

# TESSUTI ADULTI

## ORIGINE

- **PRIMARI**, derivati dal differenziamento di cellule prodotte dai meristemi apicali primari, presenti nell'embrione.
- **SECONDARI** o CAMBIALI, derivati dall'attività dei cambi, cioè di meristemi di origine secondaria o mista che sono responsabili dell'accrescimento secondario in spessore della pianta.

## FUNZIONE

TEGUMENTALI

*PARENCHIMATICI*

**MECCANICI o DI SOSTEGNO**

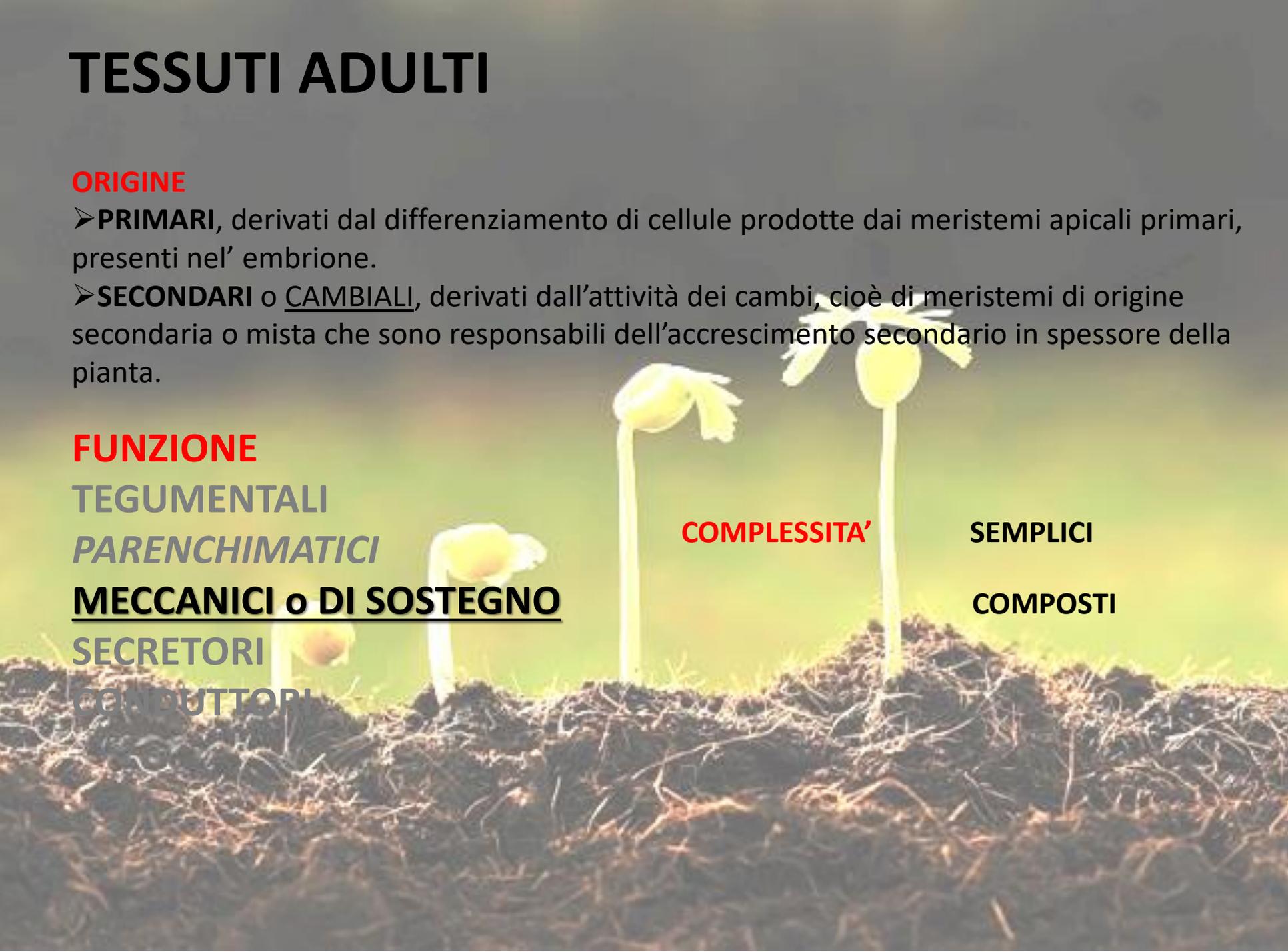
SECRETORI

CONDUTTORI

**COMPLESSITA'**

**SEMPLICI**

**COMPOSTI**



# TESSUTI MECCANICI o DI SOSTEGNO

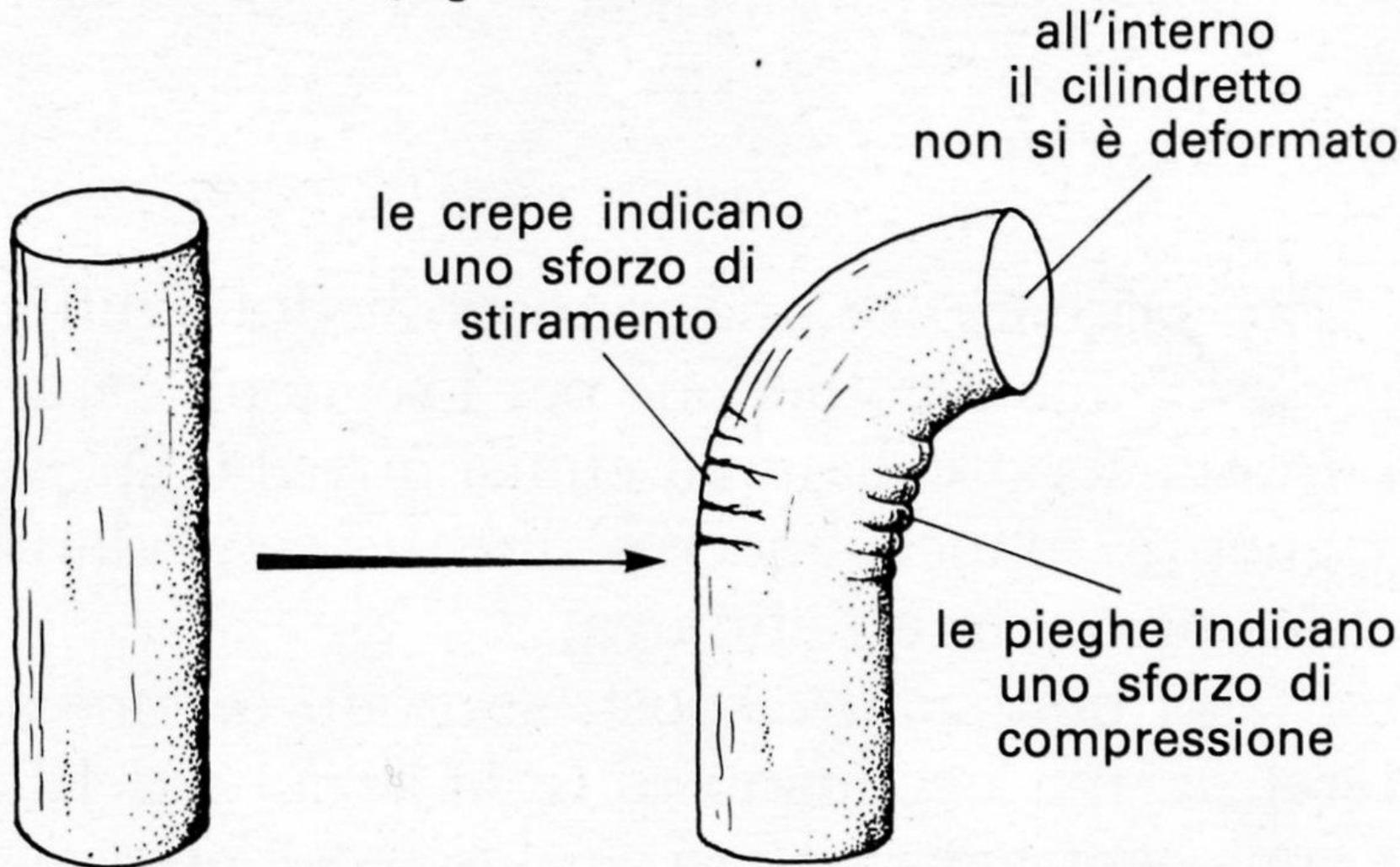
- sostenere il peso di una pianta
- Conferire alla pianta resistenza a sollecitazioni (pressione, trazione, flessione ...)



Rafforzamento delle pareti cellulari (ispessimento e lignificazione)

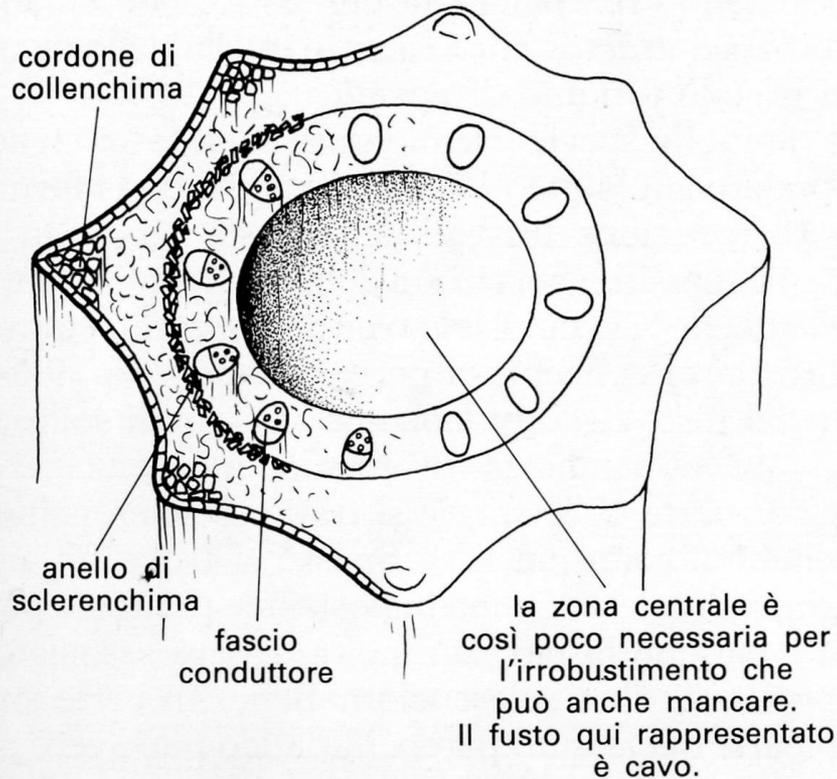
- In genere abbondanti nel fusto (tipicamente localizzati nelle parti più periferiche) che nella radice (sono concentrati nella zona centrale).

**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.).**



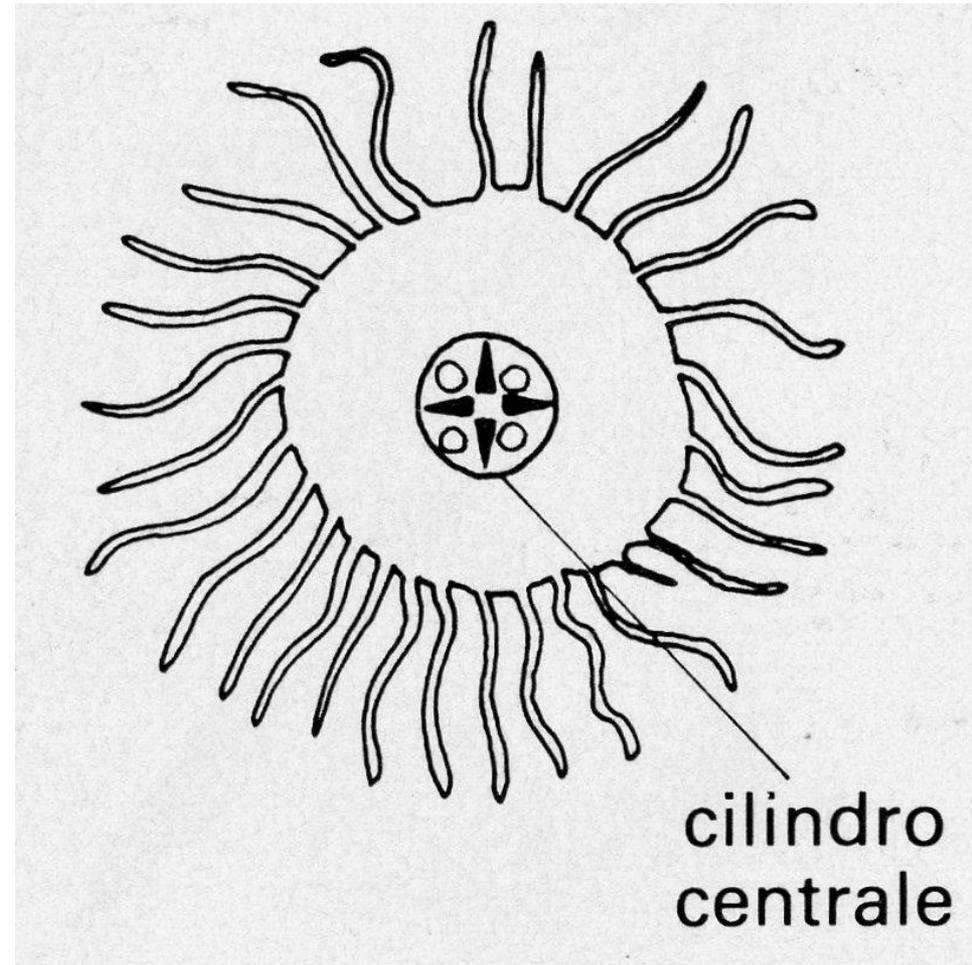
## Fusto in struttura primaria

Nel fusto che deve sopportare soprattutto sforzi di flessione i tessuti stanno in periferia. Ecco una distribuzione tipica:



Distribuzione dei tessuti meccanici nel fusto.

## Radice in struttura primaria



## ➤ COLLENCHIMA

## ➤ SCLERENCHIMA

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



# COLLENCHIMA

(dal gr. "kolla", colla): tessuto meccanico, **nelle strutture primarie** (e.g. in piante erbacee dicotiledoni, soprattutto nelle parti della pianta in attiva crescita), assente nelle radici.

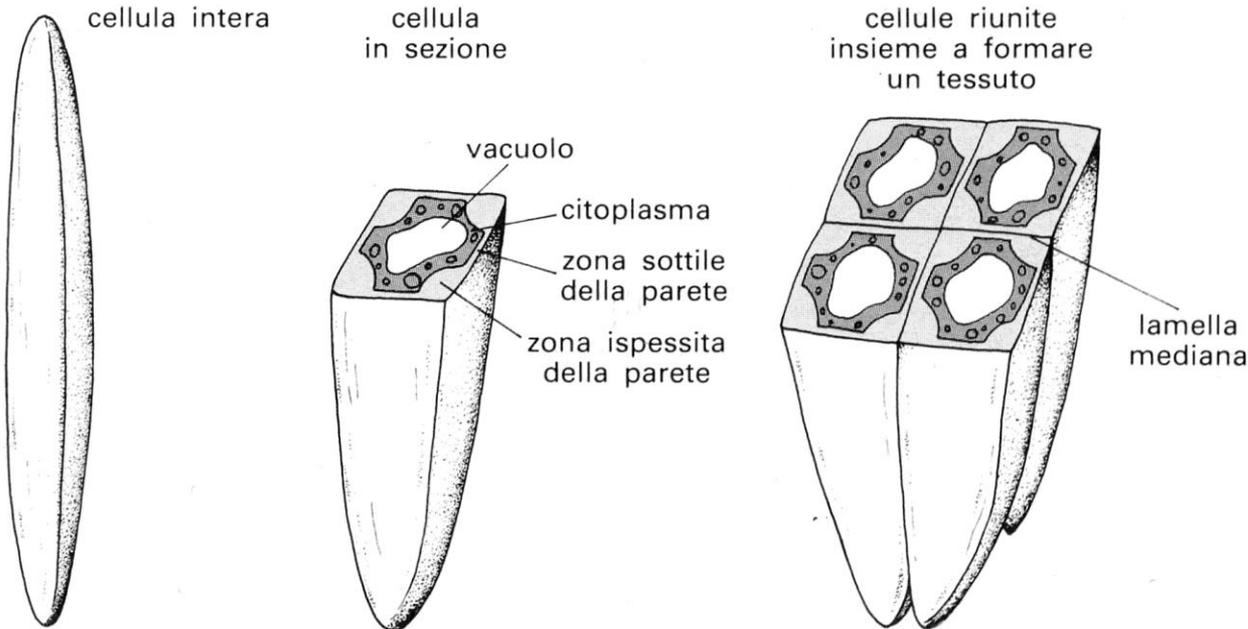
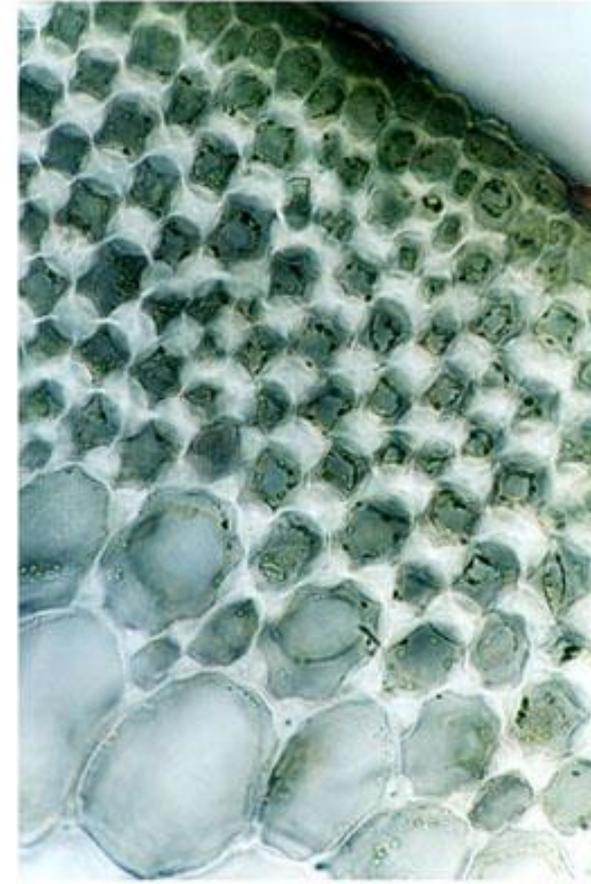
## Cellule:

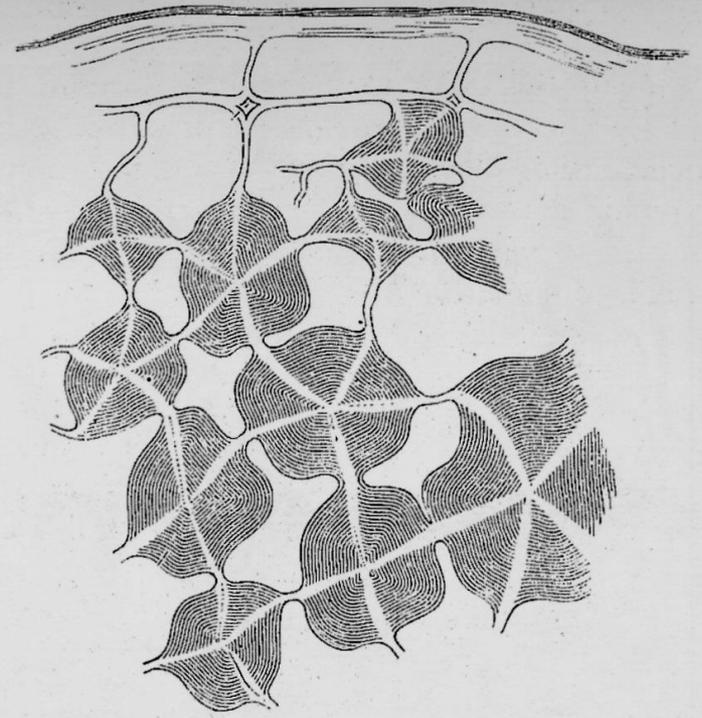
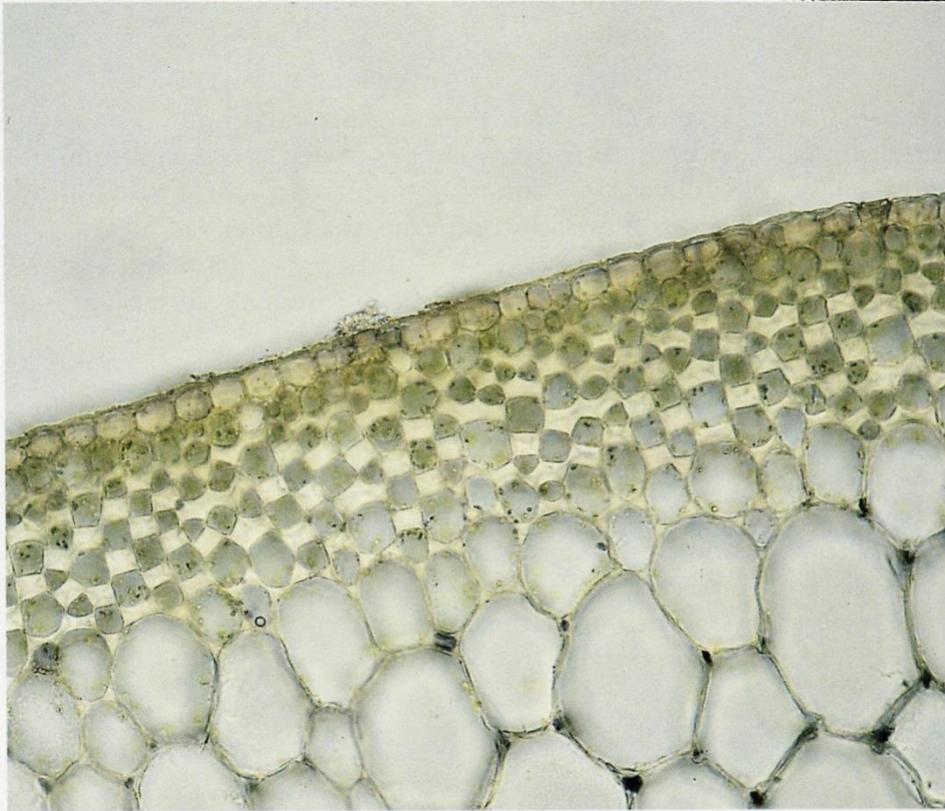
- fortemente **allungate** ("prosenchimatiche")
- **vive**
- con **parete ispessita**, in genere in maniera irregolare formata da lamelle di cellulosa alternate a lamelle di sostanze pectiche (PROBLEMA: il collenchima presenta solo parete primaria o anche parete secondaria?).

**FORMA degli ispessimenti**  $\leftarrow \rightarrow$  tre tipi fondamentali di collenchima: **angolare, lamellare, circolare**

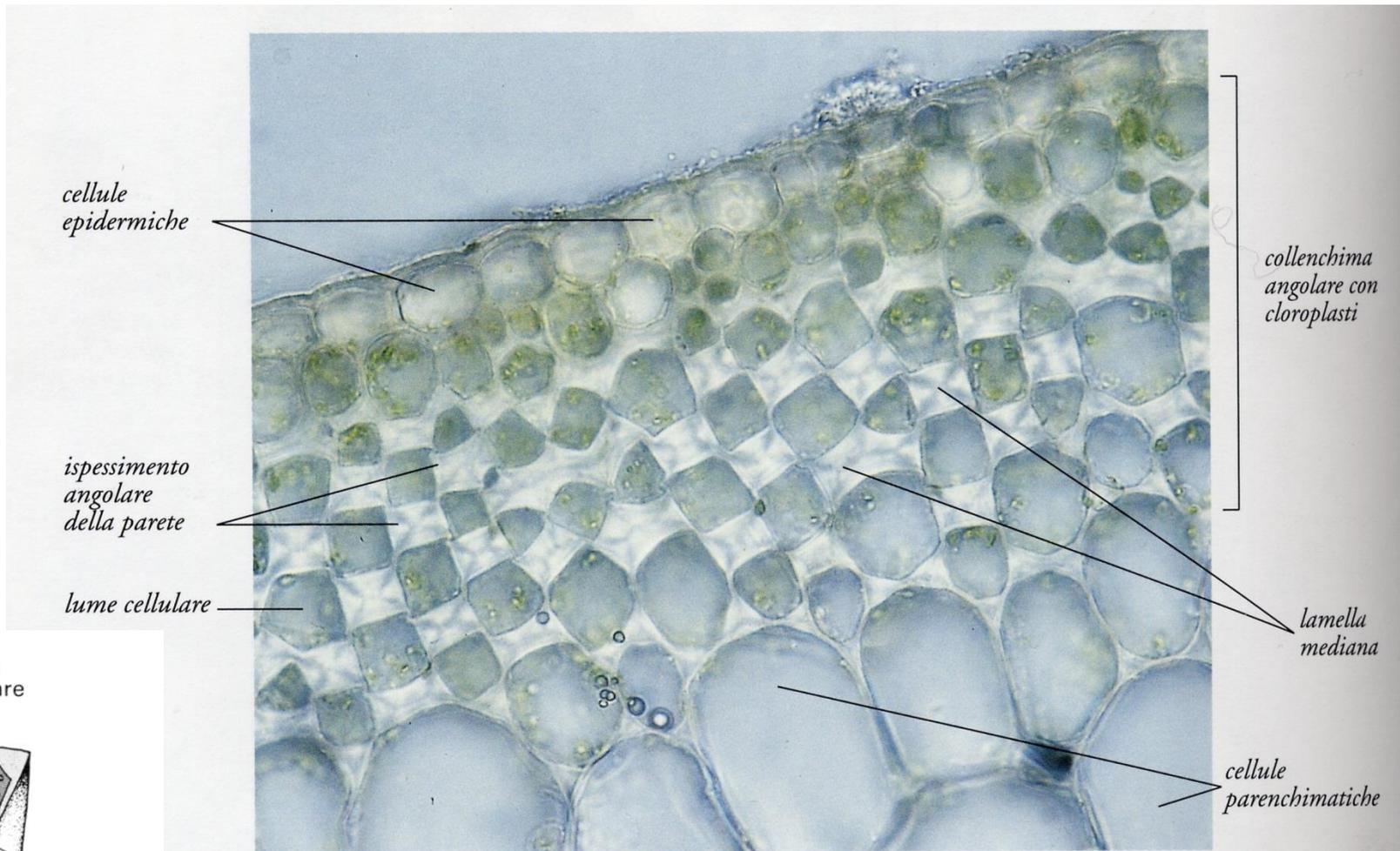
# COLLENCHIMA ANGOLARE

**Ispessimenti presenti solo agli angoli di una cellula a sezione trasversale più o meno quadrangolare**





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



cellule epidermiche

ispessimento angolare della parete

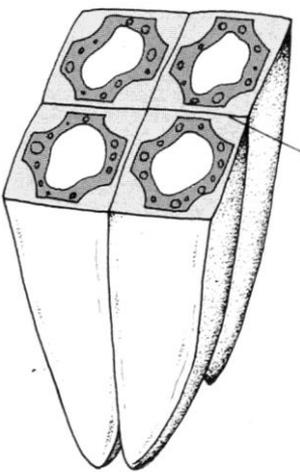
lume cellulare

collenchima angolare con cloroplasti

lamella mediana

cellule parenchimatiche

cellule riunite insieme a formare un tessuto



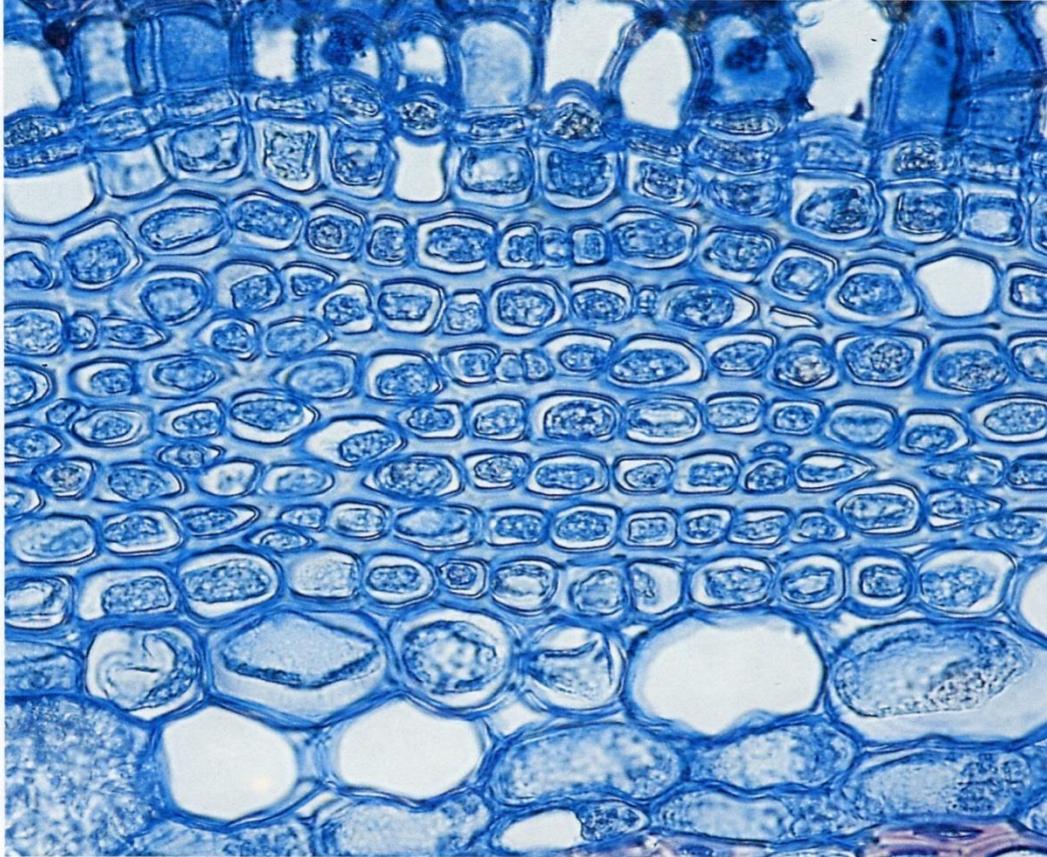
lamella mediana

**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 celluloso, le lamelle mediane delle cellule contigue sembrano incrociarsi. La presenza di cloroplasti indica chiaramente che il collenchima ha cellule vive.

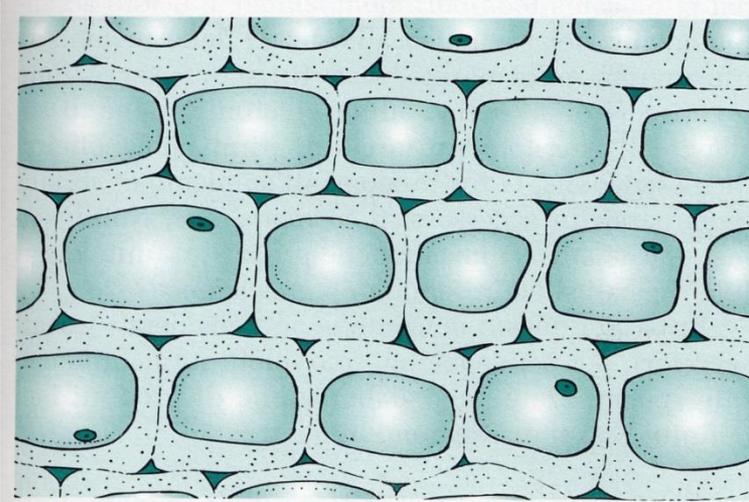
# COLLENCHIMA LAMELLARE



**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 lamellare

*strati di  
collenchima  
lamellare*

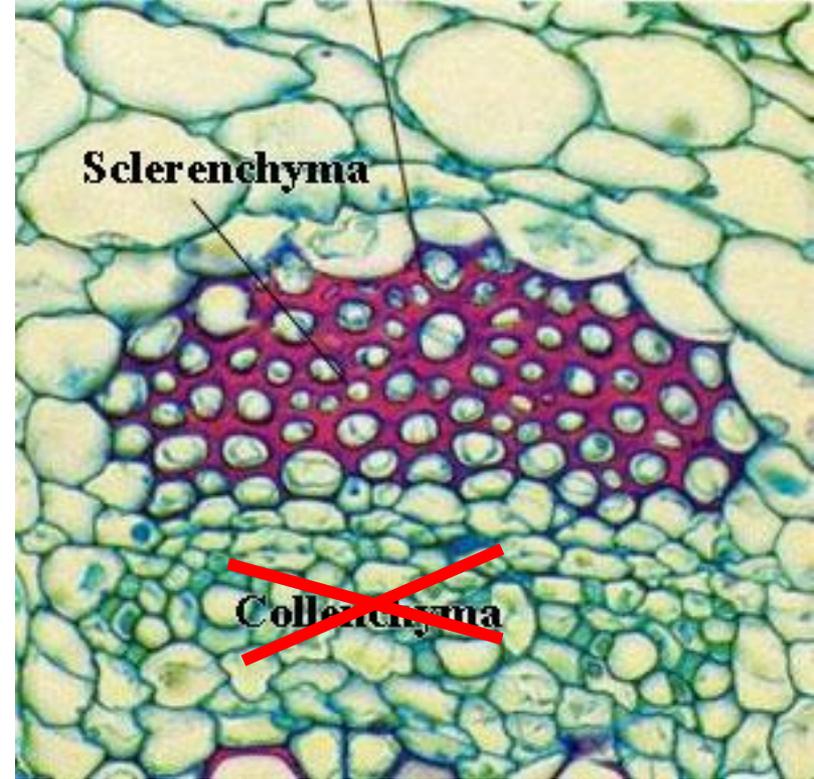
ispessimenti su singole pareti, in genere quelle tangenziali alla superficie esterna dell'organo in cui il tessuto si differenzia.

# COLLENCHIMA ANULARE / CIRCOLARE

E' il 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 (v. oltre).

# SCLERENCHIMA

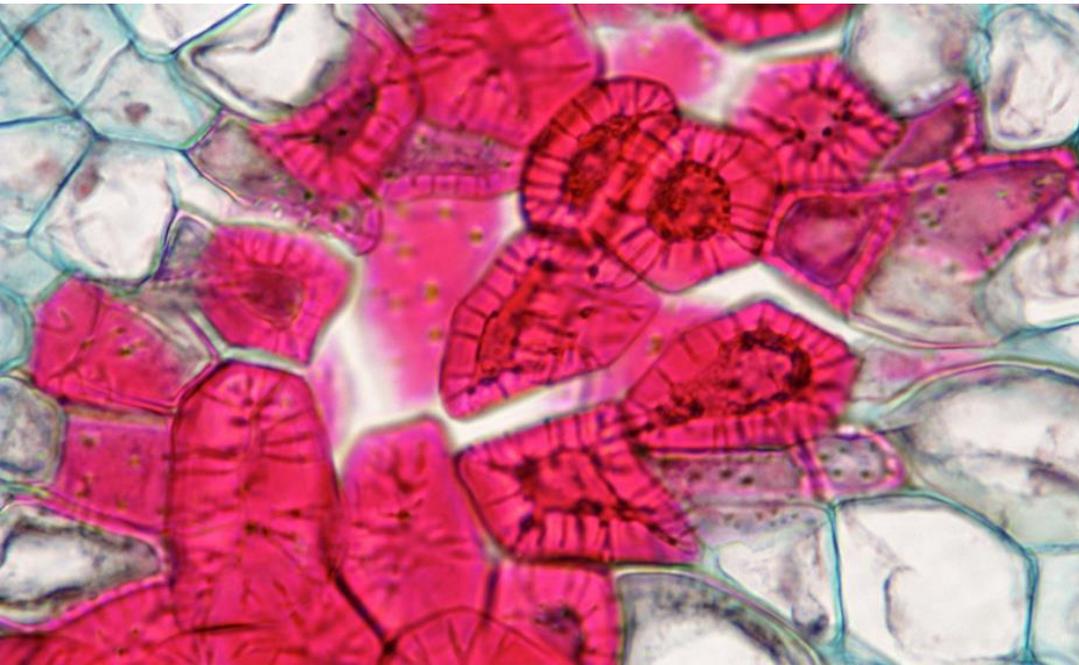
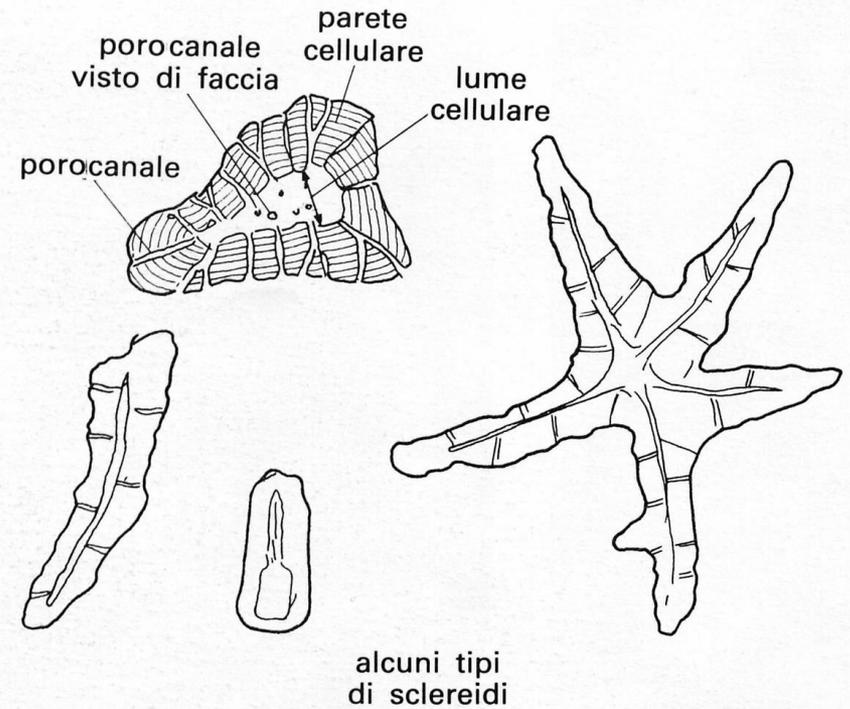
(dal gr. "skleros": duro, ruvido):  
caratteristico delle **strutture secondarie**, in strutture primarie soprattutto nelle monocotiledoni dove è il tessuto meccanico prevalente.



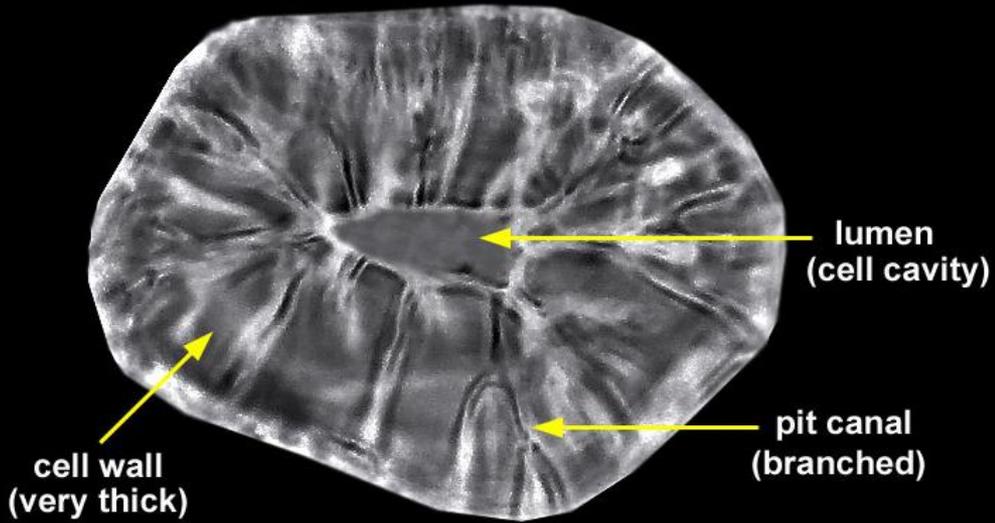
## Cellule:

- sono **fortemente allungate** ("prosenchimatiche"): **fibre e sclereidi**
- **parete fortemente ispessita e rigida** (formata da cellulosa spesso incrostata da **lignina** e caratteristicamente attraversata da punteggiature ramificate)
- **morte** (in seguito a di morte cellulare programmata ("Programmed Cell Death", *PCD*))
- **contengono lignina** (→ colorazione con verde iodio).

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



50 micrometers (0.00196 inches)



cell wall  
(very thick)

lumen  
(cell cavity)

pit canal  
(branched)

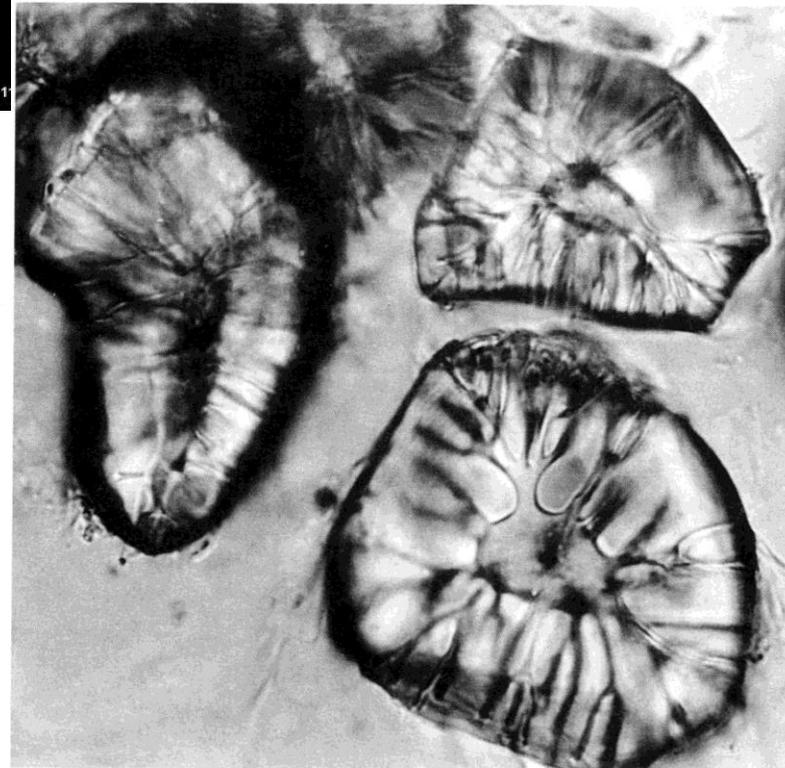
2000x

© W.P. Armstrong 2011

# Sclereidi



## brachisclereidi



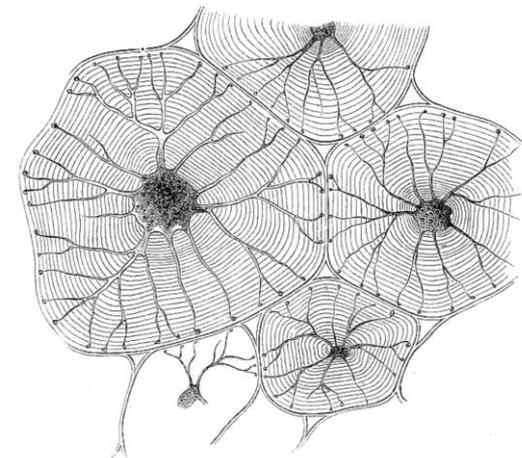
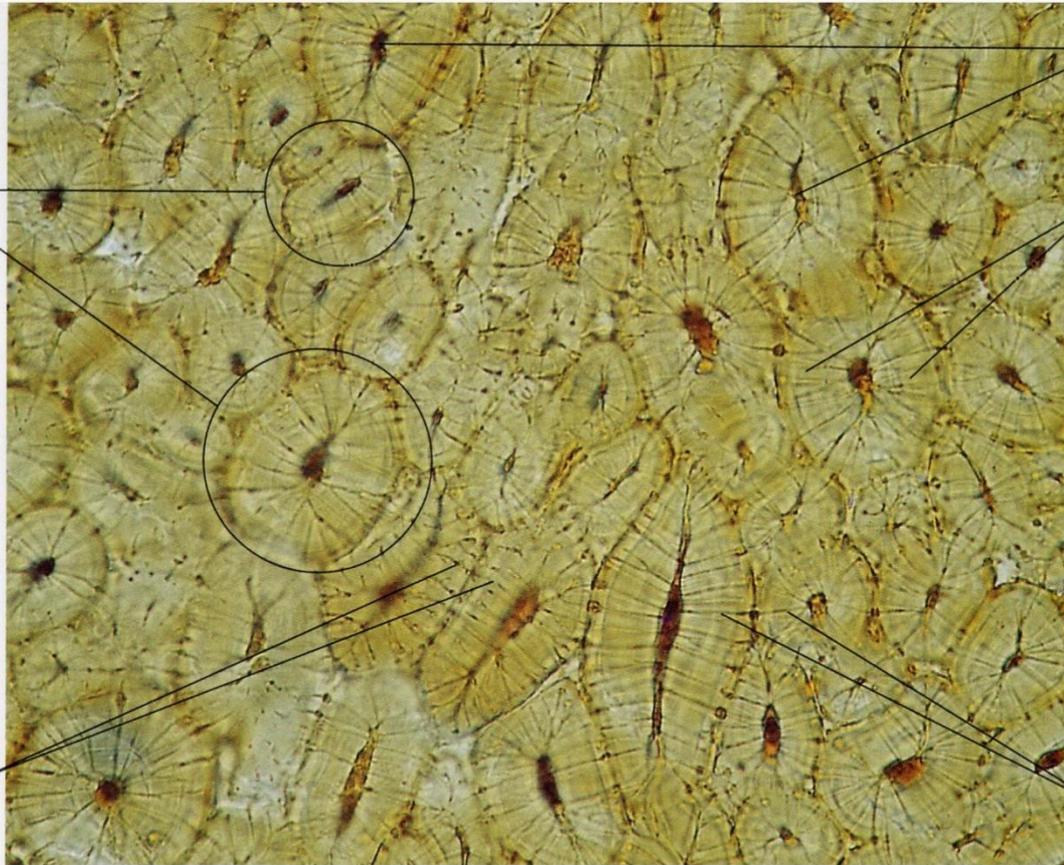
# Sclereidi

sclereidi

lume cellulare

parete della sclereide

punteggiature appaiate



**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.

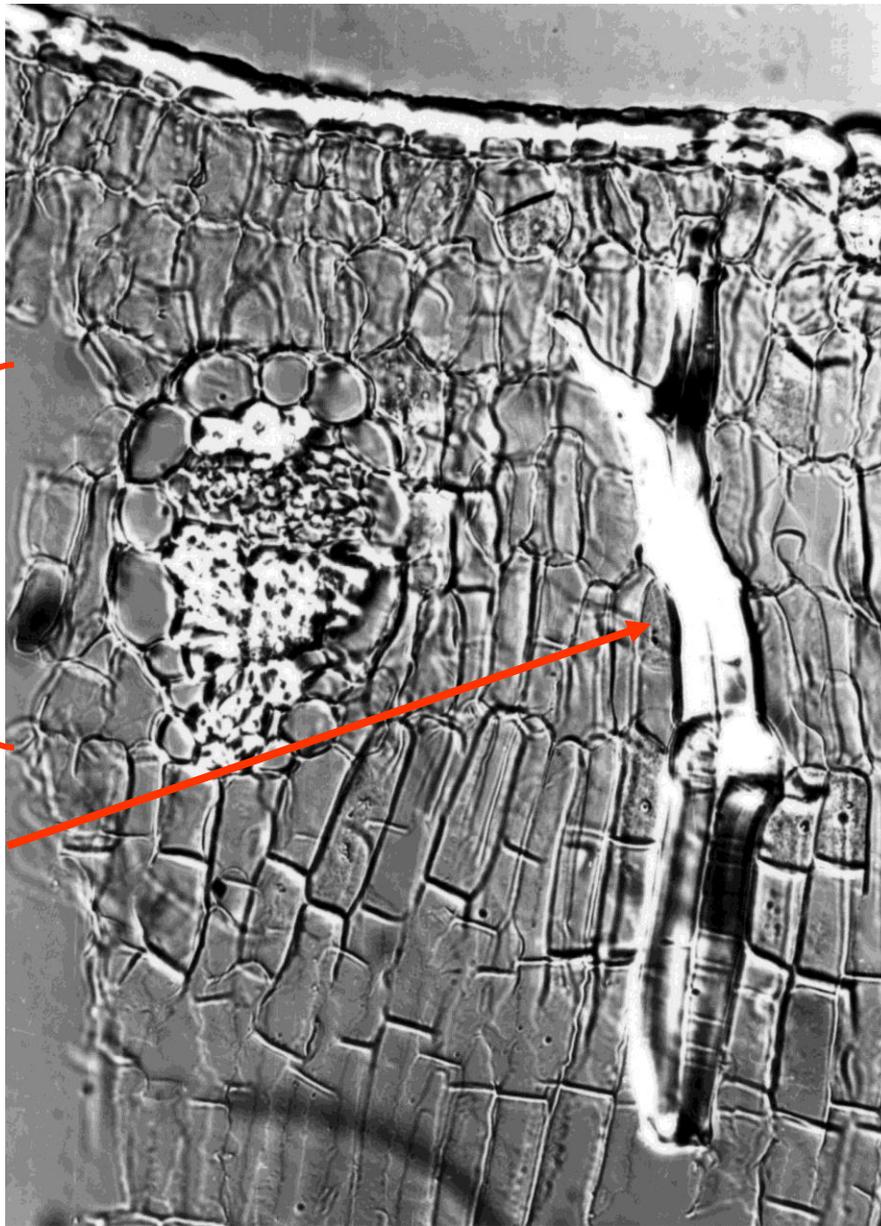
Spesso le punteggiature di una cellula confluiscono direttamente in quelle della cellula contigua: in questo caso le punteggiature sono dette *appaiate*.

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

# SCLEREIDI

Fascio di  
trasporto

sclereide

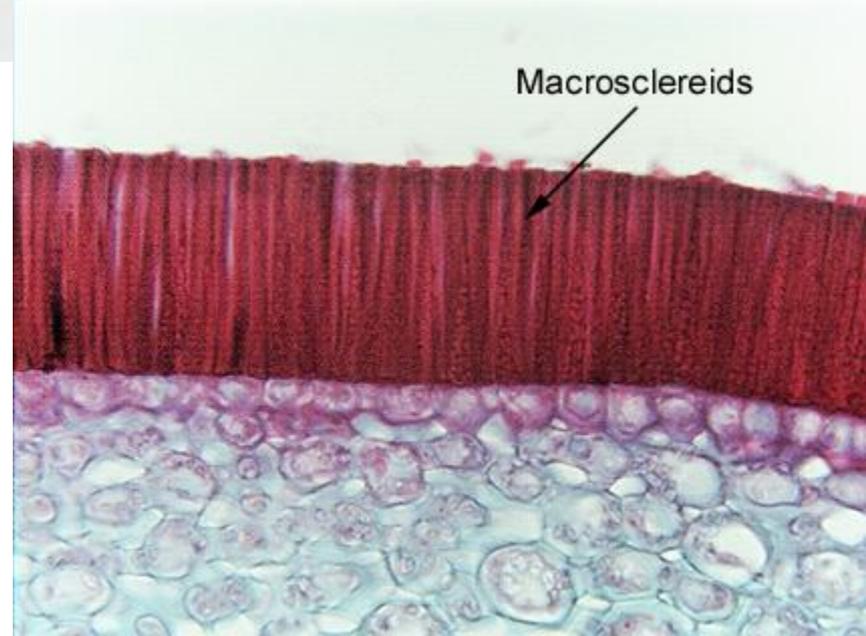
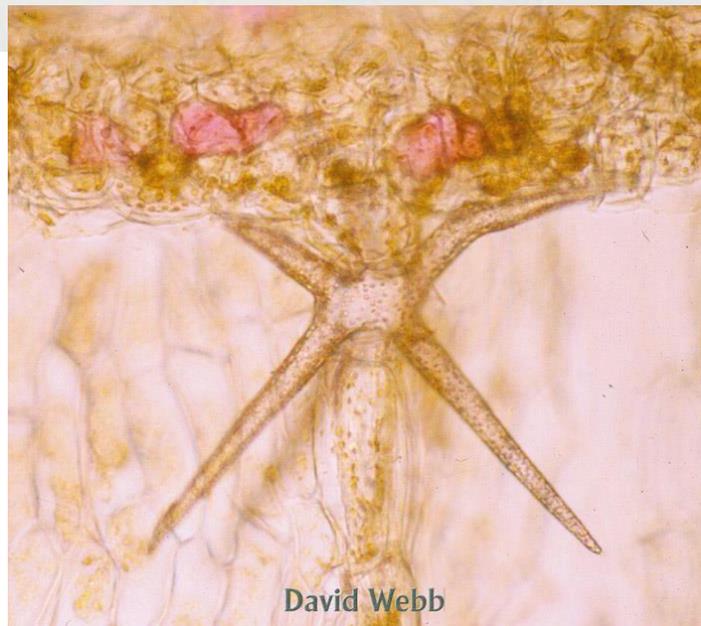
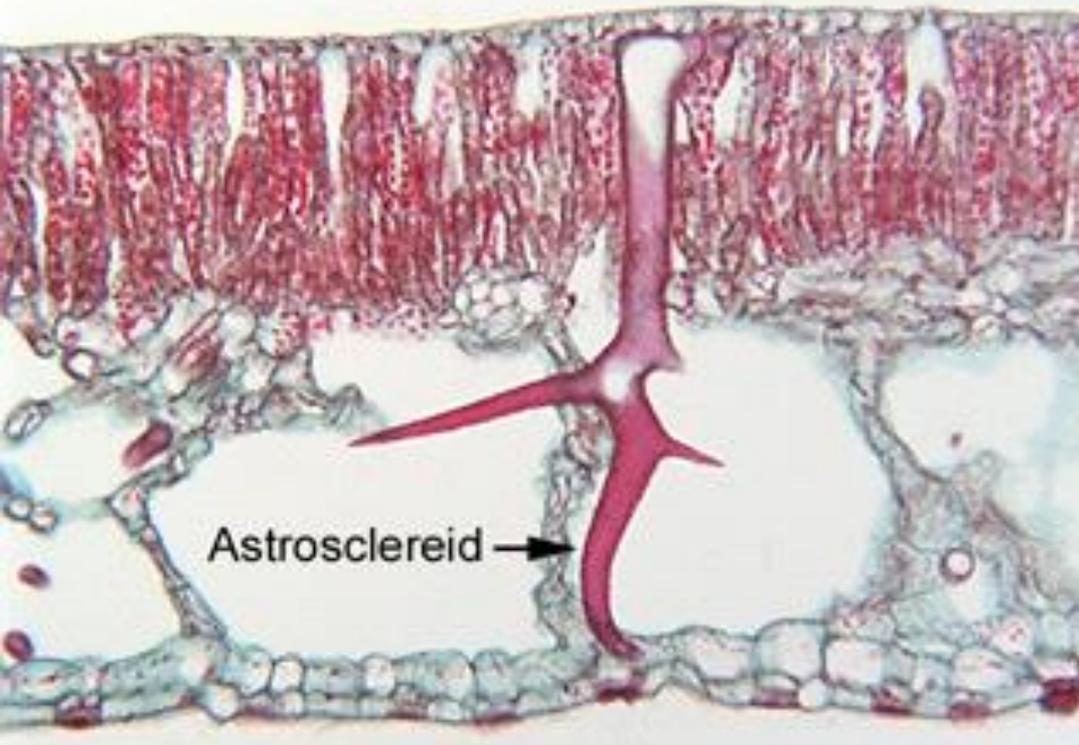


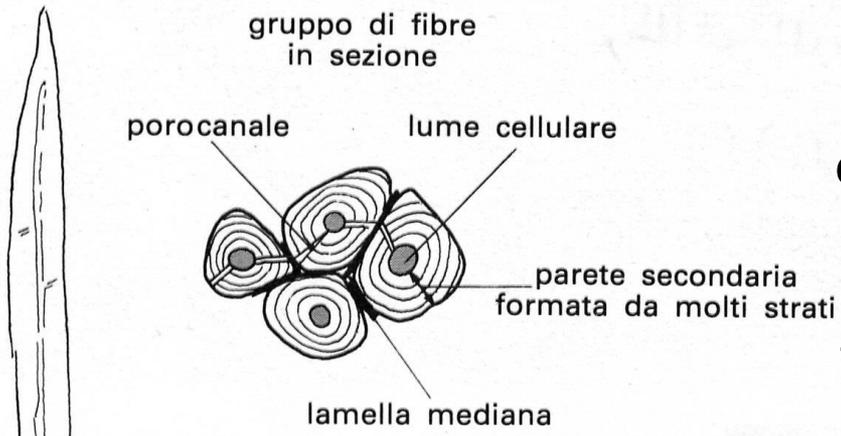
mesofillo



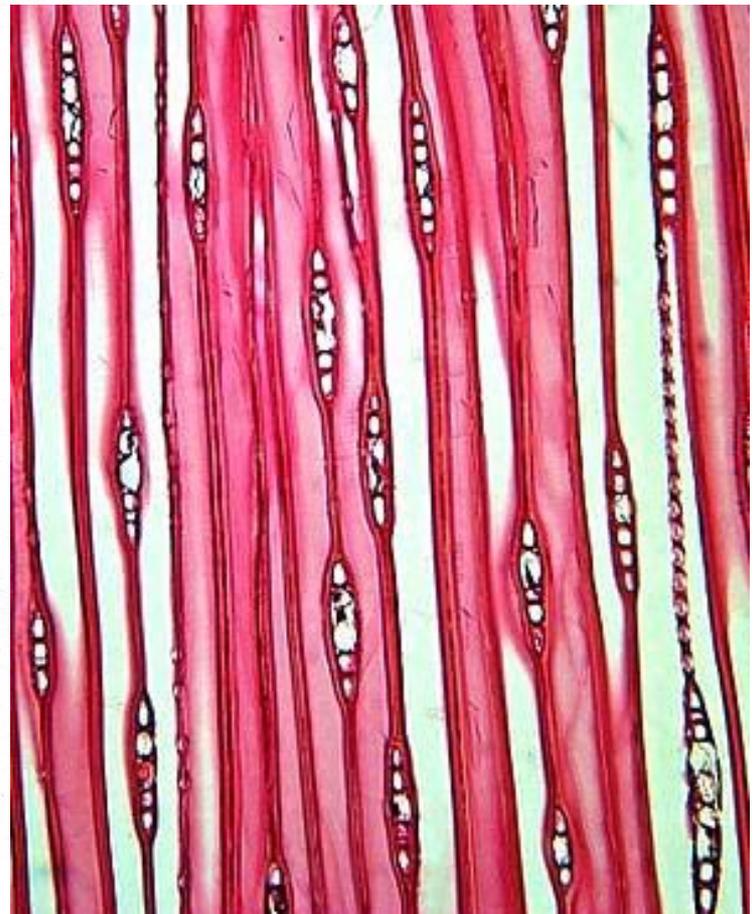
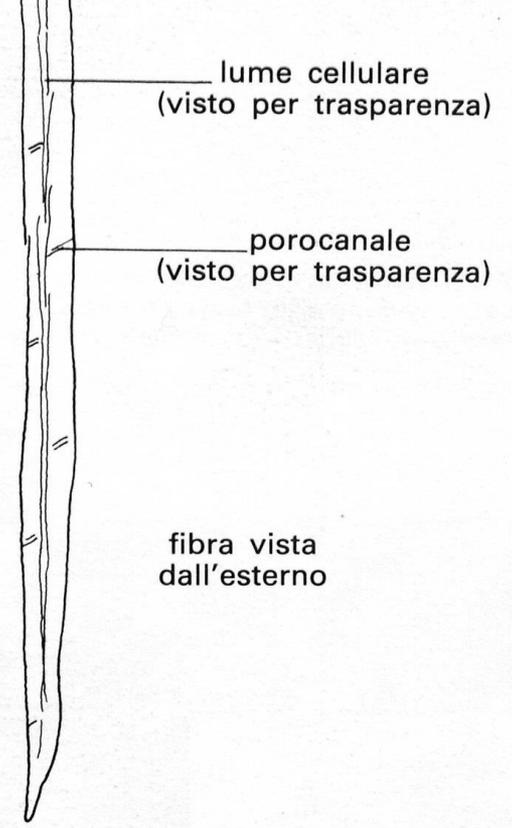
Foglia sclerofilla di *Phillyrea latifolia*, un  
albero a distribuzione circum-Mediterranea

# SCLEREIDI



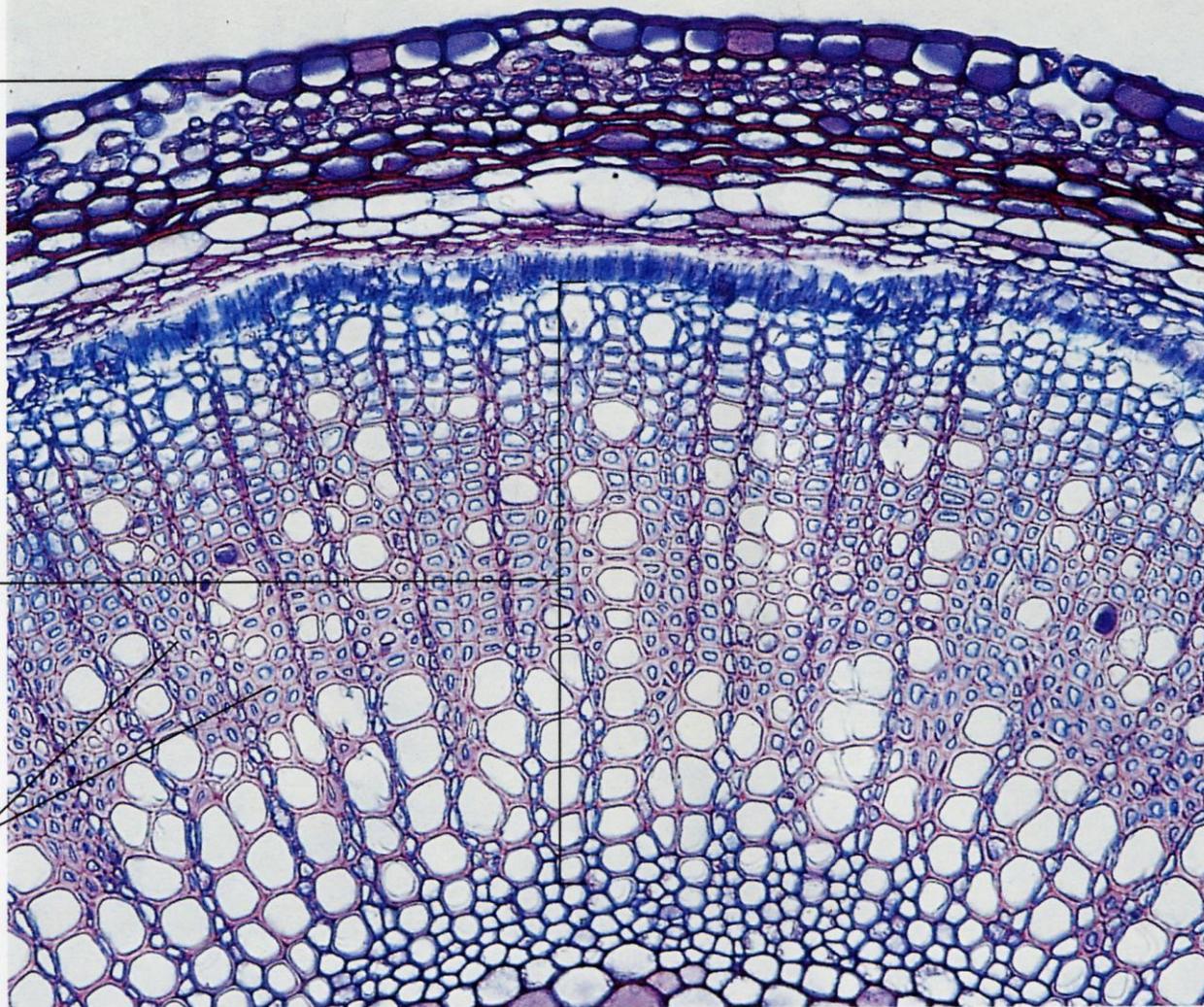


**FIBRE:** lunghe anche alcuni mm, eccezionalmente 10 cm (es. nel fusto del lino, *Linum usitatissimum*), presenti soprattutto nei fusti, nei piccioli delle foglie e lungo i fasci cribro-vascolari, con funzione di irrobustimento.



**Fibre xilari** = fibre xilematiche, fibre libriformi, cellule libriformi;  
nel legno secondario di angiosperme.

*zona  
tegumentale*



*zona corticale*

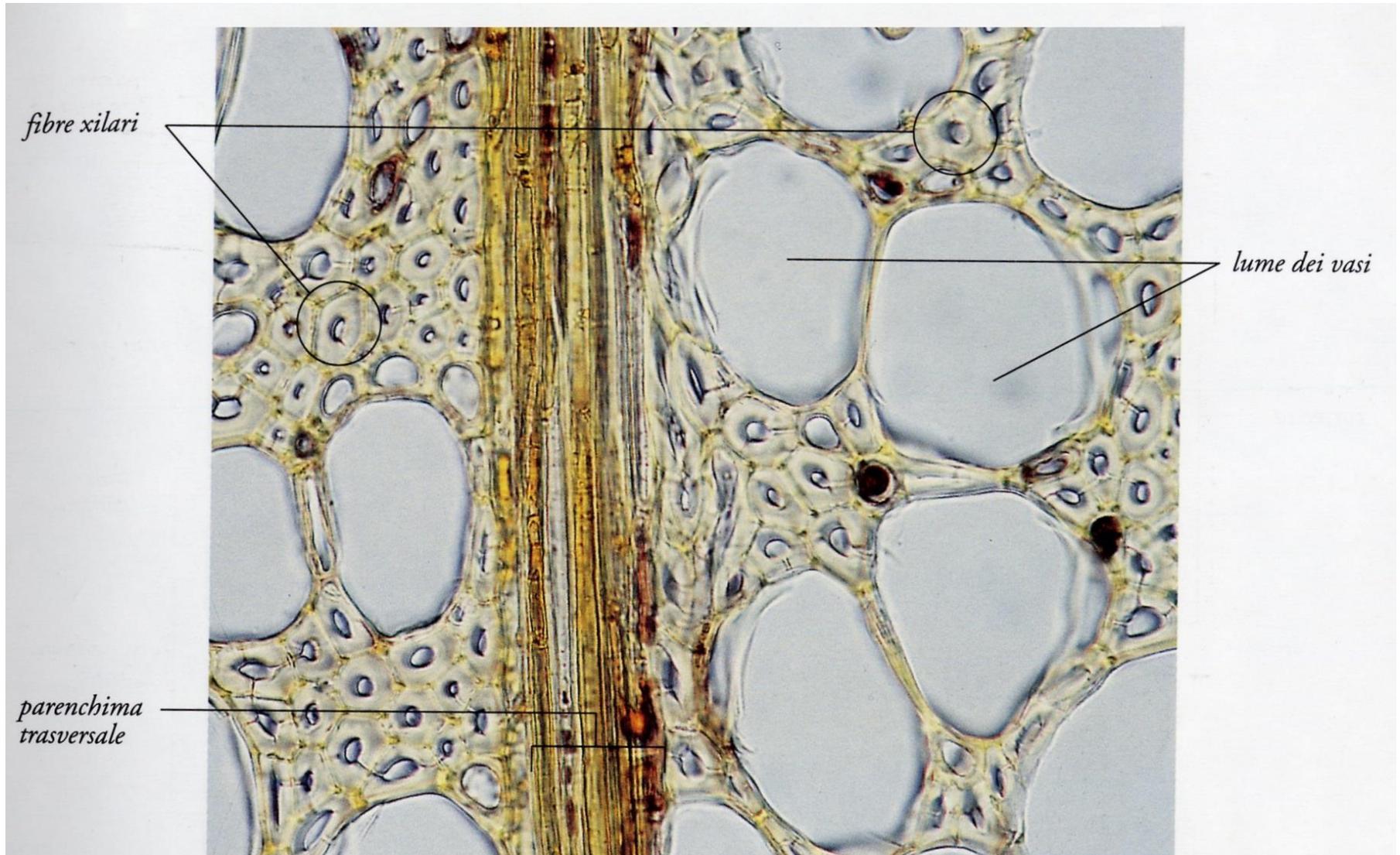
*cilindro  
centrale*

*legno*

*fibre del legno*

**Fibre xilari nel fusto dell'erba di S. Giovanni** (*Hypericum* L., fam. Guttiferae).  
Sezione trasversale. x 200 (210)

# Fibre xilari

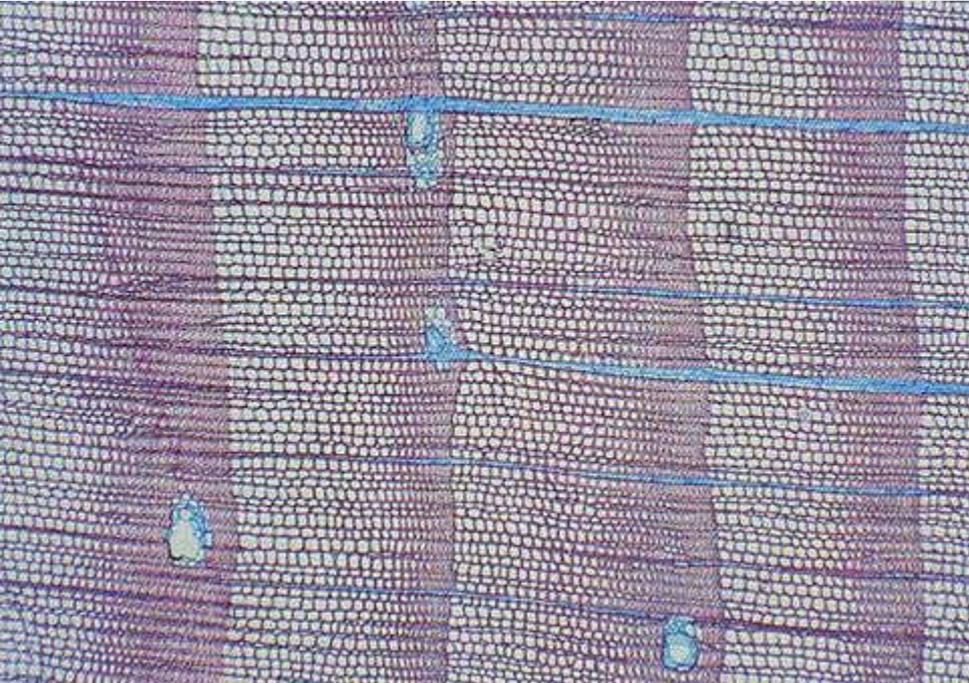
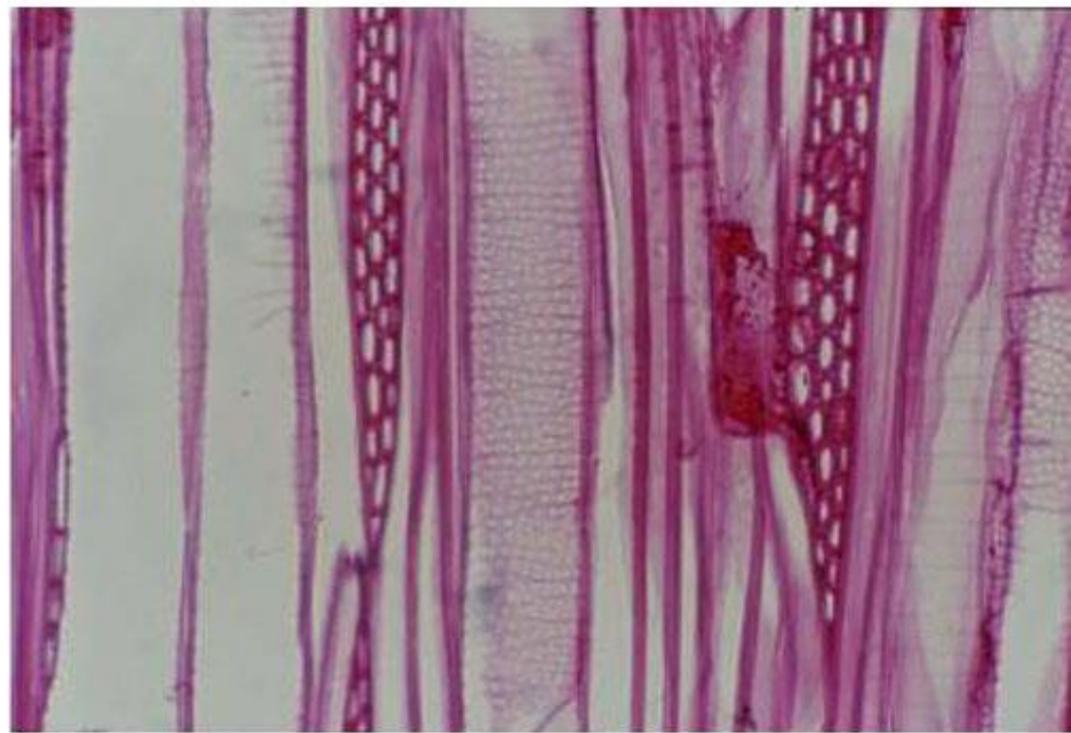


**Fibre de Fibre del legno di faggio** (*Fagus sylvatica* L., fam. Fagaceae).

Sezione Sezione trasversale. x 400 (420)

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

**Fibro-tracheidi**= fibre xilematiche nel legno di gimnosperme, con doppia F(x) meccanica e di trasporto.



# Fibre extra-xilari: eterogenee, NON nel legno!



**Fibre extraxilari nella corteccia del fusto di liquidambra** (*Liquidambar styraciflua* L., fam. Hamamelidaceae).

Sezione trasversale. x 400 (350)

La parete di queste fibre è molto ispessita, e il lume cellulare appare puntiforme nella sezione trasversale.

# 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.

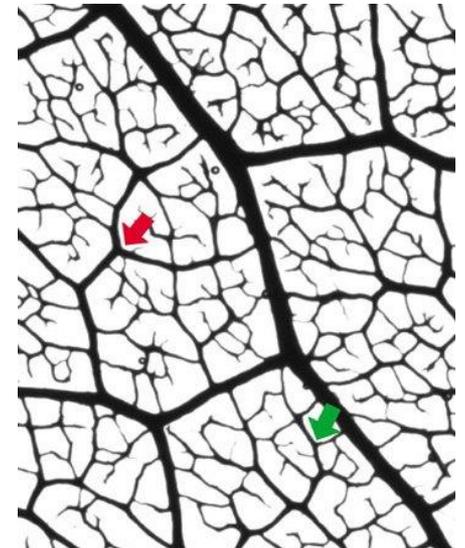
# Fibre extra-xilari

Fascio di fibre

Fascio di trasporto



mesofillo

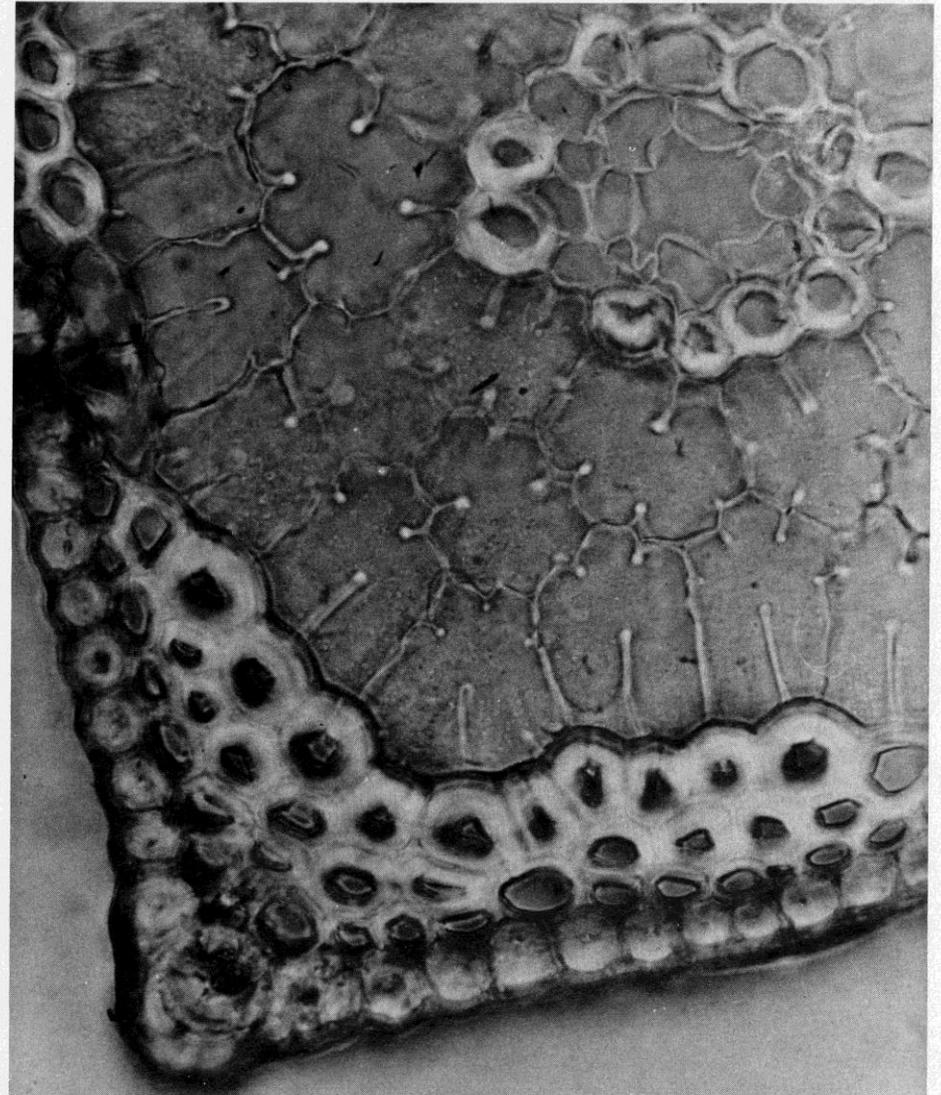


Sezione trasversale di foglia sclerofilla di *Quercus ilex* (leccio), una specie a distribuzione circum-Mediterranea.



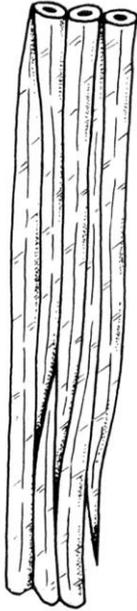
# Fibre extra-xilari

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 invaginazioni della parete. In alto a destra si vede un canale resinifero.



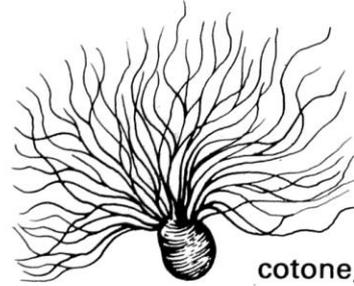


## TIPO DI FIBRA TESSILE



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

lino, canapa, iuta, ecc.



cotone, 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 tessuti di lino e cotone sono fatti da cellule prive di lignina.



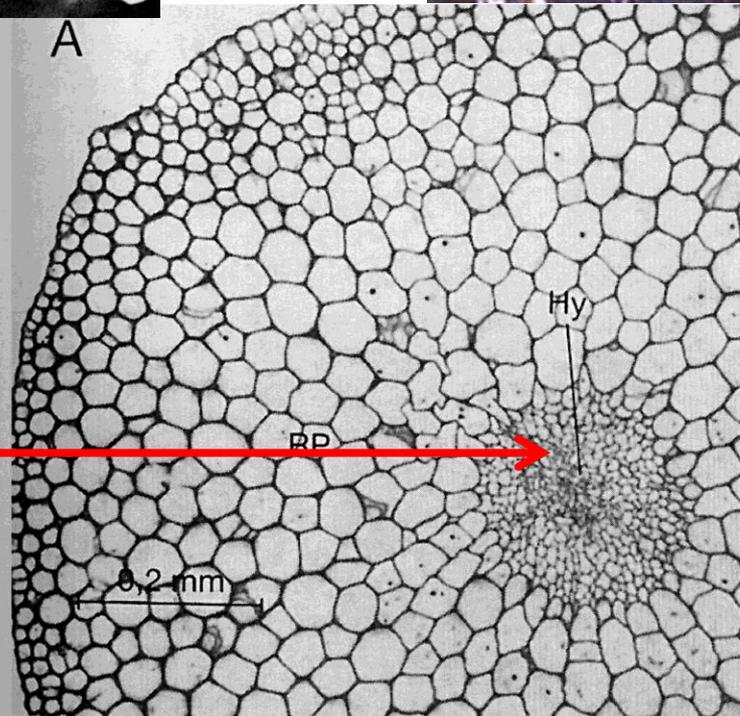
A black and white microscopic image of a textile seam. The left side shows a mesh-like fabric with small, regular holes. The right side shows a ribbed fabric with distinct horizontal ridges. A central vertical seam joins the two materials. A semi-transparent white horizontal bar is overlaid across the center, containing the text 'TESSUTI DI TRASPORTO' in bold, black, uppercase letters.

# TESSUTI DI TRASPORTO

# MUSCHI



A



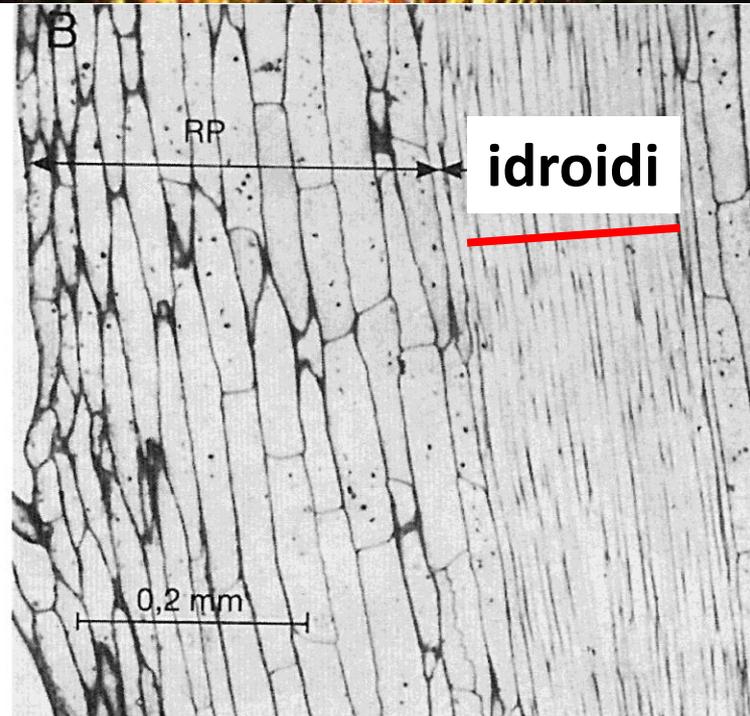
idroidi

RP

Hy

0,2 mm

B



RP

idroidi

0,2 mm



TRACHEOFITE

BRIOFITE



*o cormofite (struttura a corno, formato da vere foglie, caule e radici)*

SPERMATOFITE

PTERIDOFITE



*“piante con seme”*

*crittogame vascolari*

Gimnosperme

Angiosperme

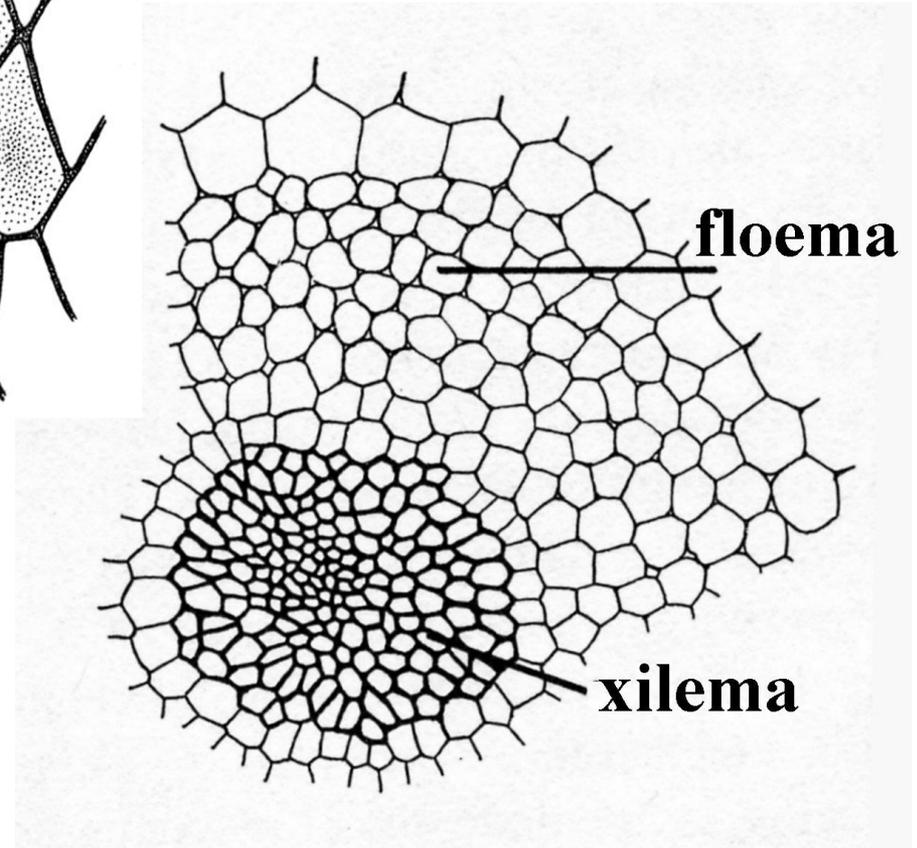
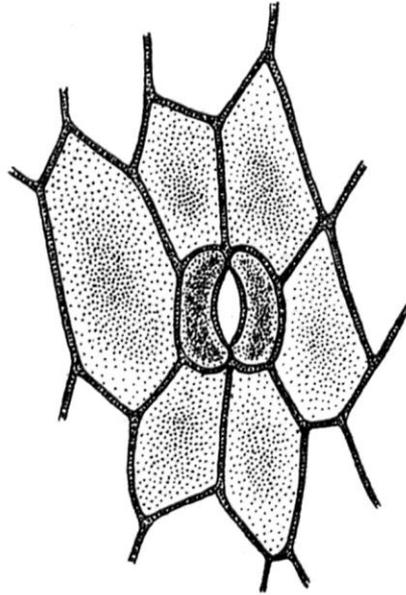
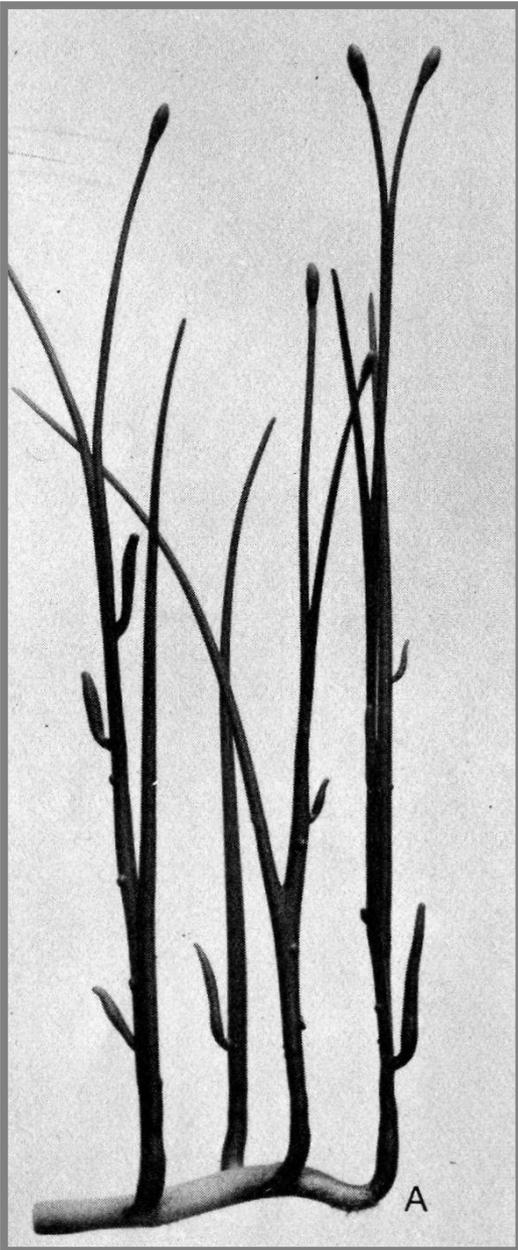
*“a seme nudo”*

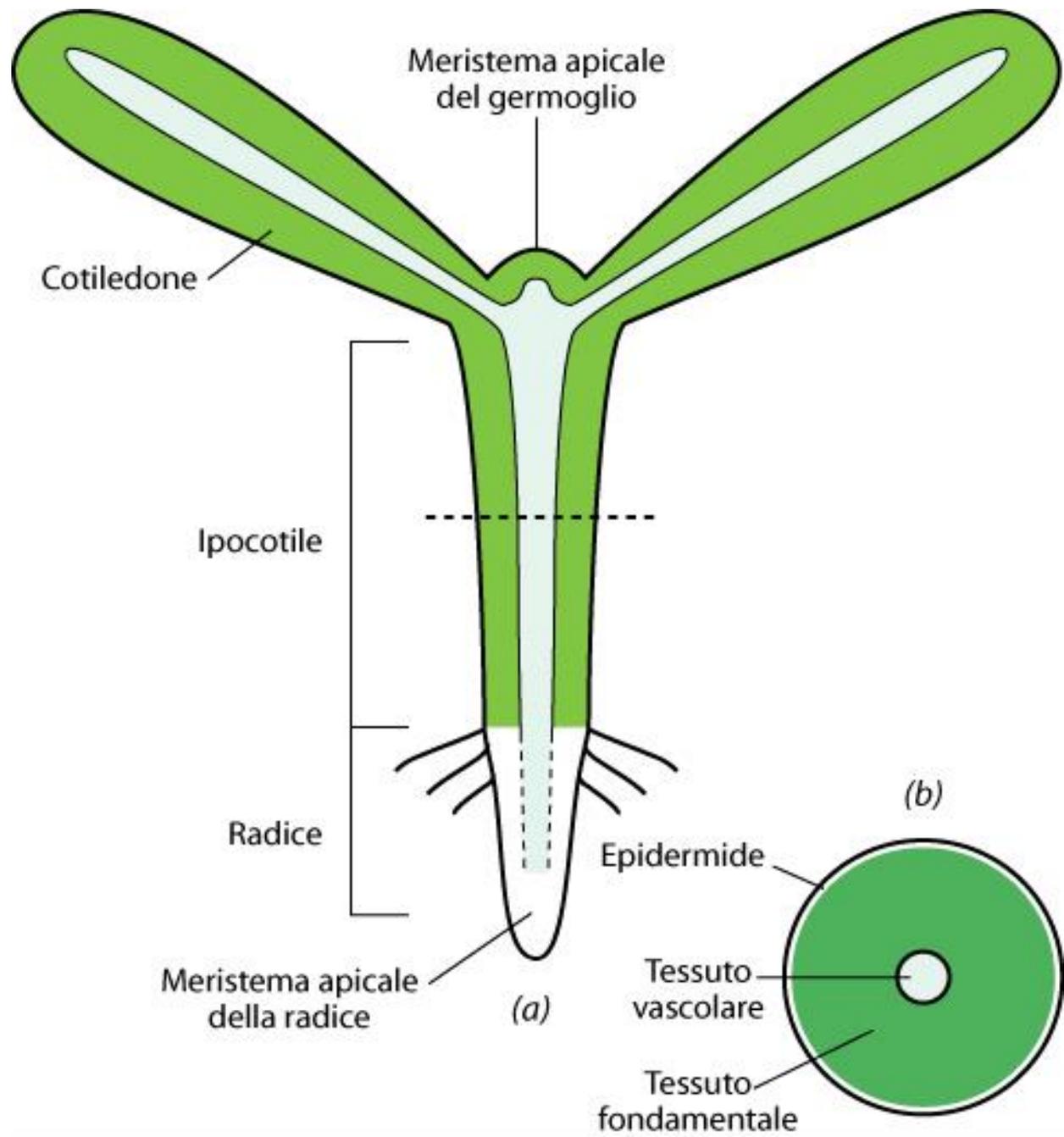
*“a seme protetto”*

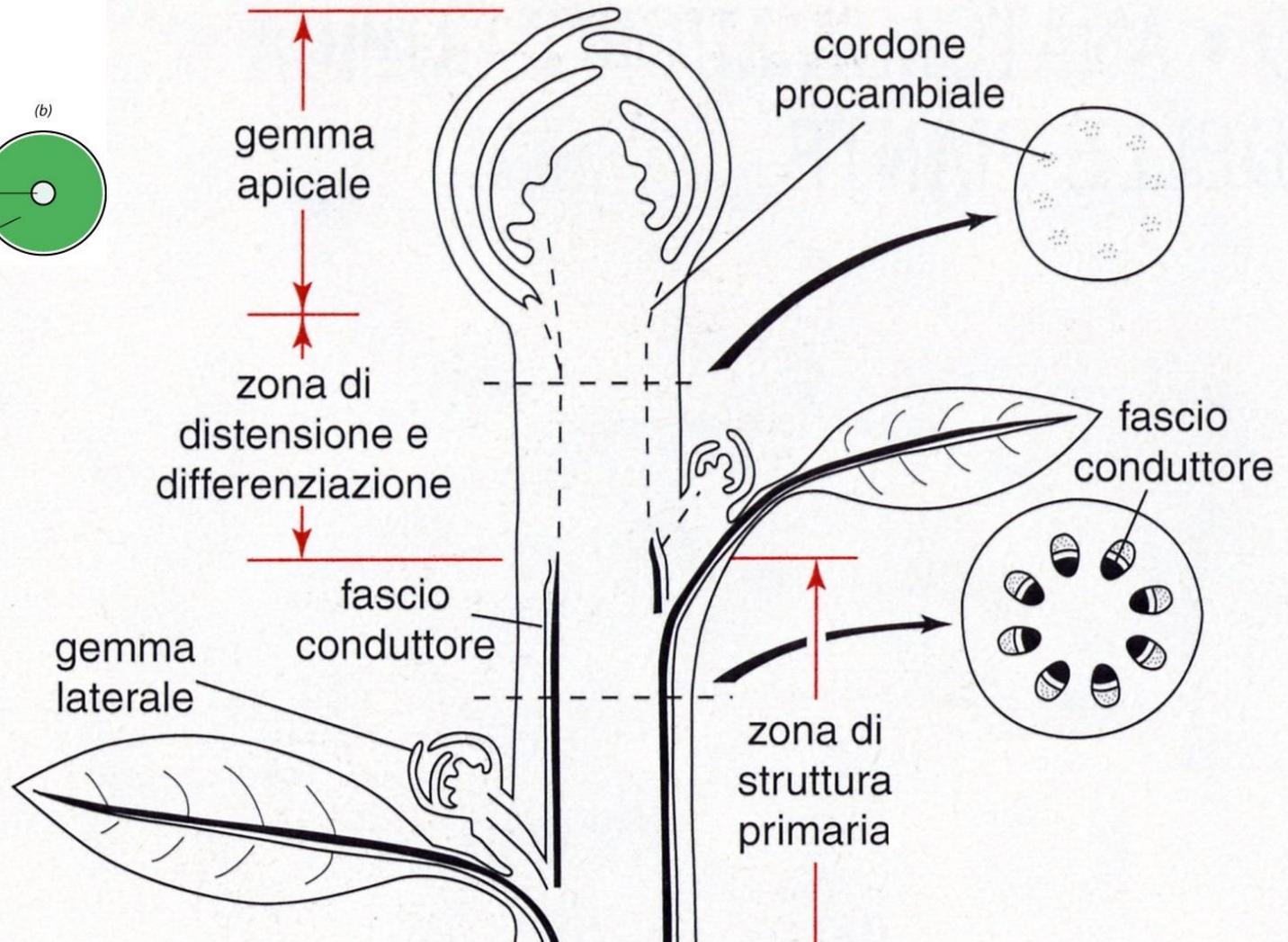
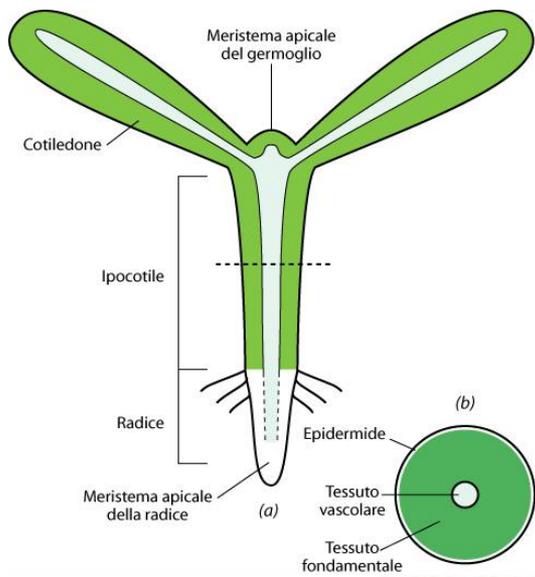


# *Rhynia gwynne-vaughani*:

pianta vascolare ancestrale del  
Devoniano

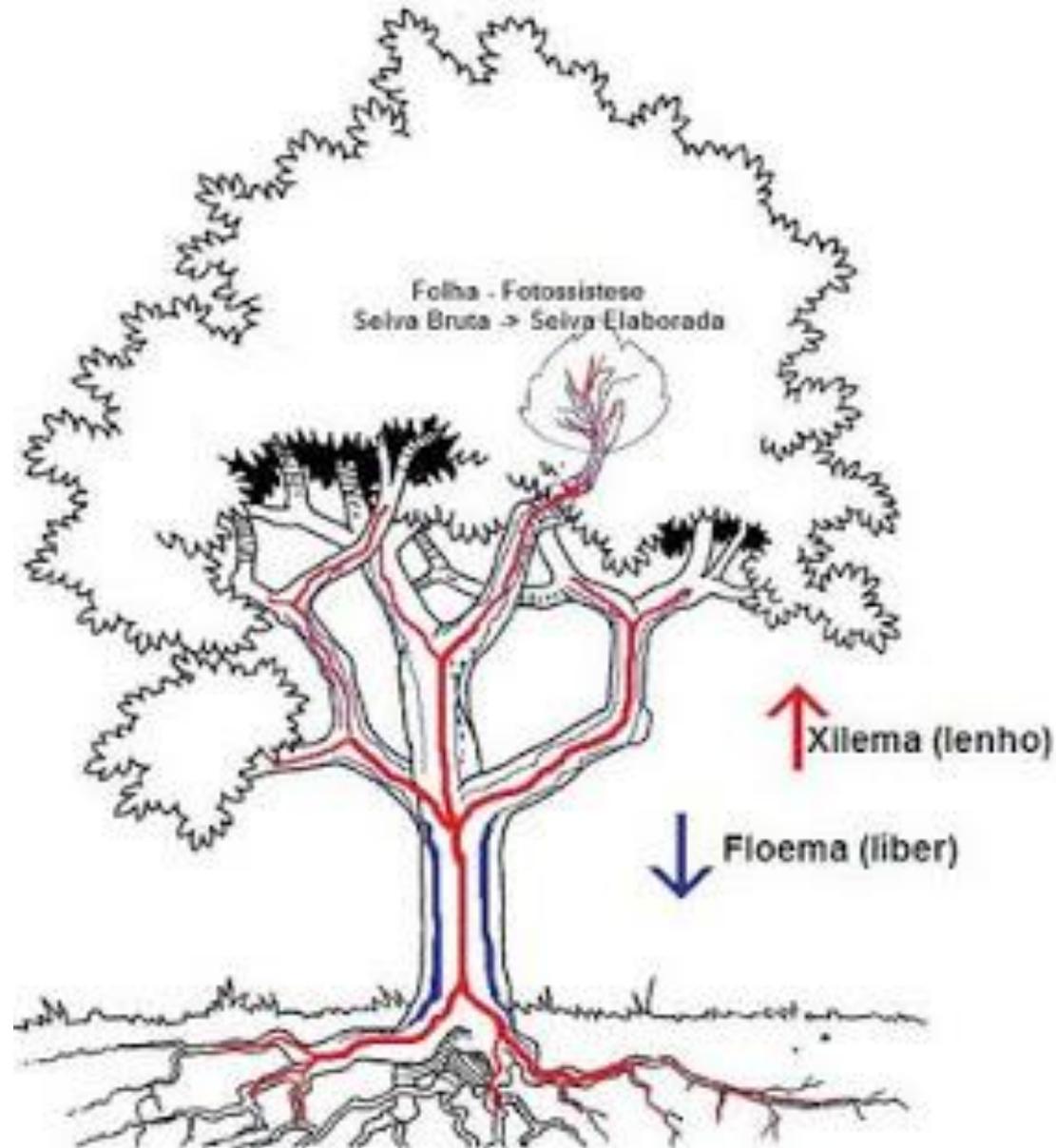






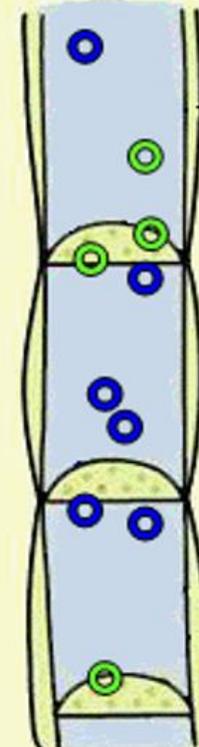
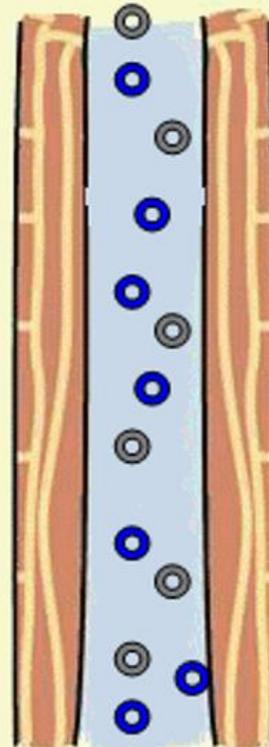
**XILEMA** – trasporta “**LINFA GREZZA**” (acqua, ioni minerali) dall’apparato radicale verso le altre parti della pianta, e quindi soprattutto le foglie, dove la traspirazione è più intensa.

**FLOEMA** – trasporta “**LINFA ELABORATA**” (H<sub>2</sub>O, molecole organiche mono- ed oligosaccaridi, fitormoni, aminoacidi, etc.) dagli organi di produzione agli organi che li devono accumulare o consumare, e.g. dalle foglie agli organi di riserva, ai frutti in formazione, ai tessuti in attiva crescita.



## XILEMA

## FLOEMA



Sentido único

Transporte de  
água e sais

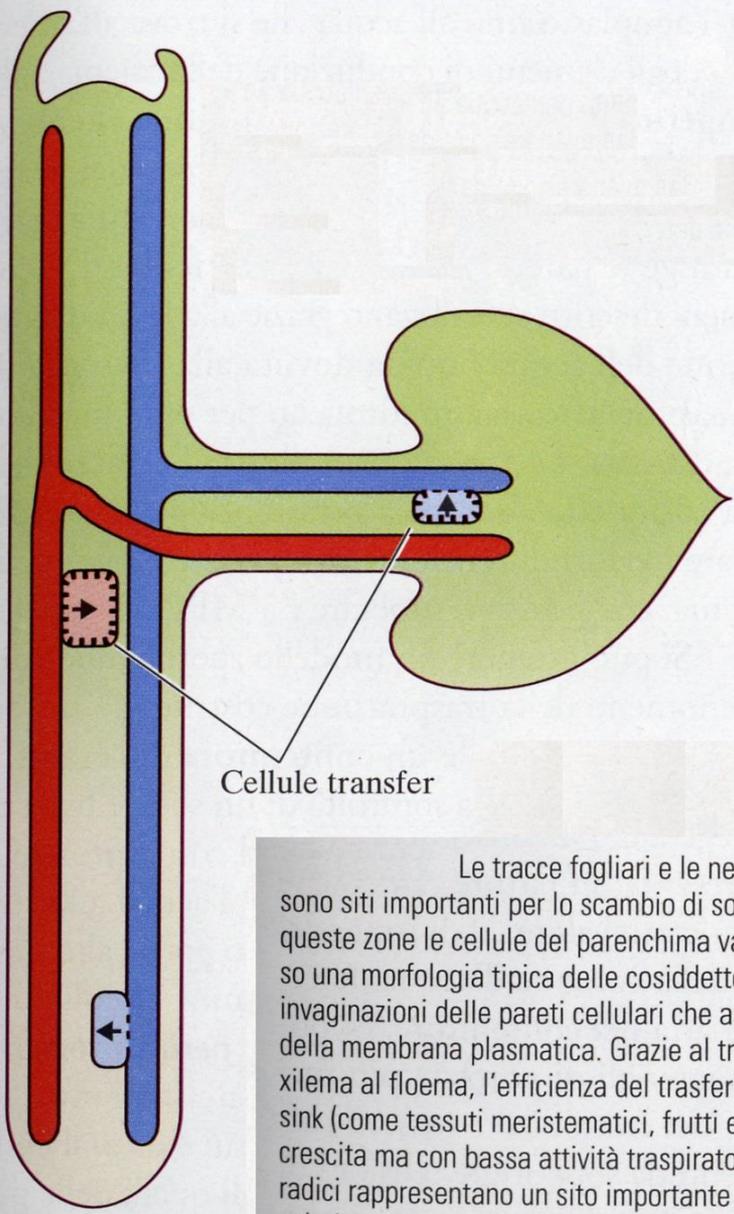
Células mortas, sem  
parede

Rica em lignina

Transporte de  
água e alimento

Células vivas, com paredes  
ricas em poros

Ambos os sentidos



Floema  
 Xilema

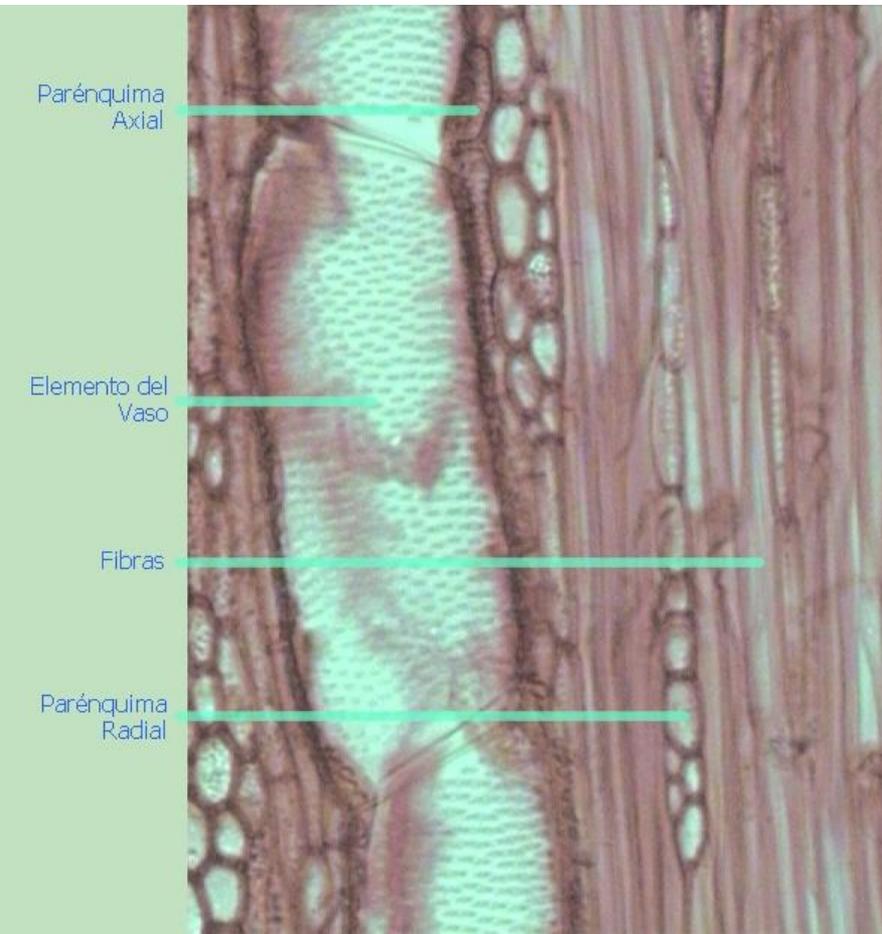
Cellule transfer

Le tracce fogliari e le nervature minori delle foglie sono siti importanti per lo scambio di soluti tra xilema e floema. In queste zone le cellule del parenchima vascolare presentano spesso una morfologia tipica delle cosiddette cellule transfer, con invaginazioni delle pareti cellulari che aumentano la superficie della membrana plasmatica. Grazie al trasferimento di soluti dallo xilema al floema, l'efficienza del trasferimento di nutrienti verso sink (come tessuti meristematici, frutti e semi) in fase di rapida crescita ma con bassa attività traspiratoria risulta aumentata. Le radici rappresentano un sito importante per il trasferimento di soluti dal floema allo xilema, e rimandano al germoglio una quota importante di alcuni soluti trasportati nel floema (amminoacidi e  $K^+$ ). Le cellule coinvolte nel trasferimento di soluti dal floema allo xilema non presentano le caratteristiche morfologiche delle cellule transfer.

**Cellule transfer:**  
 cellule compagne  
 del floema  
 deputate al  
 trasferimento di  
 soluti tra xilema e  
 floema →  
 efficienza!

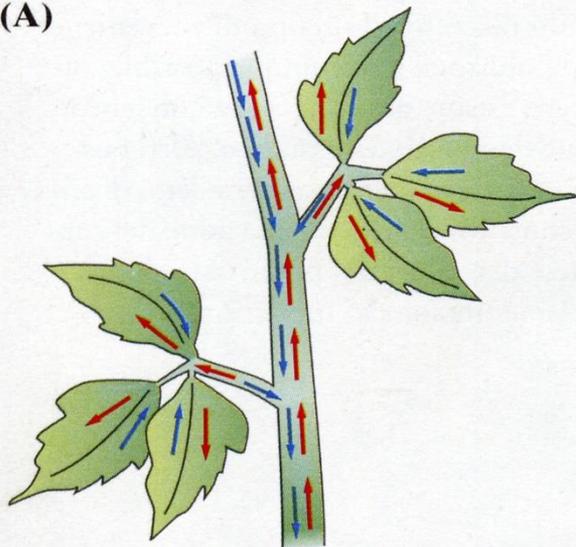
Lo **XILEMA** può essere composto da diversi elementi:

- **tracheidi**
- **elementi tracheali**, a formare le **trachee**
- **fibre** (cellule morte)
- **cellule parenchimatice** (cellule vive)

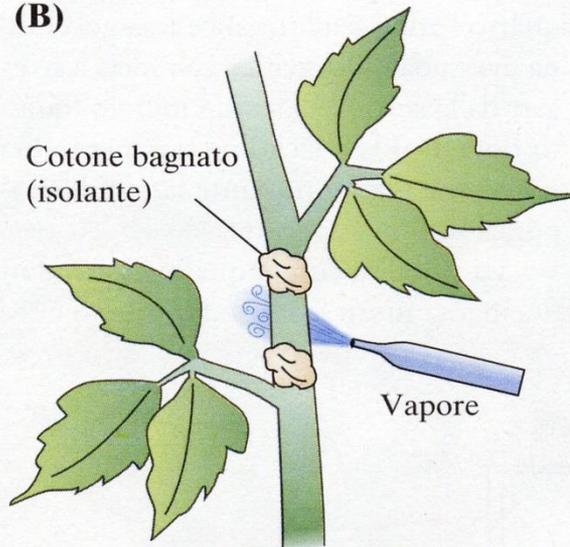


trasporto dell'acqua;  
cellule morte: i  
protoplasti sono  
degenerati, la cellula è  
vuota e persiste solo la  
parete.

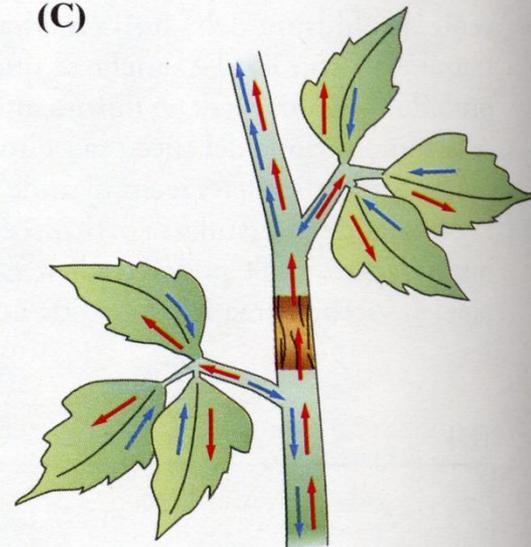
(A)



(B)



(C)



Effetto della decorticazione ad anello mediante applicazione di vapore bollente sul trasporto xilematico e floematico. (A) Prima del trattamento il trasporto floematico si verifica in direzione discendente a livello di entrambi i nodi. (B) Un internodo viene

sottoposto a decorticazione ad anello utilizzando un getto di vapore bollente. La protezione con un tampone di cotone bagnato delle zone al di sopra e al di sotto di quella trattata permette di limitare il surriscaldamento a una porzione del fusto. (C) Né il trasporto per

via xilematica né quello per via floematica dalla foglia situata a valle della anellatura vengono influenzati dal trattamento, mentre il trasporto per via floematica dal nodo superiore si verifica solo in direzione ascendente, poiché il floema a livello dell'internodo sottostante è stato ucciso.

# Lo xilema

Lo XILEMA può essere composto da diversi elementi:

**tracheidi;**

**trachee;**

**fibre;**

**cellule parenchimatiche.**

I primi due elementi servono per il trasporto dell'acqua, e sono morti quando svolgono la loro funzione: i loro protoplasti sono degenerati, e la cellula si è svuotata: persiste in loco solo la parete. Anche le fibre sono morte. Solo le cellule parenchimatiche sono vive quando svolgono la loro funzione (comunque non essenziale per garantire il trasporto dell'acqua).

# TRACHEIDI:

- cellule allungate con estremità in genere appuntita,
- parete lignificata (spesso molto lignificata: ad esempio nel caso delle fibrotracheidi delle conifere)
- numerose punteggiature
- lunghe ca. 0,3-10 mm,  $2r = 30 \mu\text{m}$
- presenti in pteridofite, gimno- ed angiosperme
- “vasi chiusi”



fibra



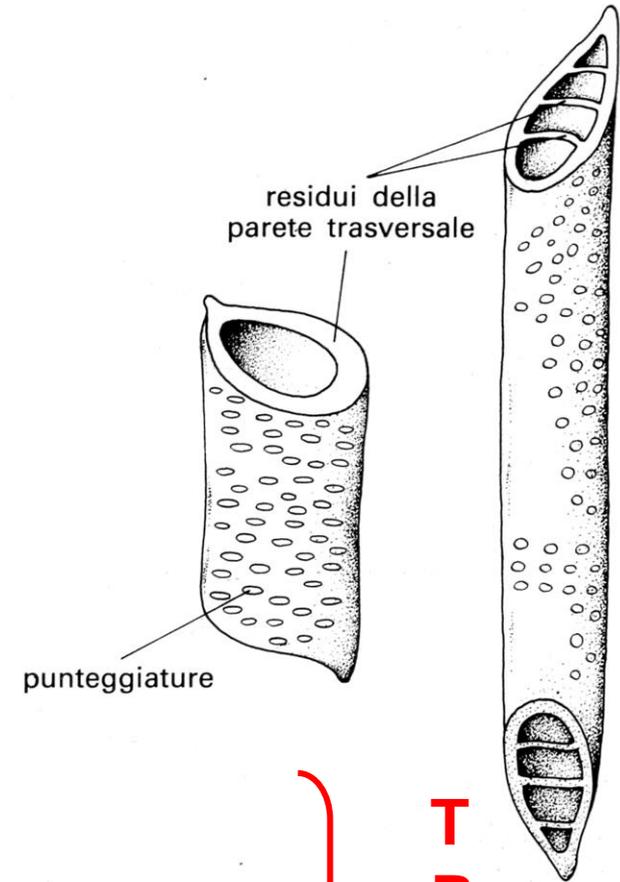
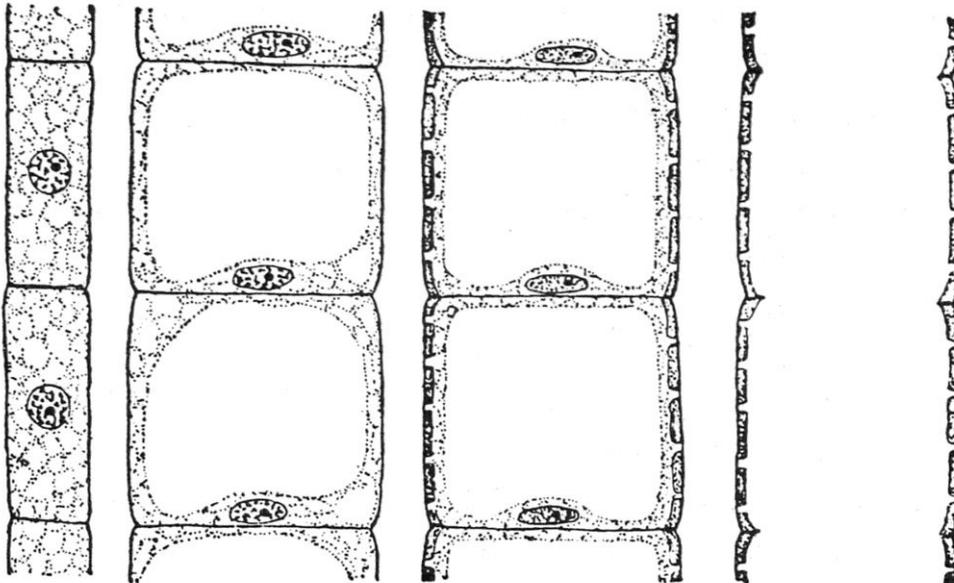
tracheide  
(vaso chiuso)

punteggiature che fanno comunicare una tracheide con la successiva

punteggiature

# TRACHEE:

- elementi composti, formati da più cellule ("elementi della trachea") impilate le une sulle altre, a formare delle colonne lunghe (eccezionalmente anche alcuni metri nelle liane)
- Le pareti trasversali son quasi del tutto scomparse → tubo
- "vasi aperti"



elemento  
tracheale

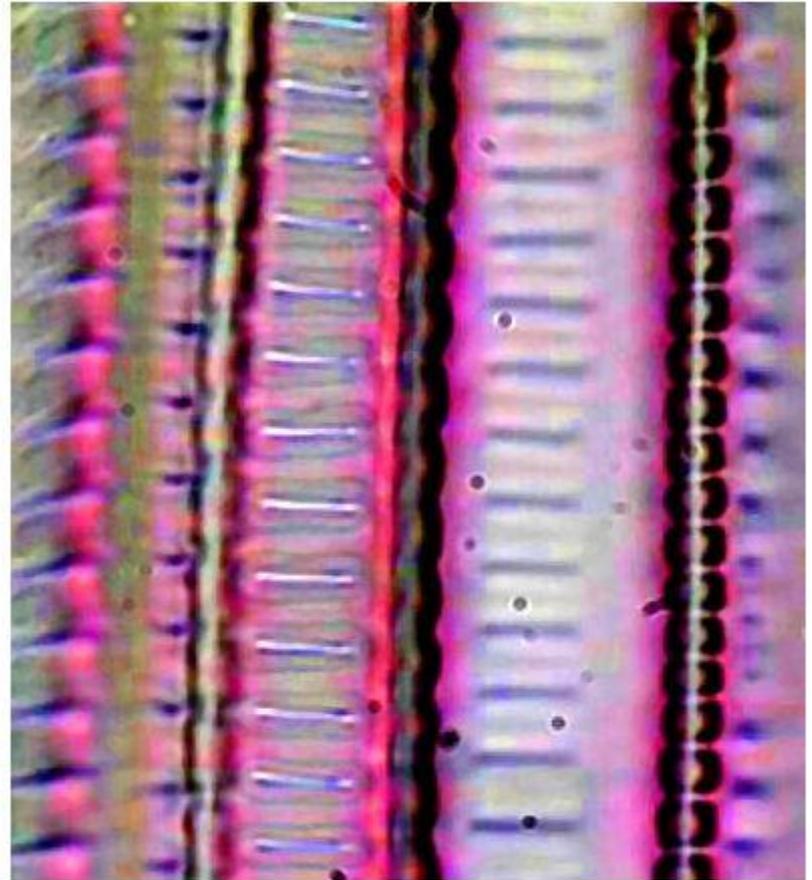
TRACHEA

Trachee o  
Vasi

più corte,  
lume ampio

Tracheidi

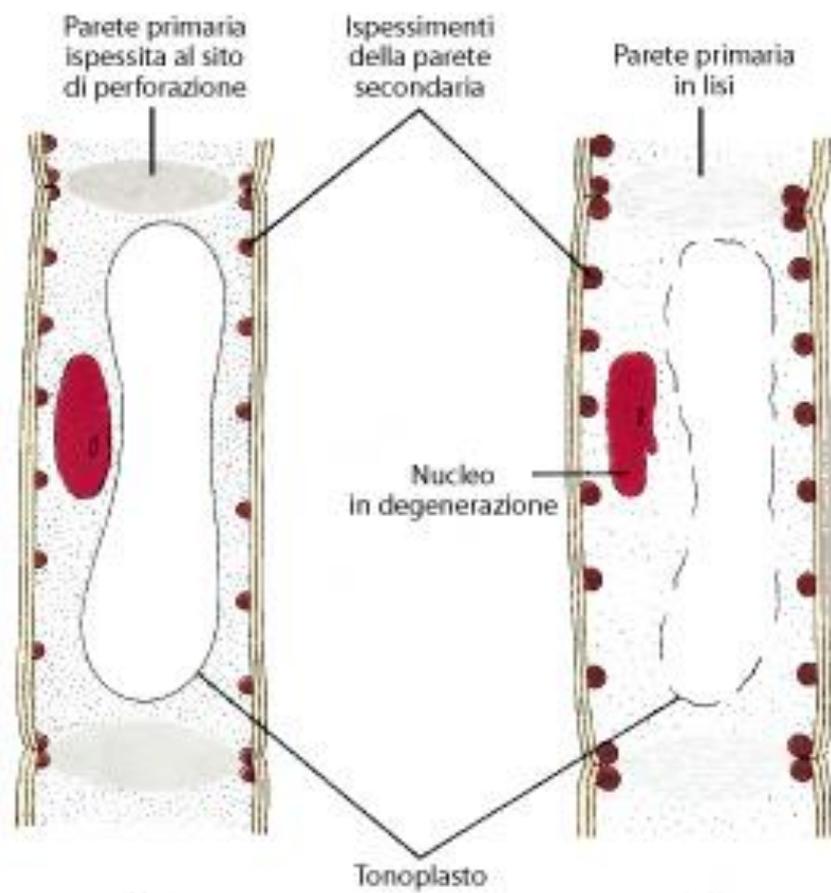
molto allungate,  
lume stretto



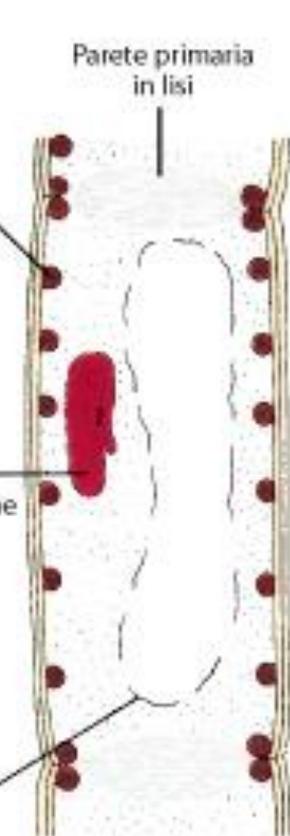
Tracheidi scalariformi



(a)



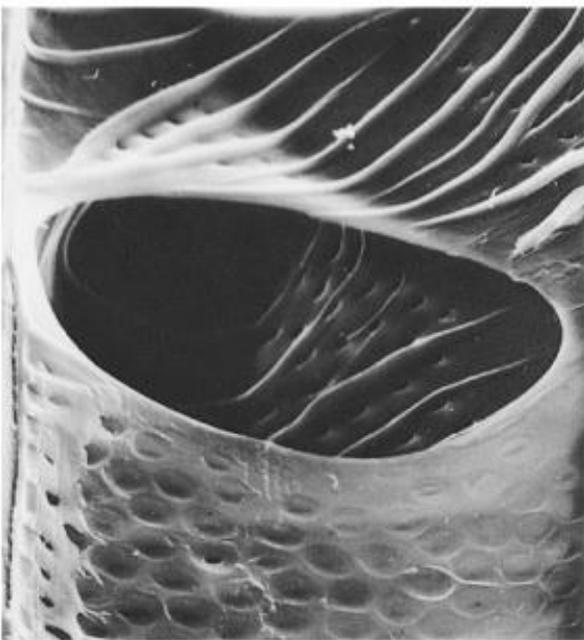
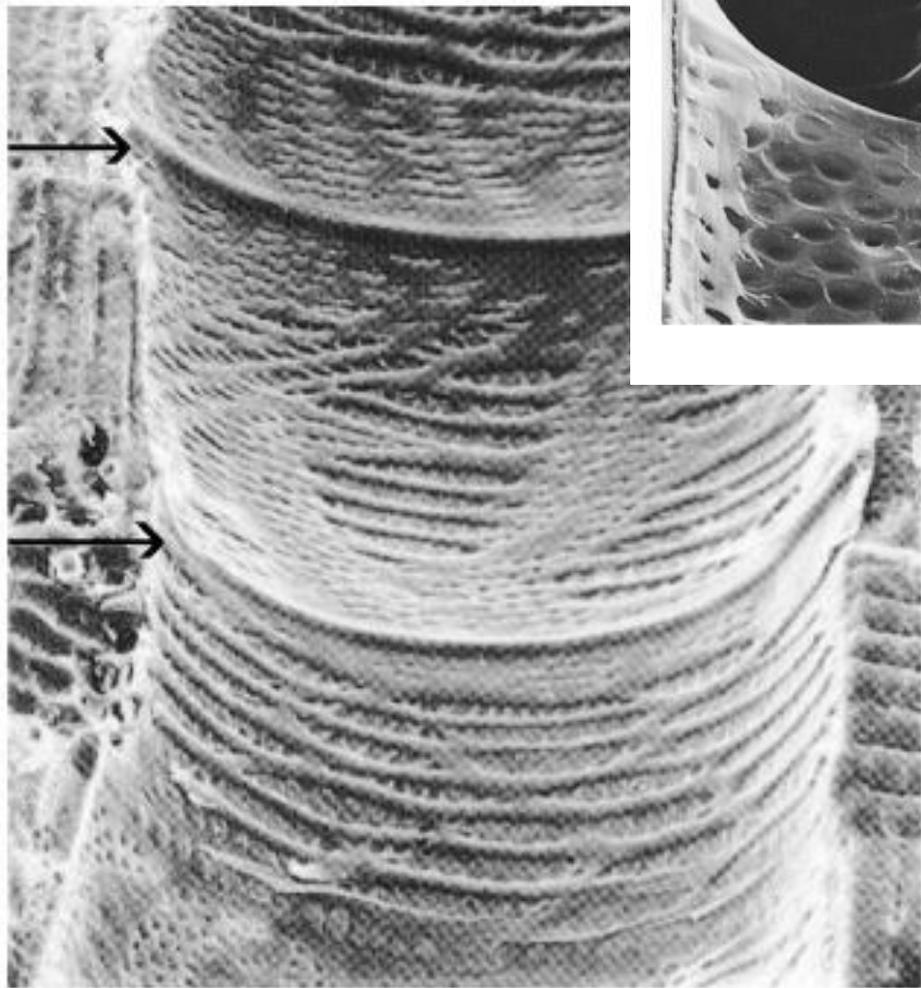
(b)



(c)

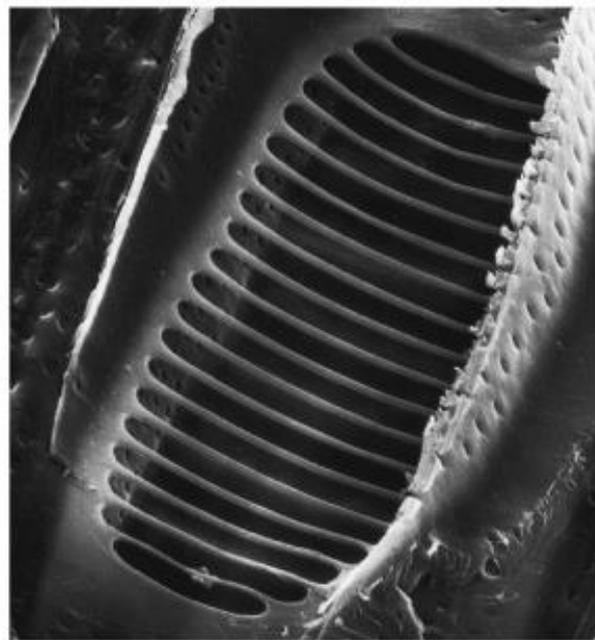


(d)



(a)

20 μm



(b)

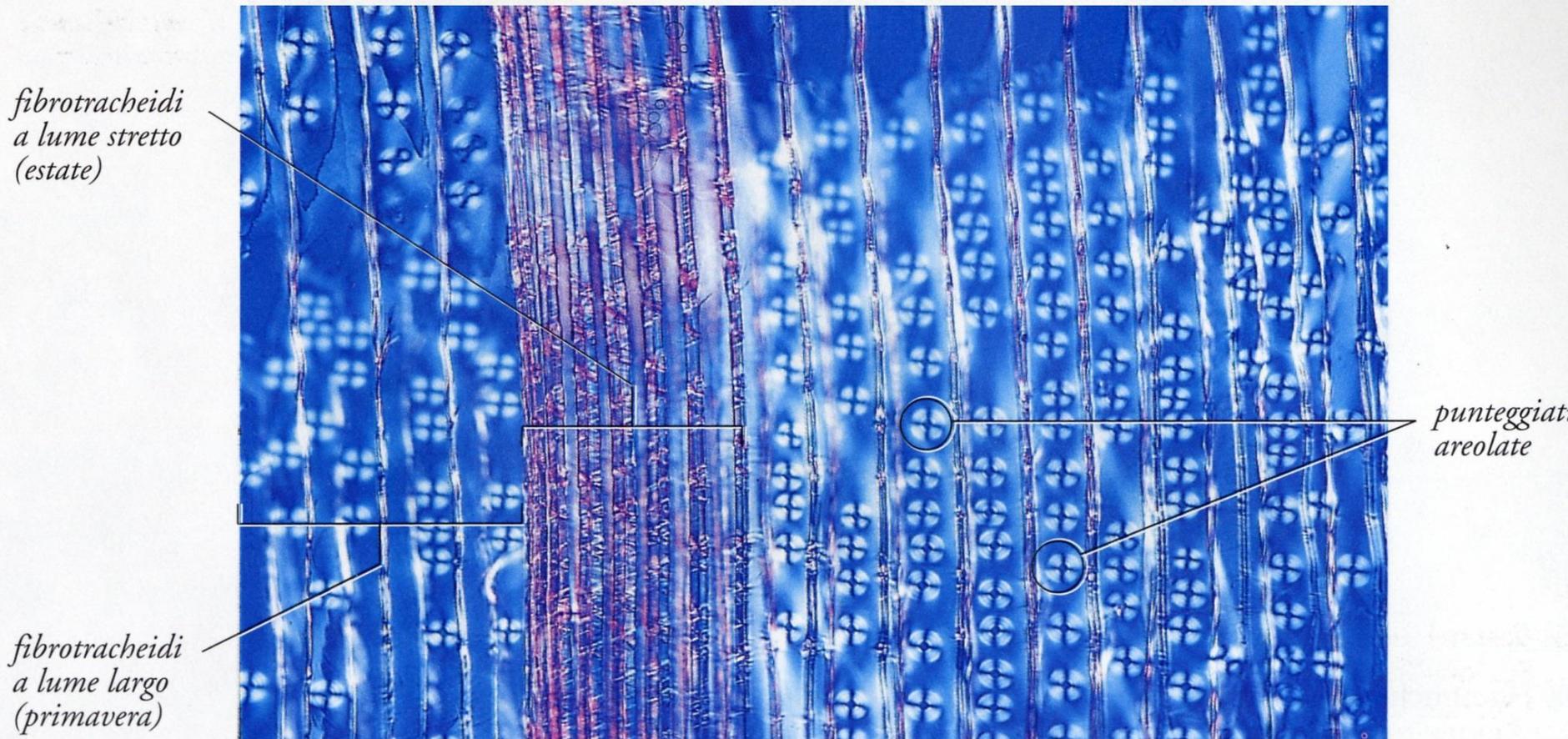
20 μm

100 μm

Le trachee sono elementi costitutivi dei fasci conduttori delle angiosperme, ma compaiono già in alcune pteridofite (es. attualmente possono osservarsi nella felce aquilina, *Pteridium aquilinum*) e in alcune gimnosperme (es. *Taxus baccata*, *Welwitschia mirabilis*).



**Punteggiature areolate:** punti di forma circolare, ovale o poligonale in cui la parete non è inspessita, con bordo rafforzante (= areola); **f(x)**= comunicazione e flusso della linfa grezza tra elementi tracheali adiacenti

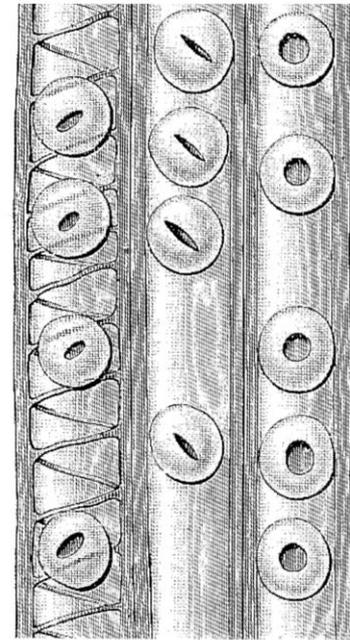


**Fibrotracheidi nel fusto di abete bianco** (*Abies alba* Mill., fam. Pinaceae).  
Sezione longitudinale radiale. Osservazione in luce polarizzata, x 200 (160)



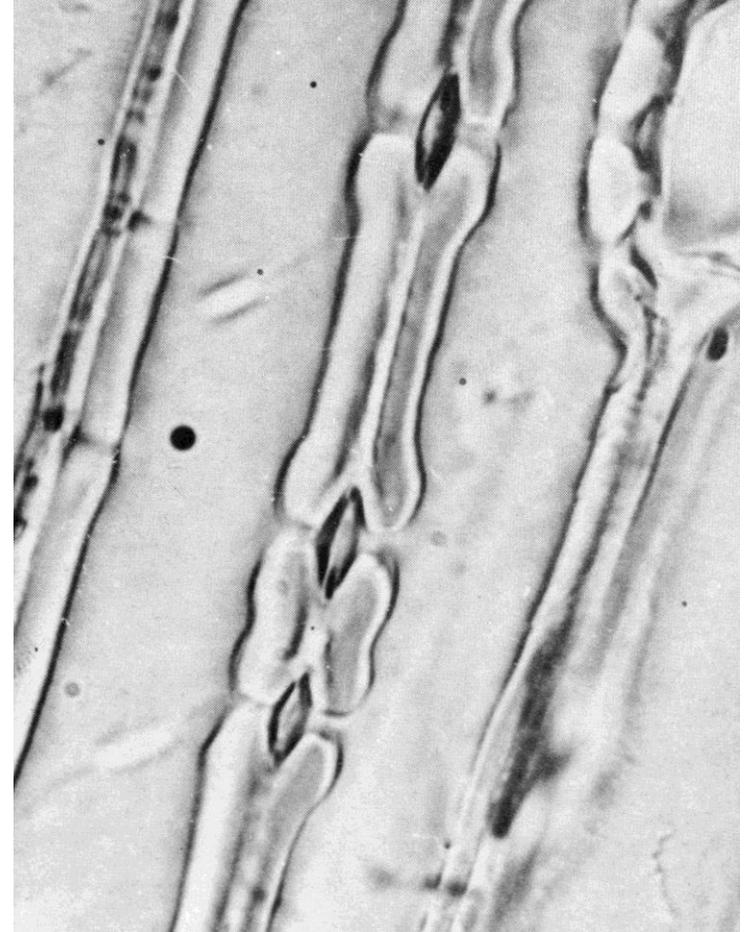
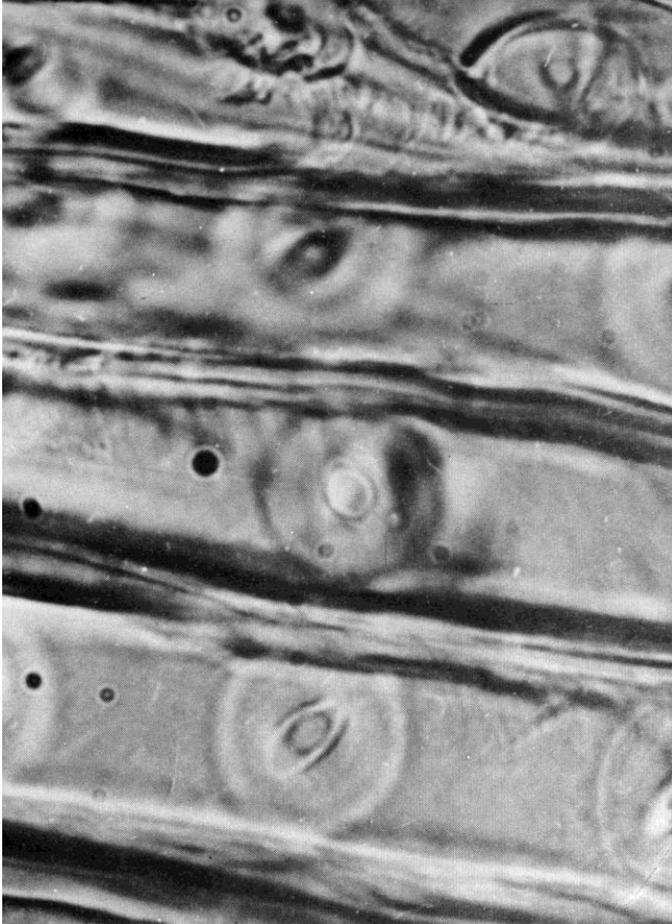
**Fibrotracheidi con punteggiature areolate nel fusto di abete bianco (*Abies alba* Mill. fam. Pinaceae).**  
 Sezione longitudinale radiale. x 400 (480)

Le fibrotracheidi delle conifere hanno punteggiature areolate provviste di un ispessimento della lamella mediana detto *toro*. In questo tipo di punteggiatura, la parete secondaria si interrompe e si solleva su quella primaria determinando la formazione di una *camera* della punteggiatura. Viste di fronte, come in questo caso, le punteggiature areolate presentano l'apertura maggiore e minore della camera suddetta come due circonferenze concentriche, giustificando così il loro nome.

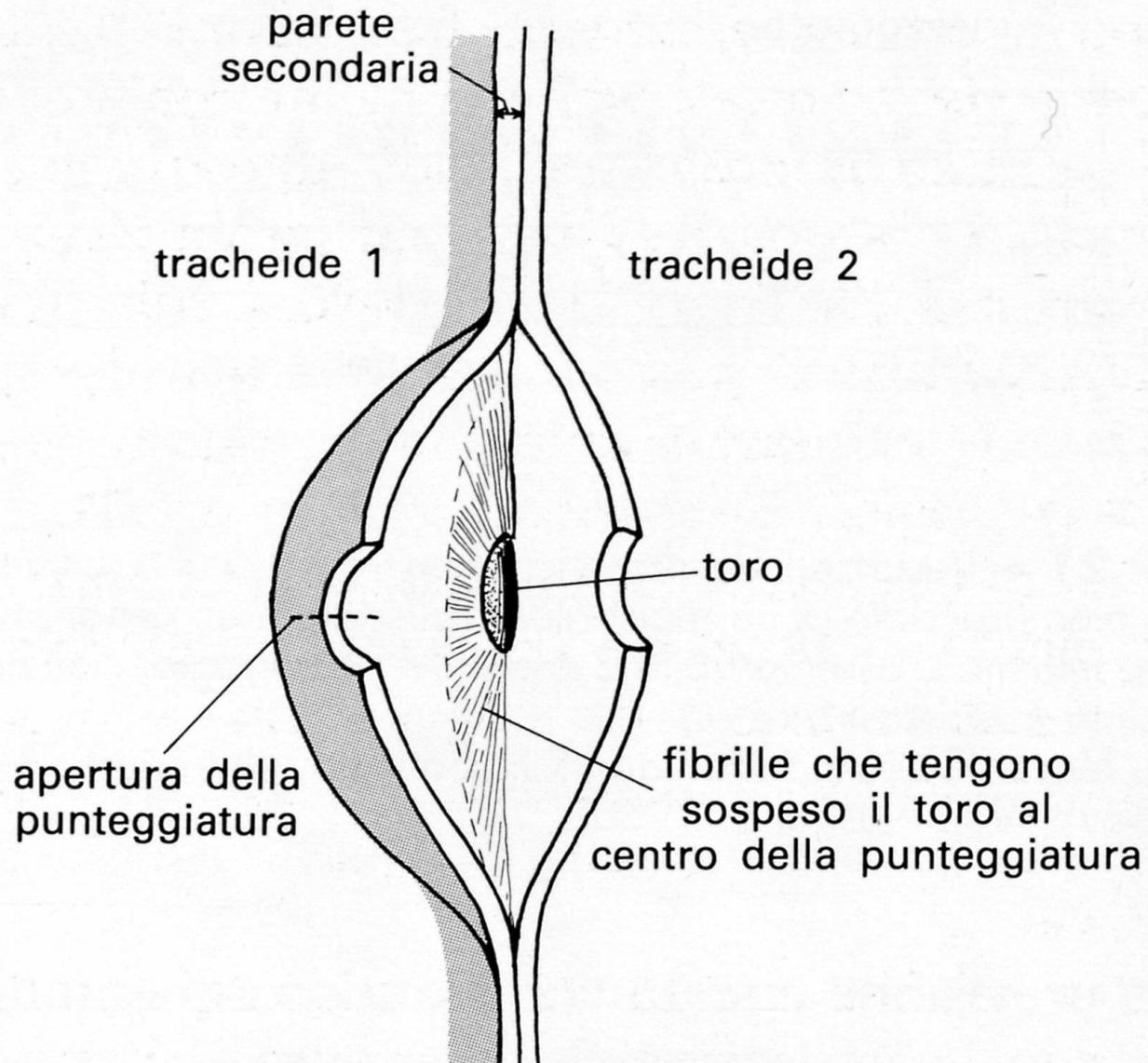


**Fibrotracheidi con punteggiature areolate nel fusto di tasso (*Taxus baccata* L.).**

## *Punteggiature areolate delle tracheidi di conifere*

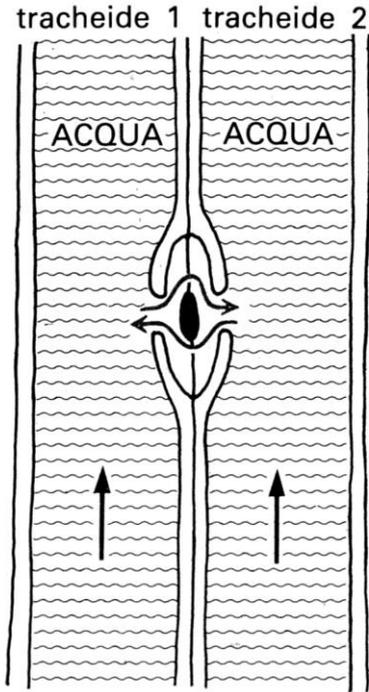


Punteggiature areolate in fibrotracheidi del legno di una gimnosperma di faccia (sopra) e in sezione (sotto) viste al microscopio ottico a forte ingrandimento.

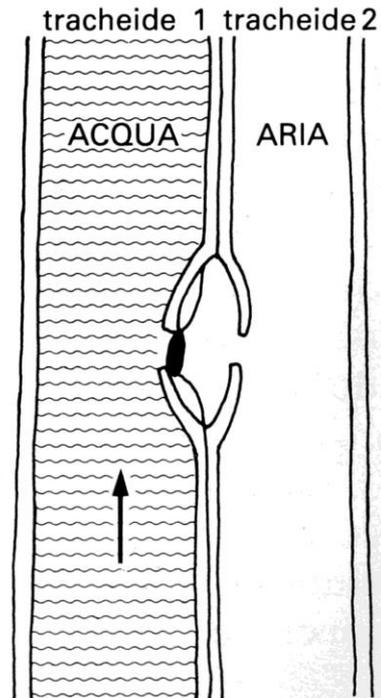


**PUNTEGGIATURA AREOLATA  
VISTA IN SEZIONE**

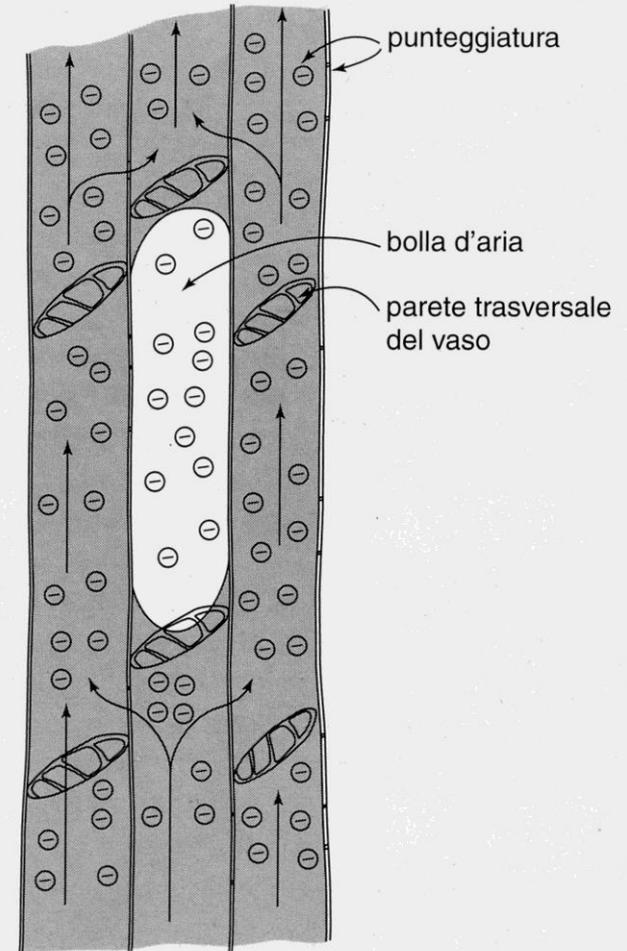
# Cavitazione !!!



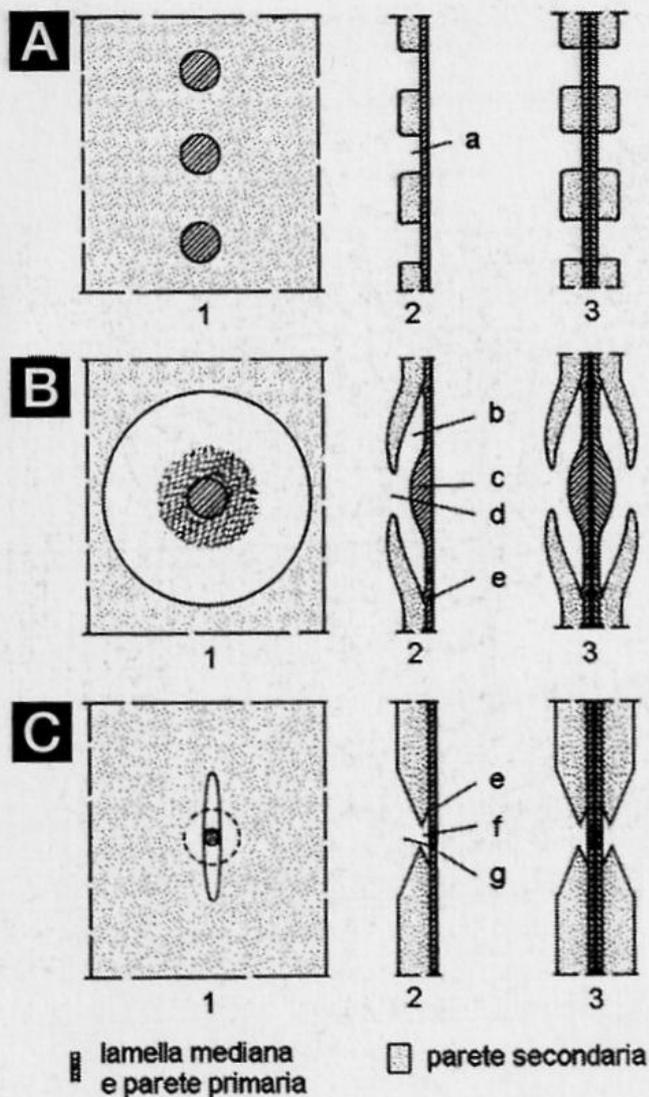
Se ambedue le tracheidi sono piene d'acqua la valvola è aperta. L'acqua può passare liberamente da una tracheide all'altra.



Se una delle due tracheidi si riempie d'aria la depressione causata dal flusso d'acqua nell'altra tracheide risucchia il toro che va ad applicarsi contro l'apertura della punteggiatura. La valvola si chiude.



Una bolla d'aria in un vaso lo blocca, ma l'acqua riesce ad aggirare l'ostacolo passando nei vasi vicini in corrispondenza dell'ostacolo. Questo passaggio è reso possibile dalle punteggiature. (Da Taiz-Zeiger, «Plant Physiology», modificato).



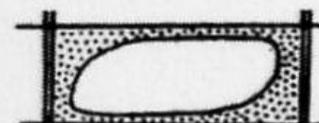
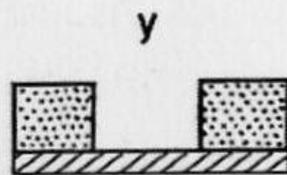
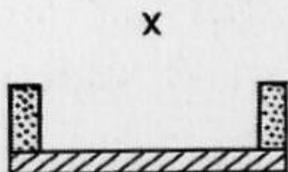
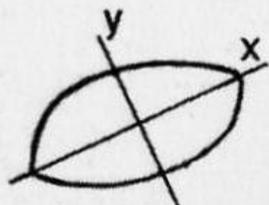
*Tipi di punteggiature delle cellule del legno: A) punteggiature semplici di cellule parenchimatiche; B) punteggiature areolate di elementi conduttori del legno omoxilo; C) punteggiature areolate di elementi conduttori del legno eteroxilo; 1) punteggiature di fronte; 2) punteggiature di profilo; 3) punteggiature di due cellule adiacenti; a) apertura della punteggiatura; b) camera della punteggiatura; c) toro; d) apertura verso il lume cellulare; e) limite della camera della punteggiatura; f) camera esterna della punteggiatura; g) camera interna con apertura verso il lume cellulare (da GIORDANO, 1981, ridisegnato).*

*tipi di punteggiature dei campi d'incrocio (da JANE, 1956, ridisegnato).*

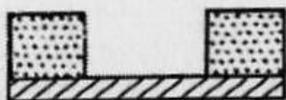
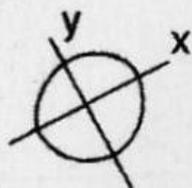
TIPO DI PUNTEGGIATURA

CAMPO  
D'INCROCIO

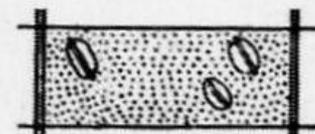
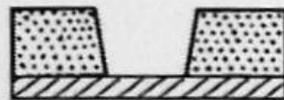
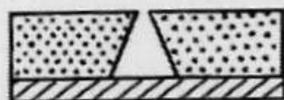
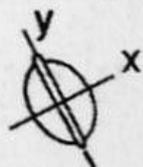
fenestrata



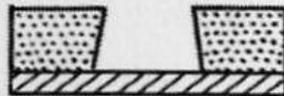
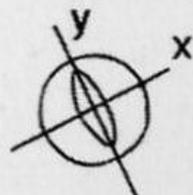
pinoide



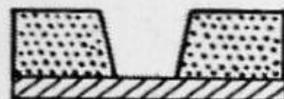
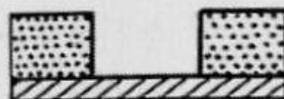
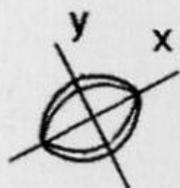
piceoide



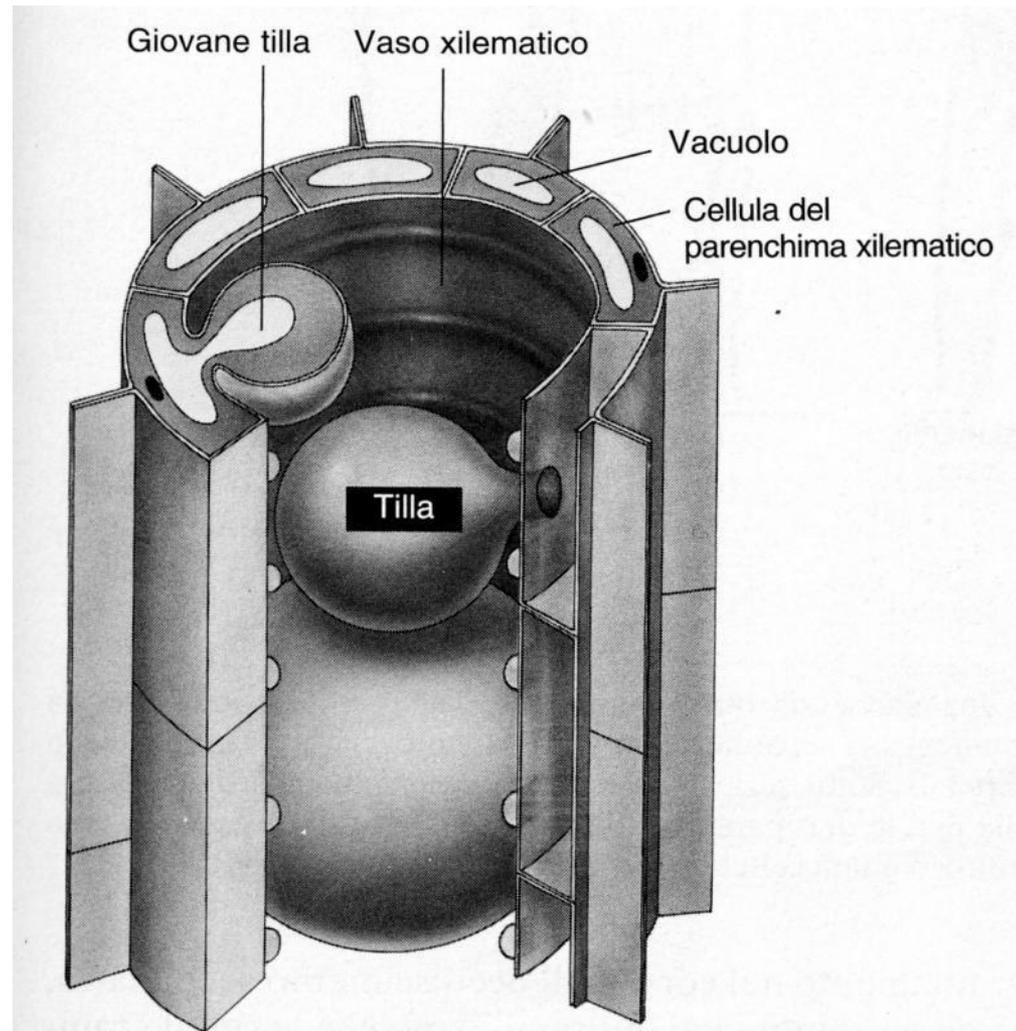
cupressoide



taxodioide

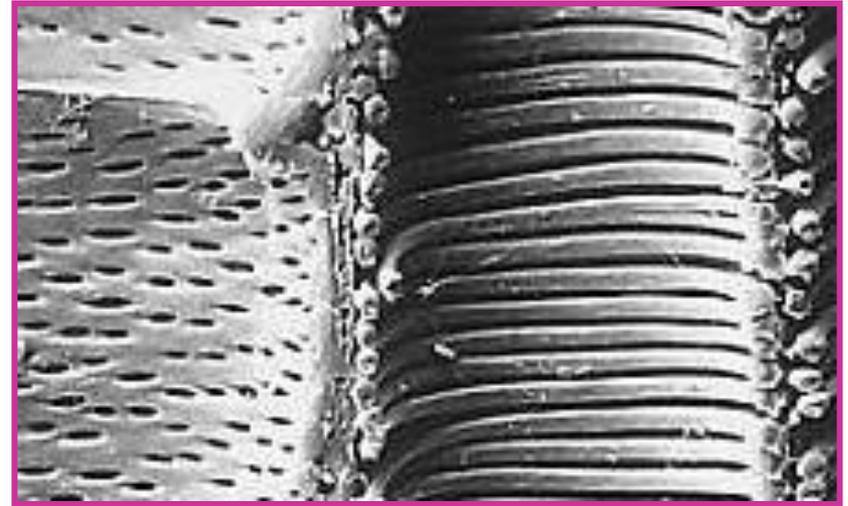
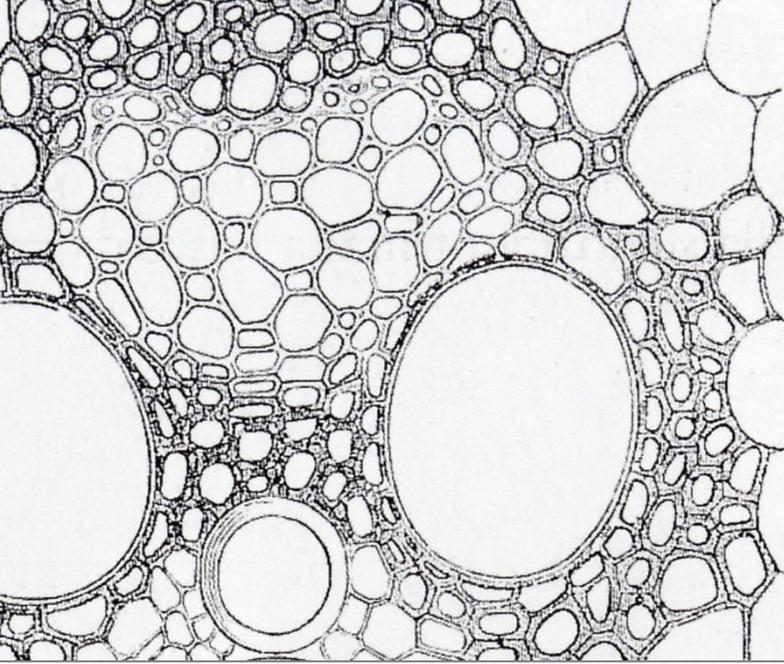


In molti casi alla fine della stagione di crescita le cellule parenchimatiche invadono il lume tracheale attraverso le punteggiature, formando strutture vescicolari, le TILLE, che occludono i vasi.



Formazione delle tille. Lo schema tridimensionale mostra un vaso conduttore del legno con le tille bollose e le cellule confinanti del parenchima xilematico.

## Come riconoscere gli elementi xilematici



- pareti lignificate irregolarmente ispessite;
- Cellule che raggiungere dimensioni cospicue;
- Trachee e tracheidi spesso affiancate da cellule parenchimatiche e fibre.

# FLOEMA

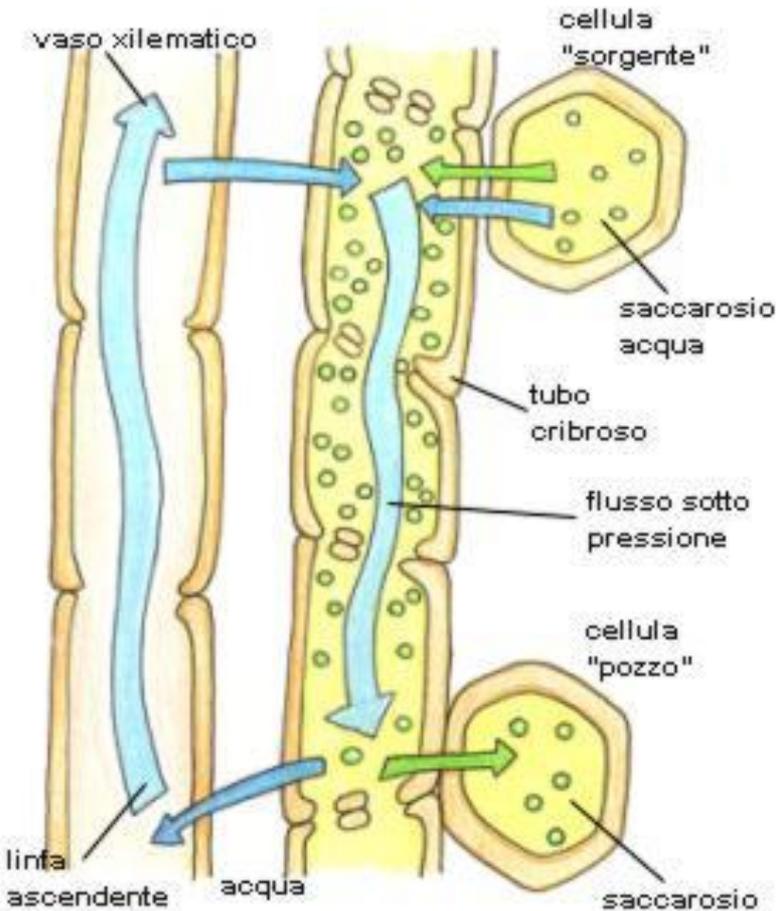
**Libro:**

**cellule cribrose** (Pteridofite e Gimnosperme)

**tubi cribrosi** (Angiosperme)

**cellule vive** (!!!)

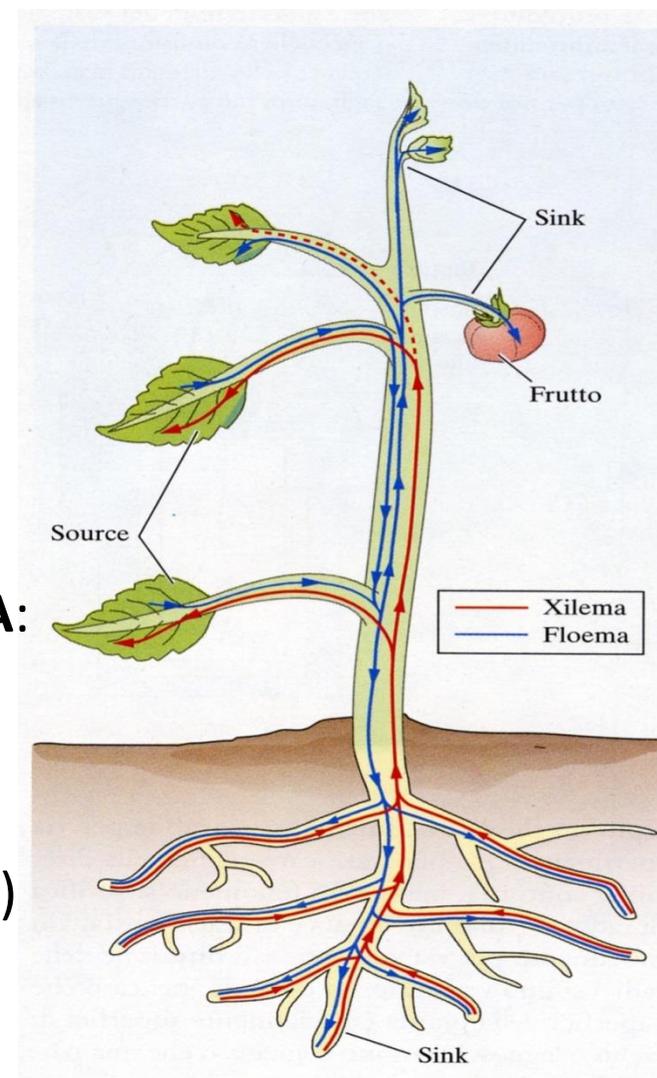
TC funzionali in una sola stagione vegetativa



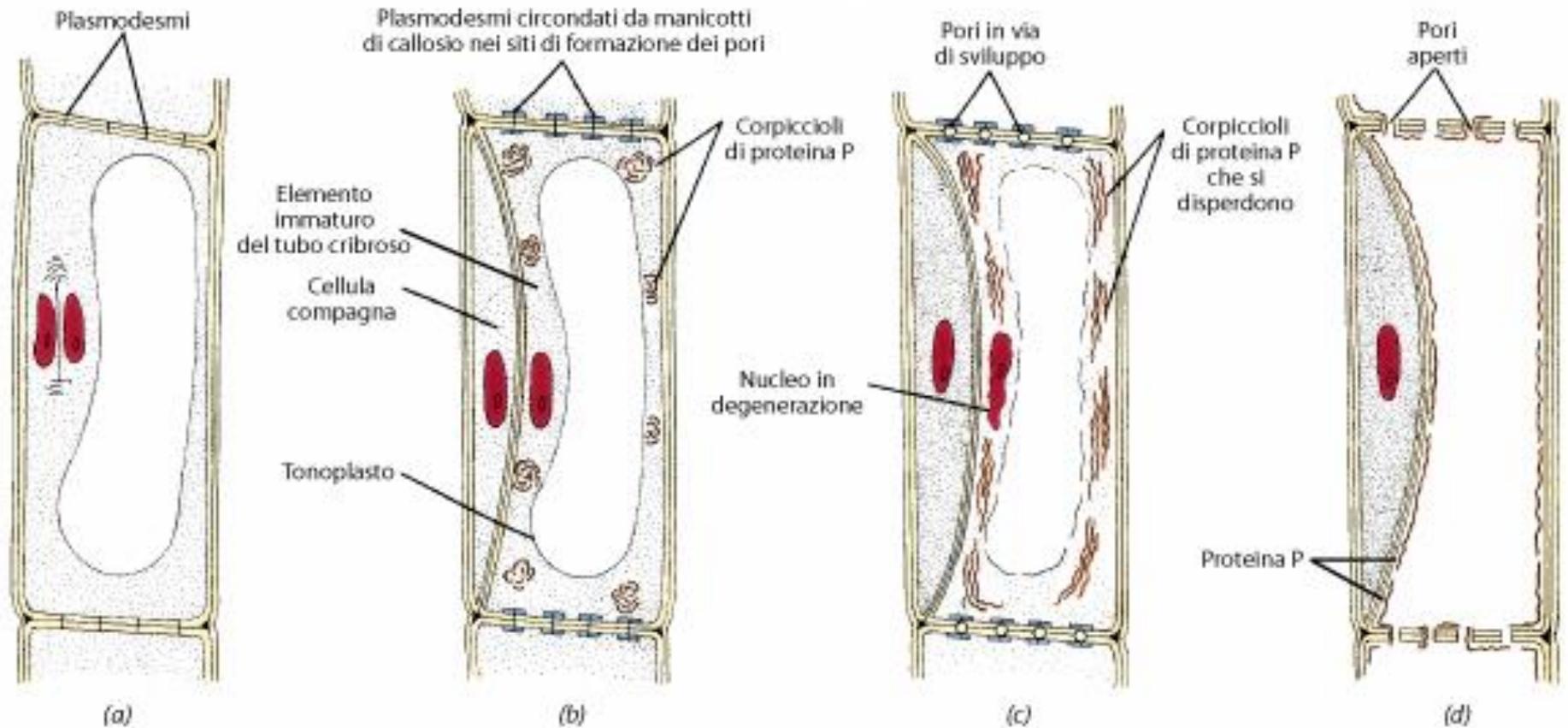
## LINFA ELABORATA:

acqua e molecole organiche (monosaccaridi, oligosaccaridi, fitormoni, aa, etc.)

organi di produzione → organi di accumulo / consumo = foglie → organi di riserva, frutti in formazione, tessuti in attiva crescita.



# DIFFERENZIAMENTO DEGLI ELEMENTI DEI TUBI CRIBROSI O LIBERIANI



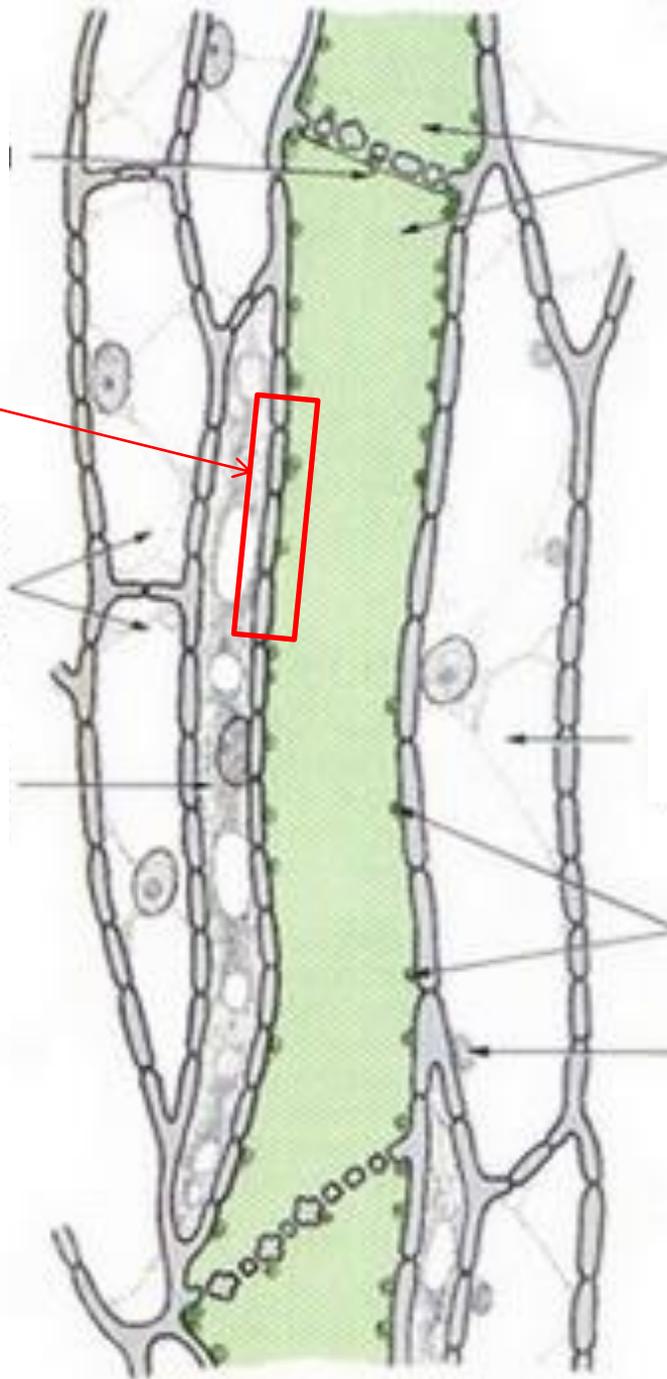
**Placca cribrosa**  
(perforazioni con  
filamenti di proteina P)

Punteggiature

Cellula  
parenchimatica  
del floema

**Cellula compagna**  
(citoplasma denso,  
poco vacuolo, molti  
mitocondri)

**! - Cellula albuminosa**  
(in pteridofite e  
gimnosperme, ricche in  
materiali proteici)

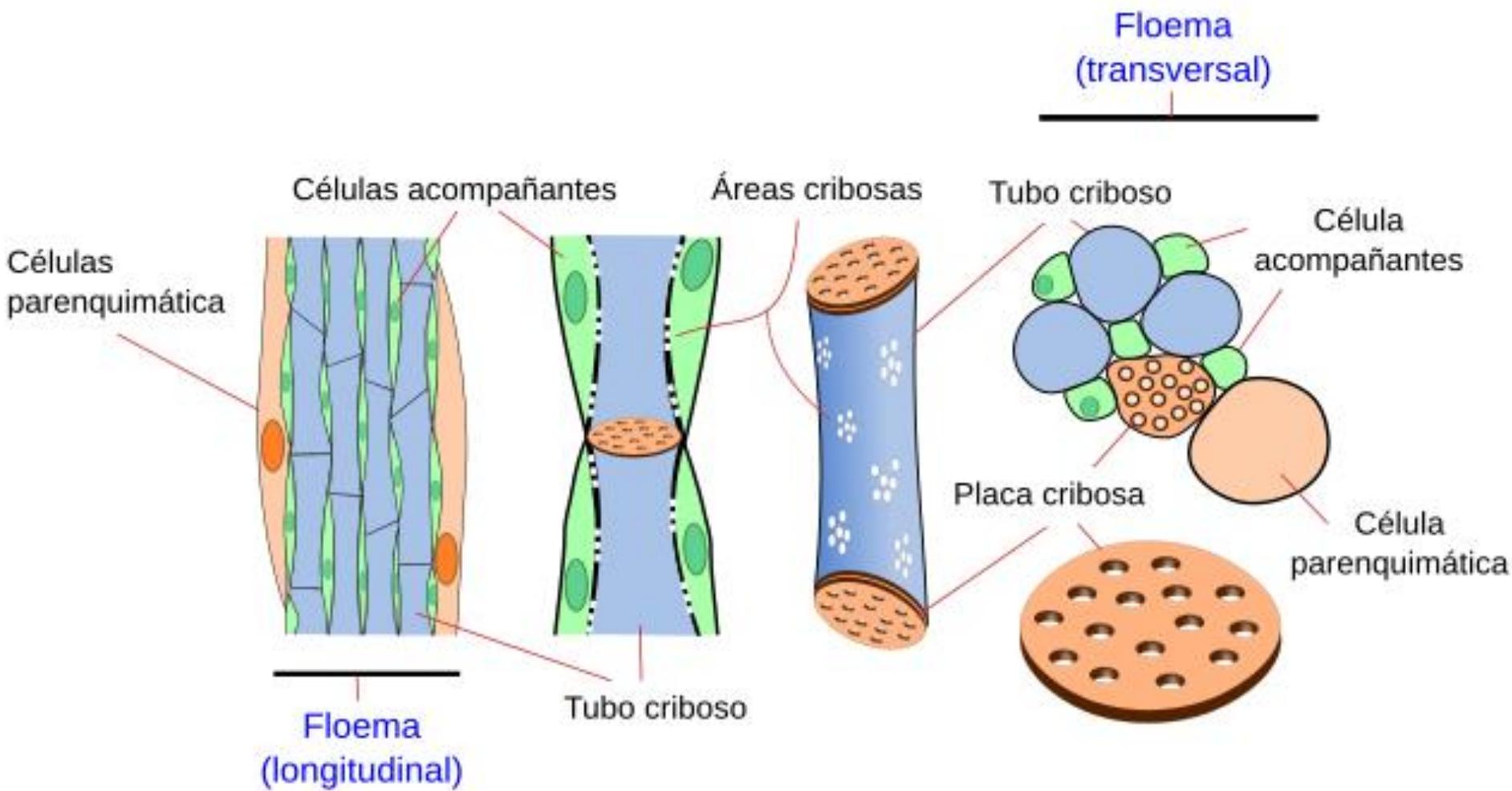


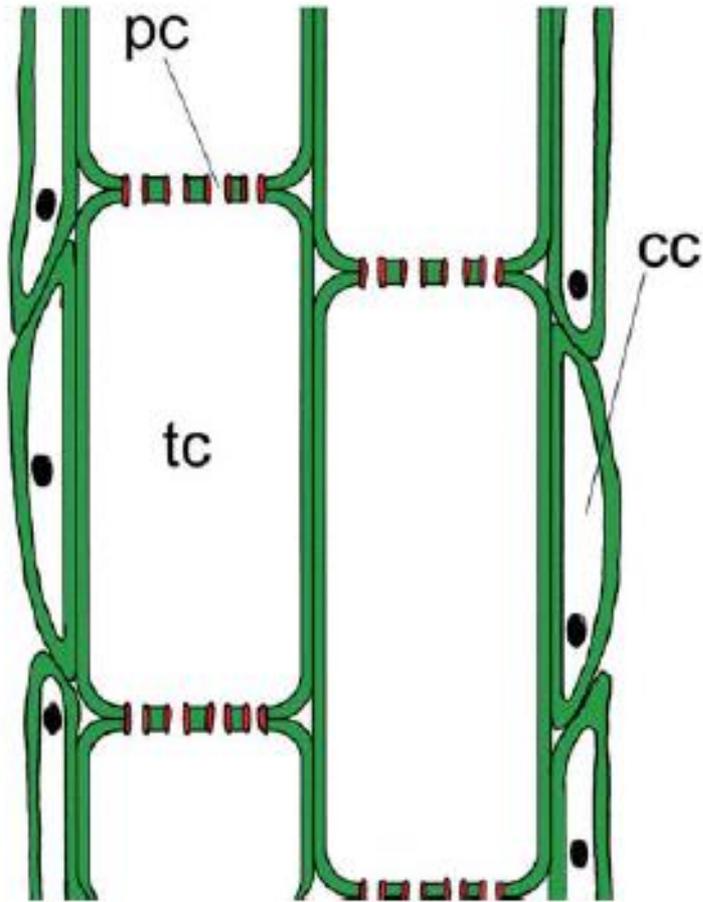
**Elemento del  
tubo cribroso**  
(citosol diluito,  
materiale denso  
adeso alla  
plasmalemma e  
pareti cellulari)

Cellula  
parenchimatica

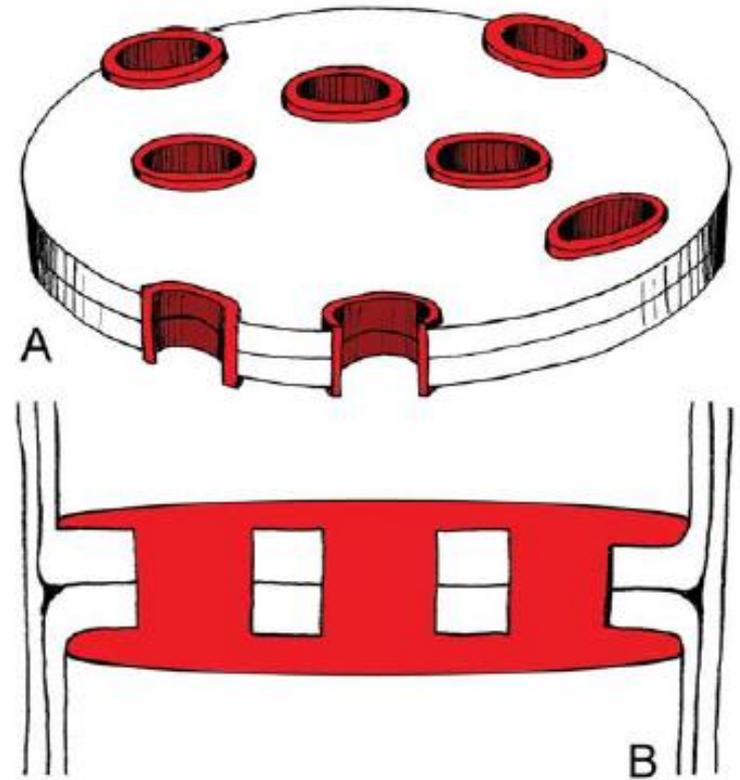
Plastidi del tubo  
cribroso

plástido





**Figura 8.25**  
 Sezione longitudinale di tubi cribrosi (tc), cellule con gne (cc) e placche cribrose (pc) (disegno di R. Braglia)



**Figura 8.27**  
 Particolare di placche cribrose con rivestimenti di callosio (A, in rosso) e con callo (B, in rosso) (disegno di R. Braglia).

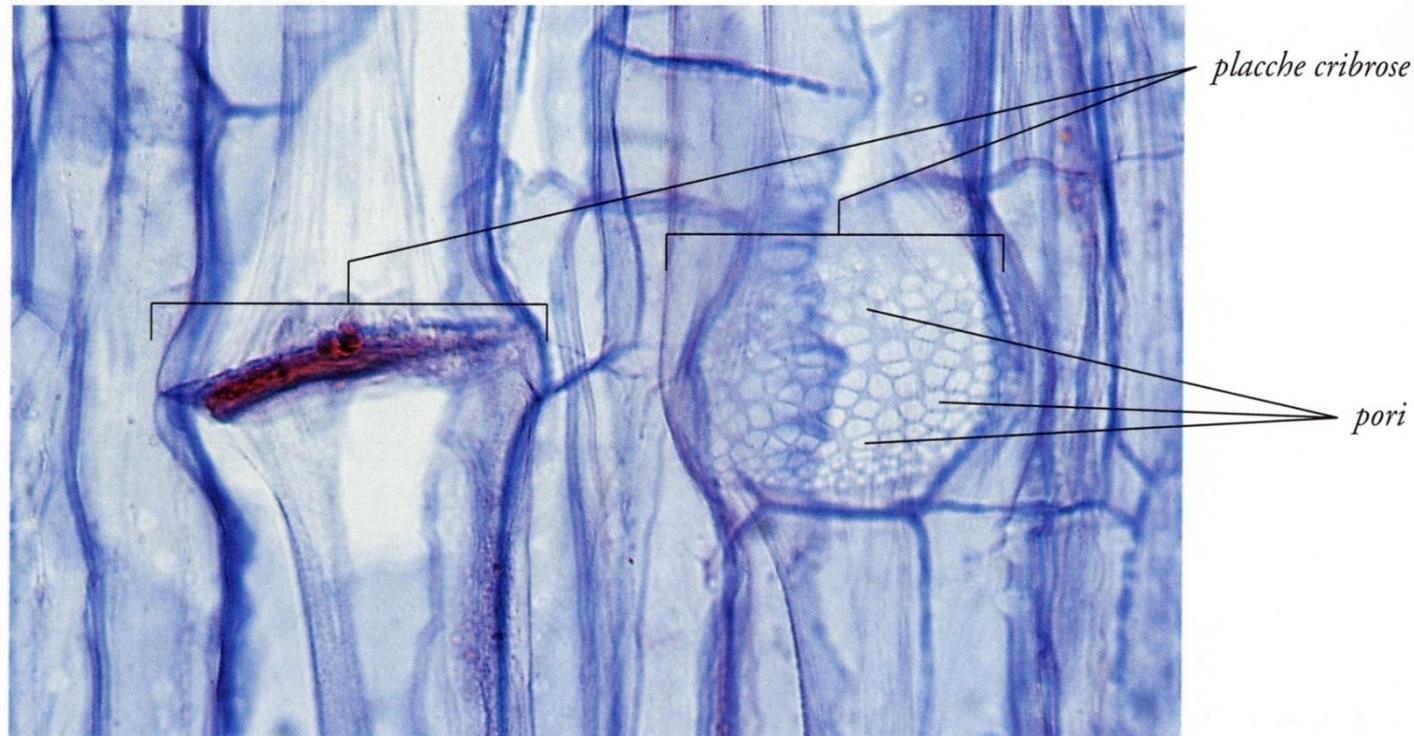
La massa di callosio ricopre le due facce della placca a fine stagione vegetativa.

## CALLOSIO:

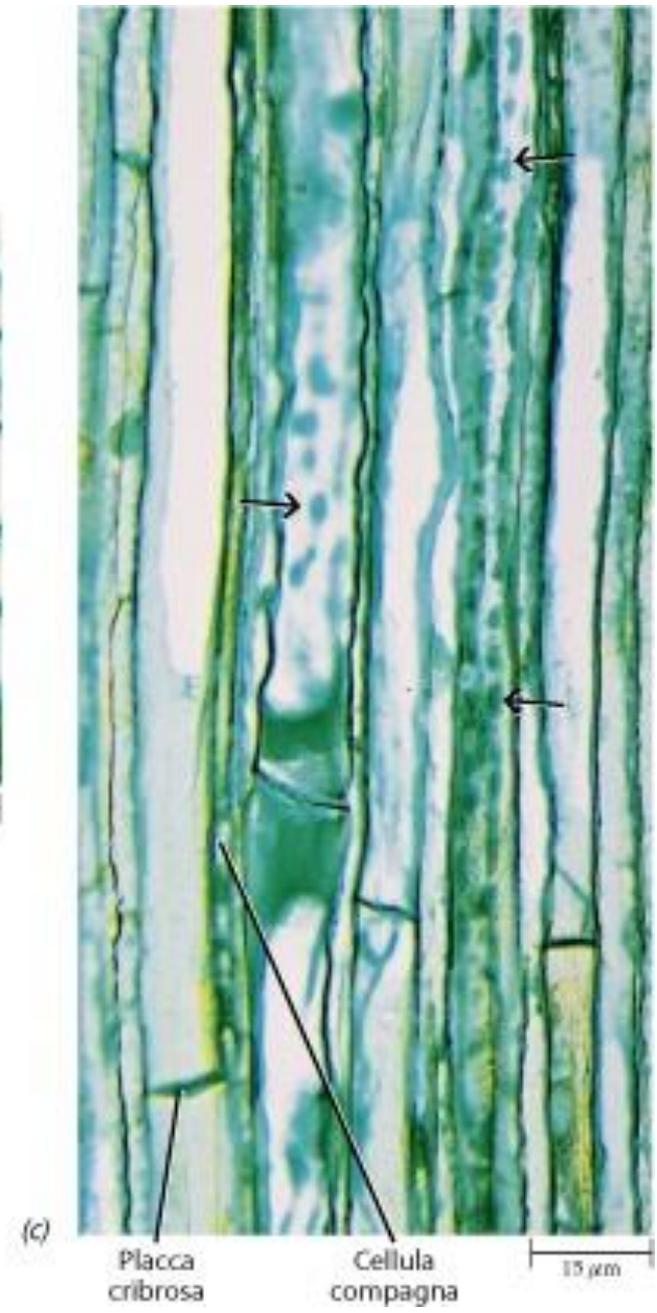
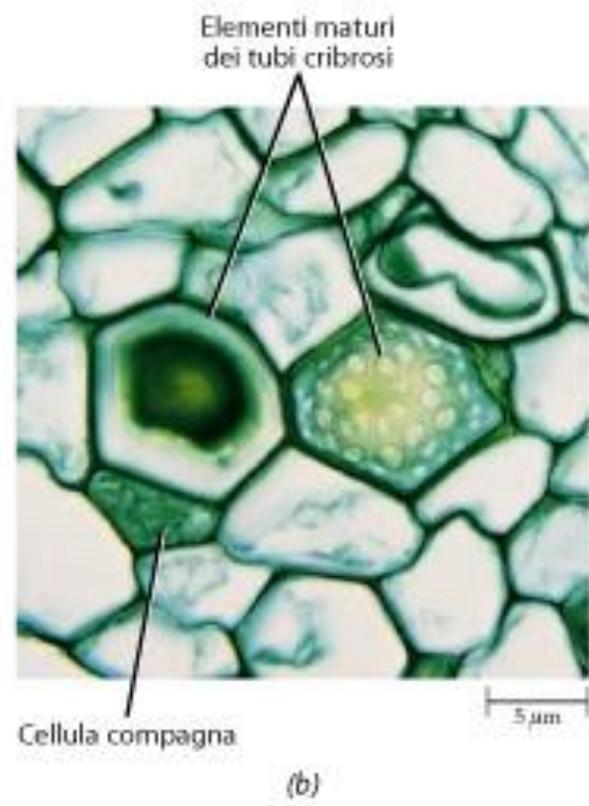
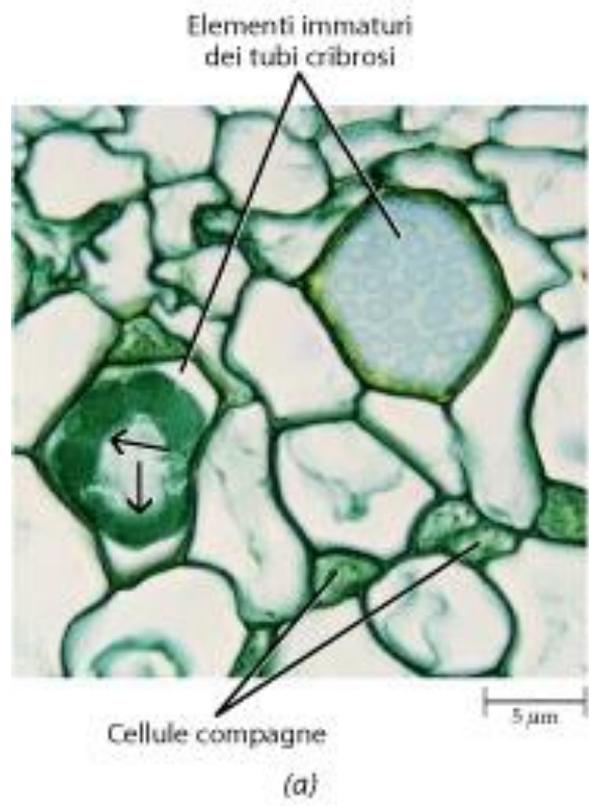
- Polisaccaride, polimero del  $\beta$ -glucosio
- Origine vegetale
- Funzione strutturale
- Ruolo nella riparazione dei danni conseguiti dalla parete cellulare dei tubi cribrosi

**Proteina P** (phloem protein): in angiosperme;

proteina mucillaginosa / filamentosa → blocco di possibili e problematiche fuoriuscite di linfa elaborata dal vaso.



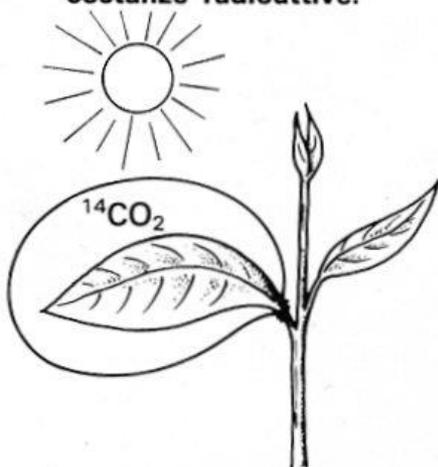
**Placche cribrose nel floema del picciolo di zucca** (*Cucurbita pepo* L., fam. Cucurbitaceae).  
Sezione longitudinale. x 400 (330)



Il composto organico radioattivo è somministrato dall'esterno.



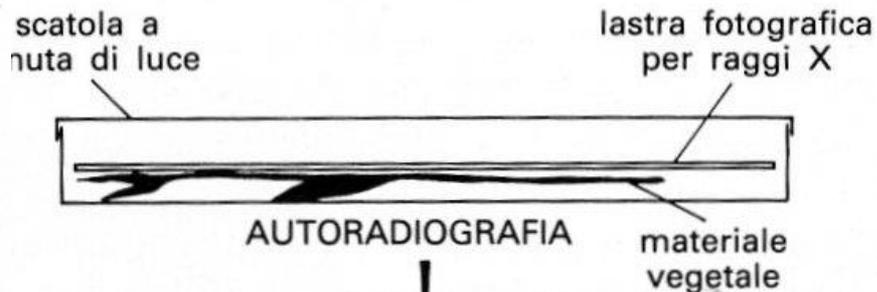
Alternativamente è la foglia stessa che sintetizza sostanze radioattive.



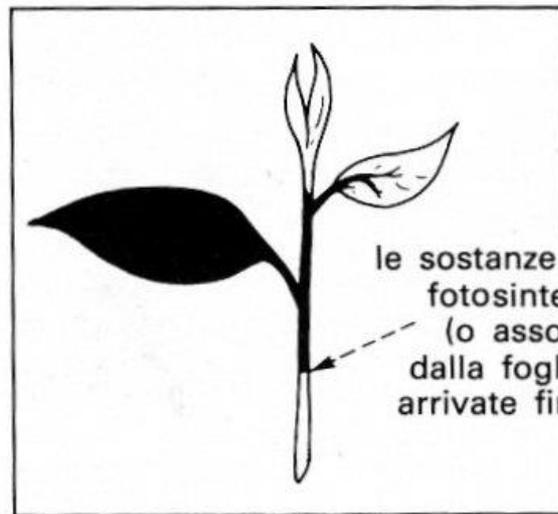
Un lembo ritagliato da una foglia pesca nella soluzione del composto radioattivo.

Una foglia è racchiusa in un sacchetto di plastica che contiene un'atmosfera con  $\text{CO}_2$  radioattiva. La foglia sintetizza sostanze organiche radioattive.

Il materiale vegetale viene congelato ed essiccato per impedire un ulteriore trasporto delle sostanze radioattive.

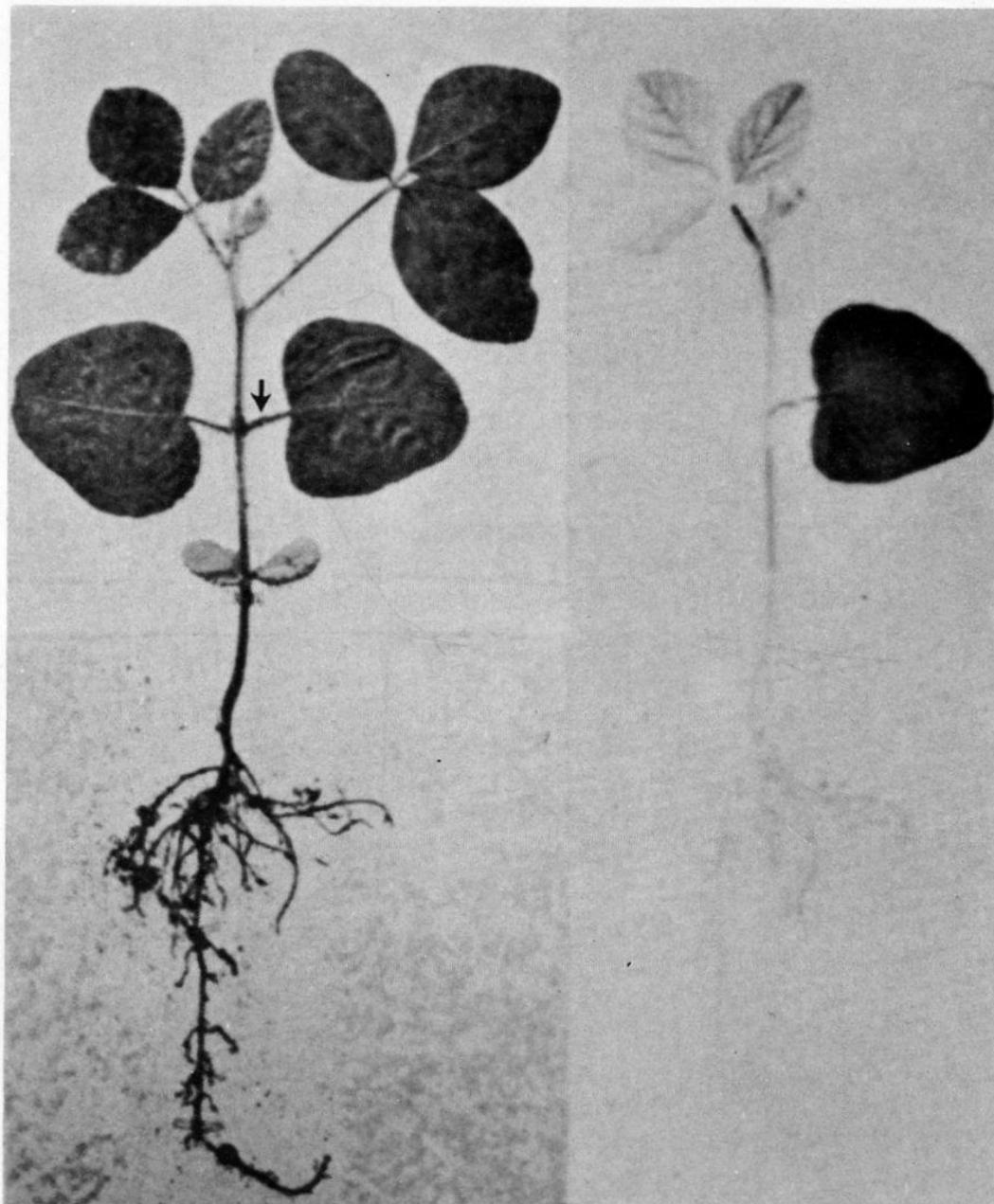


Dopo 2 settimane la lastra fotografica viene sviluppata.



le sostanze organiche fotosintetizzate (o assorbite) dalla foglia sono arrivate fino a qui

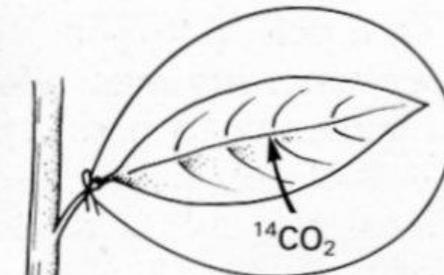
Le zone annerite indicano la presenza di sostanze organiche radioattive.



Risultati di un'esperienza sul trasporto di sostanze organiche fatta con la tecnica dell'autoradiografia. La foglia di una pianta di soia indicata con la freccia è stata racchiusa per 1 ora in un recipiente illuminato contenente  $\text{CO}_2$  radioattiva. Dopo 6 ore la pianta è stata asciugata, pressata (foto a sinistra) e messa a contatto con una lastra fotografica per raggi X. La lastra è stata sviluppata dopo 2 settimane (foto a destra). È evidente che le sostanze organiche prodotte con la fotosintesi sono state trasportate solo sino alla foglia alta di sinistra la quale era incompletamente sviluppata e quindi funzionava come consumatore di sostanze organiche anziché come produttore. (Da Salisbury & Ross, «Plant Physiology», 2<sup>a</sup> edizione).

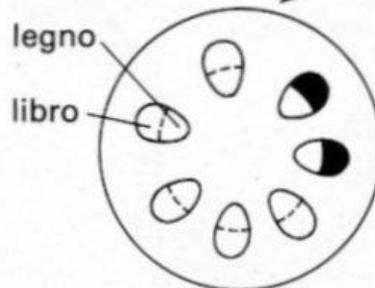
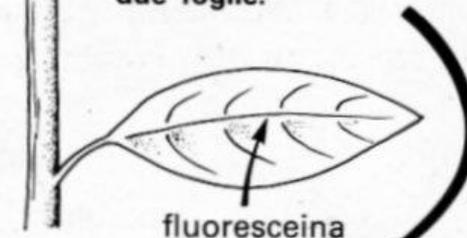
Con questo esperimento si dimostra come il trasporto possa avvenire contemporaneamente nei due sensi all'interno dello stesso internodo

1 - Una singola foglia viene esposta a un'atmosfera contenente  $^{14}\text{CO}_2$  radioattiva. La foglia sintetizza sostanze organiche radioattive.

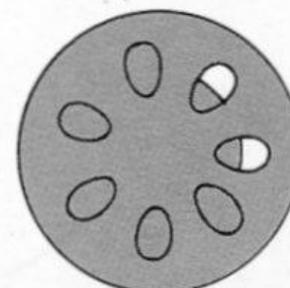


3 - Dopo alcune ore il fusto viene sezionato a un livello intermedio tra le due foglie.

2 - Un'altra foglia viene trattata contemporaneamente con un composto organico fluorescente (fluoresceina).

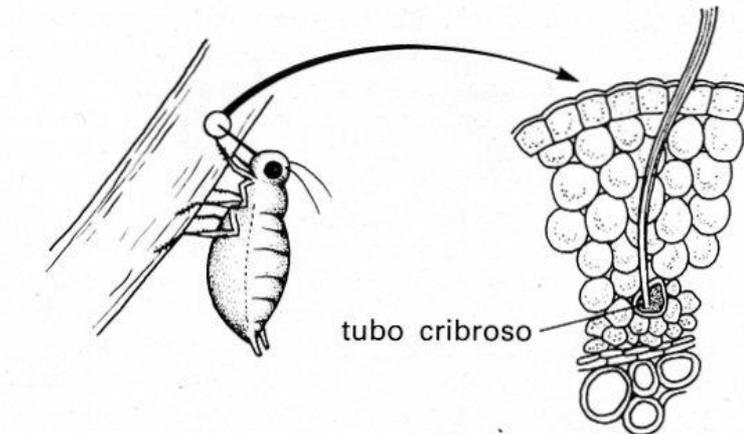


autoradiografia



osservazione in campo oscuro (risaltano solo le zone fluorescenti)

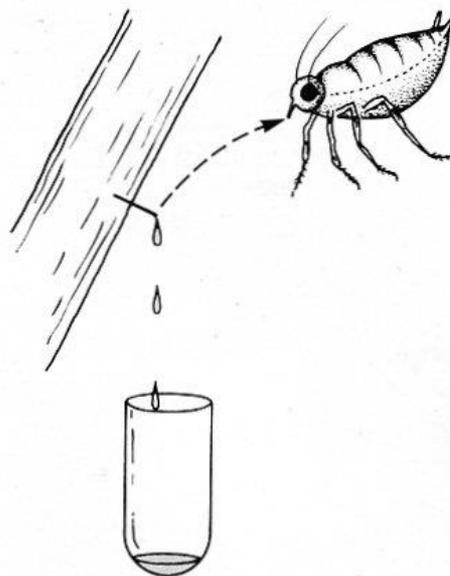
Radioattività e fluorescenza compaiono nella zona di libro degli stessi fasci conduttori.



**Afide che sta parassitando una pianta.**

tubo cribroso

La punta dello stiletto cavo dell'afide è inserita esattamente all'interno di un tubo cribroso.



Si elimina l'afide con un taglio alla base dello stiletto.

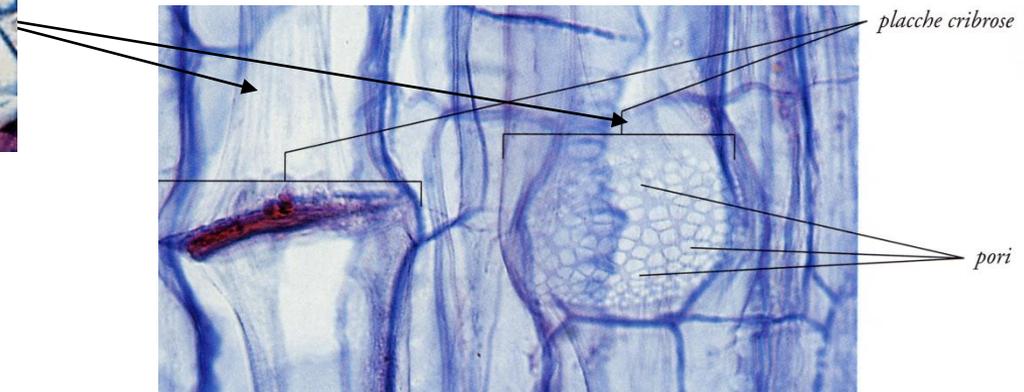
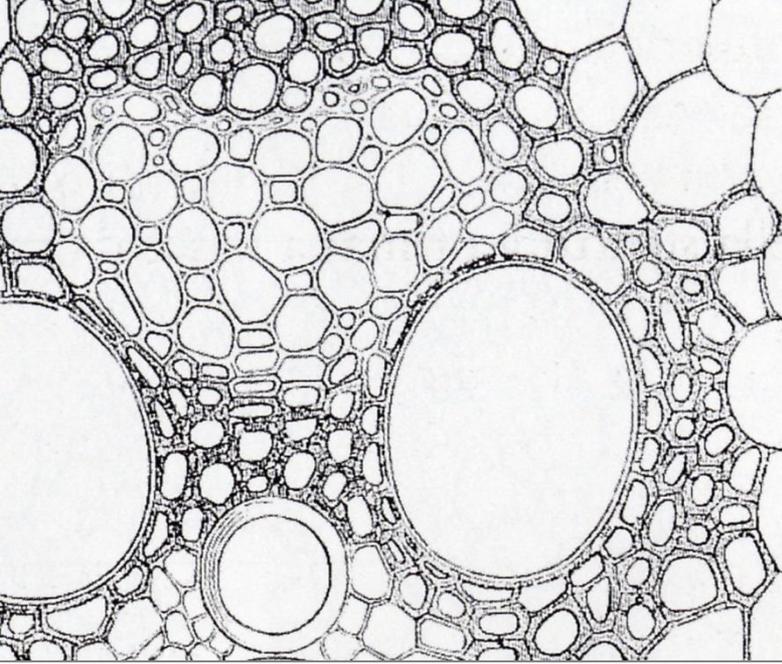
Lo stiletto rimane inserito nel tubo cribroso il cui contenuto continua a gocciolare dalla sua estremità tagliata.

Le gocce di liquido proveniente dal tubo cribroso possono essere raccolte e analizzate.

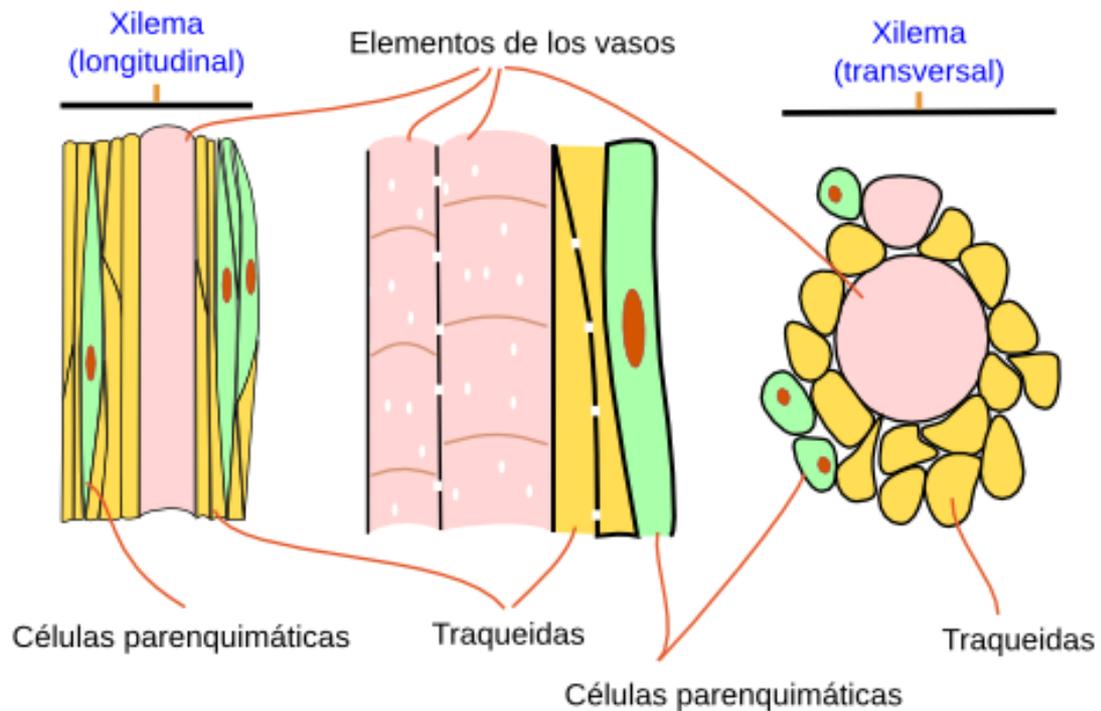
Un metodo per raccogliere campioni del liquido che scorre nel floema, basato sulla portentosa abilità degli afidi di centrare esattamente un tubo cribroso col loro stiletto.

## Come riconoscere gli elementi floematici

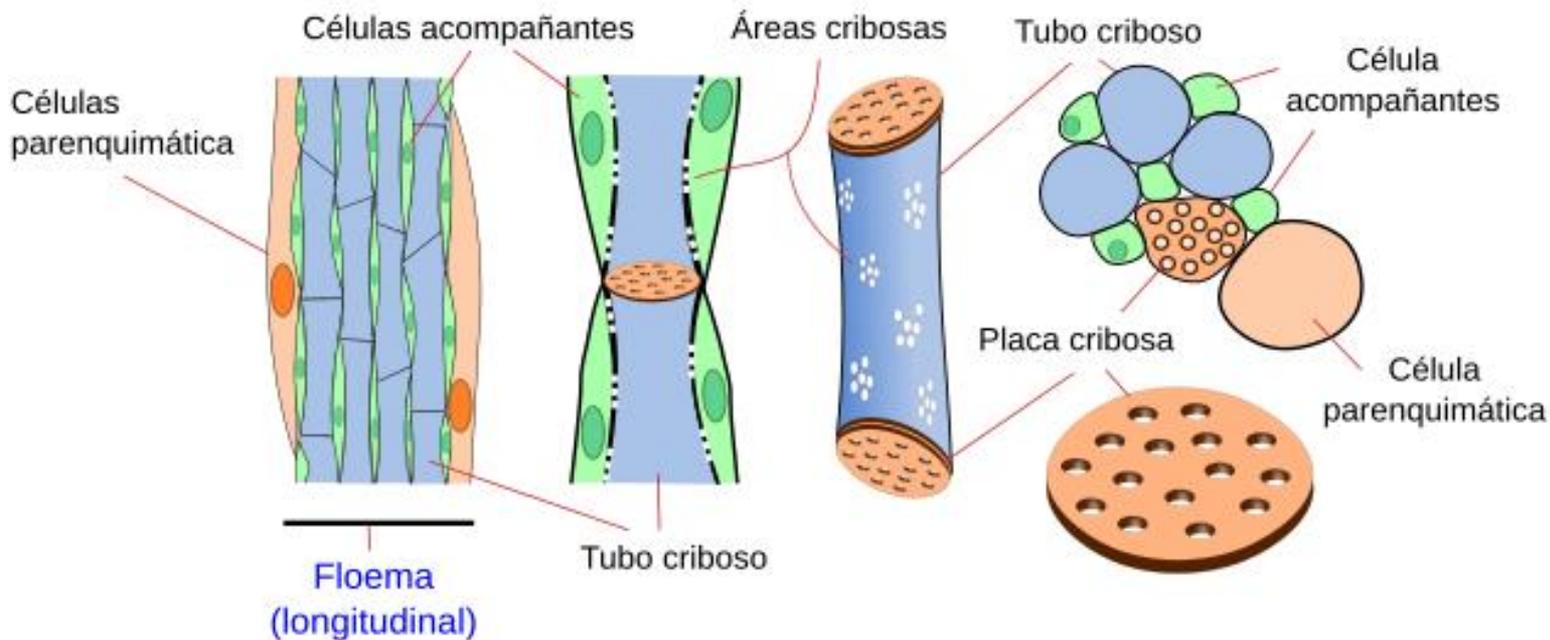
- pareti sottili, e spesso un po' irregolari (si schiacciano facilmente in seguito alla manipolazione del materiale);
- Pareti non lignificate;
- cellule più grandi (elementi cribrosi) alternate a cellule più piccole (cell. compagne o, nelle conifere, cell. albuminose);
- ogni tanto si osservano le placche cribrose.



# xilema



# floema



# FASCI CONDUTTORI O CRIBRO-VASCOLARI

Gli elementi del floema e xilema sono riuniti in fasci (o cordoni) distinti: **fascio cribroso e fascio vascolare.**

I fasci vascolari (xilema) e cribrosi (floema) sono contigui e formano così un unico fascio, chiamato **fascio cribro-vascolare.**

In ogni fascio, oltre agli elementi conduttori ci sono anche fibre di sostegno e cellule parenchimatiche.

Sia il **floema** che lo **xilema** si differenziano progressivamente per cui si distinguono:

- un **protoxilema e protofloema** che si differenziano per primi nella zona in cui l'organo non ha ancora completato il suo allungamento, e
- un **metaxilema e metafloema** che si differenziano successivamente, dopo che è terminato l'allungamento.

A seconda della disposizione di xilema e floema si distinguono diversi tipi di fasci cribro-vascolari:

- **collaterale**

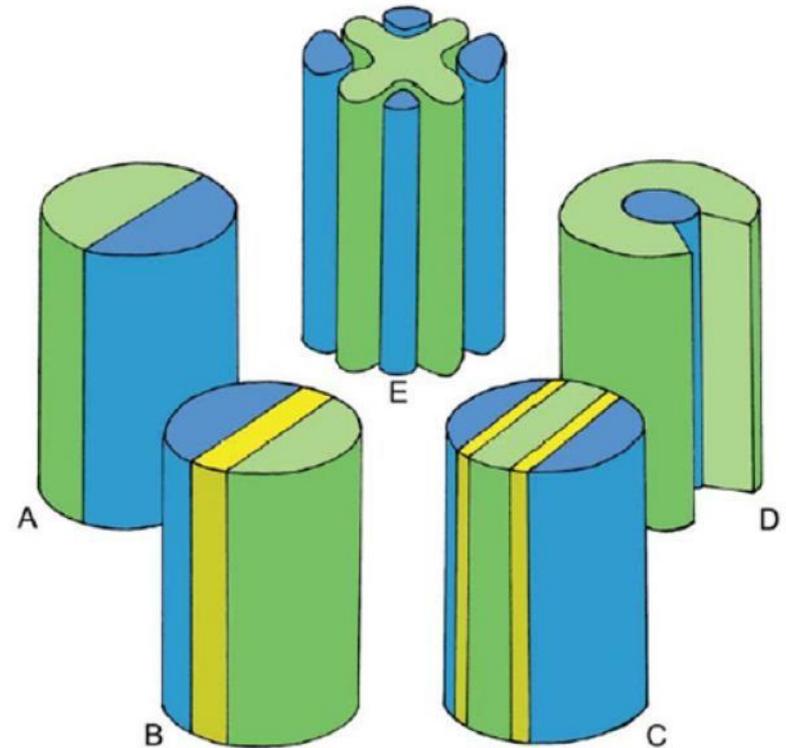
- *chiuso* (A): X e F a contatto, senza c
- *aperto* (B): con cambio

- **bicollaterale** (C): fascio aperto, sia interi

- **concentrico** (D): un fascio circonda l'alt

- **radiale**: X e F in cordoni disposti a raggi

- *chiuso* (E)
- *aperto*



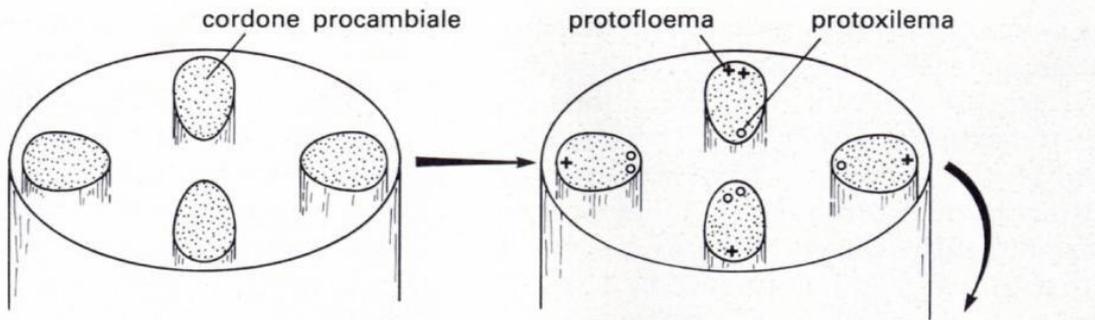
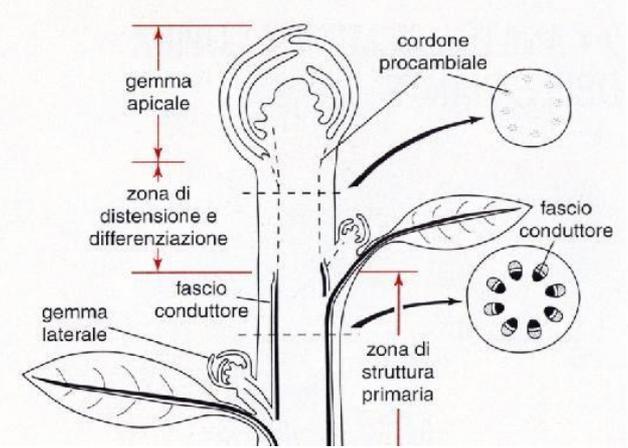
**Figura 8.29**

Fasci cribro-vascolari: Fascio collaterale chiuso (A), fascio collaterale aperto (B), fascio bicollaterale (C), fascio concentrico (D) e fascio radiale (E) (disegno di R. Braglia).



# FASCI CONDUTTORI O CRIBRO-VASCOLARI

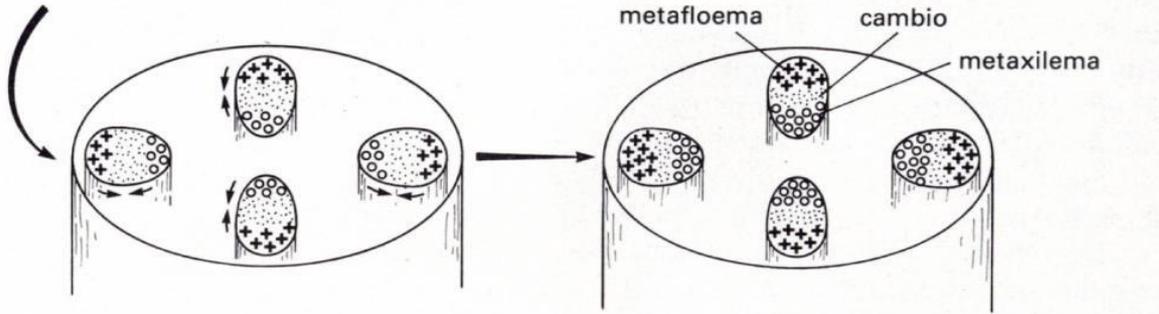
I **cordoni procambiali** si differenziano rapidamente in fasci cribro-vascolari, aperti o chiusi a seconda che alcune cellule rimangano indifferenziate nella zona di contatto dei due tessuti fondamentali → xilema e floema.



I cordoni procambiali sono formati da cellule indifferenziate.

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

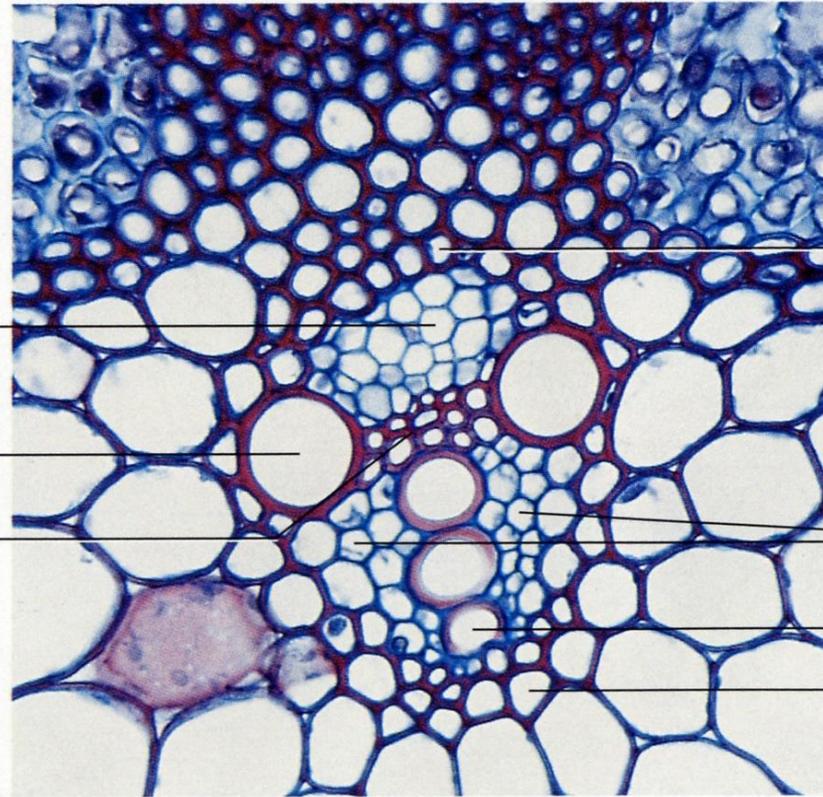
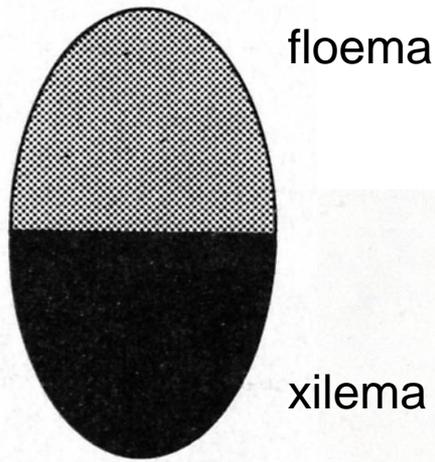
Differenziamento diverso nel caule e nella radice → diversa organizzazione generale dei due organi.



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).

# Fascio collaterale chiuso



*floema*

*vaso del metaxilema*

*fibre del legno*

*guaina*

*parenchima del legno*

*vaso del protoxilema*

*guaina*

**Fascio collaterale chiuso nel culmo di frumento** (*Triticum aestivum* L., fam. Graminaceae).

Sezione trasversale. x 400 (300)

Il fascio collaterale chiuso è tipico del fusto delle monocotiledoni. Libro e legno hanno il medesimo orientamento che nel collaterale aperto: sono però a diretto contatto fra loro. Il legno, tipicamente, tende a risalire ai lati del libro.

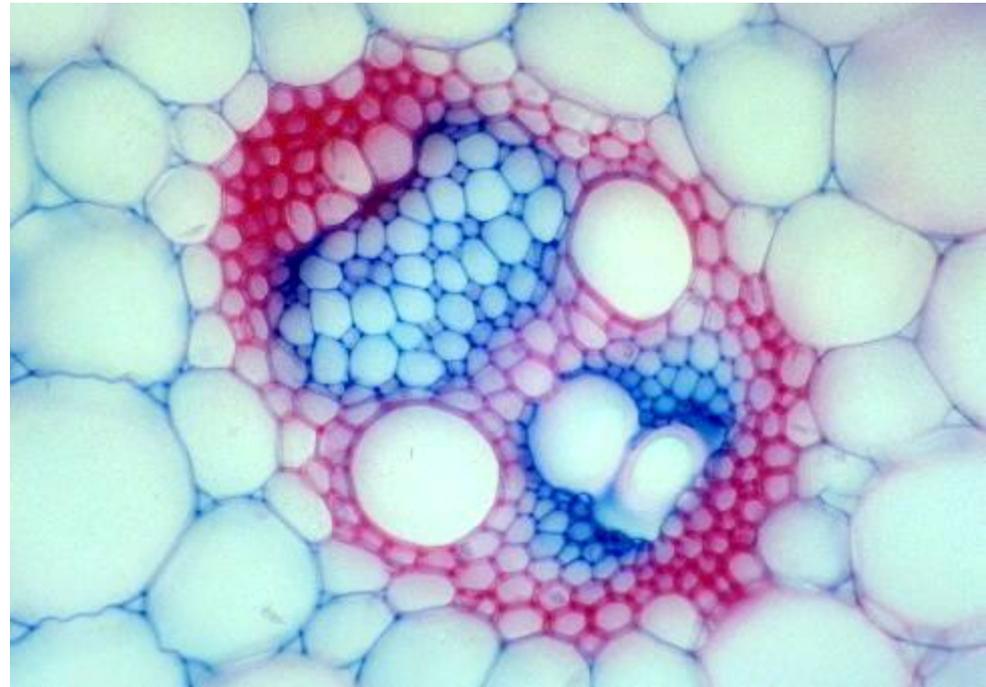
I fasci, in genere, sono accompagnati da elementi di rinforzo meccanico; in questo caso, caratteristico del fascio chiuso, una *guaina* completa costituita da fibre sclerenchimatice avvolge l'intero fascio.

# Fascio collaterale chiuso

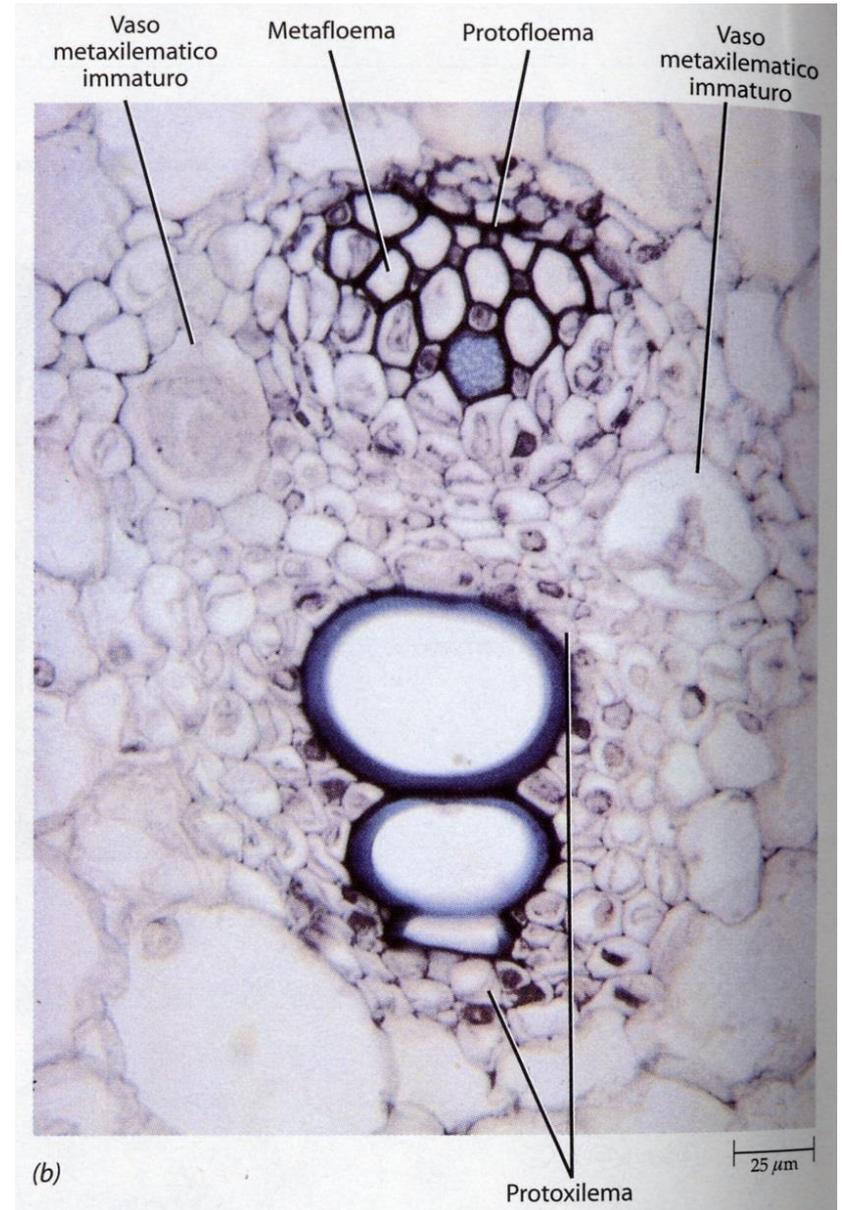
- caratteristico delle **piante erbacee**, caule privo di accrescimento secondario in spessore.
- nelle nervature delle **foglie**, che sono generalmente organi a crescita definita.

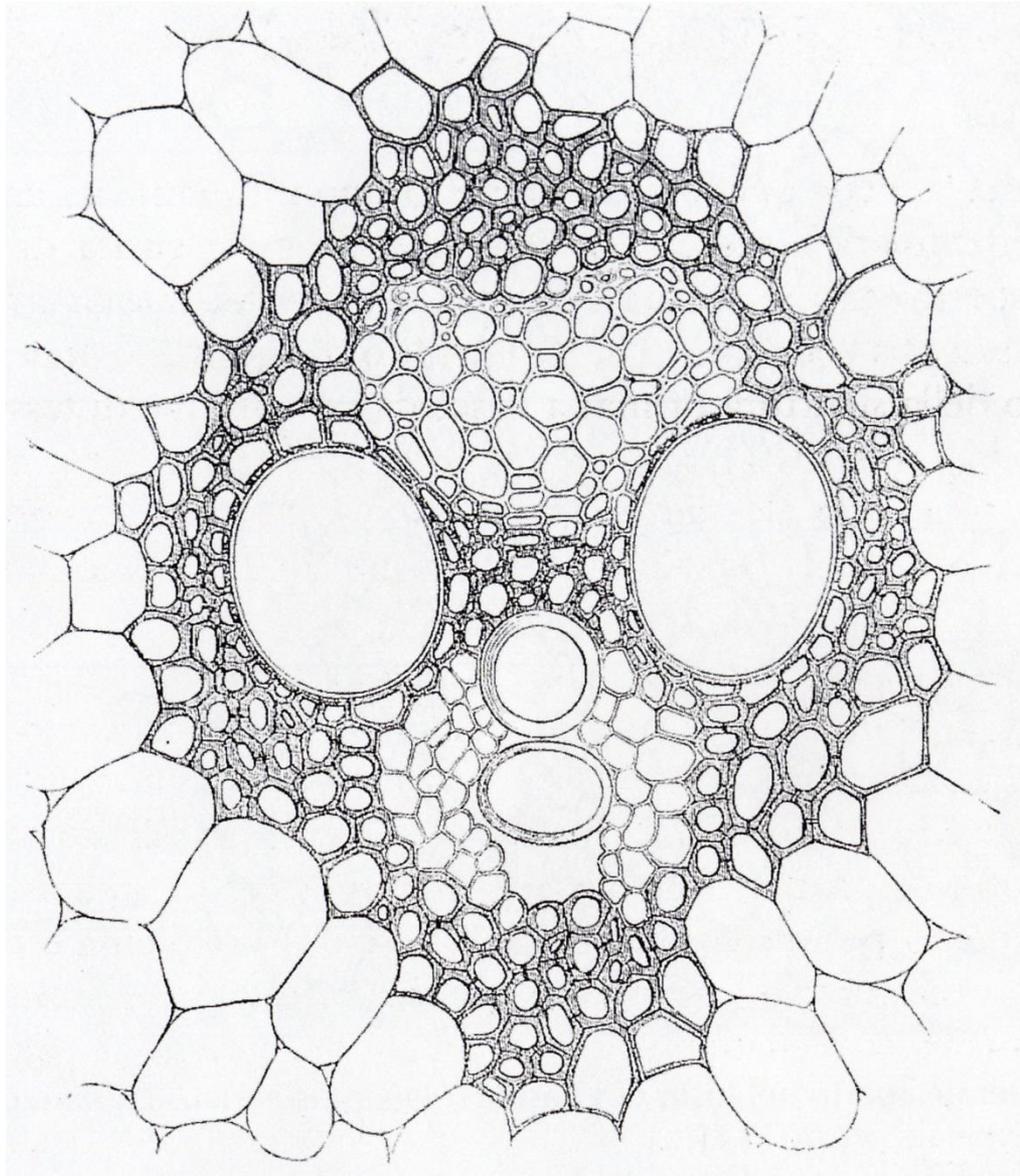
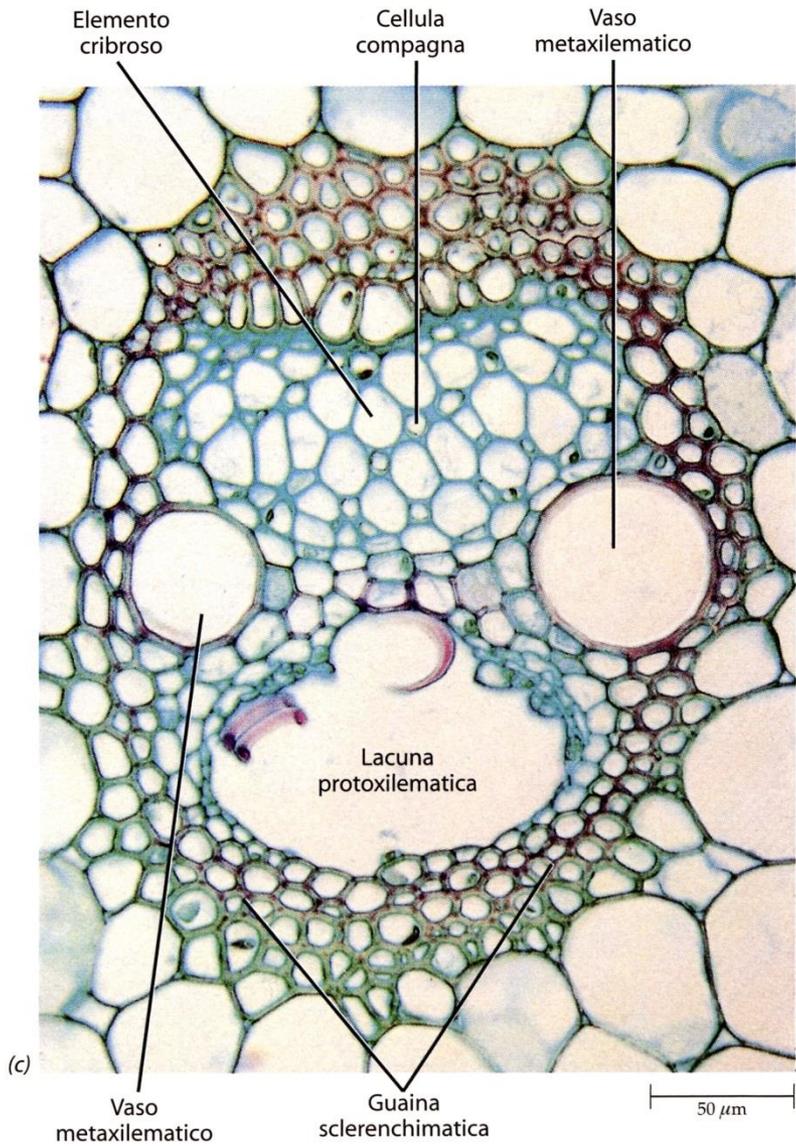
Nel caule: porzione xilematica al centro dell'organo, quella floematica verso l'esterno.

Nella foglia: disposizione dipendente dalla collocazione della lamina nello spazio → foglia dorsiventratale suborizzontale: il floema esposto verso la faccia inferiore della foglia ("abassiale", che sta sotto [ab] l'asse), lo xilema verso la faccia superiore ("adassiale", che sta sopra [ad] l'asse).

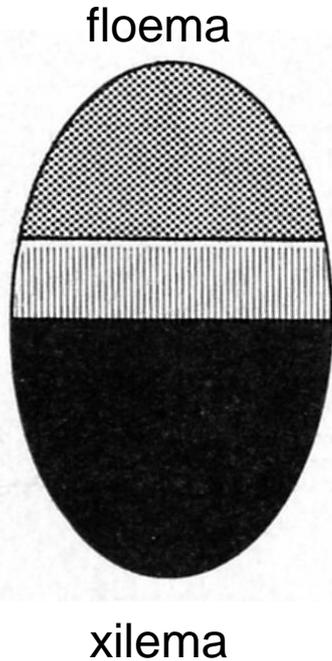


Il differenziamento procede a partire dai due poli più esterni verso la zona centrale, iniziando dal polo floematico.

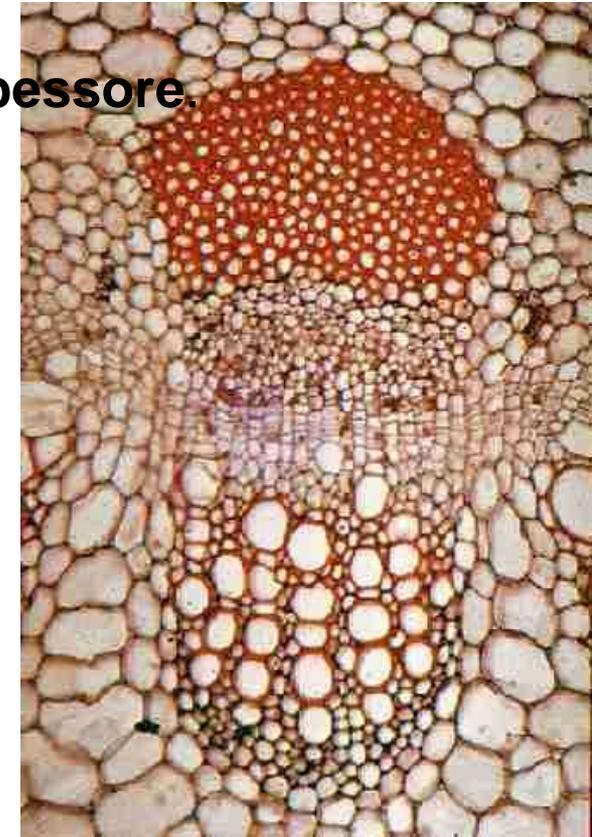




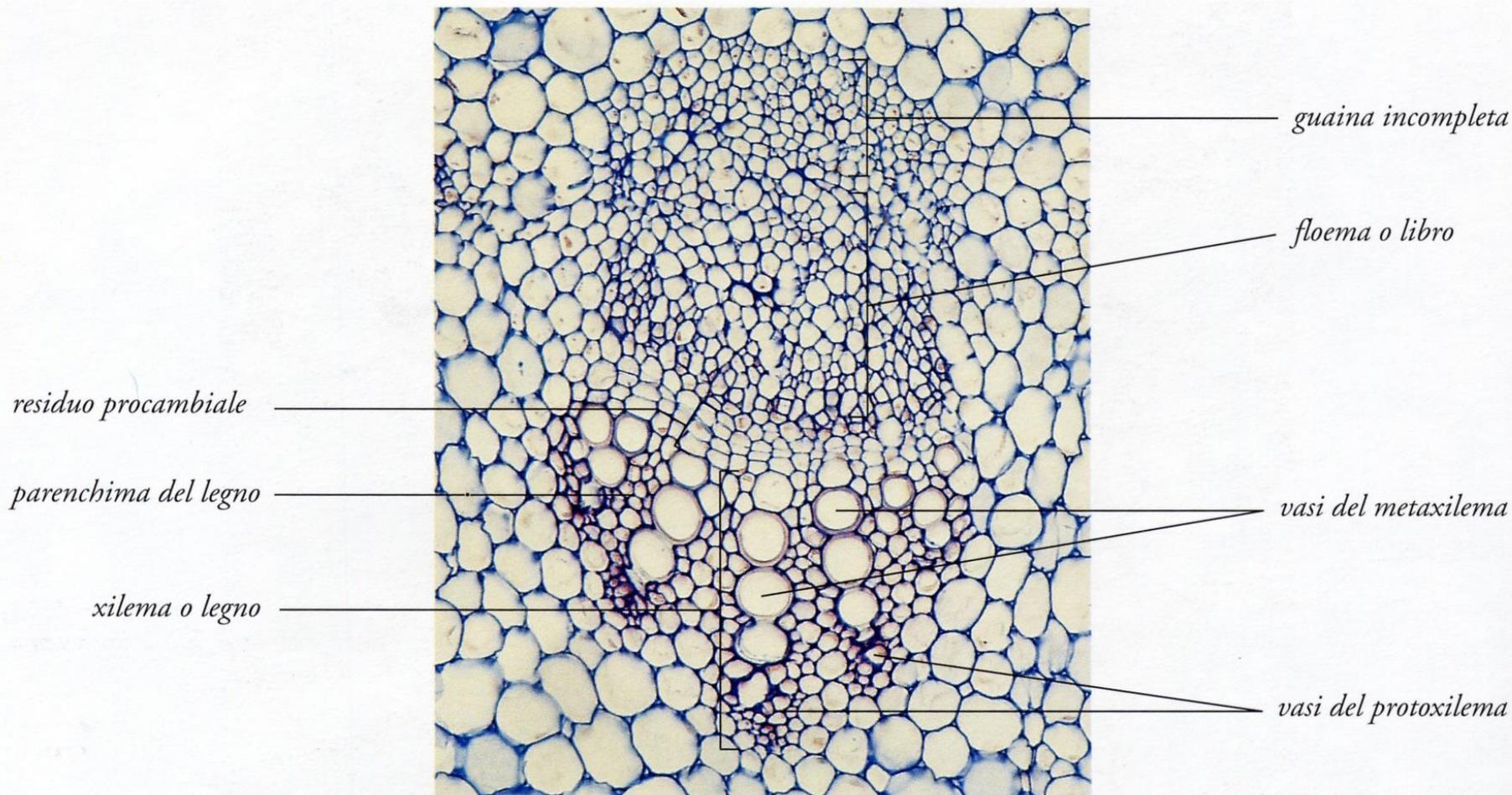
# Fascio collaterale aperto



**Presenza di tessuto meristematico** (che ha caratteristiche citologiche diverse dai meristemi primari!)  
**del cordone procambiale** tra xilema e floema  
→ differenziamento in nuovi elementi xilematici e floematici, che andranno ad aggiungersi a quelli preesistenti (progressivamente non più funzionanti)  
→ aumento in spessore dell'organo, con imponenti cambiamenti  
→ **accrescimento secondario in spessore.**



- assenti nelle Monocotiledoni, e in tutte le parti di una pianta erbacea dicotiledone che **NON** ha accrescimento in spessore.
- Caratterizzano tutte le piante “legnose”, accrescimento → formazione di quel tessuto eterogeneo che chiamiamo “**legno**”.



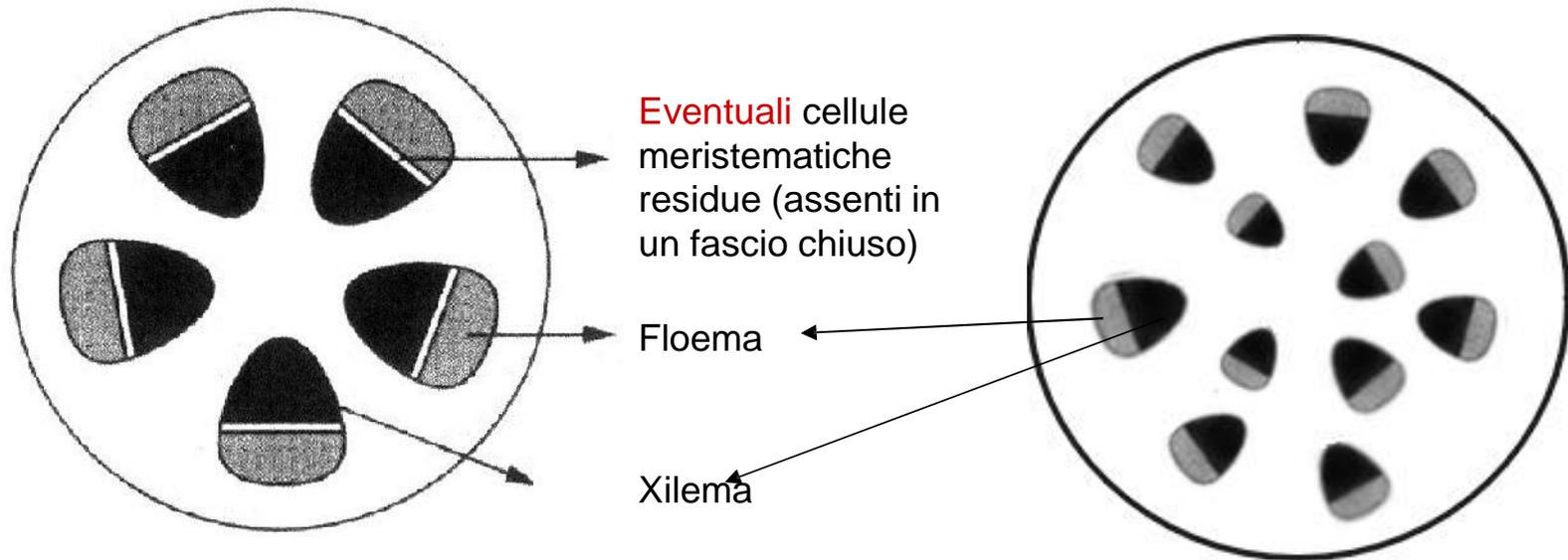
**Fascio collaterale aperto nel fusto di girasole (*Heliantus annuus* L., fam. Compositae).**

Sezione trasversale. x 200 (145)

Il fascio collaterale aperto è tipico del fusto primario delle dicotiledoni erbacee. Il libro e il legno si fronteggiano sullo stesso raggio, il primo verso l'esterno e il secondo verso l'interno del fusto. I vasi del protoxilema, in genere tracheidi, sono scarsi e di lume ristretto, con pareti poco robuste (vasi spiralati, anulati, anulo-spiralati). I vasi del metaxilema, in genere trachee, sono invece più numerosi e con lume più ampio, e hanno pareti secondarie più estese (vasi reticolati, punteggiati, scalariformi).

Fra libro e legno è situato il residuo indifferenziato del cordone procambiiale.

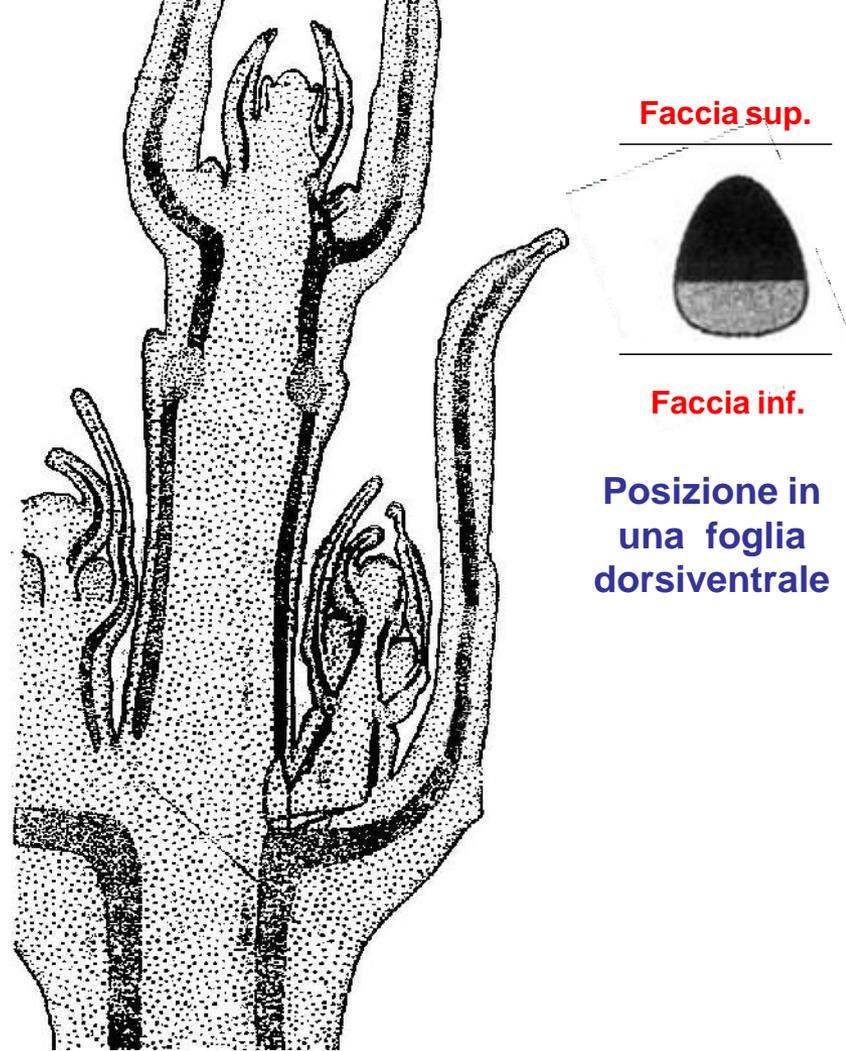
Nel caule, la porzione xilematica del fascio conduttore è collocata verso il centro dell'organo, quella floematica verso l'esterno, qualsiasi sia la disposizione dei fasci, regolare (anulata, a sin.) o irregolare (a ds.).



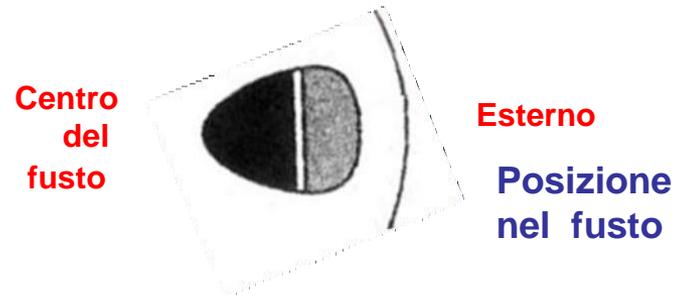
Nella foglia, sono presenti fasci conduttori collaterali chiusi. La loro disposizione dipenderà sempre dalla collocazione della lamina nello spazio.

- In una foglia dorsiventratale (suborizzontale), il floema si troverà esposto verso la faccia inferiore della foglia (“abassiale”, che sta sotto [ab] l’asse), lo xilema verso la faccia superiore

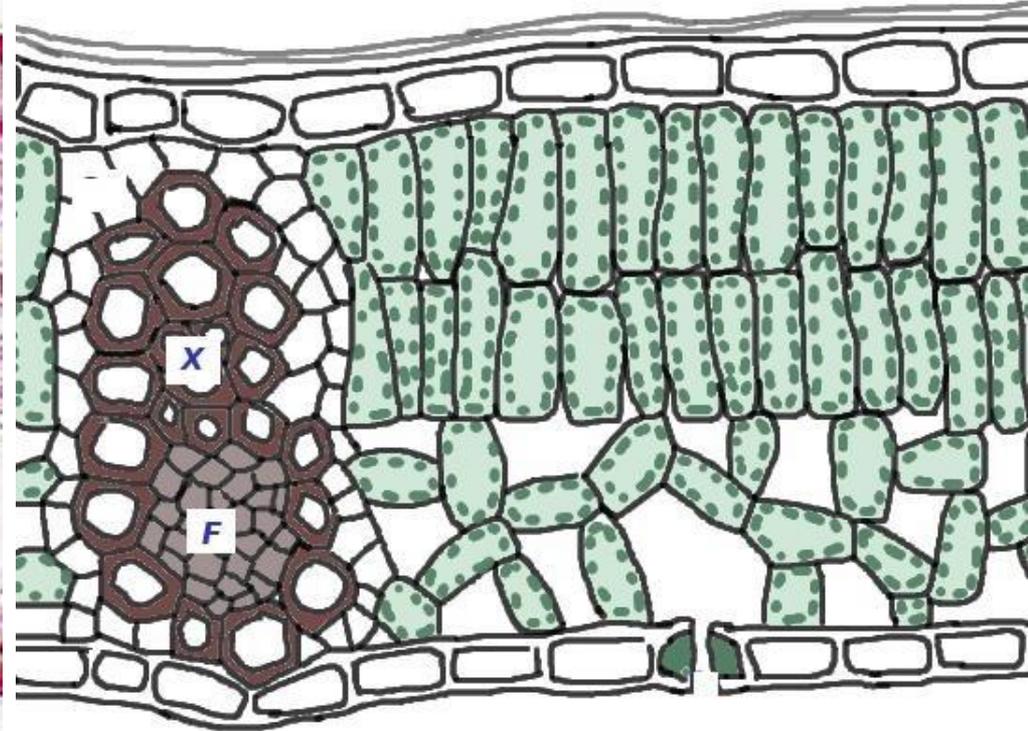
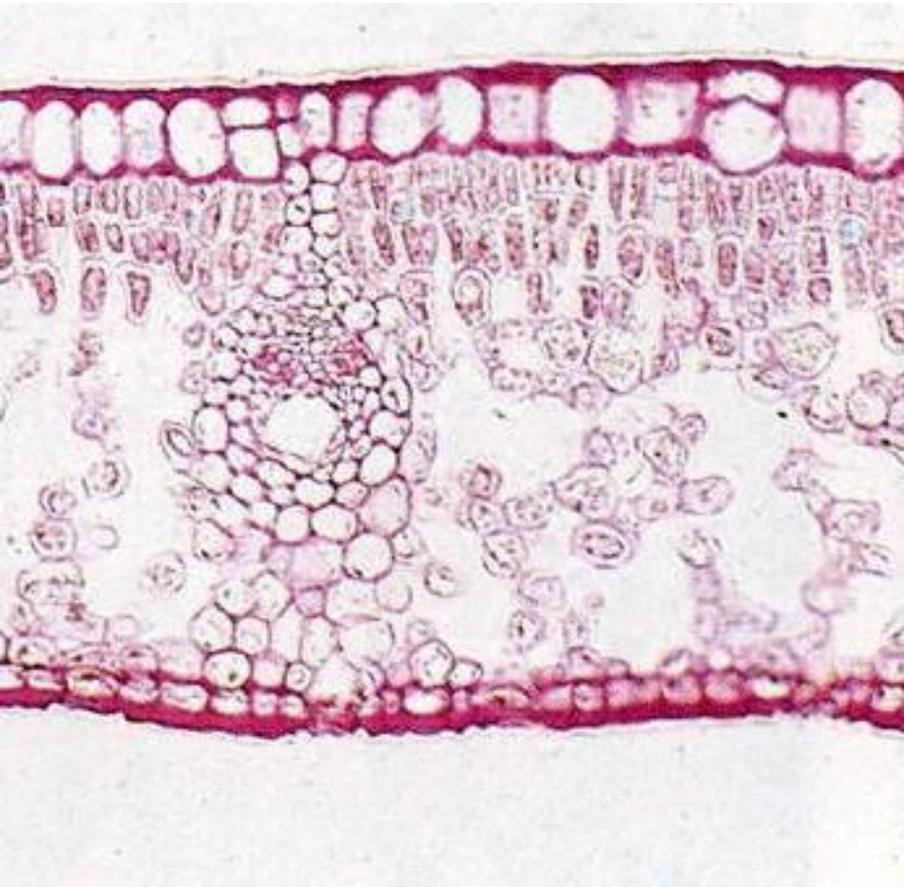
(“adassiale”, che sta sopra [ad] l’asse).



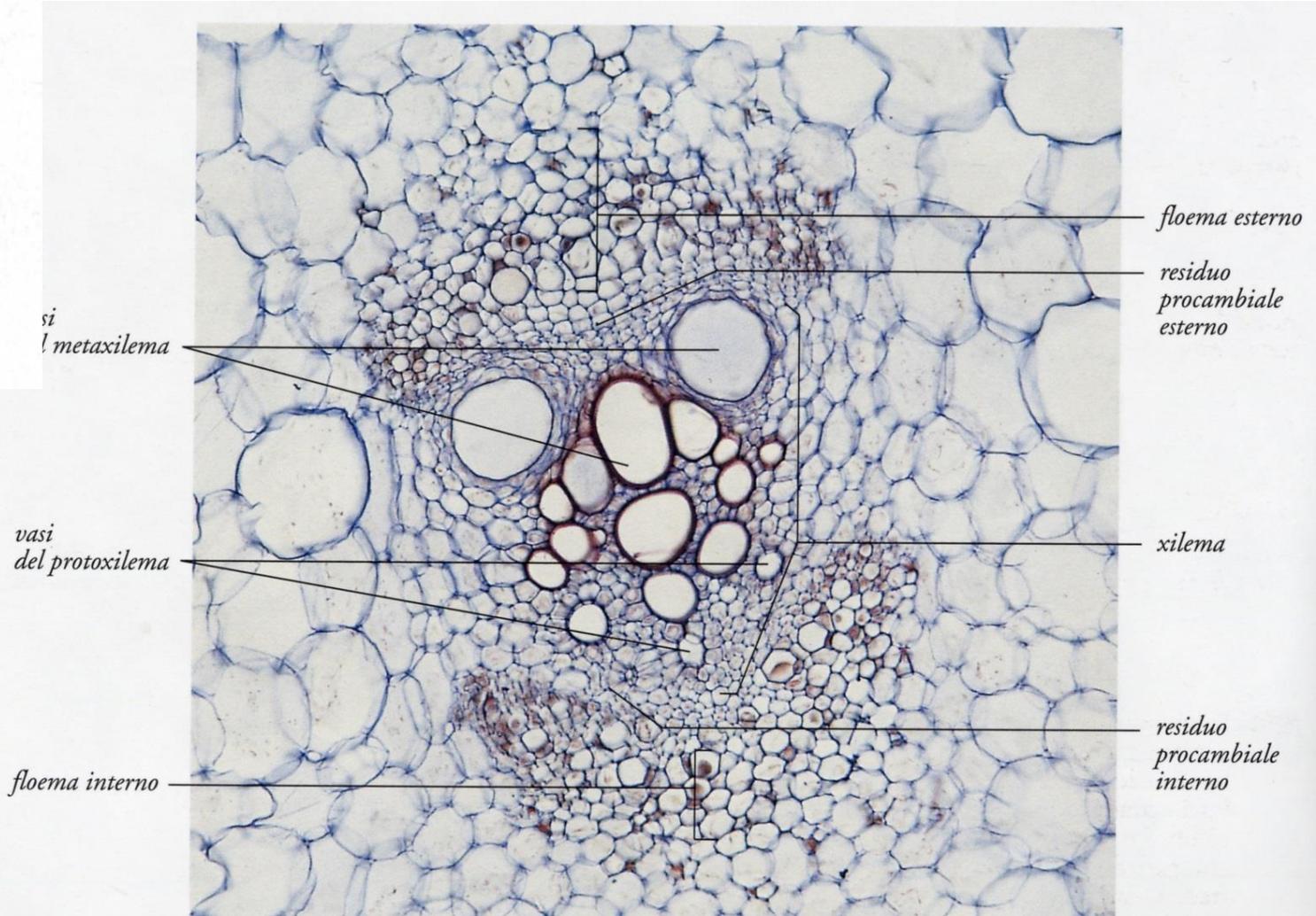
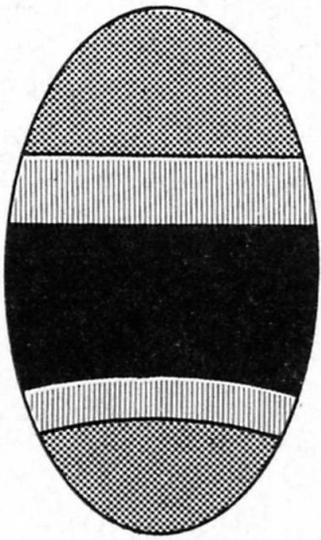
Posizione in una foglia dorsiventratale



Posizione nel fusto



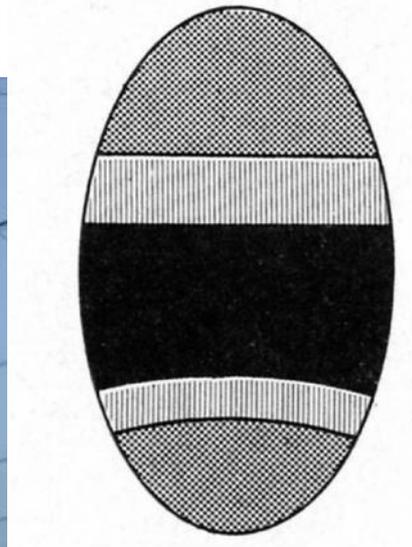
# Fascio bicollaterale aperto



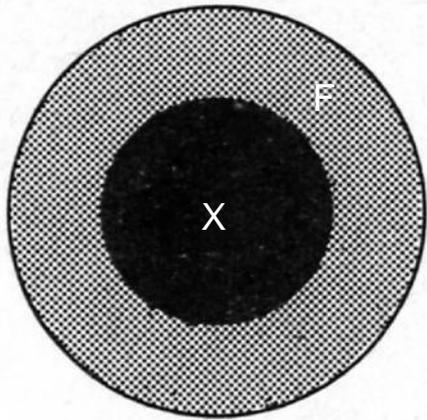
**Fascio bicollaterale nel fusto di zucca (*Cucurbita pepo* L., fam. Cucurbitaceae).**

Sezione trasversale. x 100 (120)

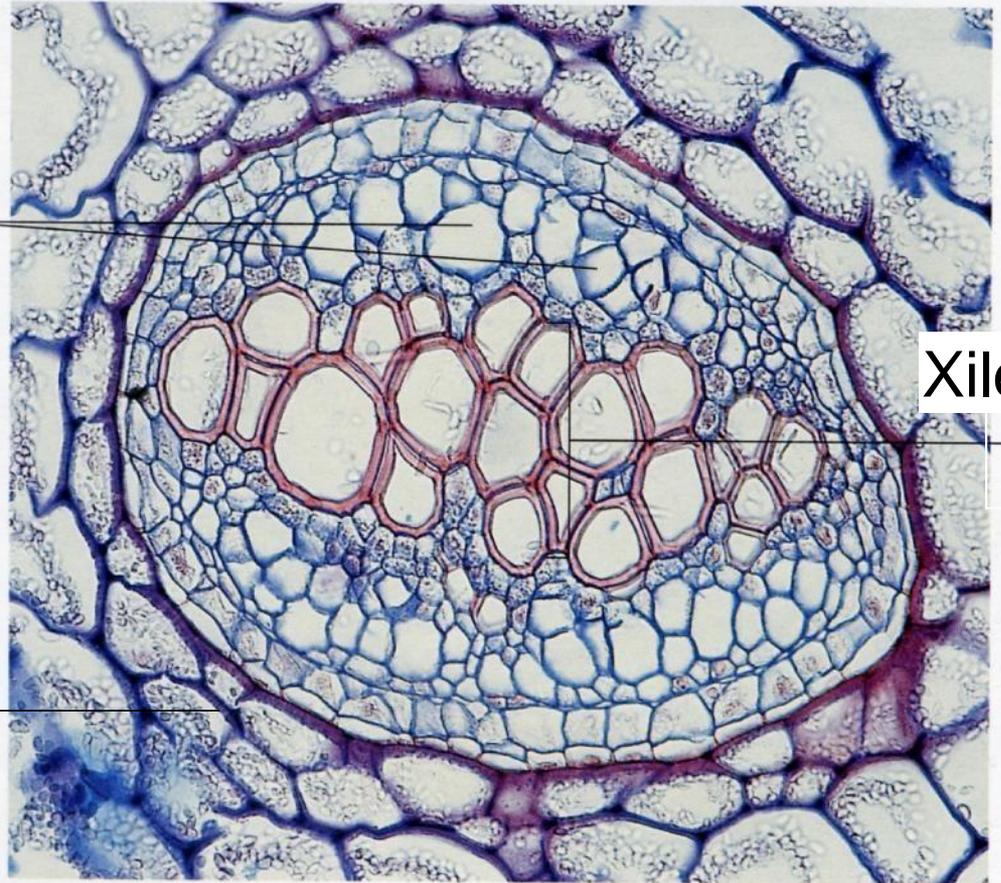
Il fascio bicollaterale è un fascio aperto caratteristico del fusto in alcune famiglie di dicotiledoni (Apocynaceae, Convolvulaceae, Cucurbitaceae, Solanaceae). Lo xilema si trova intervalato fra due porzioni, una esterna ed una interna, di floema. Il residuo procambiale esterno è quello più attivo nello sviluppo secondario.



# Fascio concentrico perifloematico



Floema



Xilema



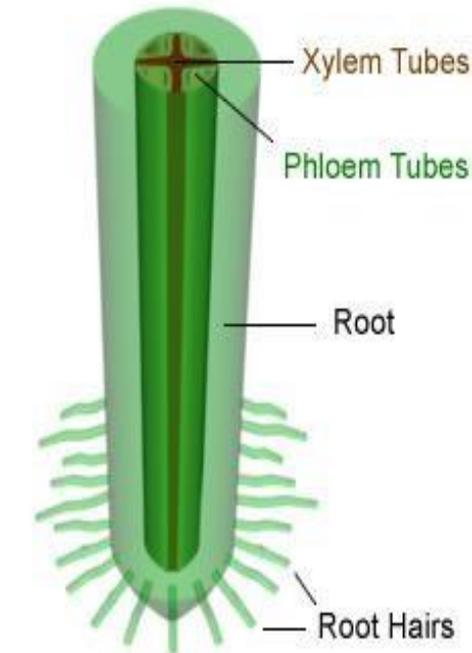
**Fasci concentrici perifloematici nel rizoma di polipodio** (*Polypodium vulgare* L., fam. Polypodiaceae).

Sezione trasversale. x 25 (30); x 200 (240)

Il fascio concentrico perifloematico si trova tipicamente nelle felci (classe *Filicinae*): il cordone centrale di legno è completamente circondato dal libro.

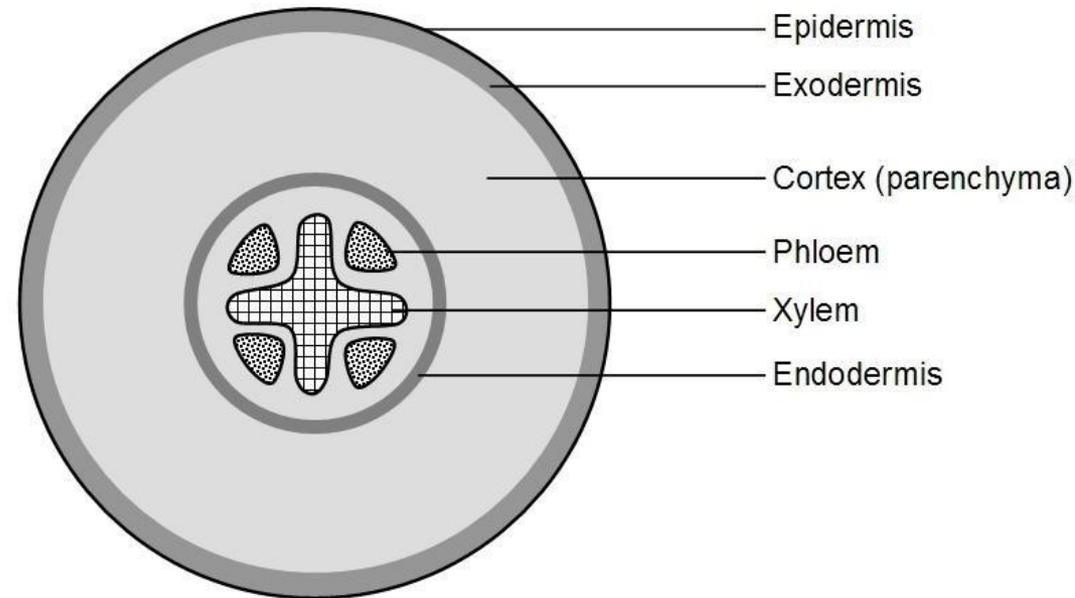
Nella radice c'è un unico grosso cordone procambiale, collocato centralmente. I due tessuti si differenziano in senso centripeto, cioè dall'esterno verso l'interno.

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).



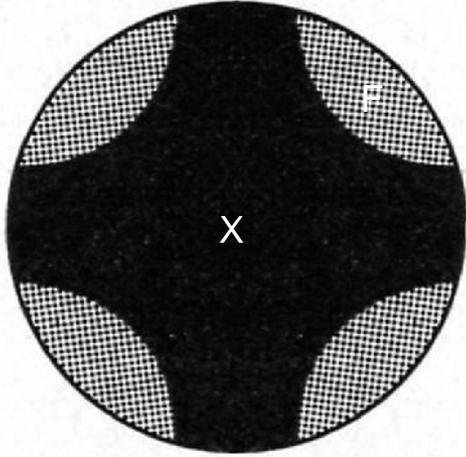
Root

Copyright © 2009 science-resources.co.uk



Cross-section through a young non-woody dicot root

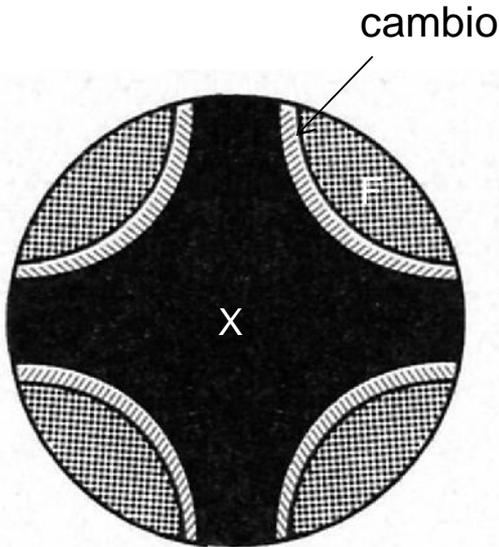
# Fasci radiali chiuso e aperto



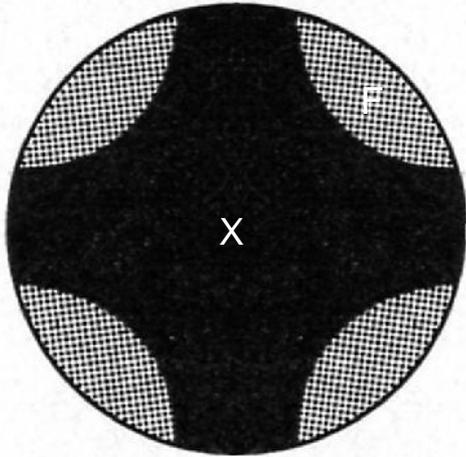
Nelle **radici** in struttura primaria i tessuti di trasporto sono organizzati in maniera molto diversa rispetto al fusto.

Essi sono riuniti in un **unico fascio conduttore** a struttura compatta che si sviluppa **nella parte centrale** dell'organo.

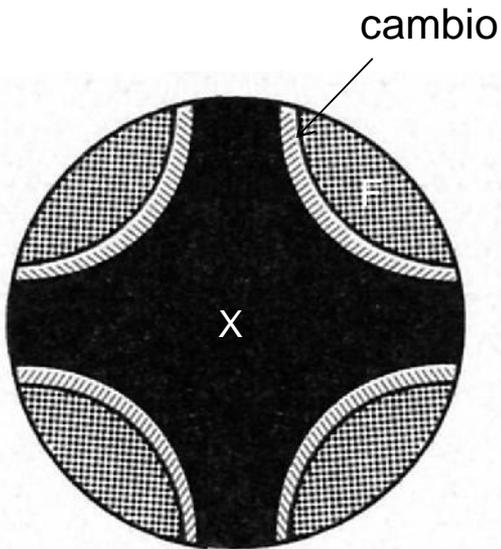
I cordoni di xilema e floema (arche) appaiono **disposti in modo alternato** come i raggi di una ruota, formano così un **fascio radiale**.



Lo xilema è presente nella parte più centrale e da qui si spinge con un numero variabile di arche xilematiche (ad es. 4 nel disegno a sin.). Nello spazio delimitato da due arche xilematiche si trova un'arca floematica.



A seconda che rimanga o meno un sottile strato di cellule indifferenziate, con capacità meristemica (**cambio**), a dividere tessuto floematico da tessuto xilematico, si avrà un fascio **radiale aperto** o **chiuso**.



Il **fascio radiale aperto** è caratteristico delle **dicotiledoni legnose**, le cui radici sono perciò capaci di un accrescimento secondario in spessore.

Il **fascio radiale chiuso** è caratteristico delle **monocotiledoni**, le cui radici NON sono in grado di accrescersi in spessore (ma possono però formare normalmente radici secondarie).

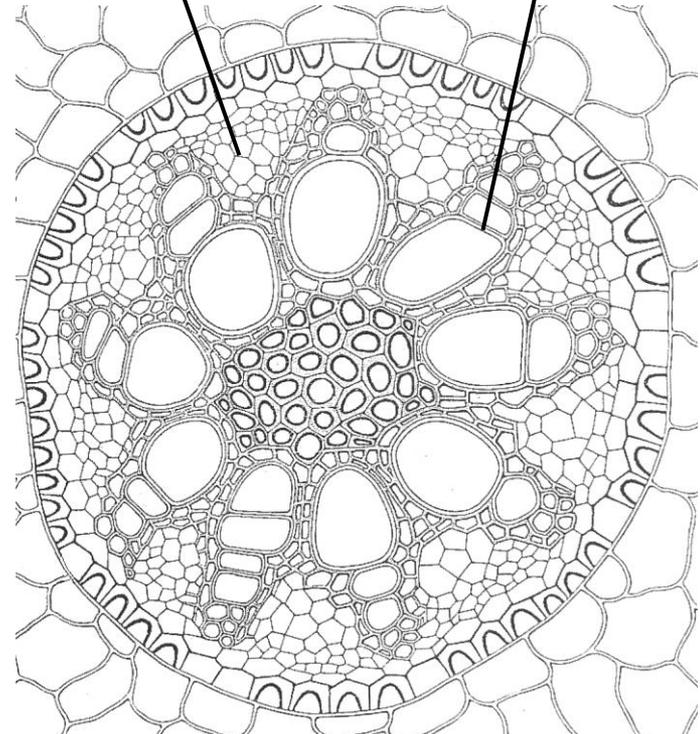
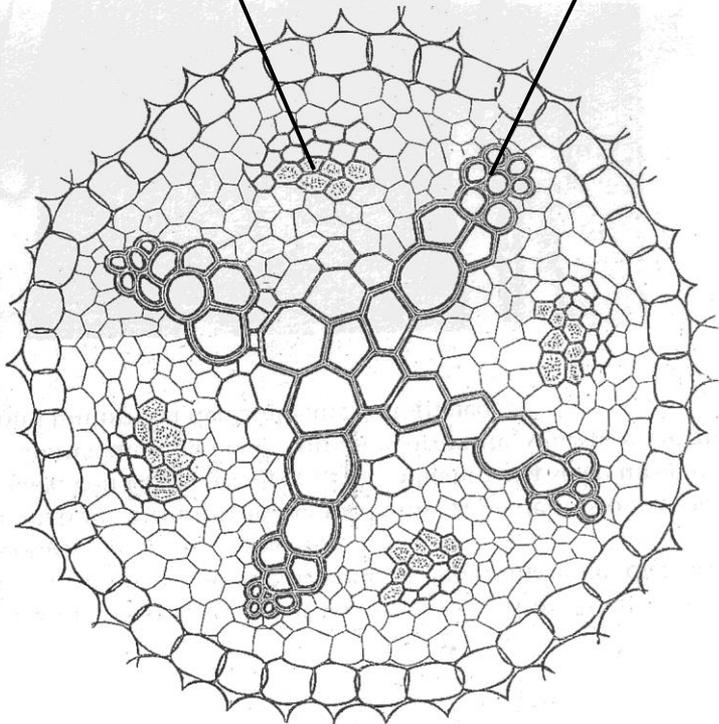
# Fasci radiali chiusi e aperti

Arca floematica

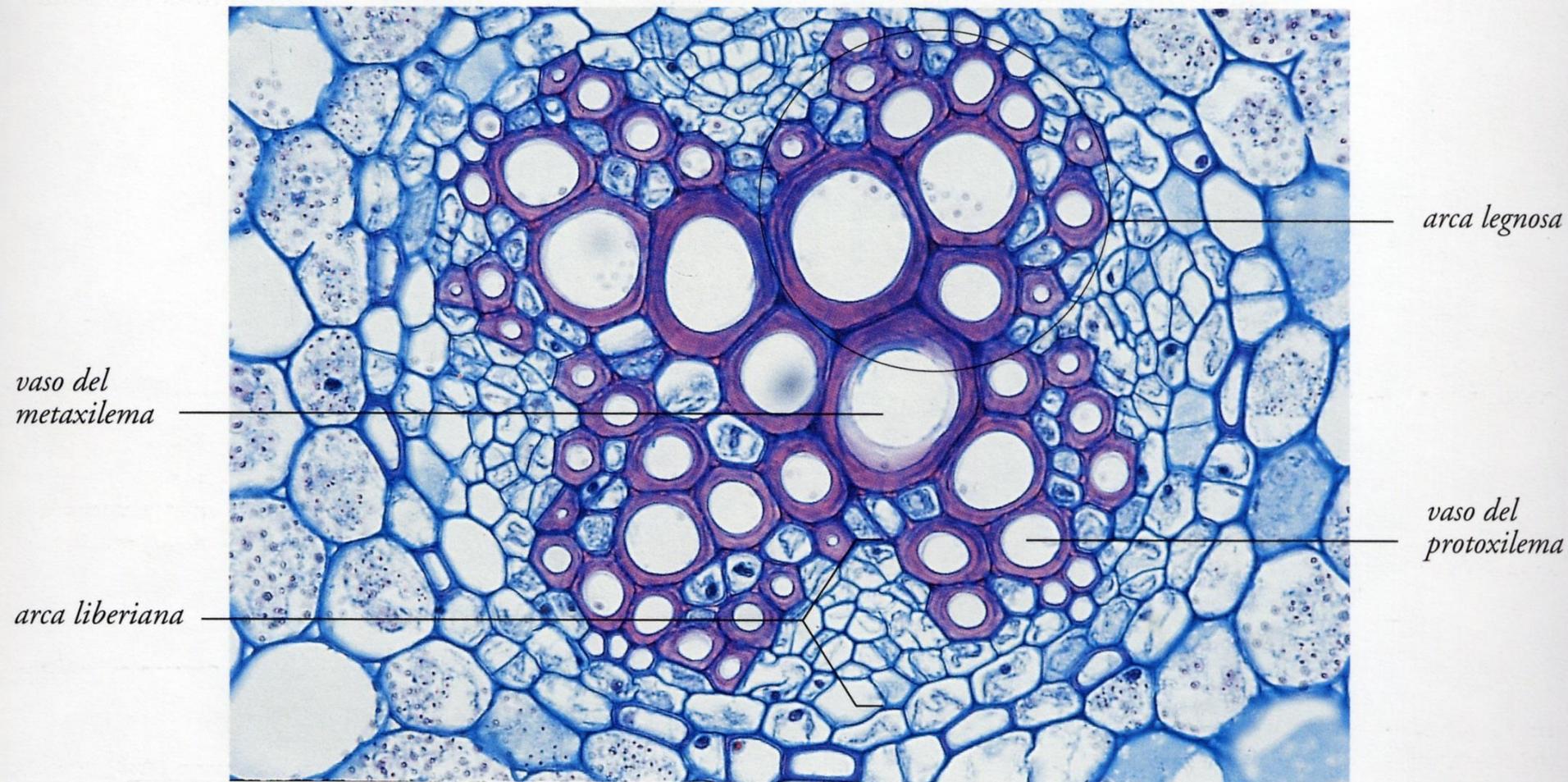
Arca xilematica

Arca floematica

Arca xilematica



**Differenziamento centripeto (!!!)** = dall'esterno verso l'interno → i vasi metaxilematici si trovano più all'interno rispetto ai vasi protoxilematici.



**Fascio radiato (o alterno) nella radice di una dicotiledone.**

Sezione trasversale. x 400 (350)

Il numero delle arche liberiane è sempre uguale a quello delle arche legnose; questo numero, però, può variare nella stessa specie o a livelli diversi della stessa radice, aumentando all'ingrossarsi dell'organo.

In monocotiledoni, nella zona centrale del fascio radiale della radice sono presenti fibre sclerenchimatiche → resistenza trazione