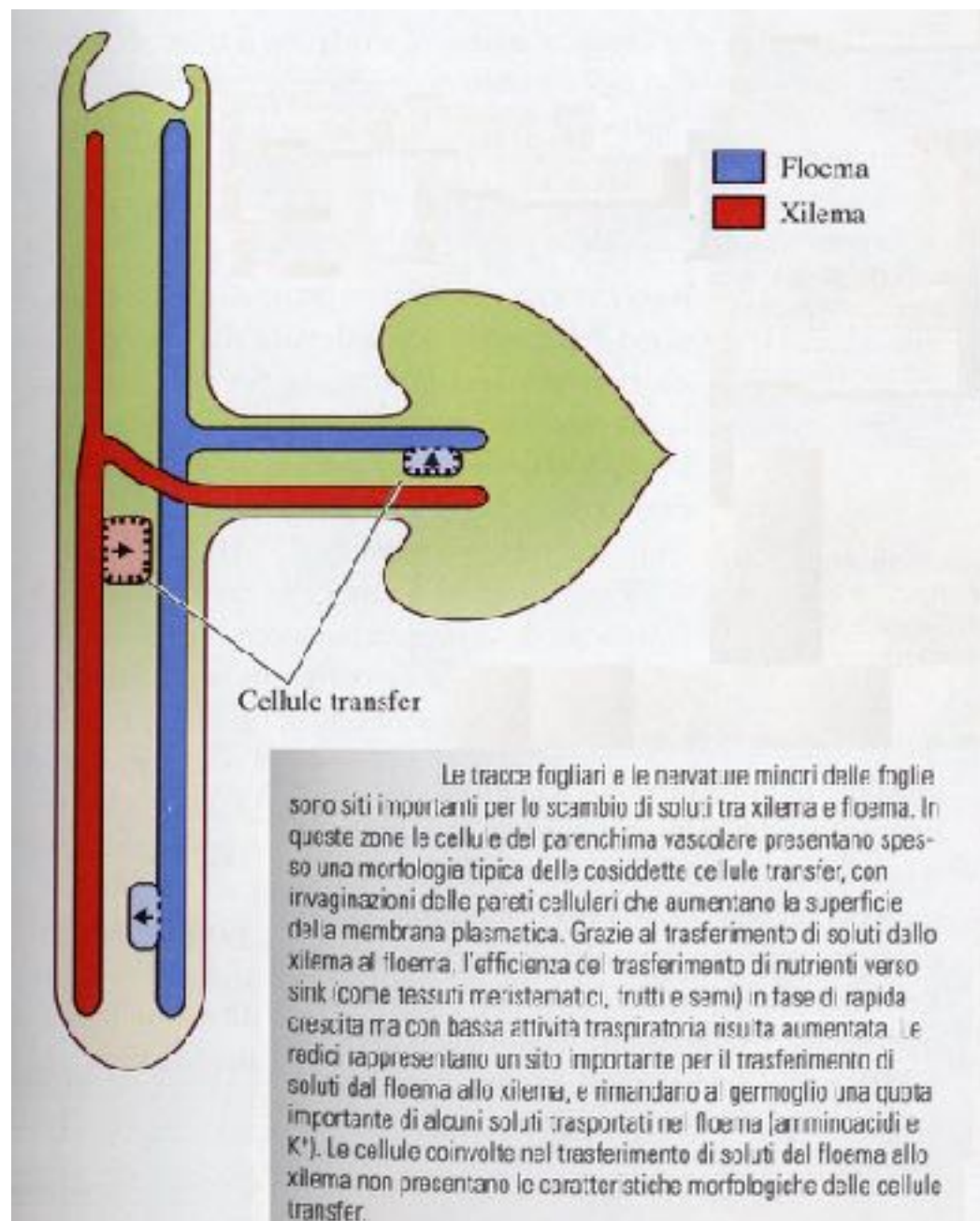
Tessuti di trasporto:

- **XILEMA**: trasporto della “LINFA GREZZA”, soprattutto acqua e ioni minerali assorbiti dall’apparato radicale verso le altre parti della pianta, e quindi soprattutto le foglie, dove la traspirazione è più intensa.
 - Xilema che si forma nella struttura secondaria: **LEGNO**
- **FLOEMA**: trasporto della “LINFA ELABORATA”, acqua e molecole organiche (mono- ed oligosaccaridi, fitormoni, aminoacidi, etc.) dai diversi organi di produzione agli organi che li devono accumulare o consumare, ad es. dalle foglie agli organi di riserva, ai frutti in formazione, ai tessuti in attiva crescita.
 - Floema che si forma nella struttura secondaria: **LIBRO**

Entrambi sono tessuti complessi, formati da più tipi di cellule



Rappresentazione schematica delle direzioni seguite dal trasporto xilematico e da quello floematico. Nello xilema il movimento si verifica in direzione ascendente, dalle radici alle foglie mature, che sono i siti primari della traspirazione e della fotosintesi. Una frazione molto piccola del trasporto xilematico serve i tessuti in espansione, e una frazione ancora minore si dirige verso i sink riproduttivi; infatti, entrambi i tipi di struttura sono caratterizzati da velocità di traspirazione assai limitate. Nel floema il movimento si verifica dai siti di produzione degli assimilati, costituiti essenzialmente dalle foglie mature, ai siti di utilizzo (tessuti in espansione e sink rappresentati da organi riproduttivi o di riserva). Il movimento nel floema può essere bidirezionale all'interno di un singolo internodo, ma è unidirezionale all'interno di un singolo fascio conduttore. Nelle porzioni di fusto situate più in basso, il movimento è in direzione discendente, perché le radici (ad eccezione delle radici di riserva in fase di mobilitazione delle riserve nutritive) sono organi sink.





XILEMA

E' un **tessuto composto**, che può essere costituito da diversi elementi:

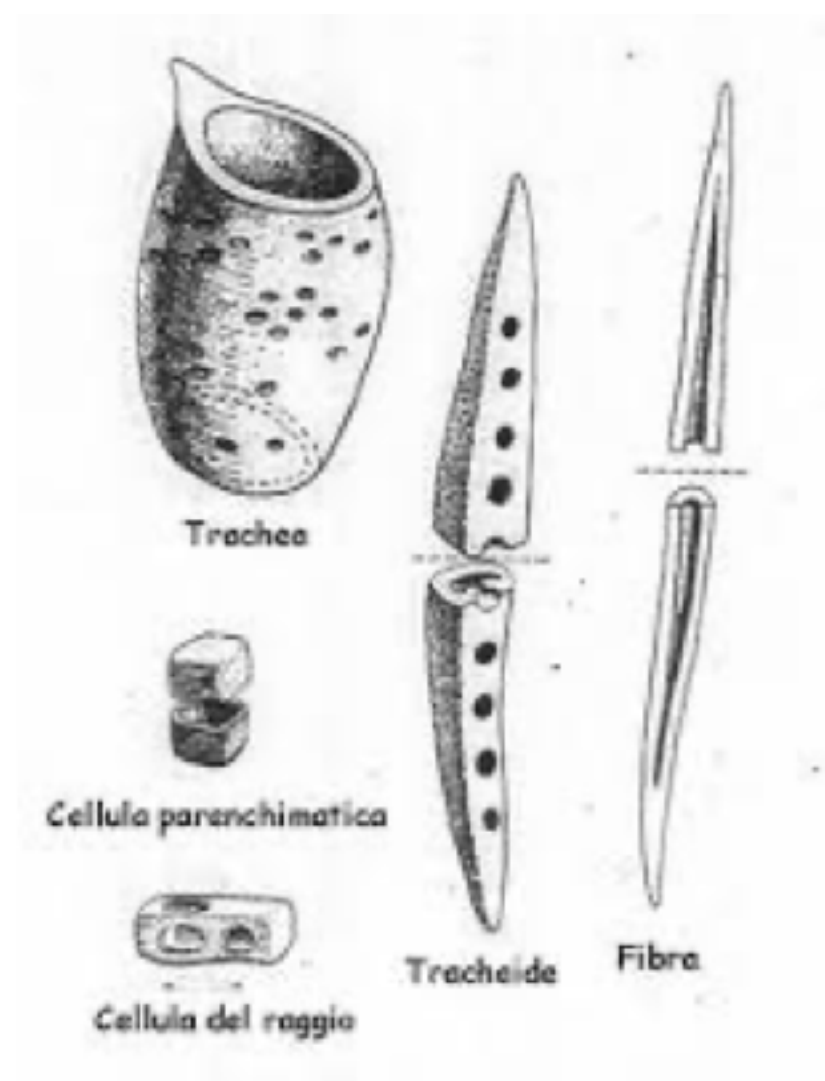
- **tracheidi**
 - **elementi tracheali**, a formare le **trachee**
 - **fibre sclerenchimatiche**
 - **cellule parenchimatiche**
- } elementi conduttori o vasi

I primi due tipi di cellule servono per il trasporto dell'acqua, e sono **morte** quando svolgono la loro funzione.

I loro protoplasti sono degenerati, e la cellula si è svuotata: persiste in loco solo la **parete variamente ispessita e lignificata**, che può presentare punteggiature.

Anche le **fibre** sono cellule morte a maturità.

Solo le **cellule parenchimatiche** sono vive quando svolgono la loro funzione (comunque non essenziale per garantire il trasporto dell'acqua).





Gli elementi conduttori dello xilema sono chiamati vasi

In base ai tipi di ispessimento della parete si distinguono i seguenti tipi di vasi:

- anulati
- spiralati
- scalariformi
- reticolati
- punteggiati

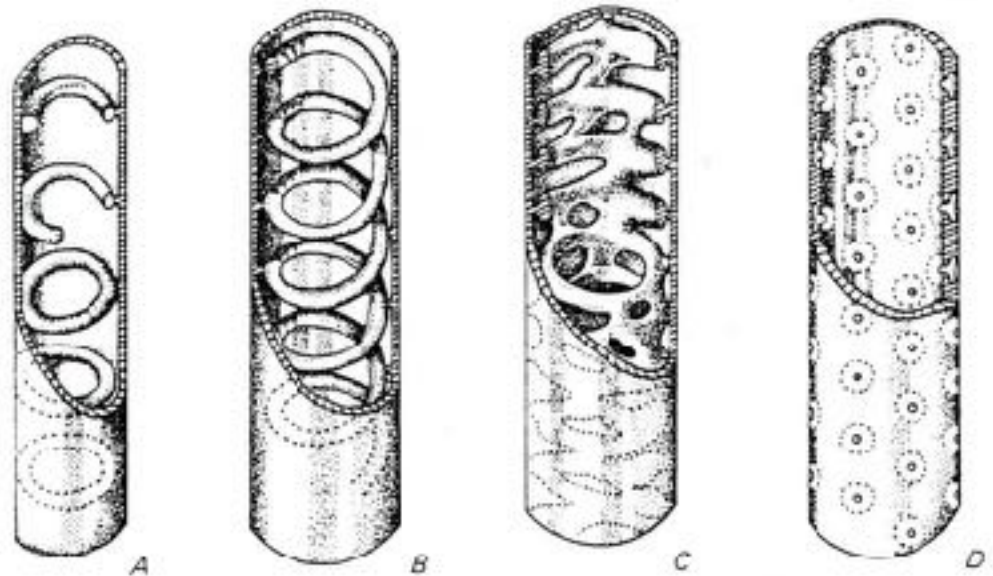


FIG. 29.31 • Tipi differenti di vasi: A, anulati; B, spiralati; C, reticolati; D, punteggiati. (Da Nutsch).