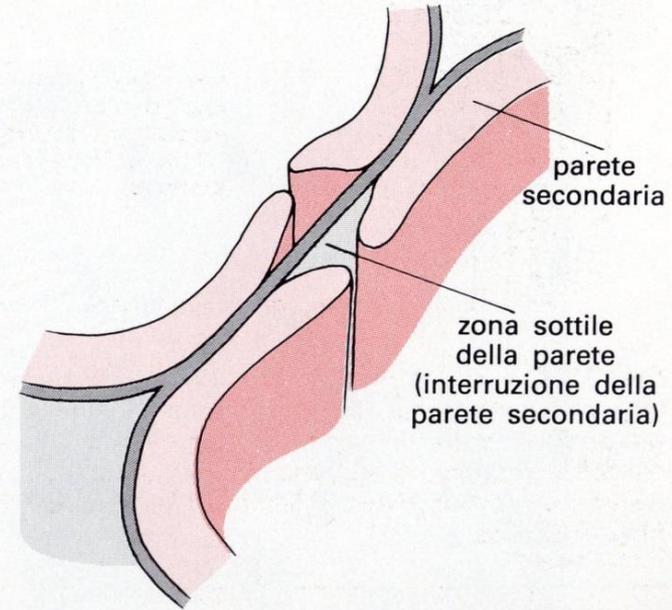
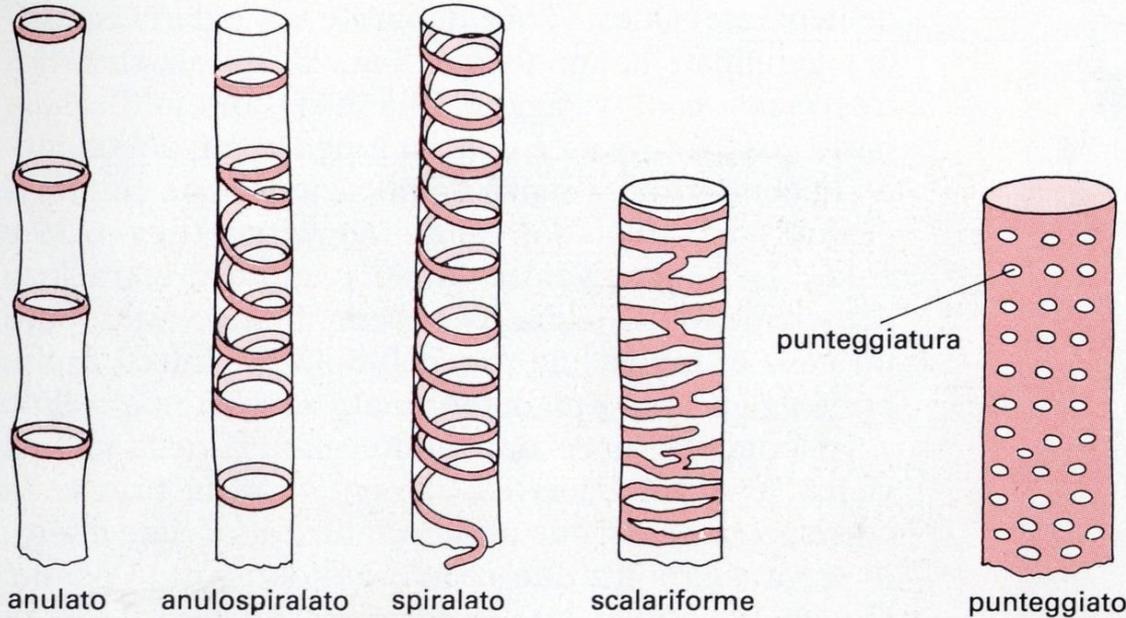


Gli **elementi tracheali** hanno una parete secondaria formata da ispessimenti irregolari: **anulati**, **spiralati** o **reticolari**.



Due punteggiature combacianti di due vasi vicini viste in sezione.

I principali tipi di ispessimento dei vasi del legno (disegno schematico). Le zone ispessite e lignificate della parete sono indicate in rosso.

Anulati e spiralati → permettono ulteriore allungamento della cellula prima che muoia, tipici dello xilema che si forma per primo [**protoxilema**].



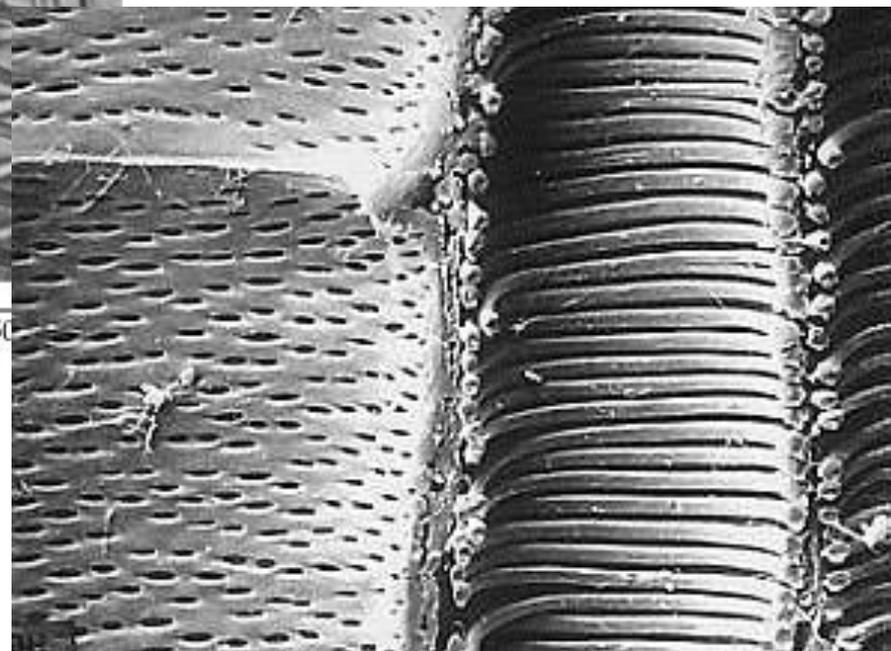
(a)

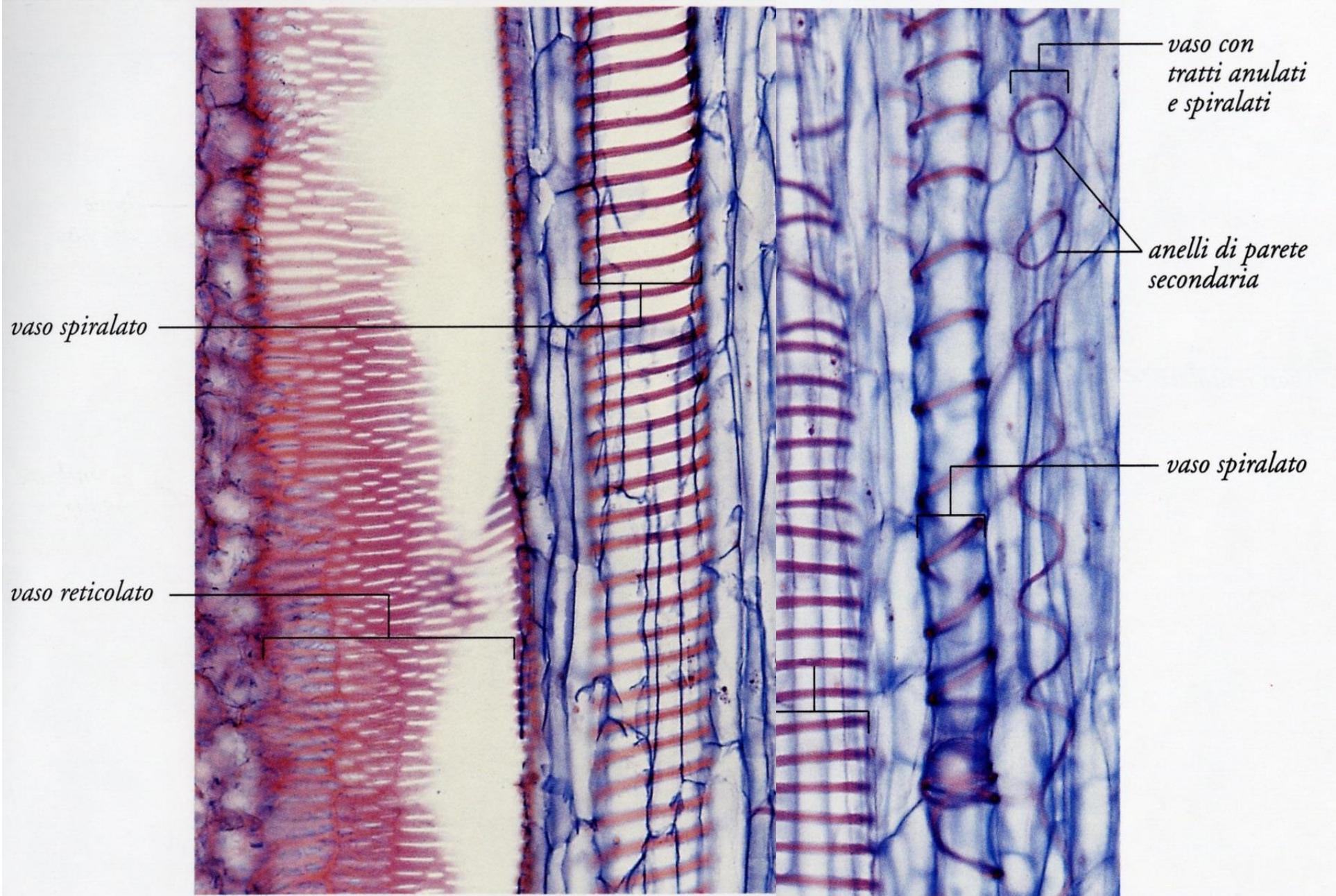
50 μm



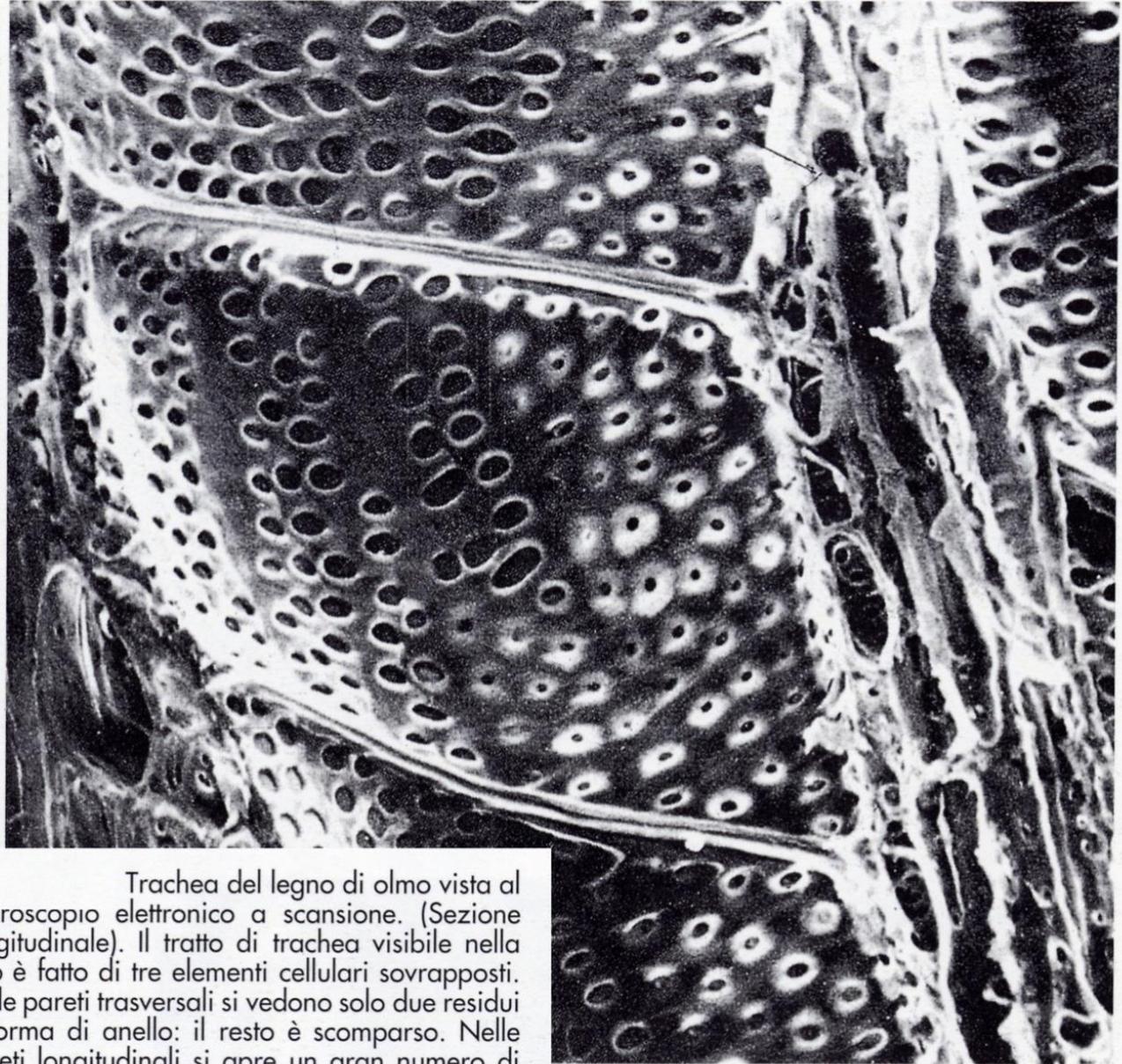
(b)

50

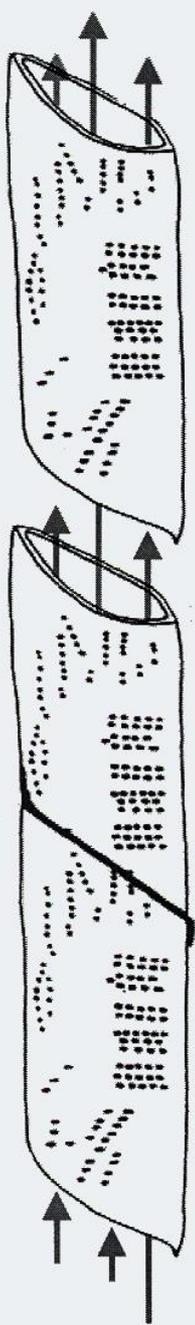




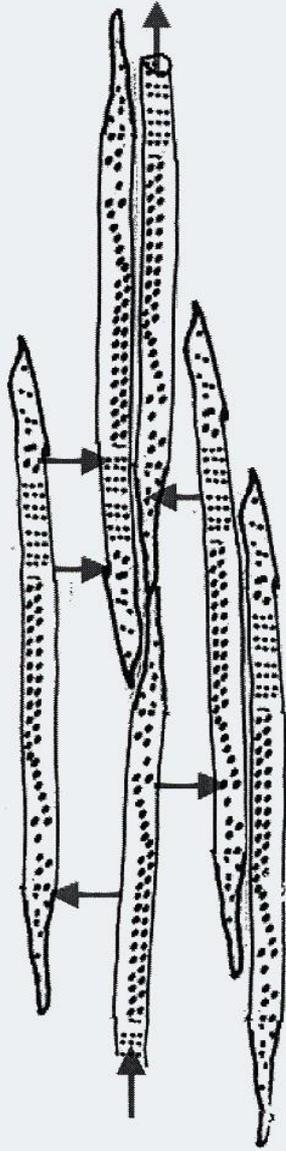
Elementi tracheali punteggiature laterali → trasporto anche in direzione laterale dell'acqua tra “tubi” diversi.



Trachea del legno di olmo vista al microscopio elettronico a scansione. (Sezione longitudinale). Il tratto di trachea visibile nella foto è fatto di tre elementi cellulari sovrapposti. Delle pareti trasversali si vedono solo due residui a forma di anello: il resto è scomparso. Nelle pareti longitudinali si apre un gran numero di punteggiature.



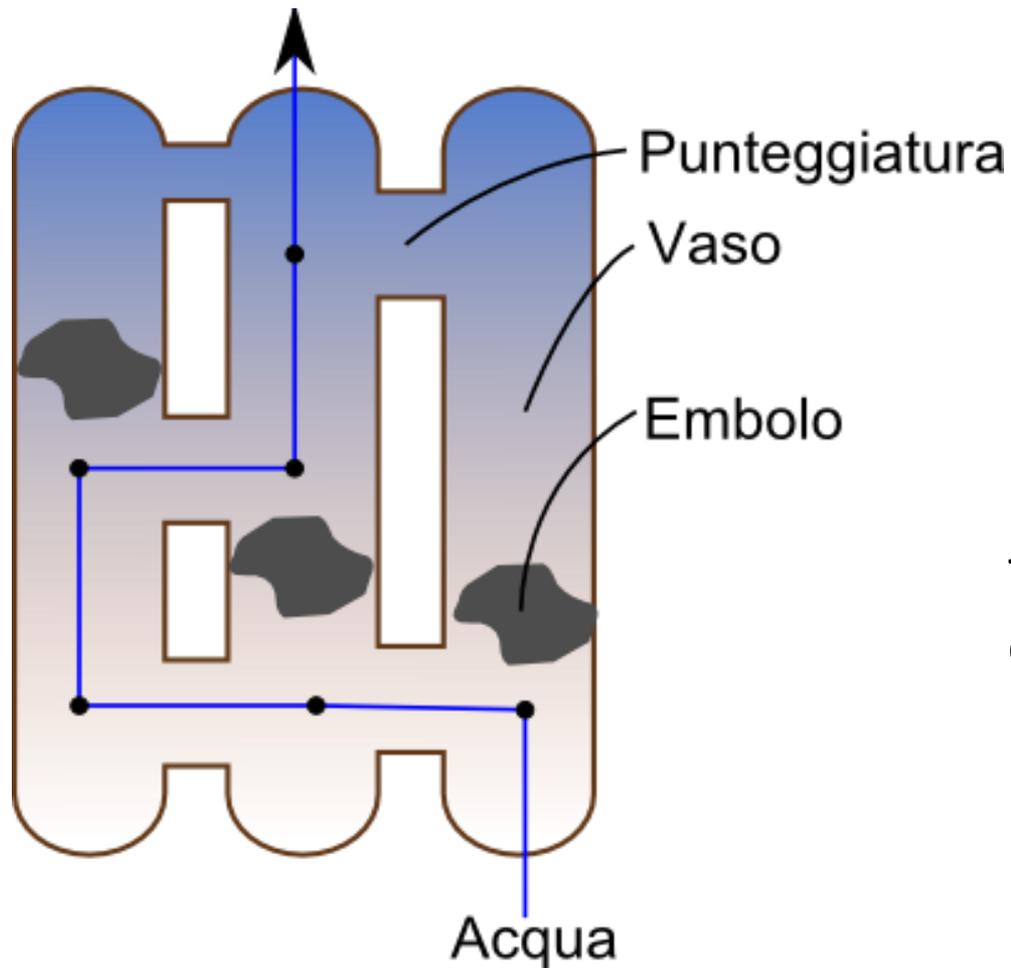
Vessels



Tracheids

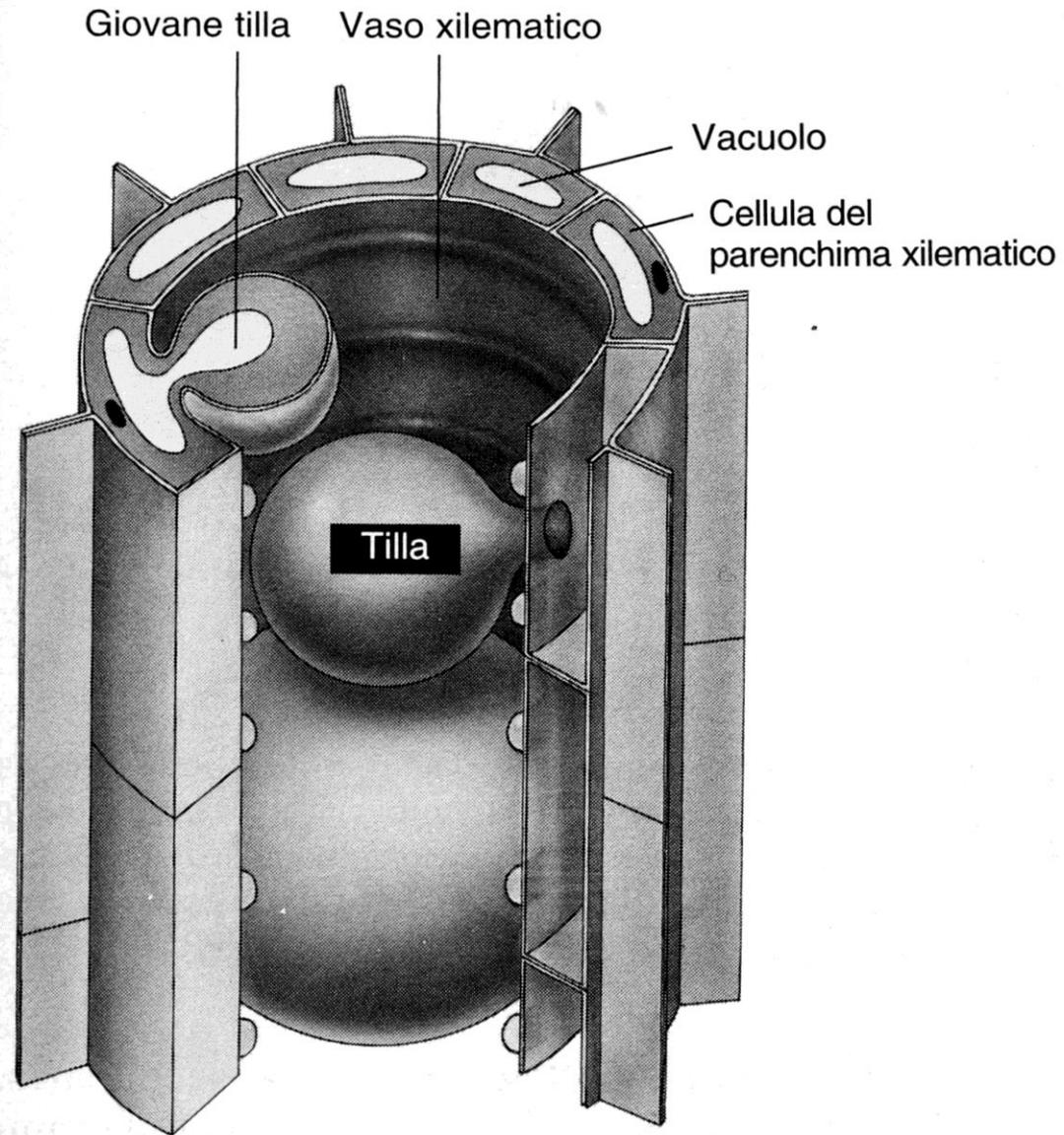
Le **TRACHEE** (“vessels” in ingl.) trasportano l’ H_2O con maggior efficienza delle tracheidi: hanno un lume più ampio, non ci sono setti apicali a limitare il flusso tra un elemento e l’altro.

➤ In molte piante le trachee rimangono funzionali per tempi molto brevi (in alcuni alberi addirittura per una sola stagione).



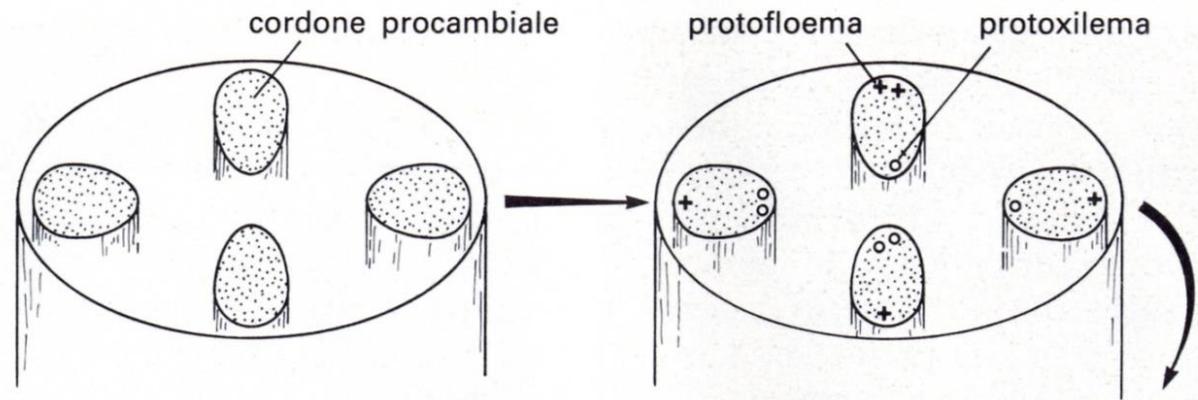
Le trachee sono maggiormente esposte al pericolo dell'**embolia** (= formazione di bolle di gas che occludono il vaso → passaggio della linfa bloccato).

TILLE: strutture vescicolari generate dalla cellule parenchimatiche nel lume delle trachee (attraverso le punteggiature) → occlusione dei vasi alla fine della stagione di crescita.



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

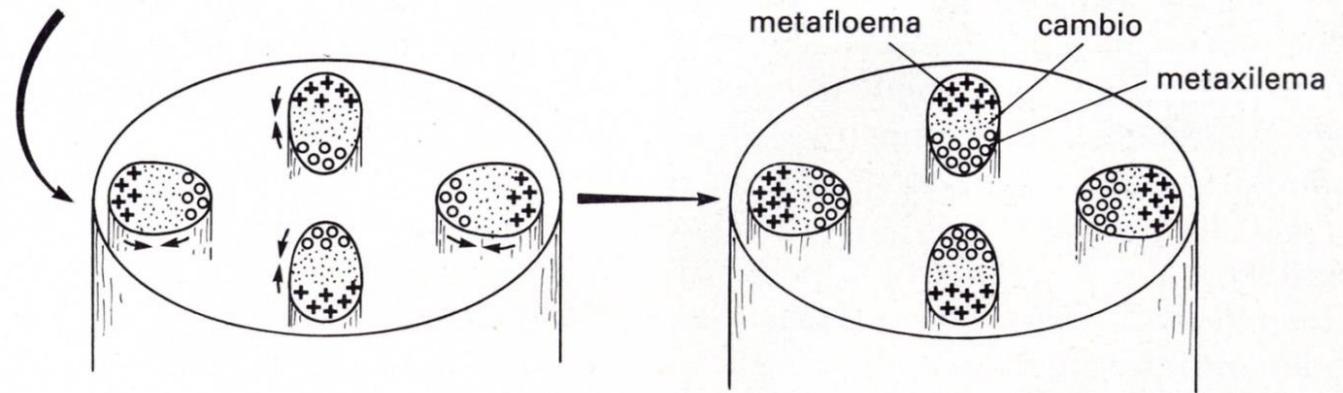
I **cordoni procambiali** si differenziano rapidamente in fasci cribro-vascolari, aperti o chiusi a seconda che alcune cellule rimangano indifferenziate nella zona di contatto dei due tessuti fondamentali → xilema e floema.



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.

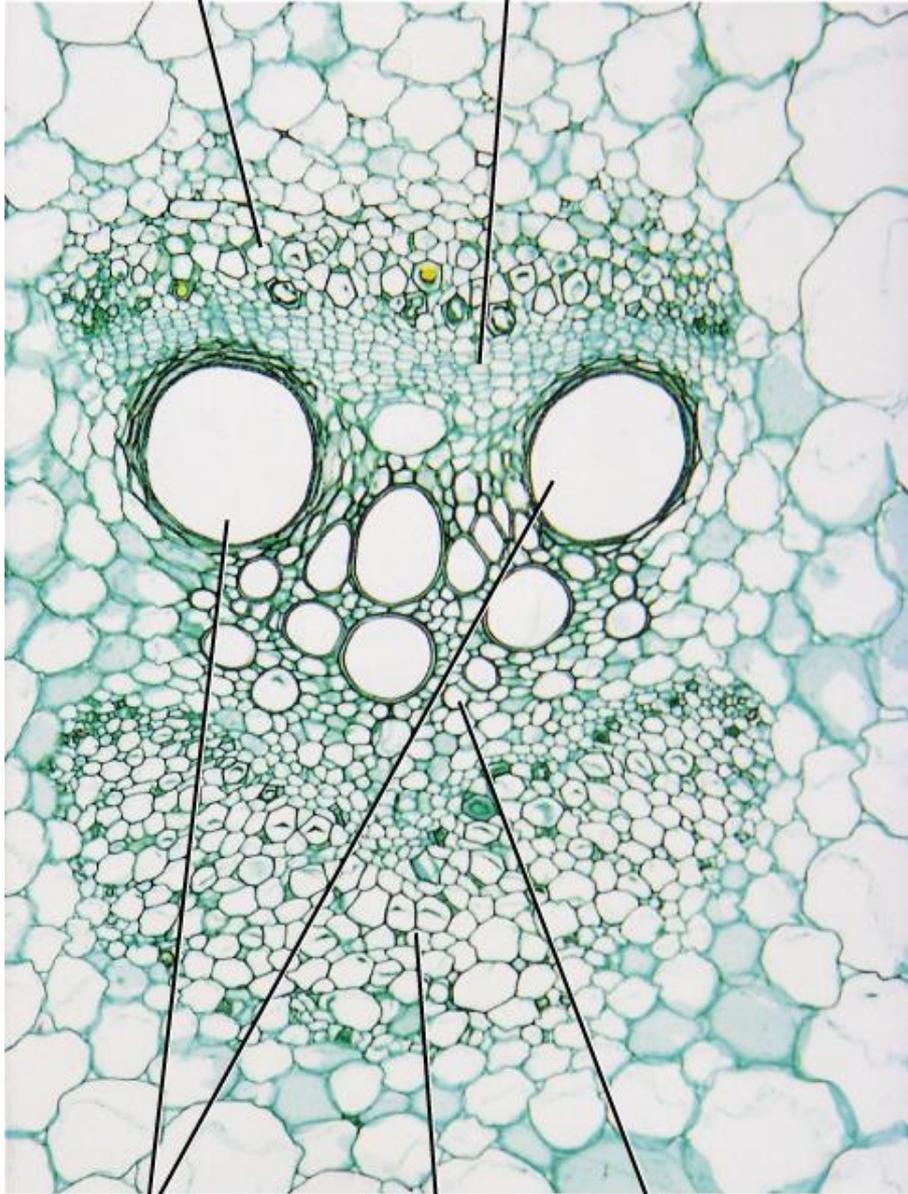


Successivi elementi si differenziano in direzioni opposte (indicate dalle frecce).

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

Floema esterno

Cambio vascolare

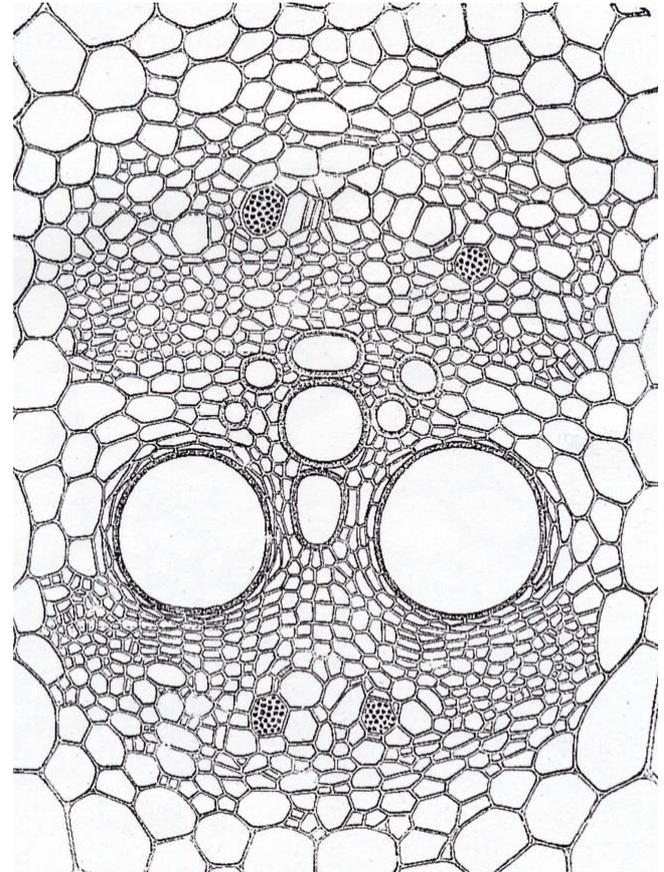


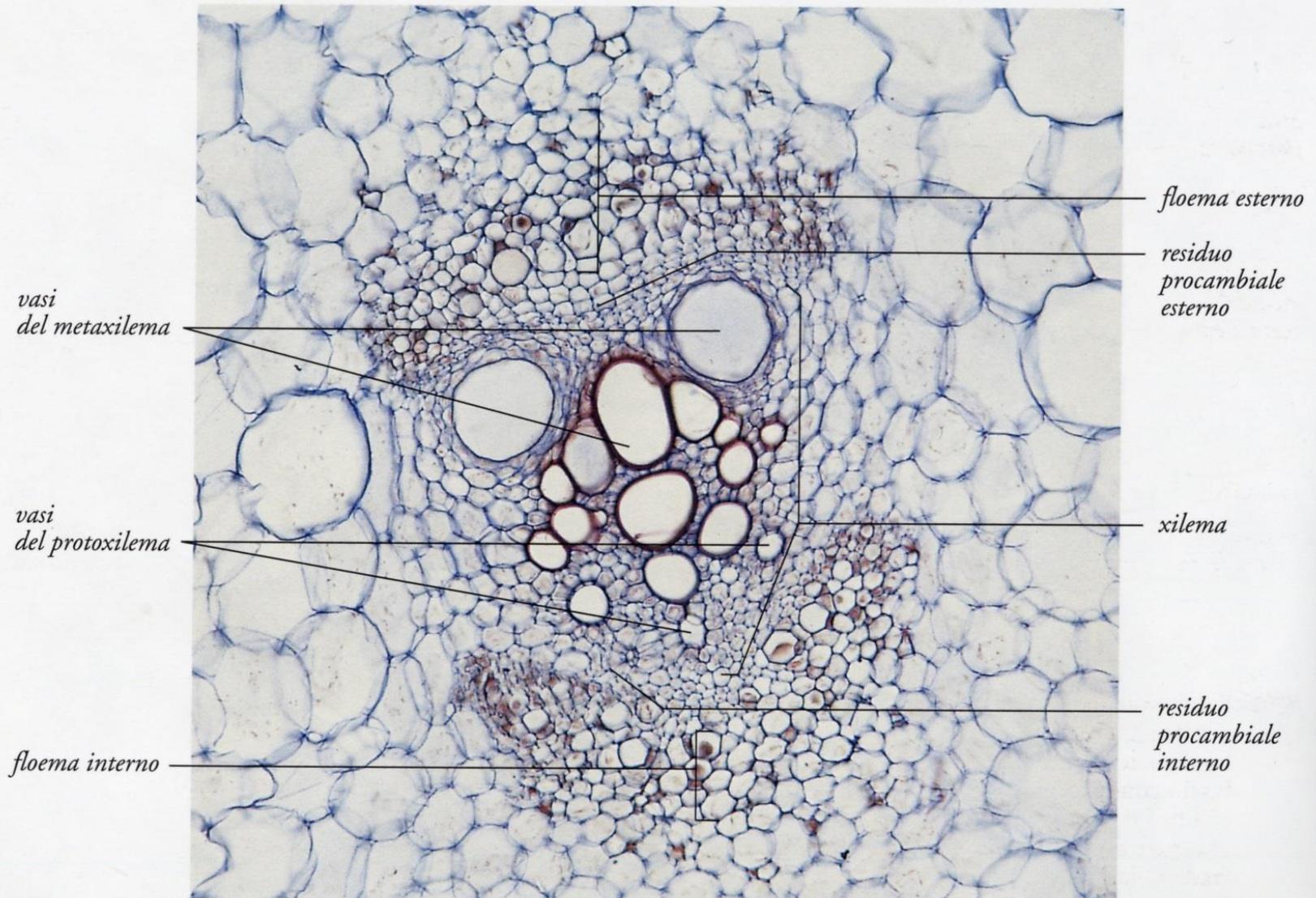
Grandi vasi dello xilema secondario

Floema interno

Xilema primario

100 μ m





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.

FLOEMA

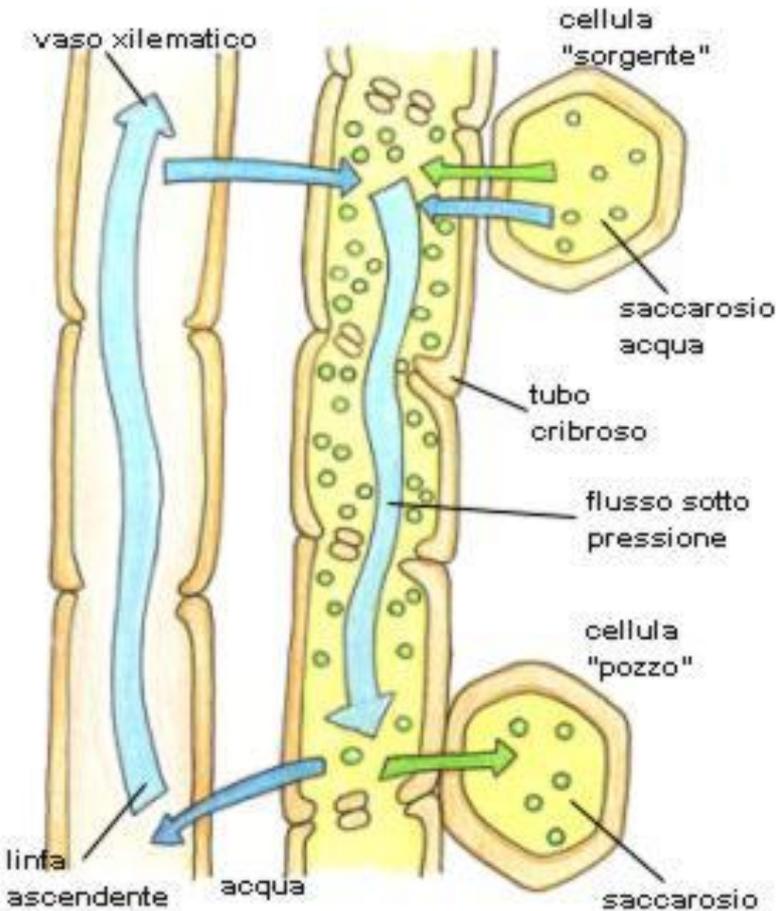
Libro

cellule cribrose (Pteridofite e Gimnosperme)

tubi cribrosi (Angiosperme)

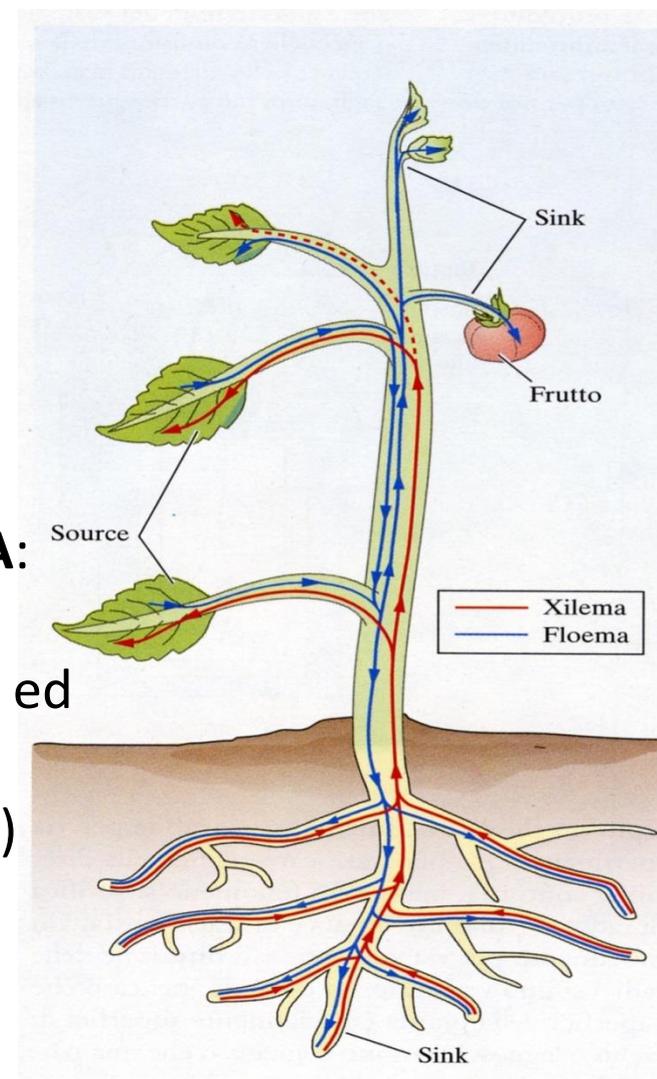
Cellule vive (!!!)

TC funzionali in una sola stagione vegetativa



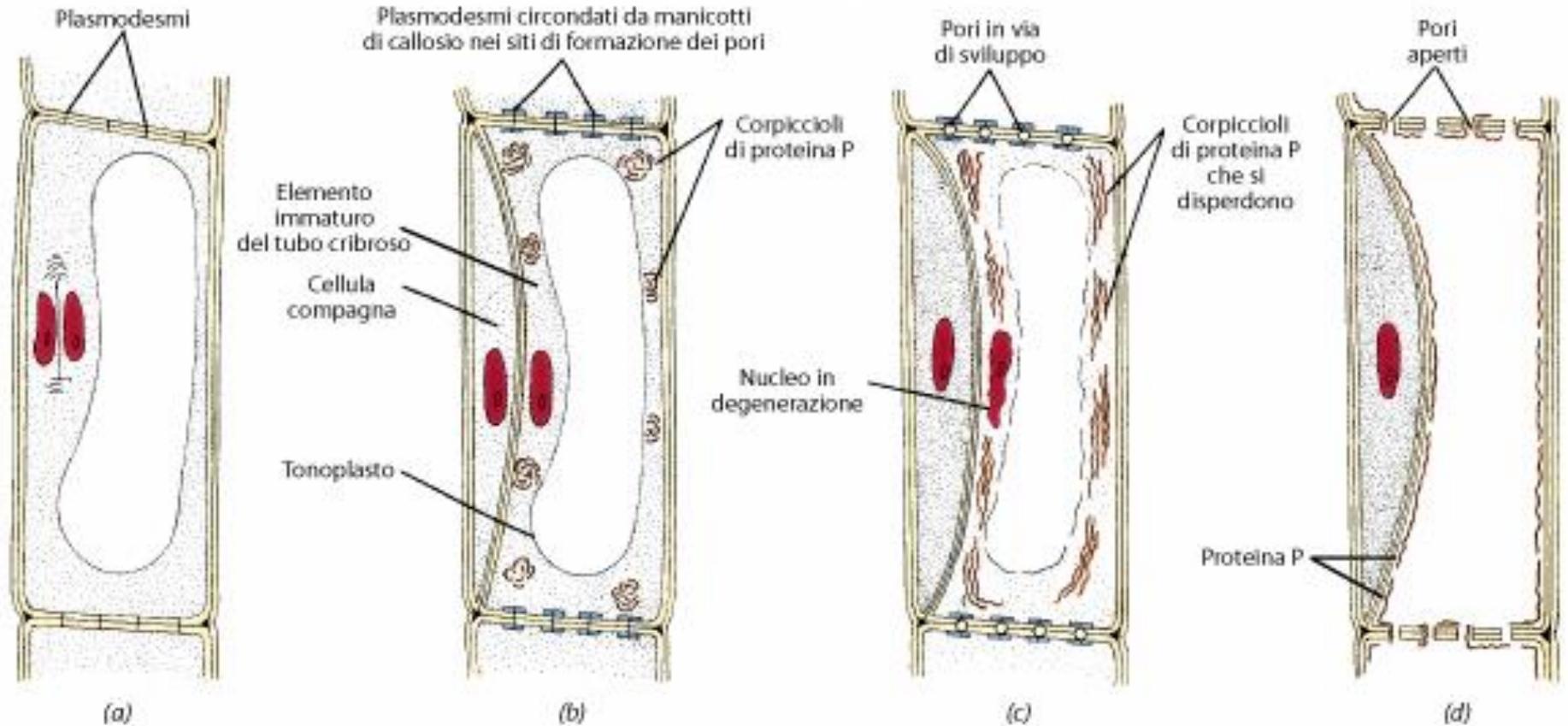
LINFa ELABORATA:

acqua e molecole organiche (mono- ed 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



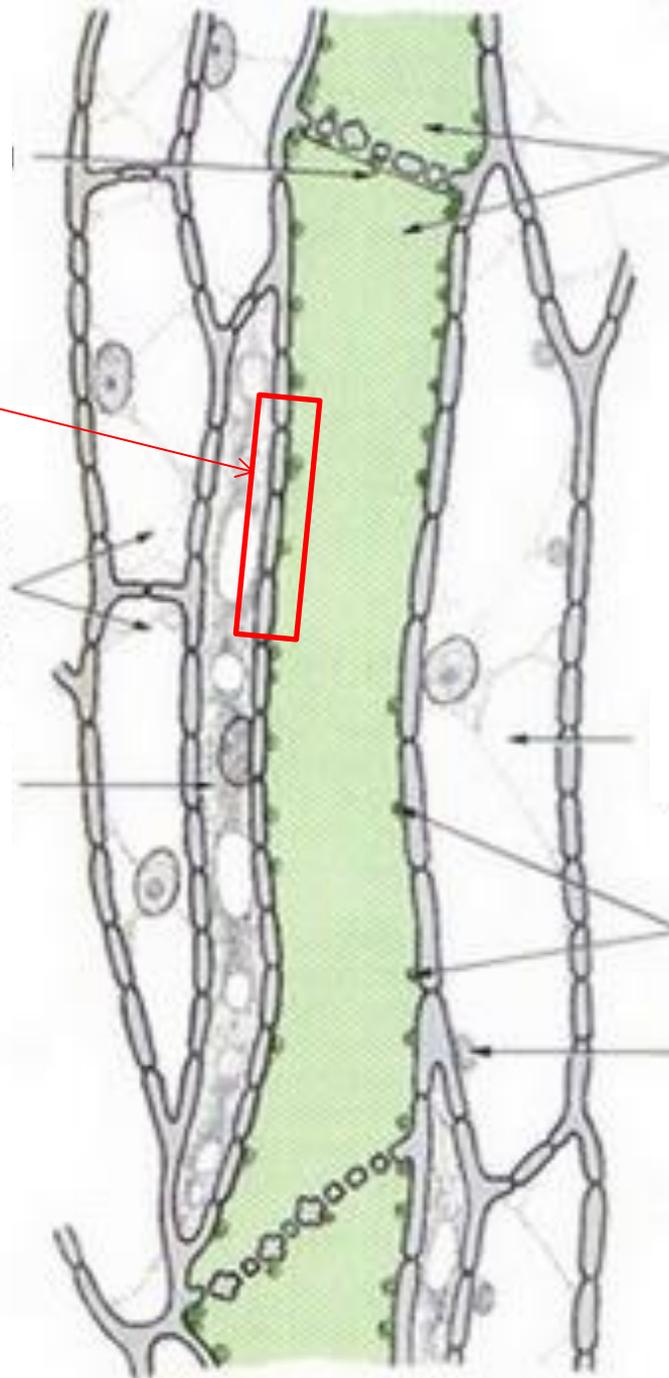
Placca cribrosa
(perforazioni con
filamenti di proteina P)

Punteggiature

Cellula
parenchimatica
del floema

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

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

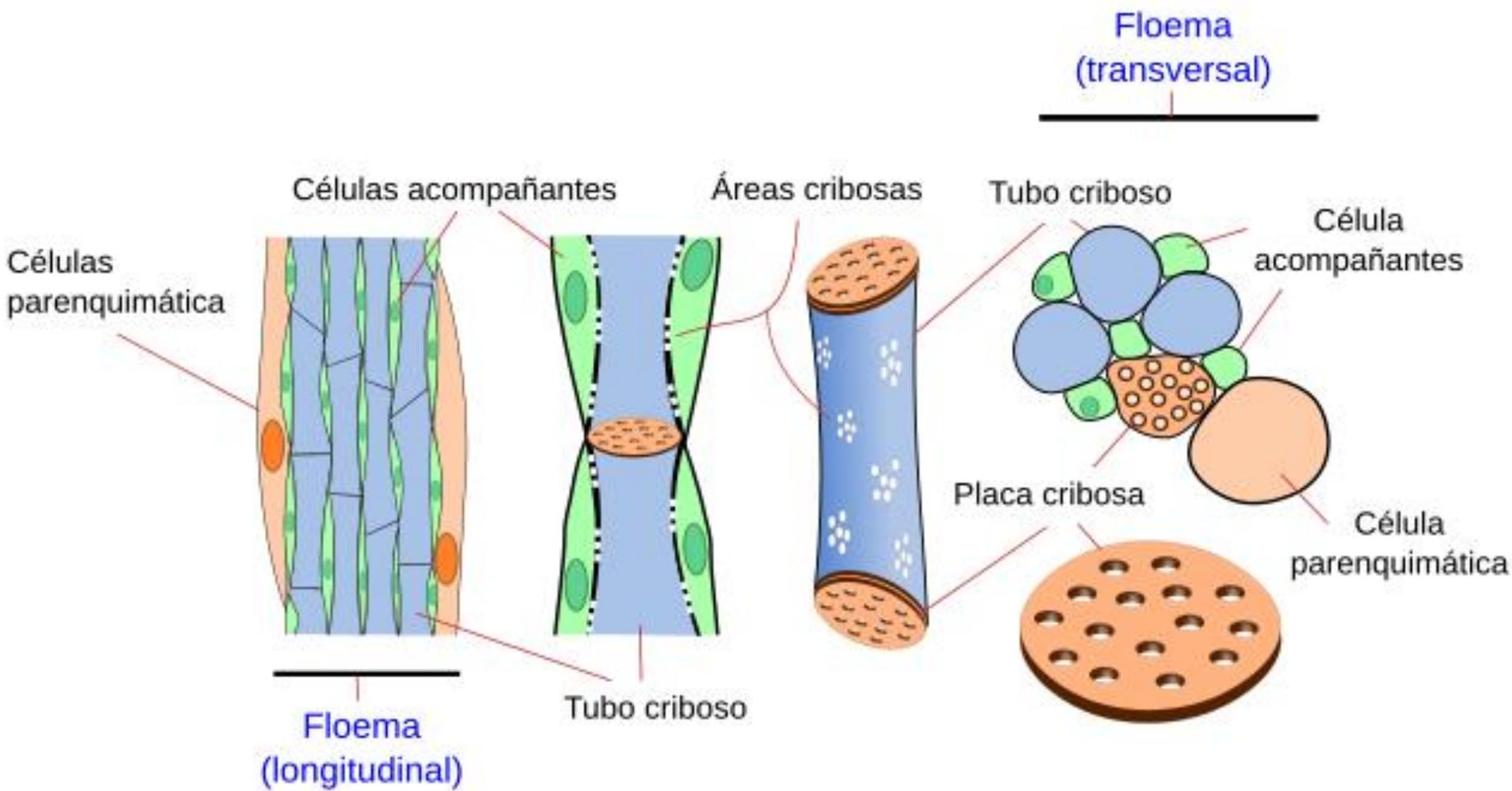


**Elemento del
tubo cribroso**
(citosol diluito,
materiale denso
adeso alla
plasmalemma e
pareti cellulari)

Cellula
parenchimatica

Plastidi del tubo
cribroso

plástido



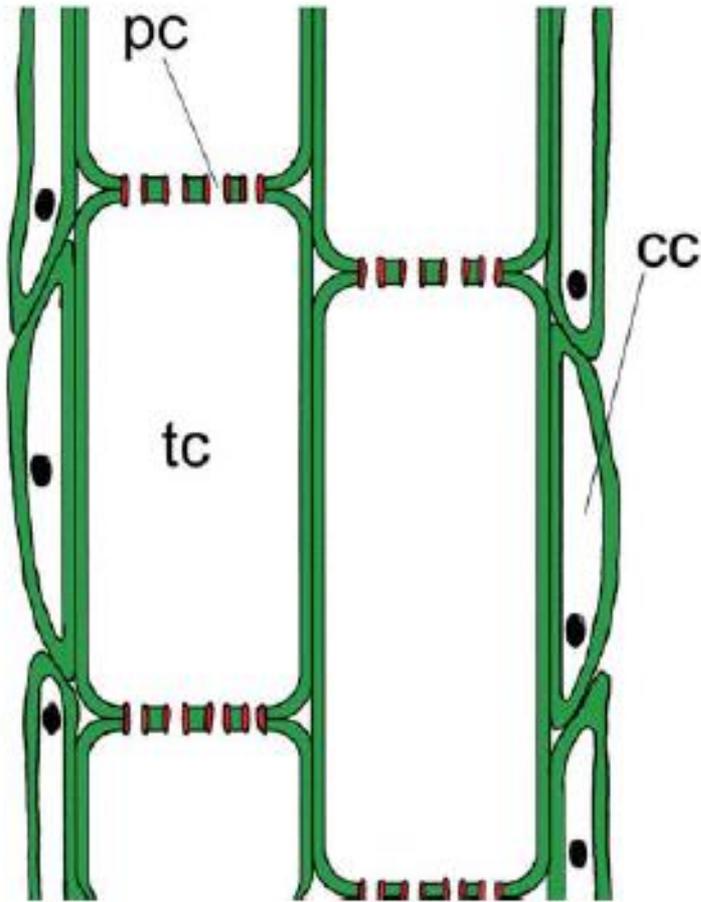


Figura 8.25
 Sezione longitudinale di tubi cribrosi (tc), cellule con gne (cc) e placche cribrose (pc) (disegno di R. Braglia)

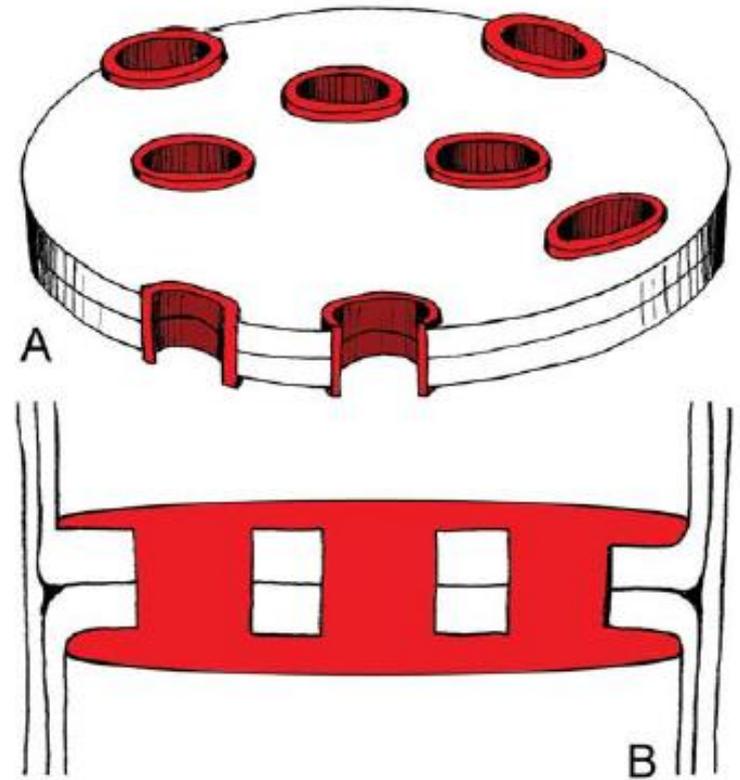


Figura 8.27
 Particolare di placche cribrose con rivestimenti di callosio (A, in rosso) e con callo (B, in rosso) (disegno di R. Braglia).

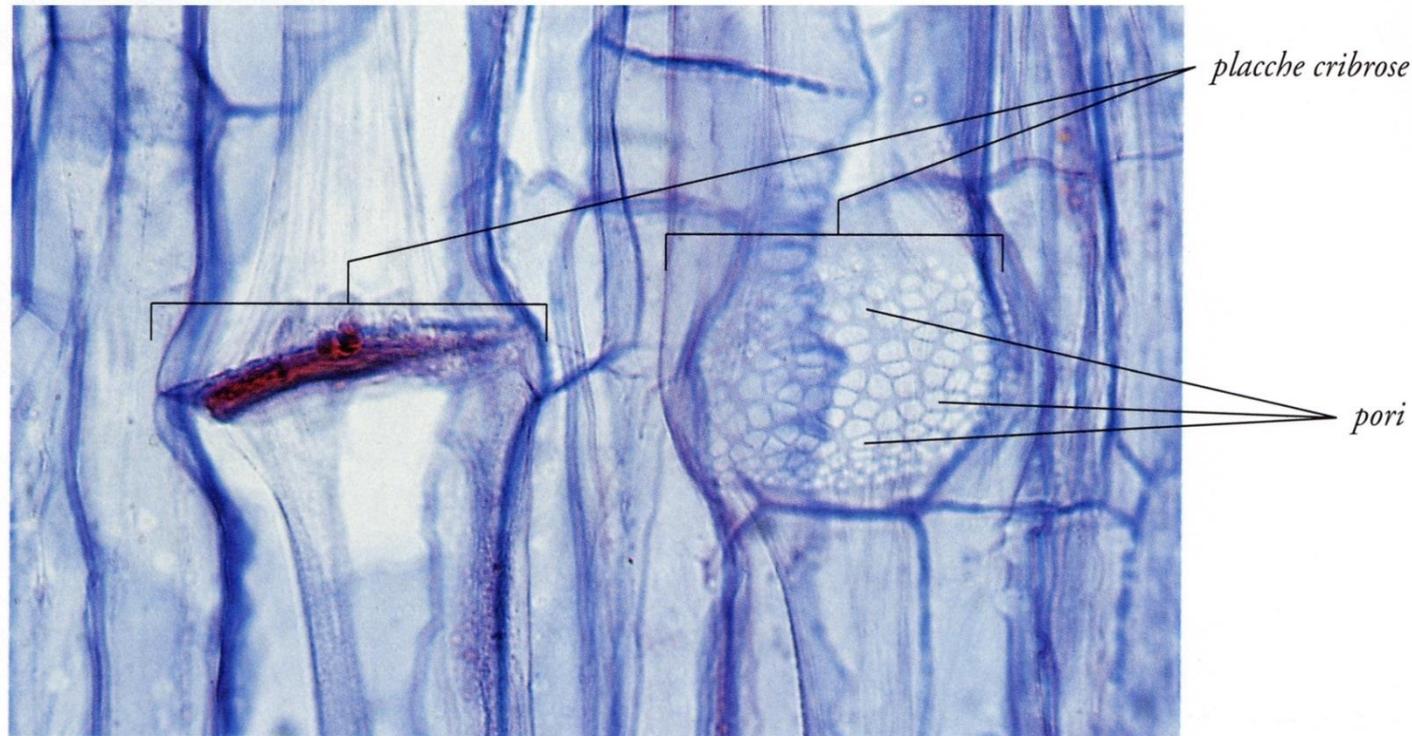
La massa di callosio ricopre le due facce della placca a fine stagione vegetativa.

CALLOSI:

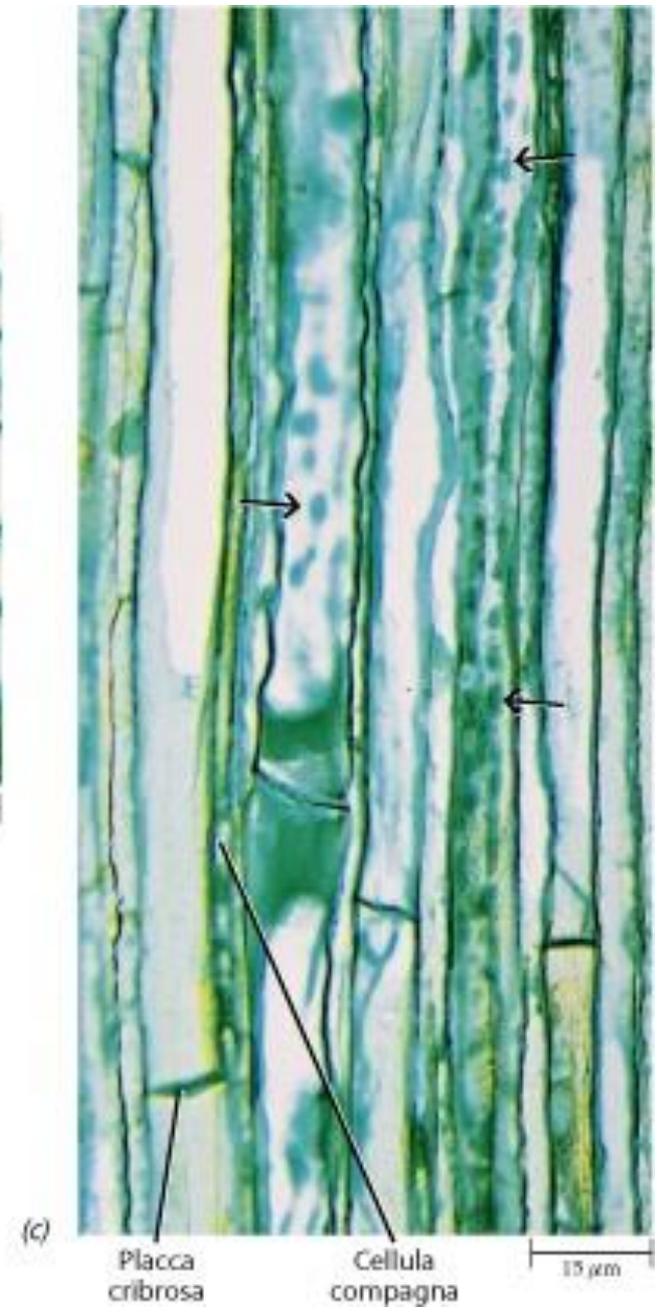
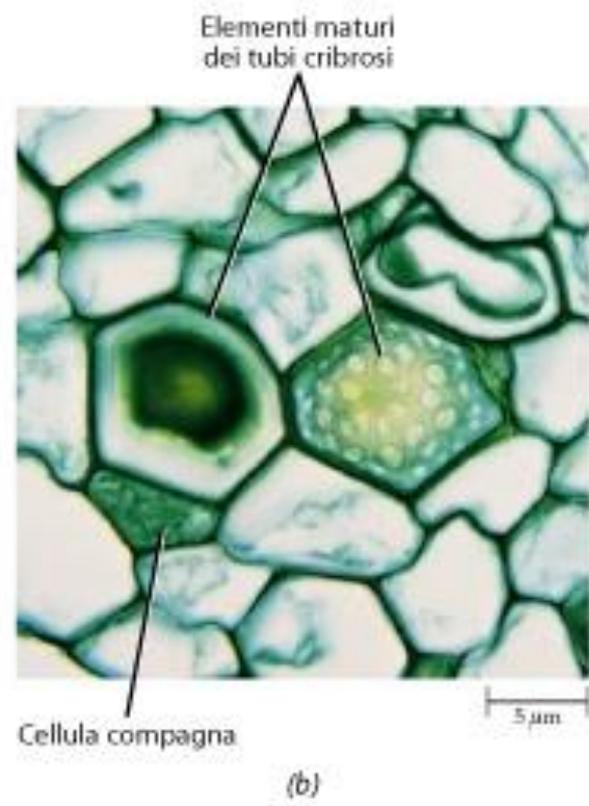
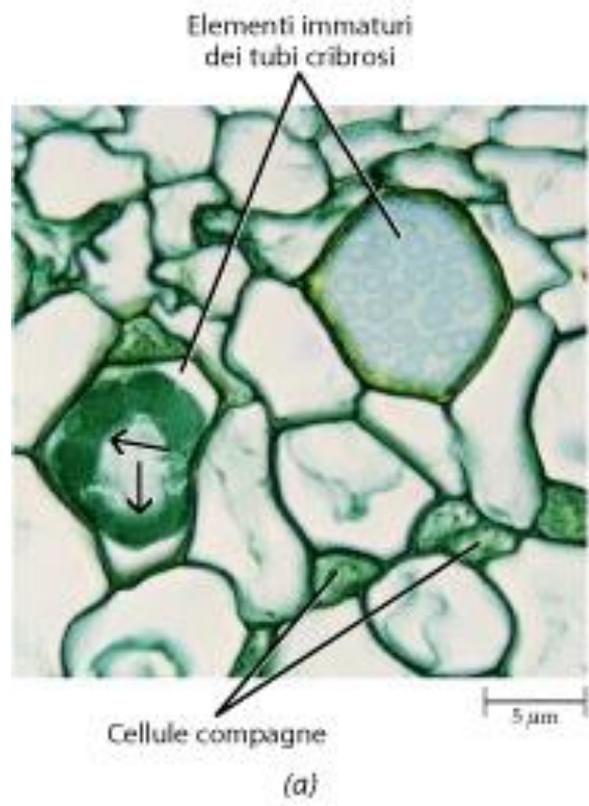
- Polisaccaride, polimero del b-glucosio
- Origina vegetale
- Funzione strutturale
- Ruolo nella riparazione dei danni conseguiti dalla parete cellulare dei tubi cribrosi

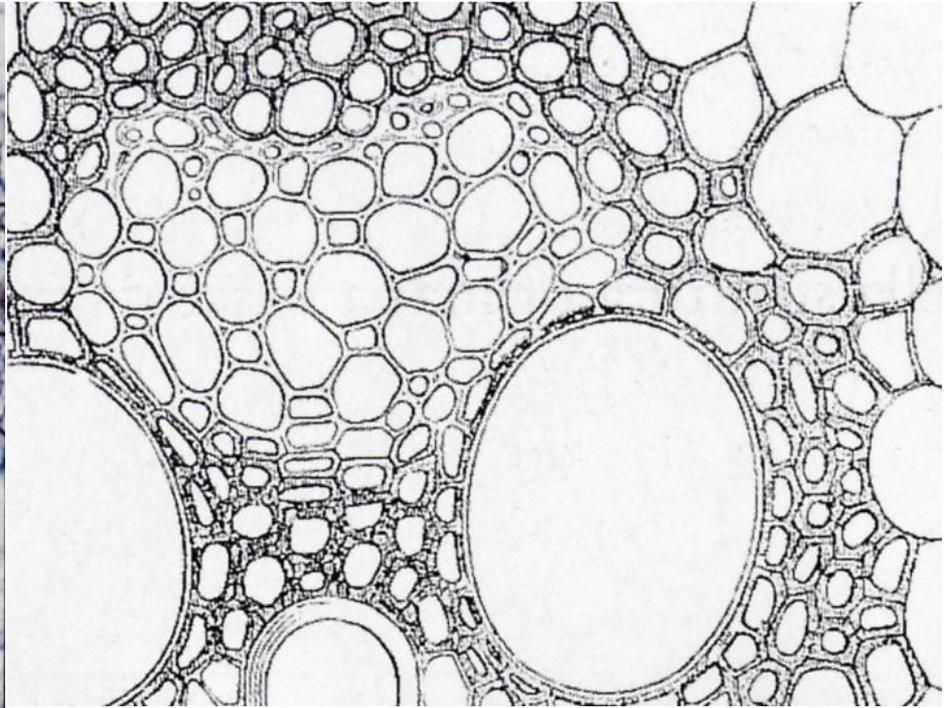
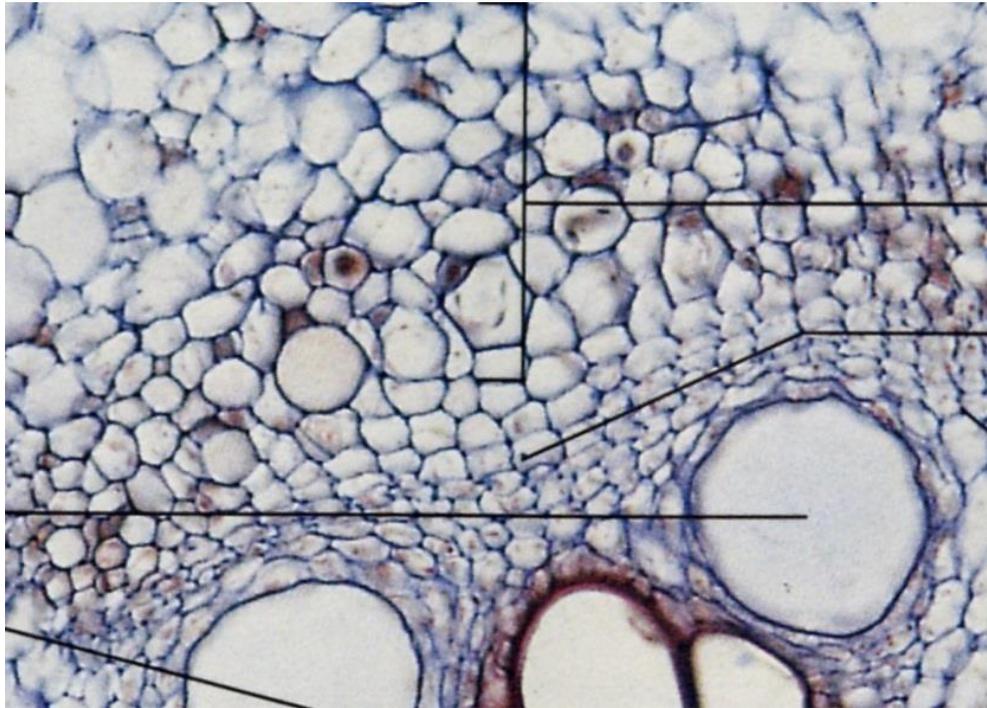
Proteina P (phloem protein): in angiosperme;

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)



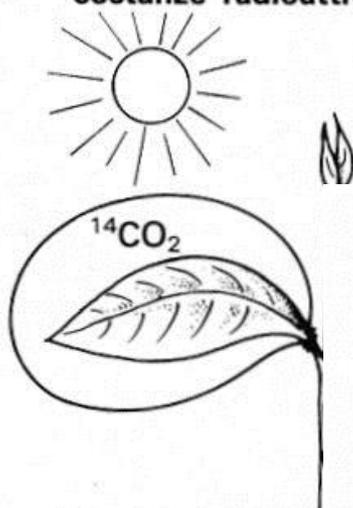


Il composto organico radioattivo è somministrato dall'esterno.



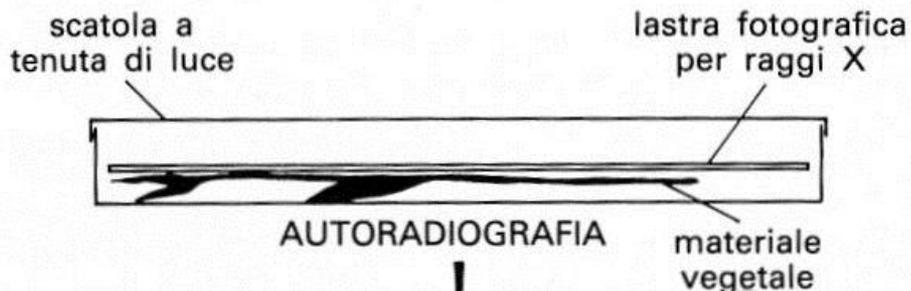
Un lembo ritagliato da una foglia pesca nella soluzione del composto radioattivo.

Alternativamente è la foglia stessa che sintetizza sostanze radioattive.

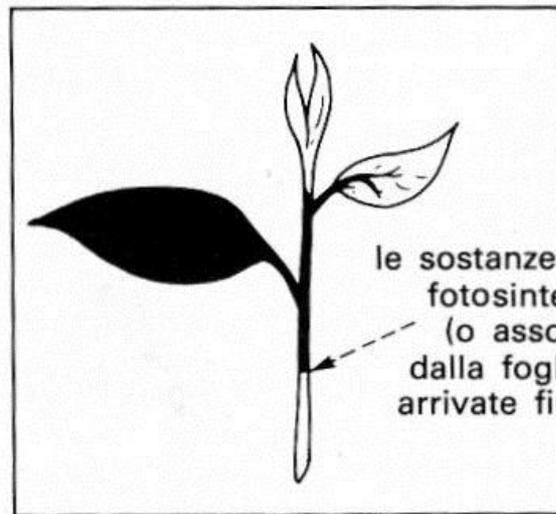


Una foglia è racchiusa in un sacchetto che contiene un'aria con CO_2 radioattivo. La foglia sintetizza sostanze organiche radioattive.

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

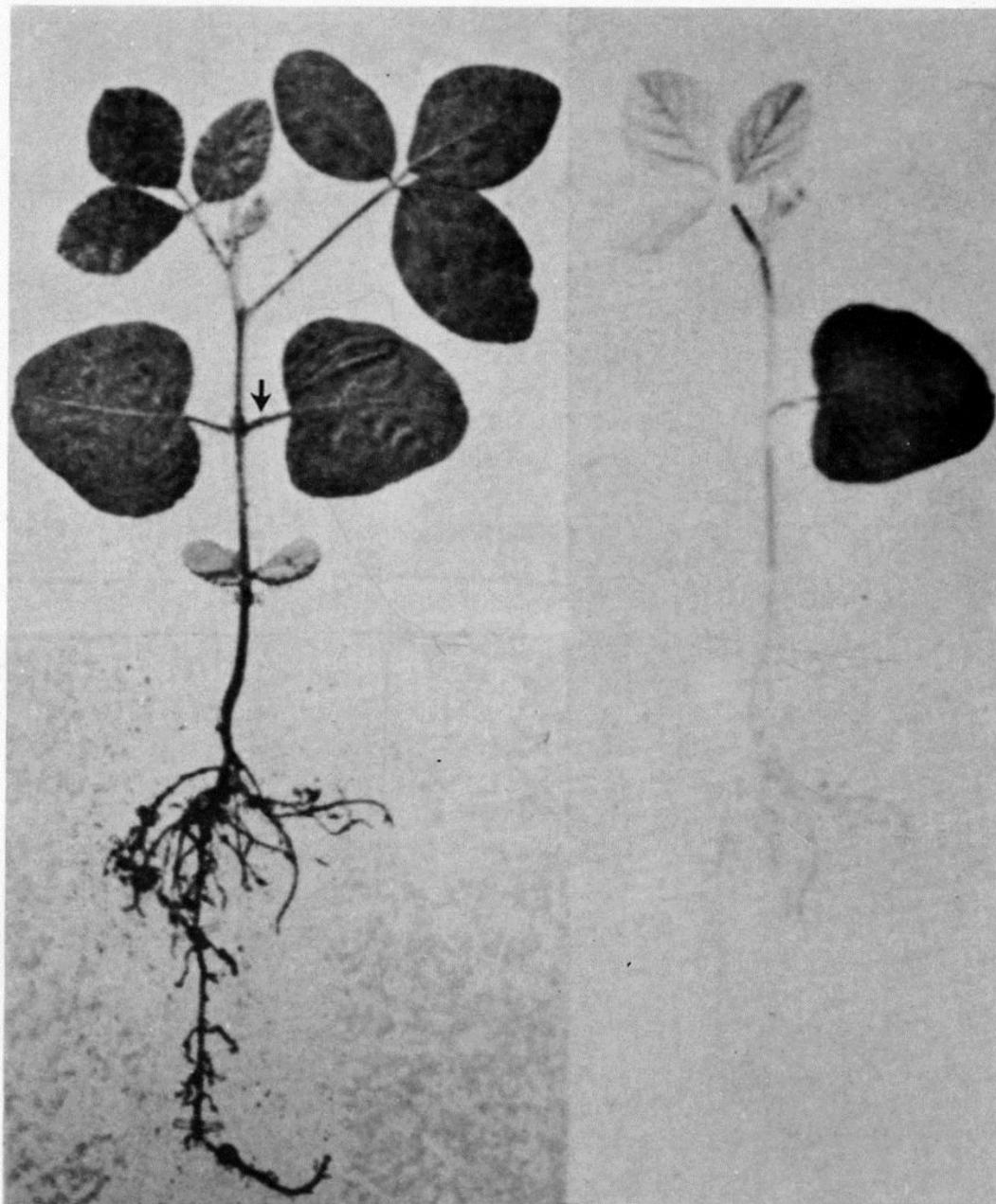


Dopo 2 settimane la lastra fotografica viene sviluppata.



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

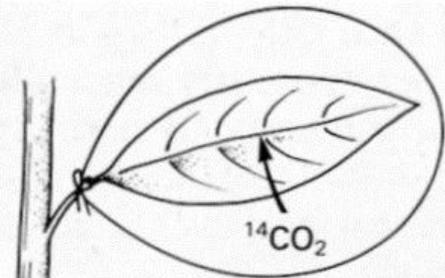
Le zone annerite indicano la presenza di sostanze organiche radioattive.



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 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^a edizione).

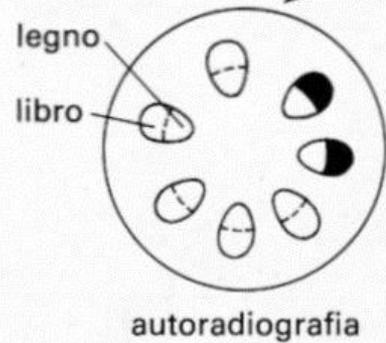
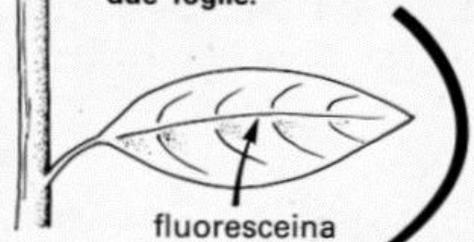
Con questo esperimento si dimostra come il trasporto possa avvenire contemporaneamente nei due sensi all'interno dello stesso internodo

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

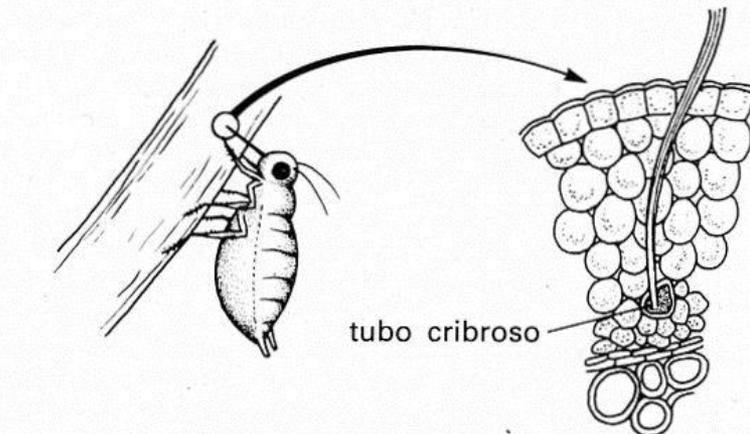


3 - Dopo alcune ore il fusto viene sezionato a un livello intermedio tra le due foglie.

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

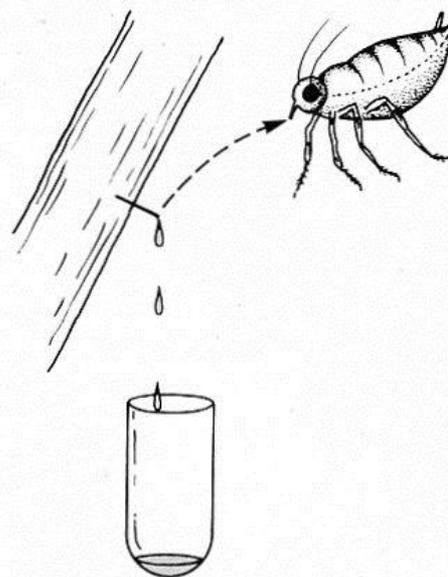


Radioattività e fluorescenza compaiono nella zona di libro degli stessi fasci conduttori.



Afide che sta parassitando una pianta.

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



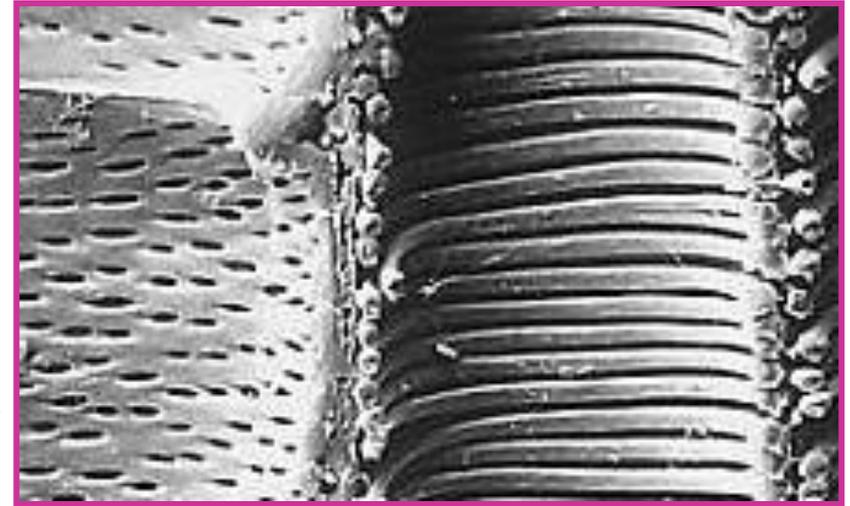
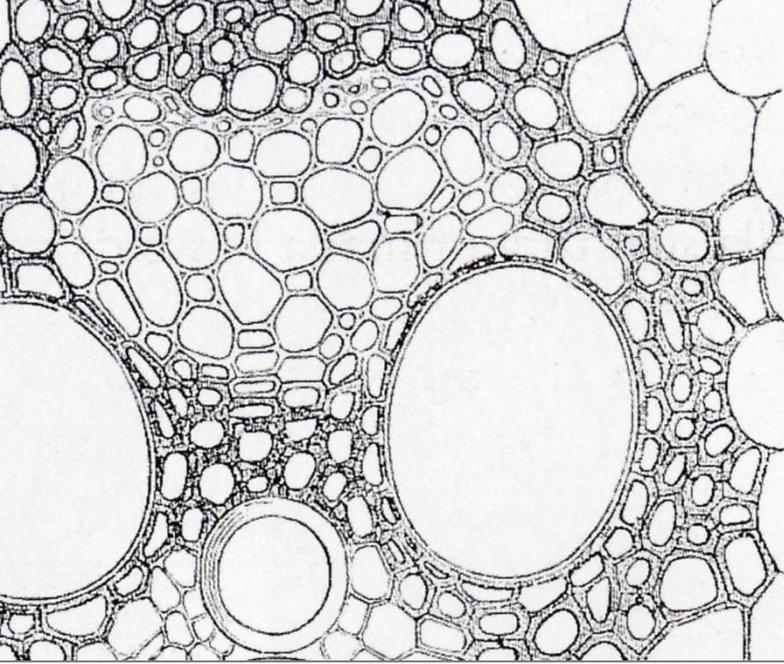
Si elimina l'afide con un taglio alla base dello stiletto.

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.

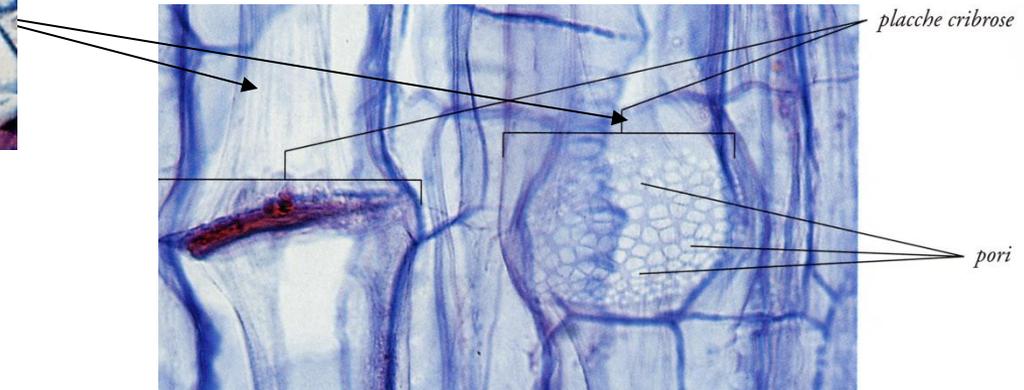
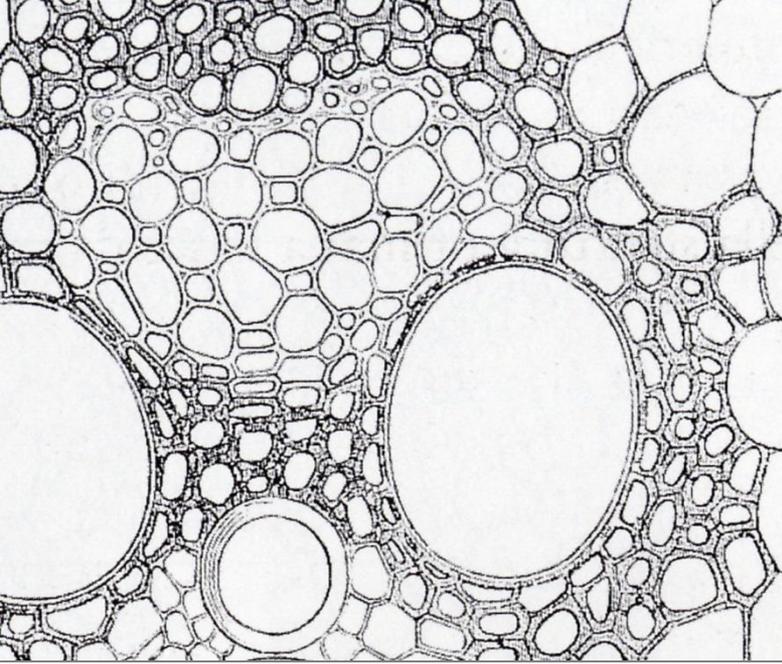
Come riconoscere gli elementi xilematici



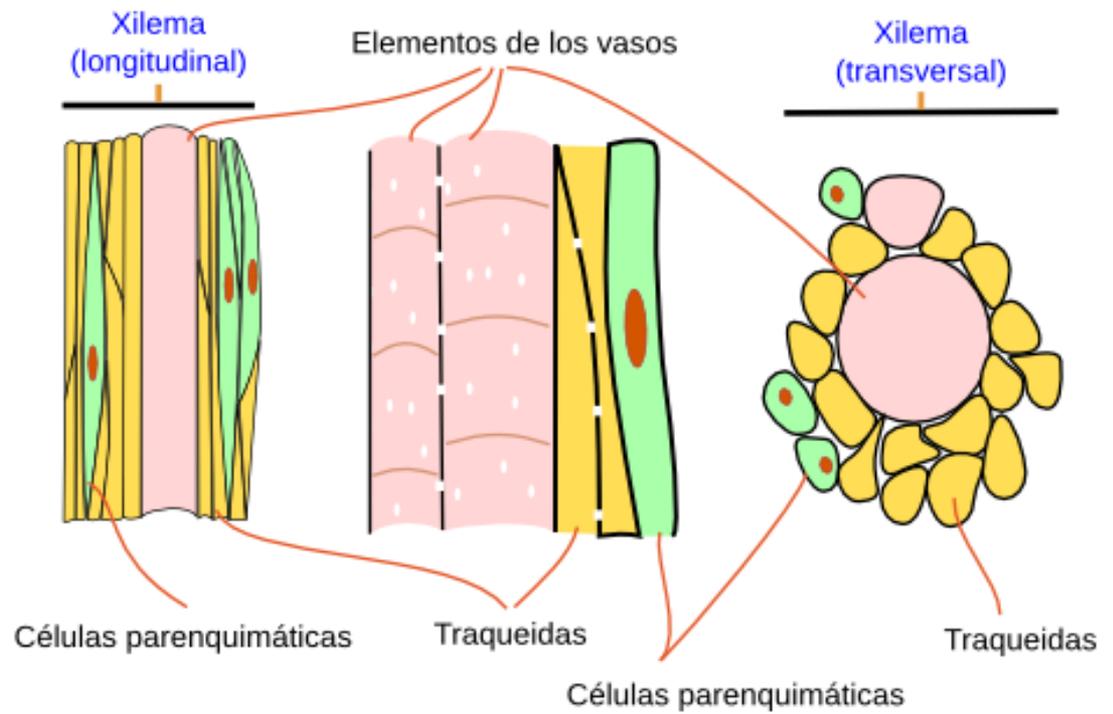
- pareti lignificate irregolarmente ispessite;
- Cellule che raggiungono dimensioni cospicue;
- Trachee e tracheidi spesso affiancate da cellule parenchimatiche e fibre.

Come riconoscere gli elementi floematici

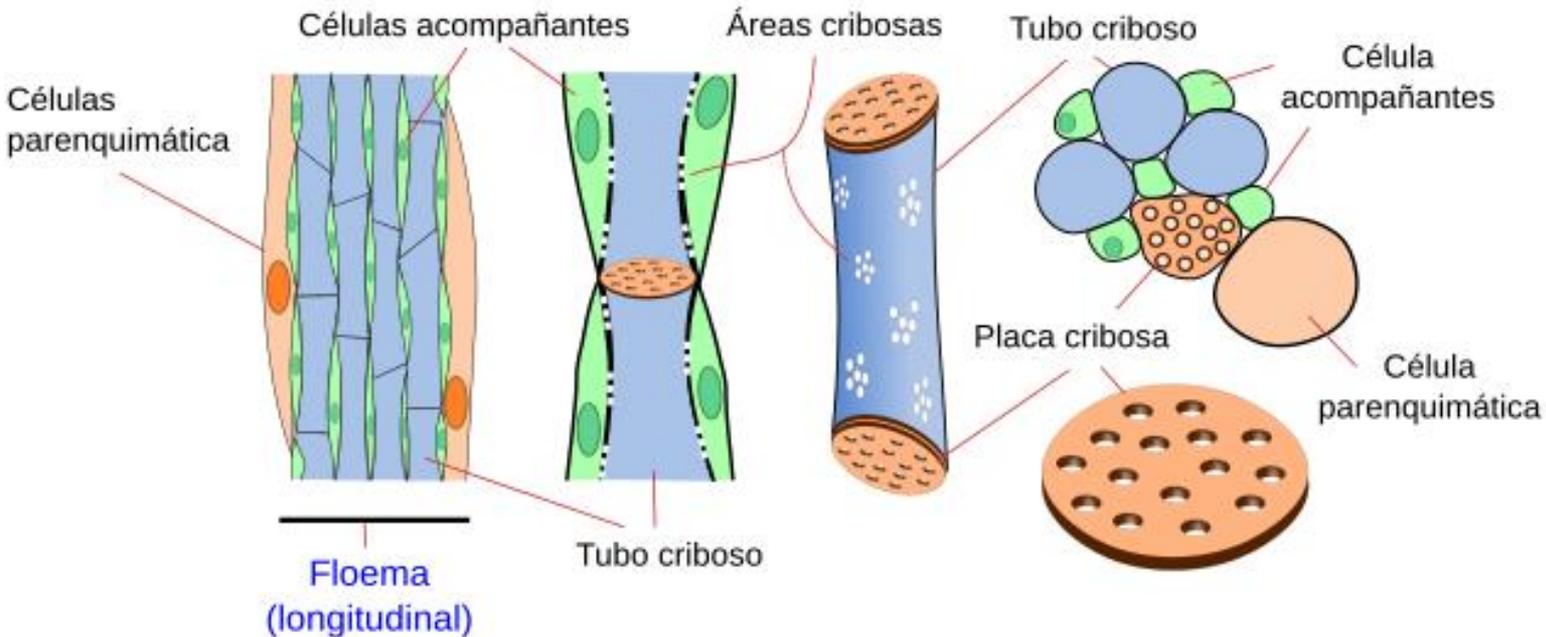
- pareti sottili, e spesso un po' irregolari (si schiacciano facilmente in seguito alla manipolazione del materiale);
- Pareti non lignificate;
- cellule più grandi (elementi cribrosi) alternate a cellule più piccole (cell. compagne o, nelle conifere, cell. albuminose);
- ogni tanto si osservano le placche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



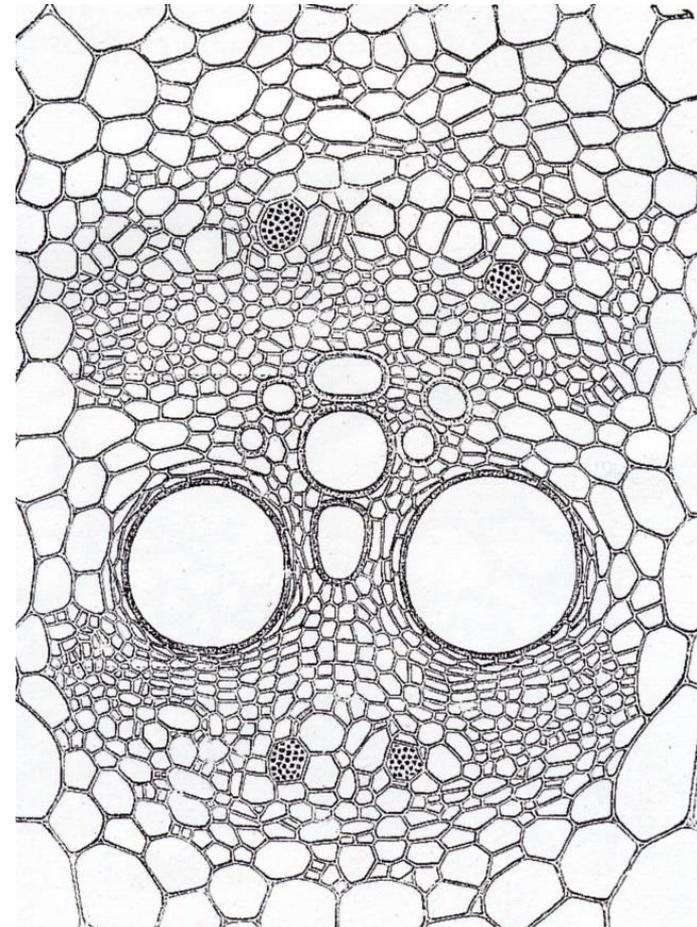
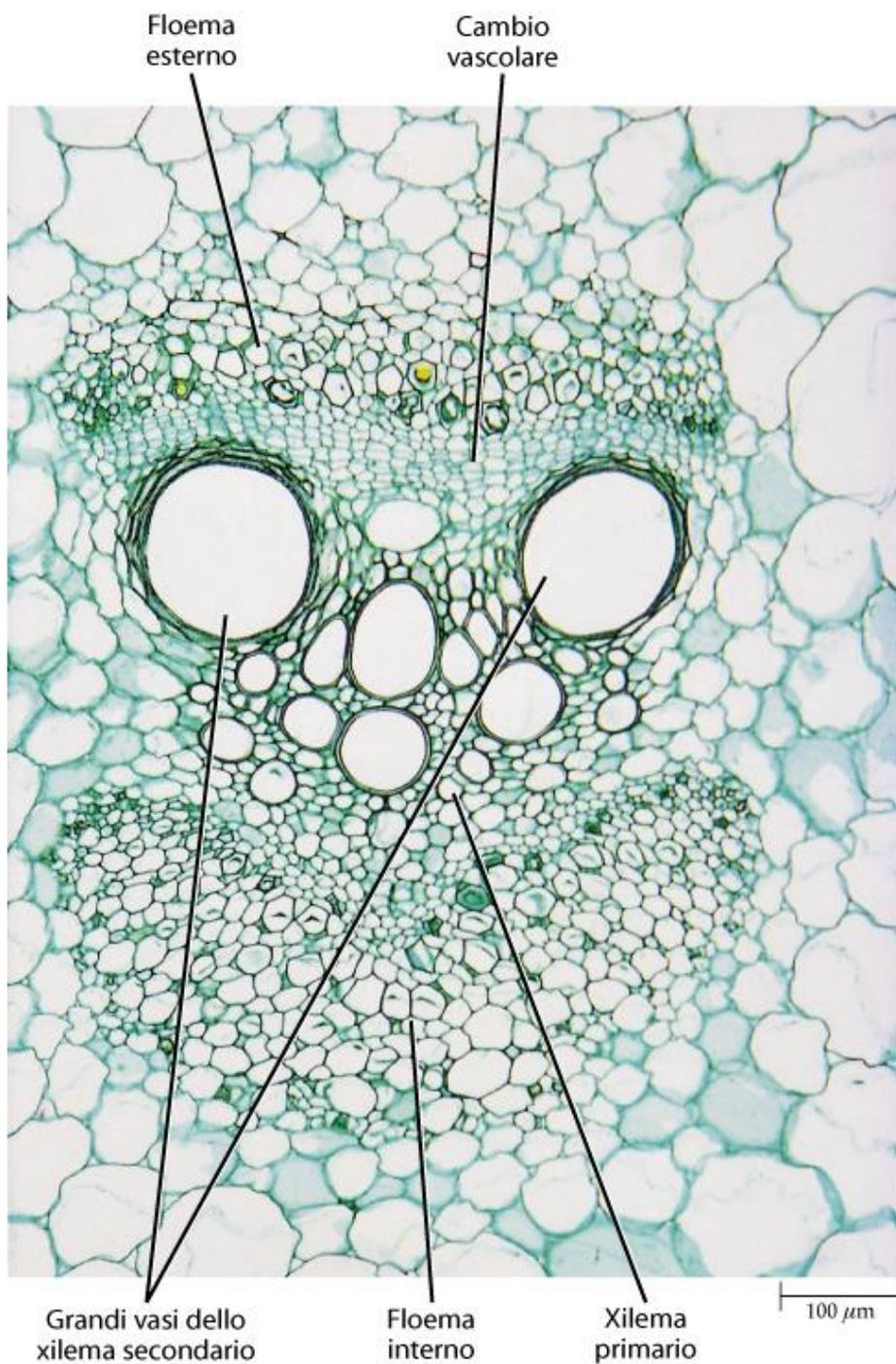
xilema



floema

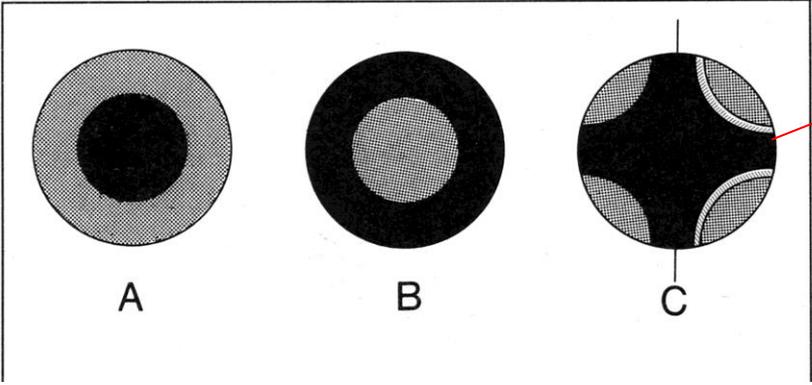


FASCI CONDUTTORI O CRIBRO-VASCOLARI

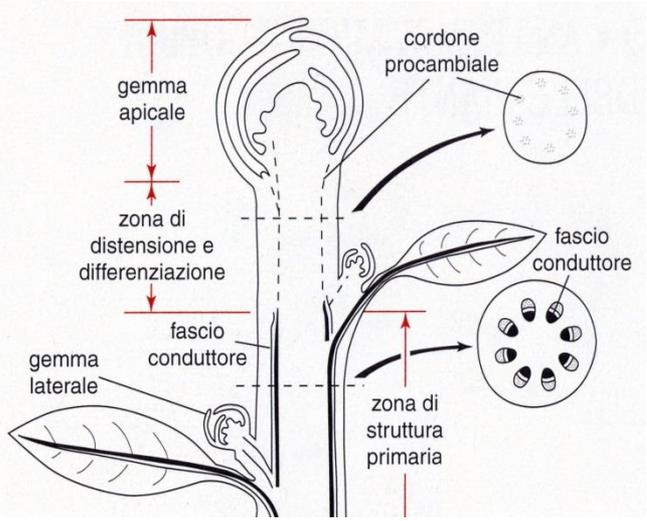


FASCI CONDUTTORI O CRIBRO-VASCOLARI

concentrici

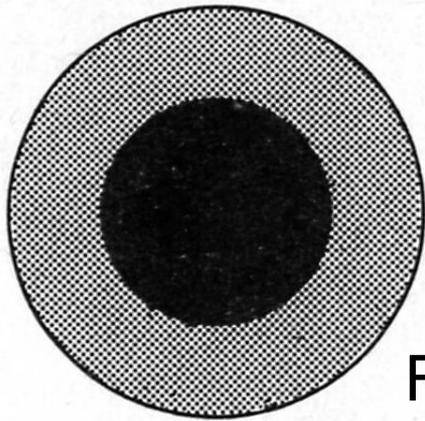


Radice primaria

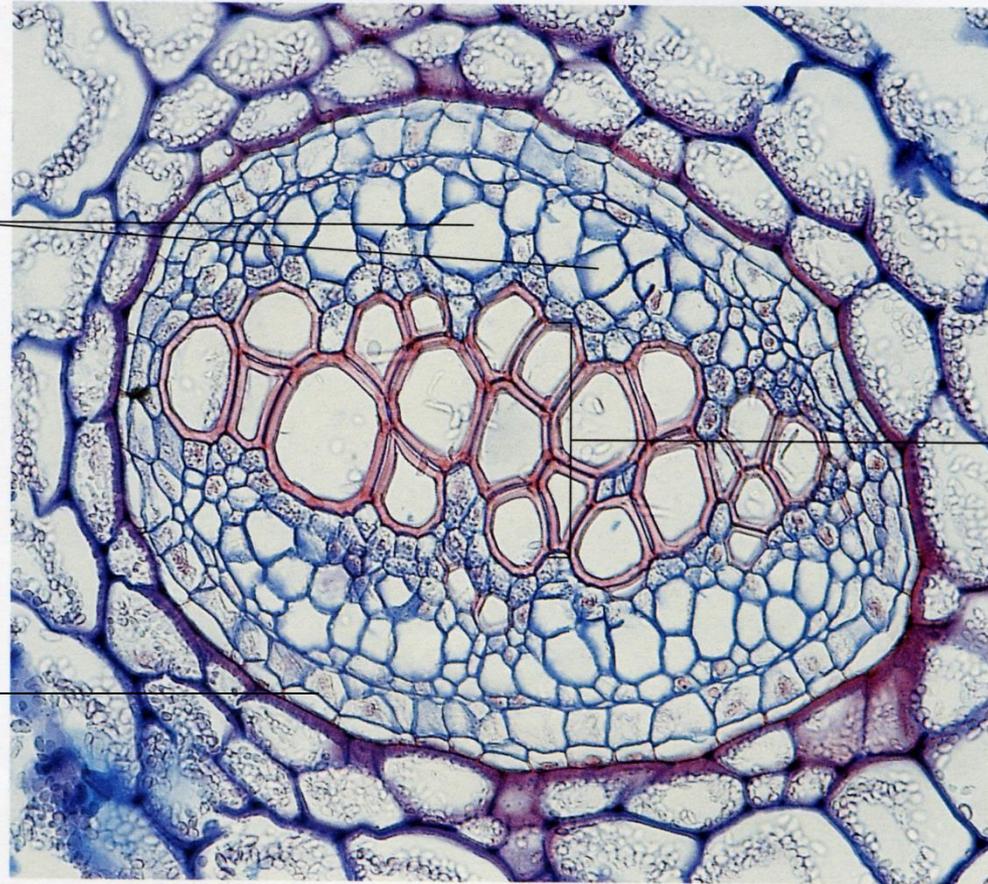


Tipi di fasci conduttori: disposizione dello xilema (nero), del floema (punteggiato) e del cambio (colorato) in sezione trasversale. **A**, fascio concentrico con xilema all'interno (fascio «adrocetrico» o perifloematico); **B**, lo stesso con xilema all'esterno (fascio «leptocentrico» o perixilematico); **C**, fascio radiale con xilema all'interno e, nel caso disegnato, con 4 poli xilematici (fascio «tetrarco»); si forma nel cilindro centrale della radice; nella metà di sinistra il fascio è «chiuso» (come per es. nelle Monocotiledoni), a destra è «aperto» (Dicotiledoni). **D-F**, fasci collaterali: **D**, chiuso (Monocotiledoni); **E**, aperto (la maggior parte delle Dicotiledoni); **F**, fascio bicollaterale aperto (per esempio nella zucca). (Originale).

Fascio perfloematico



Floema



Xilema

Endodermide

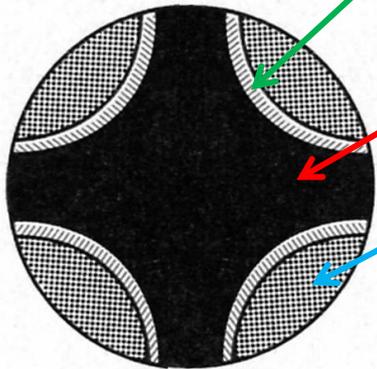
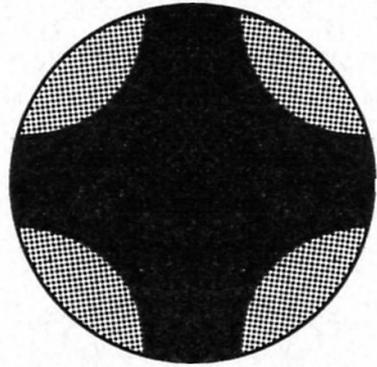
nella radice!!!

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

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

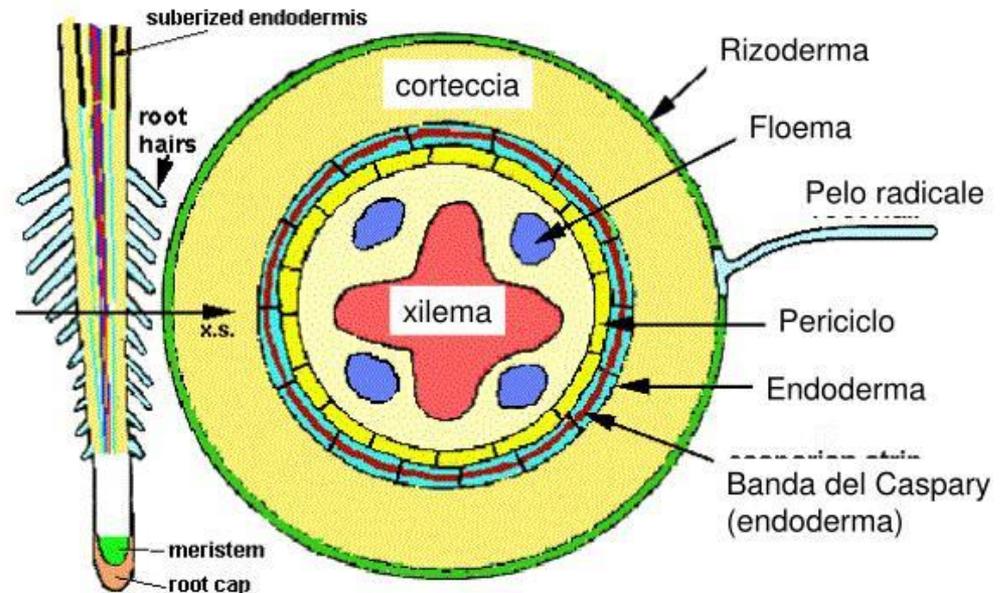
Il fascio concentrico perfloematico si trova tipicamente nelle felci (classe *Filicinae*): il cordone centrale di legno è completamente circondato dal libro.

Fasci radiali chiuso e aperto



In radici in struttura primaria tessuti di trasporto organizzati in maniera molto diversa rispetto al fusto:

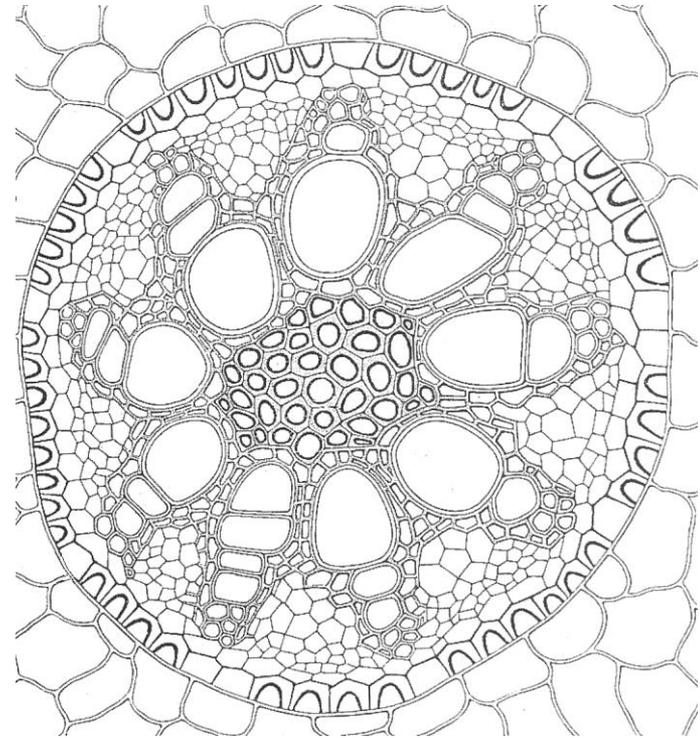
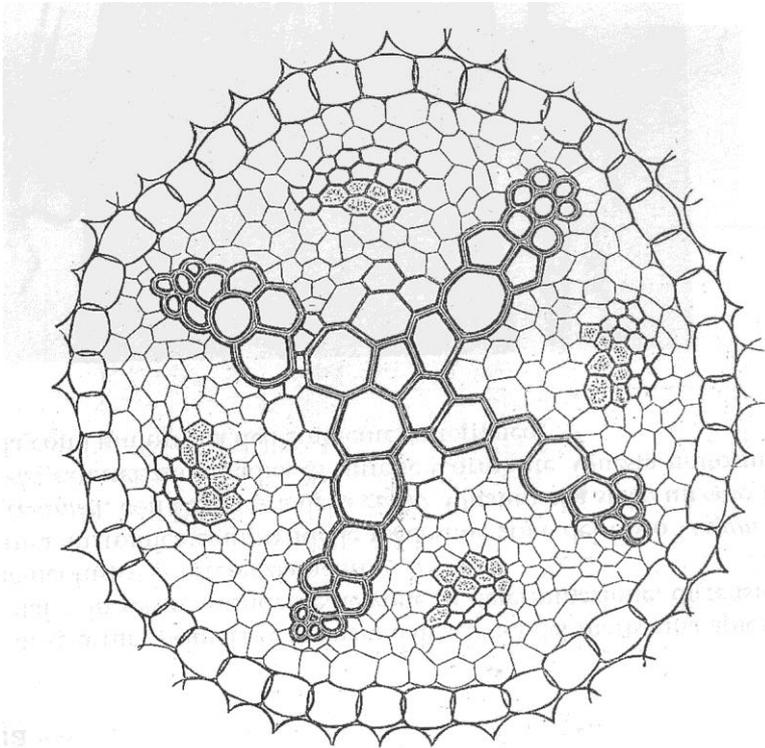
- riuniti in una struttura compatta nella parte centrale della radice, delimitata dall'endoderme e – più internamente – dal **periciclo o pericambio** (con attività meristemica → radici laterali).
- Lo xilema: nella parte più centrale, con un numero variabile di **arcate xilematiche** in contatto con il periciclo.
- **Archate floematiche** alternate a quelle xilematiche.



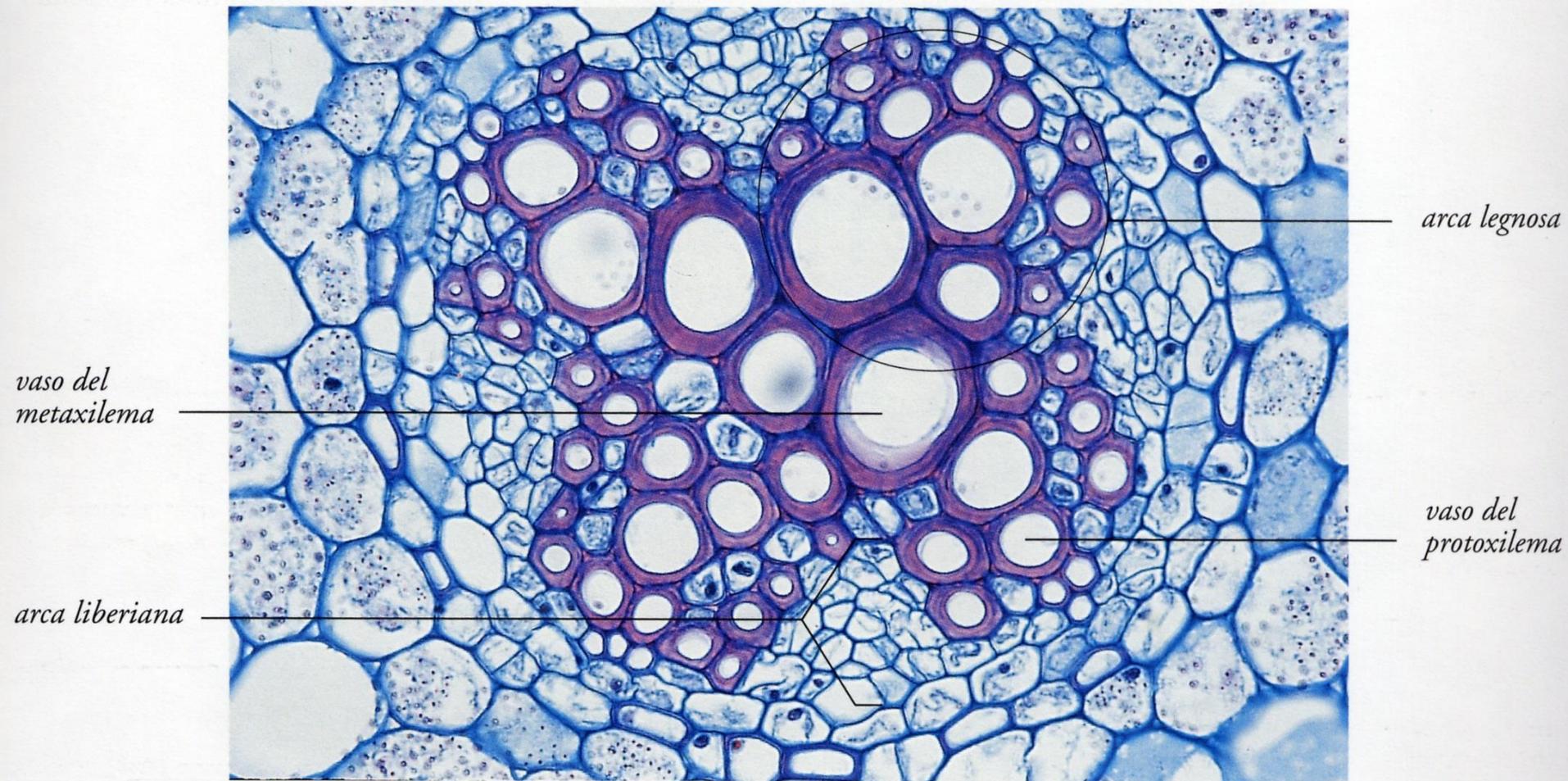
Fasci radiali chiuso e aperto

Fascio radiale aperto: caratteristico delle dicotiledoni legnose, radici capaci di accrescimento secondario in spessore (sistema allorizico)

Fascio radiale chiuso: caratteristico delle monocotiledoni, radici NON sono in grado di accrescersi in spessore (ma possono però formare normalmente radici secondarie, sistema omorizico).



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



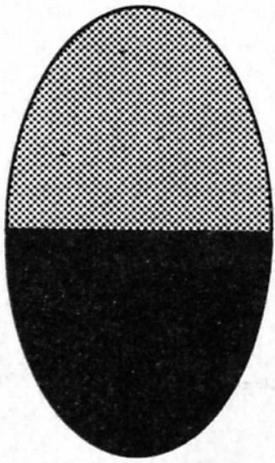
Fascio radiato (o alterno) nella radice di una dicotiledone.

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

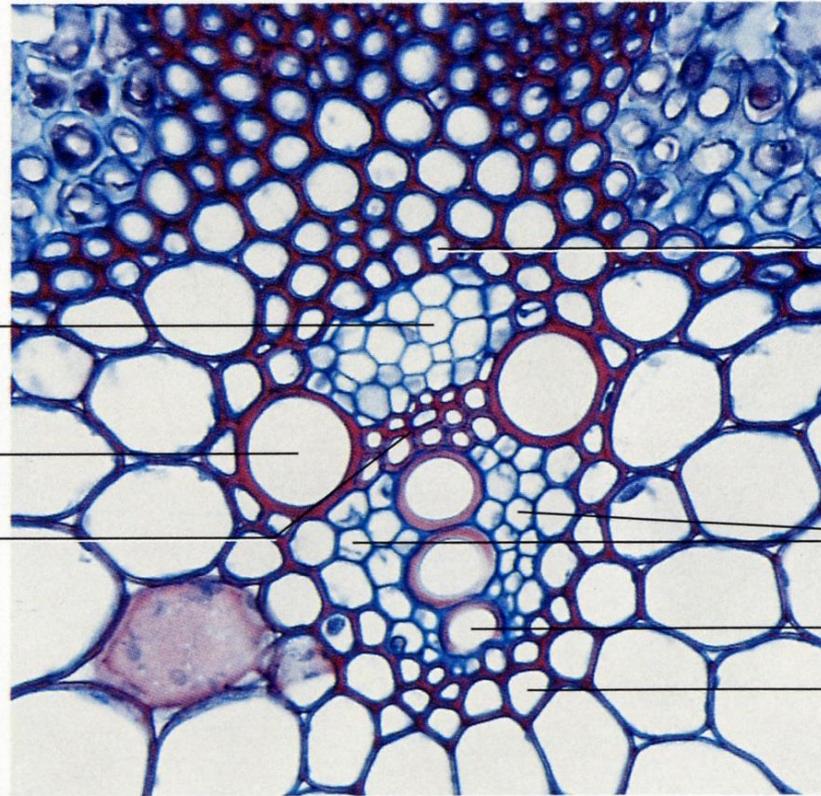
Fascio collaterale chiuso



floema

vaso del metaxilema

fibre del legno



guaina

parenchima del legno

vaso del protoxilema

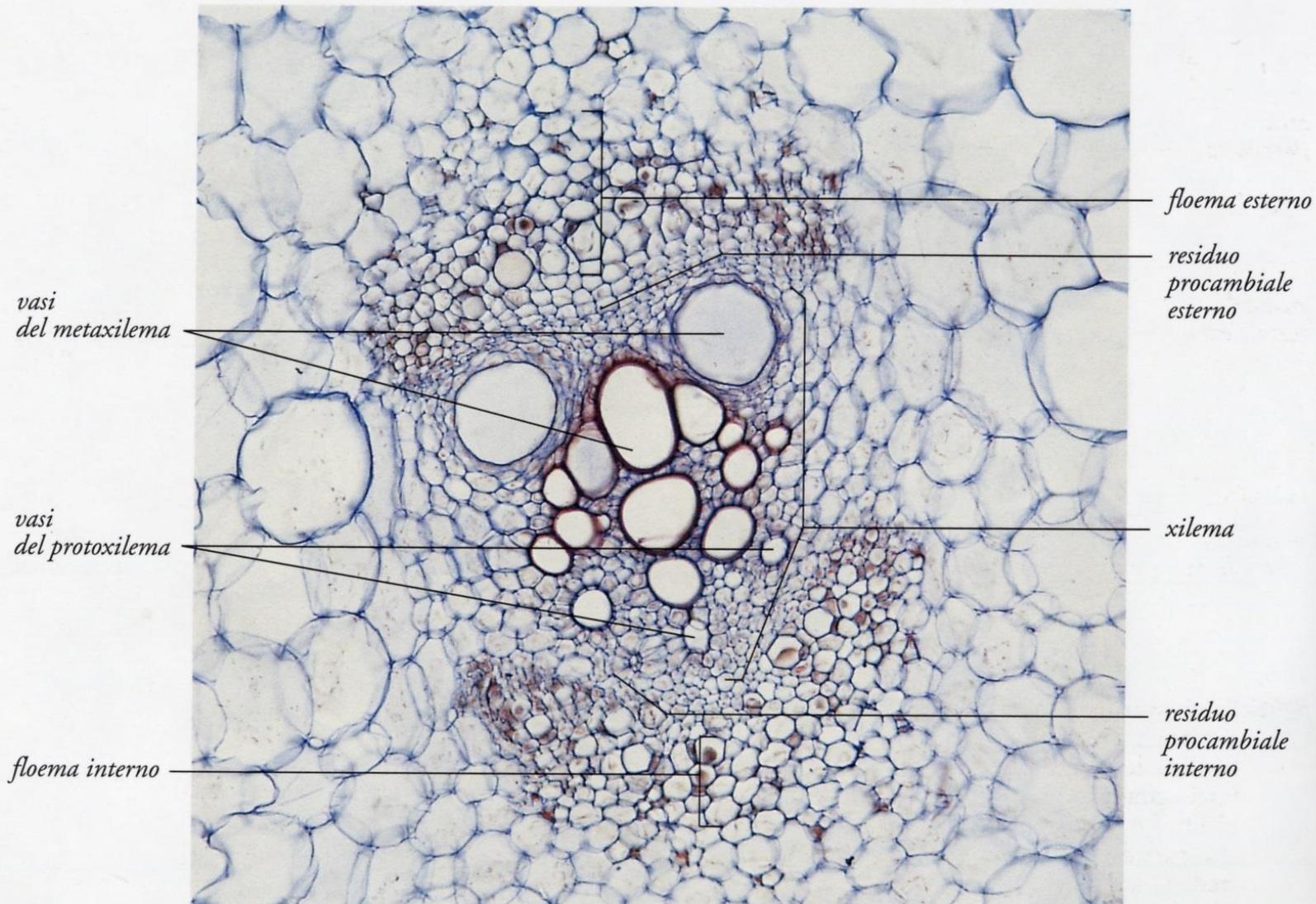
guaina

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

Sezione trasversale. x 100 (120)

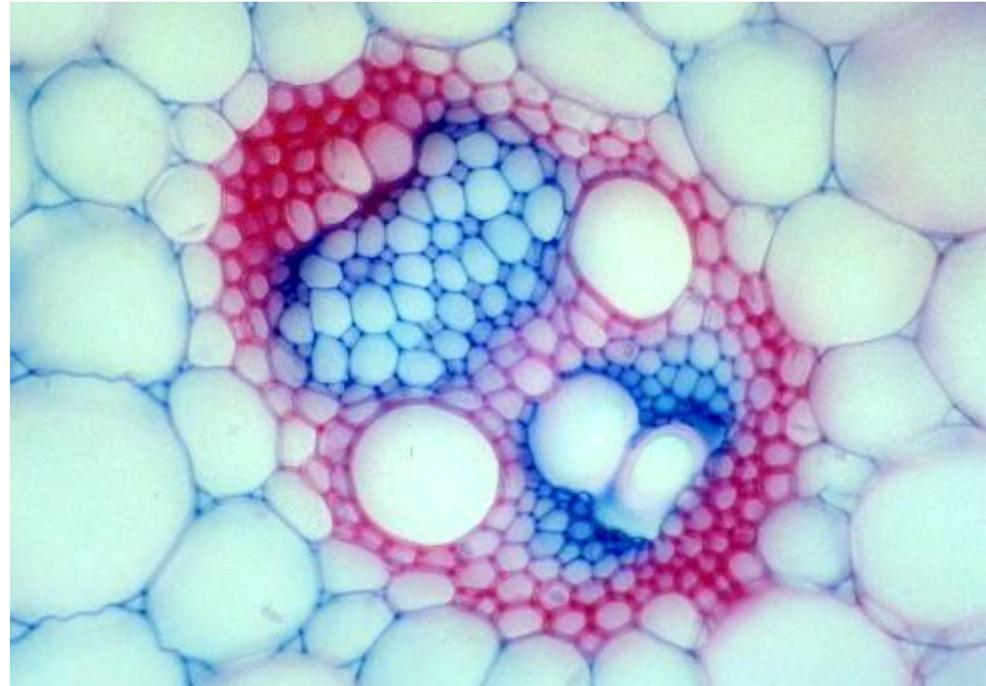
Il fascio bicollaterale è un fascio aperto caratteristico del fusto in alcune famiglie di dicotiledoni (Apocynaceae, Convolvulaceae, Cucurbitaceae, Solanaceae). Lo xilema si trova intervalato fra due porzioni, una esterna ed una interna, di floema. Il residuo procambiale esterno è quello più attivo nello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

Fascio collaterale chiuso

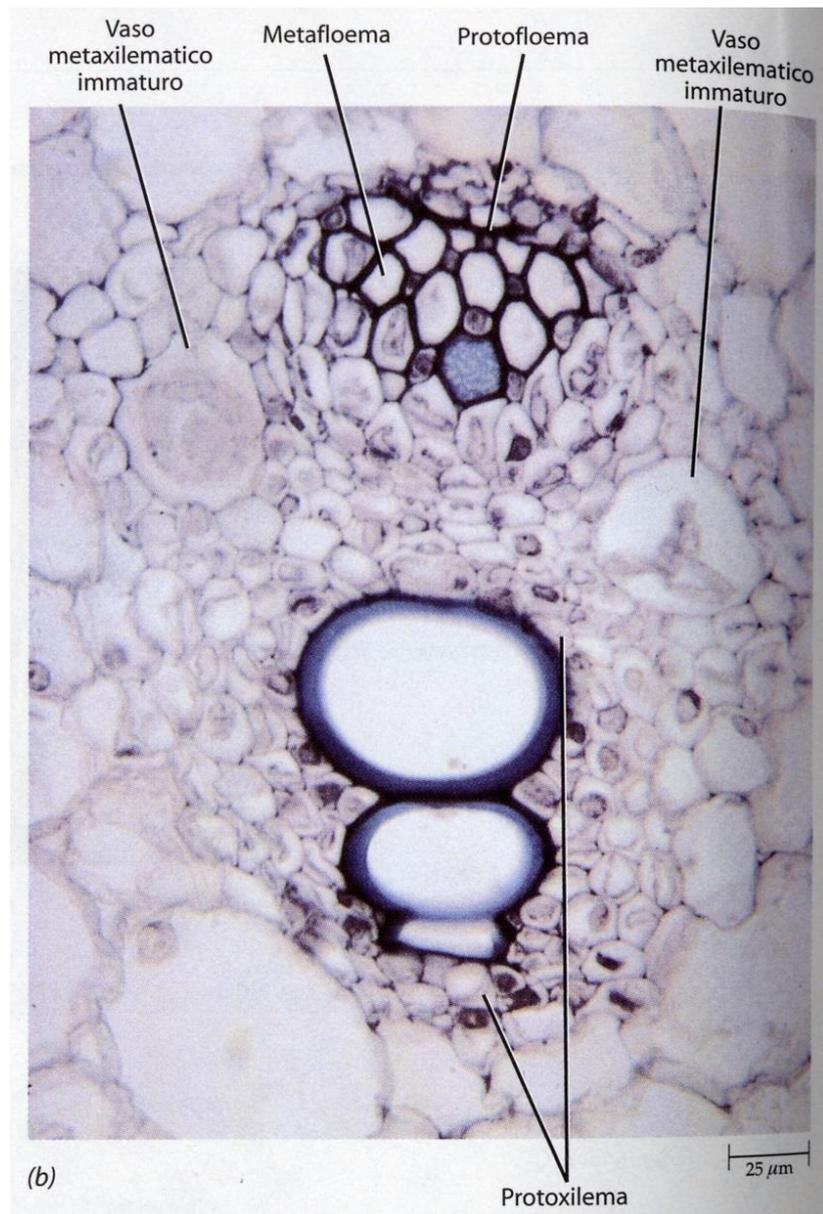
- caratteristico delle **piante erbacee**, caule privo di accrescimento secondario in spessore.
- nelle nervature delle **foglie**, che sono generalmente organi a crescita definita.

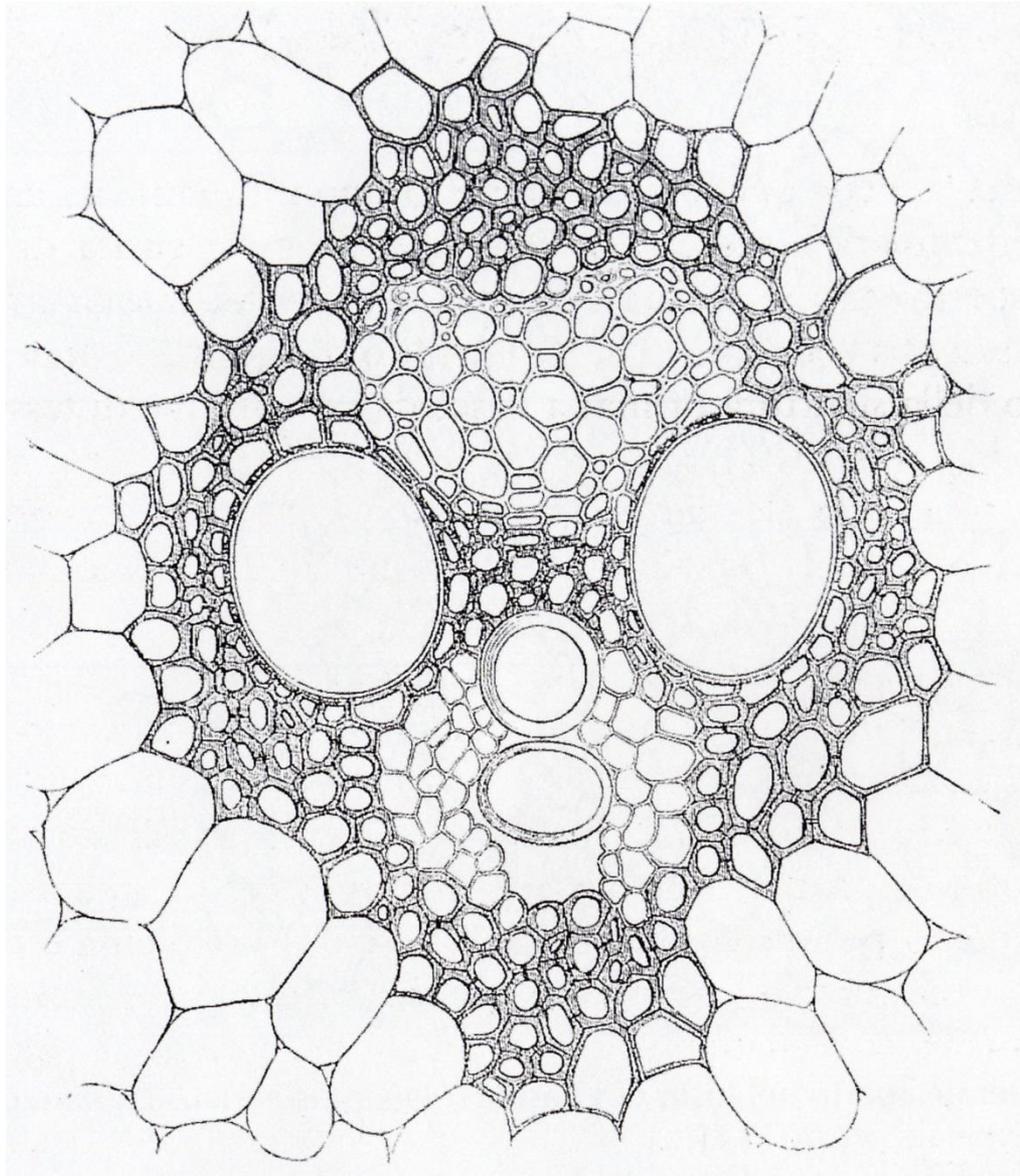
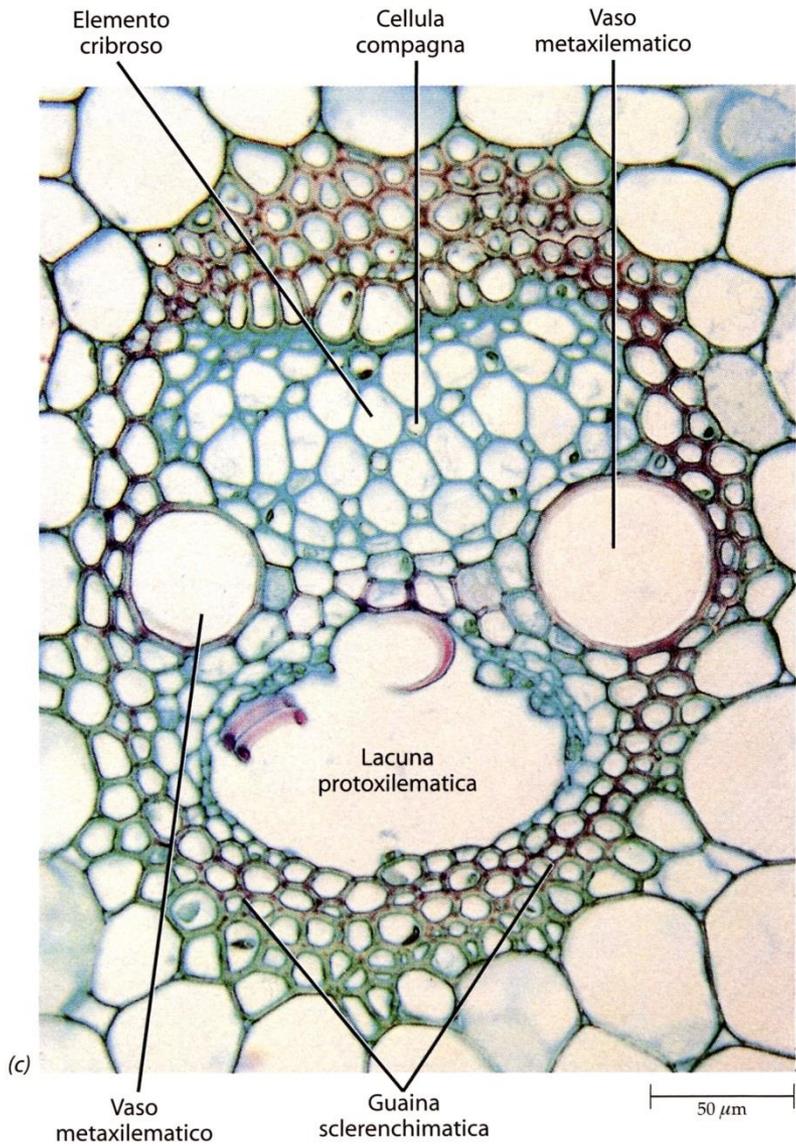
Nel caule: porzione xilematica al centro dell'organo, quella floematica verso l'esterno.

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).

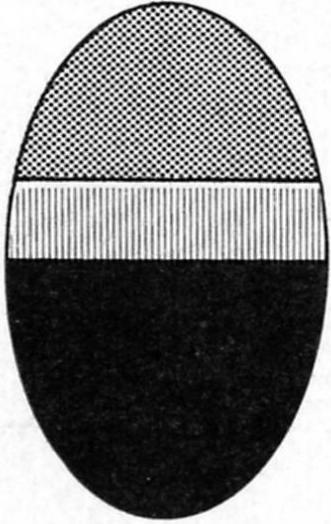


Il differenziamento procede a partire dai due poli più esterni verso la zona centrale, iniziando dal polo floematico.





Fascio collaterale aperto



Tessuto meristematico del cordone procambiale dei fasci collaterali aperti (che ha caratteristiche citologiche diverse dai meristemi primari!)

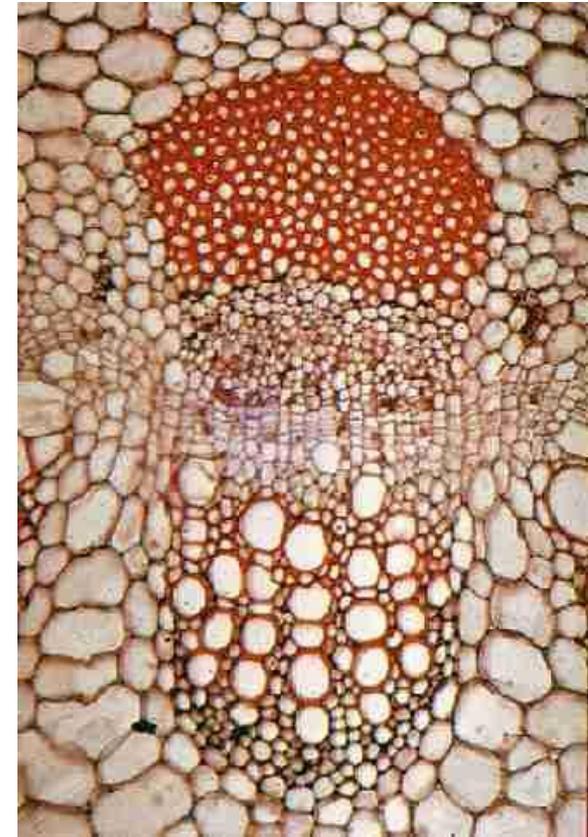
→ differenziamento in nuovi elementi xilematici e floematici, che andranno ad aggiungersi a quelli preesistenti (progressivamente non più funzionanti)

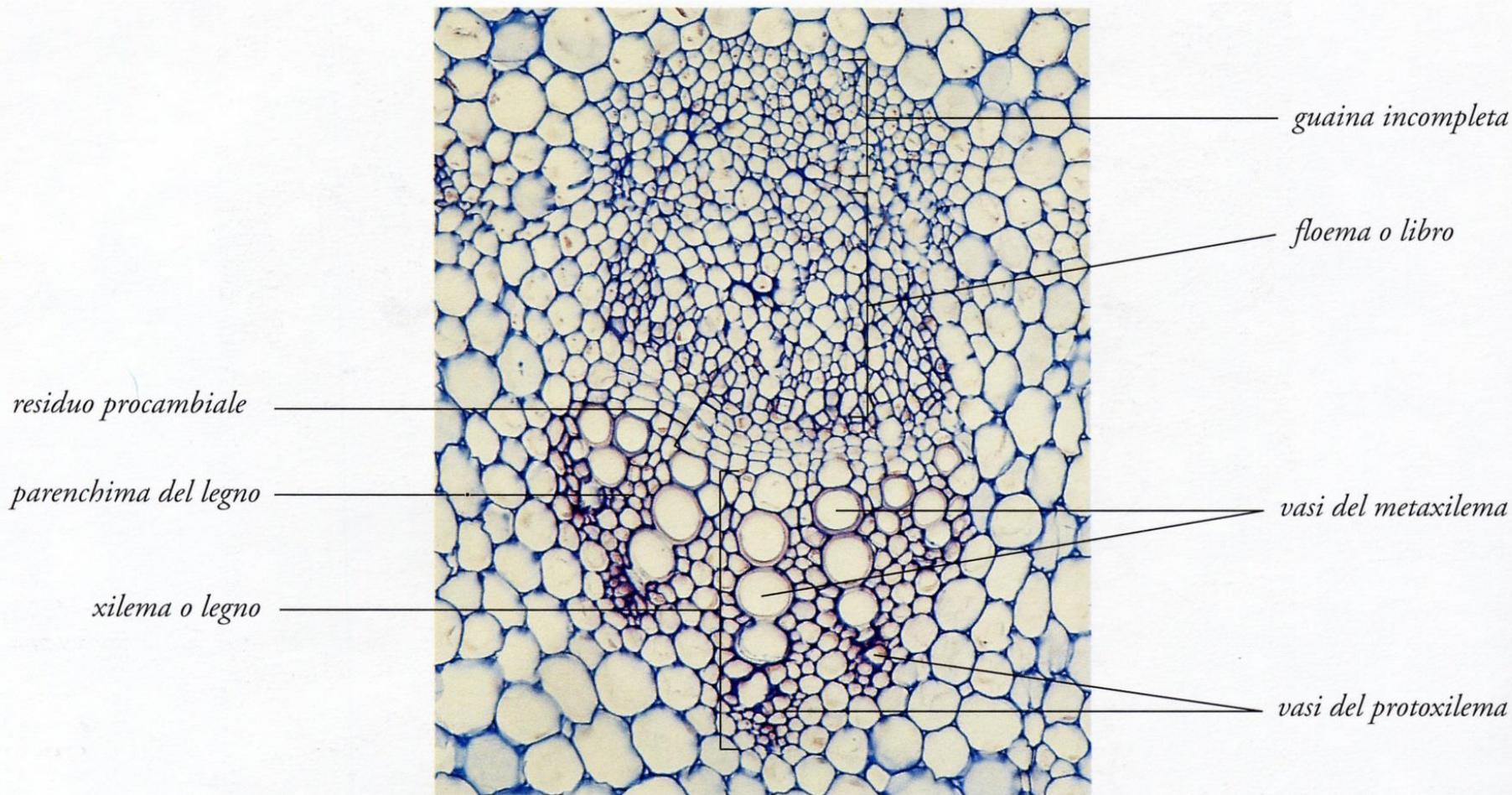
→ aumento in spessore dell'organo, con imponenti cambiamenti

→ **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**”.





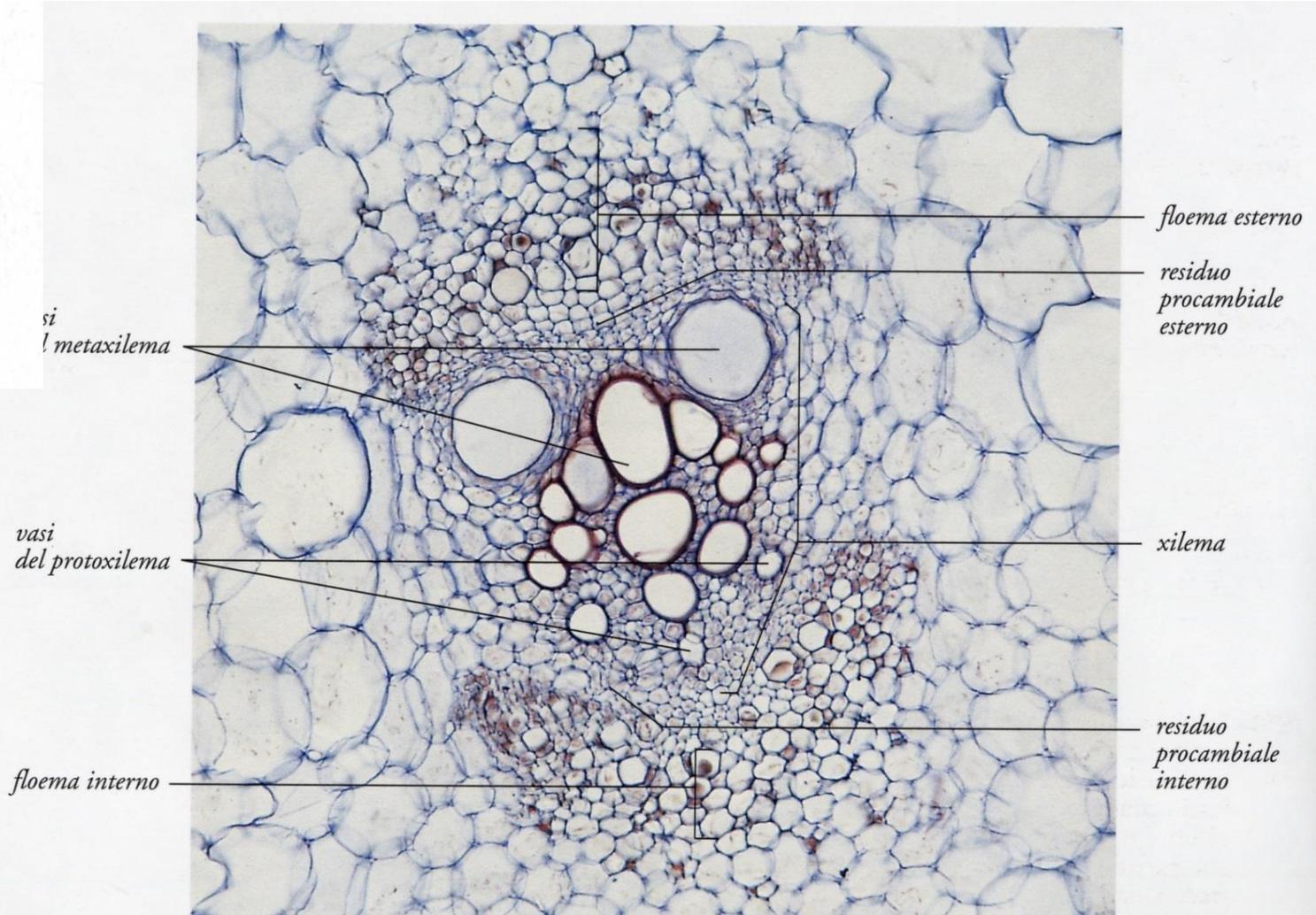
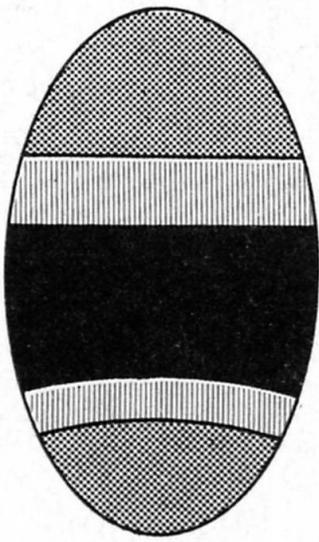
Fascio collaterale aperto nel fusto di girasole (*Heliantus annuus* L., fam. Compositae).

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.

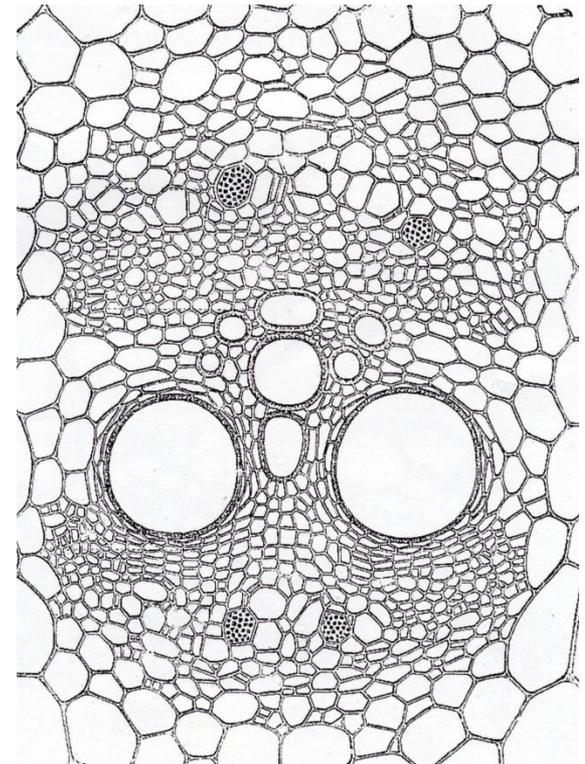
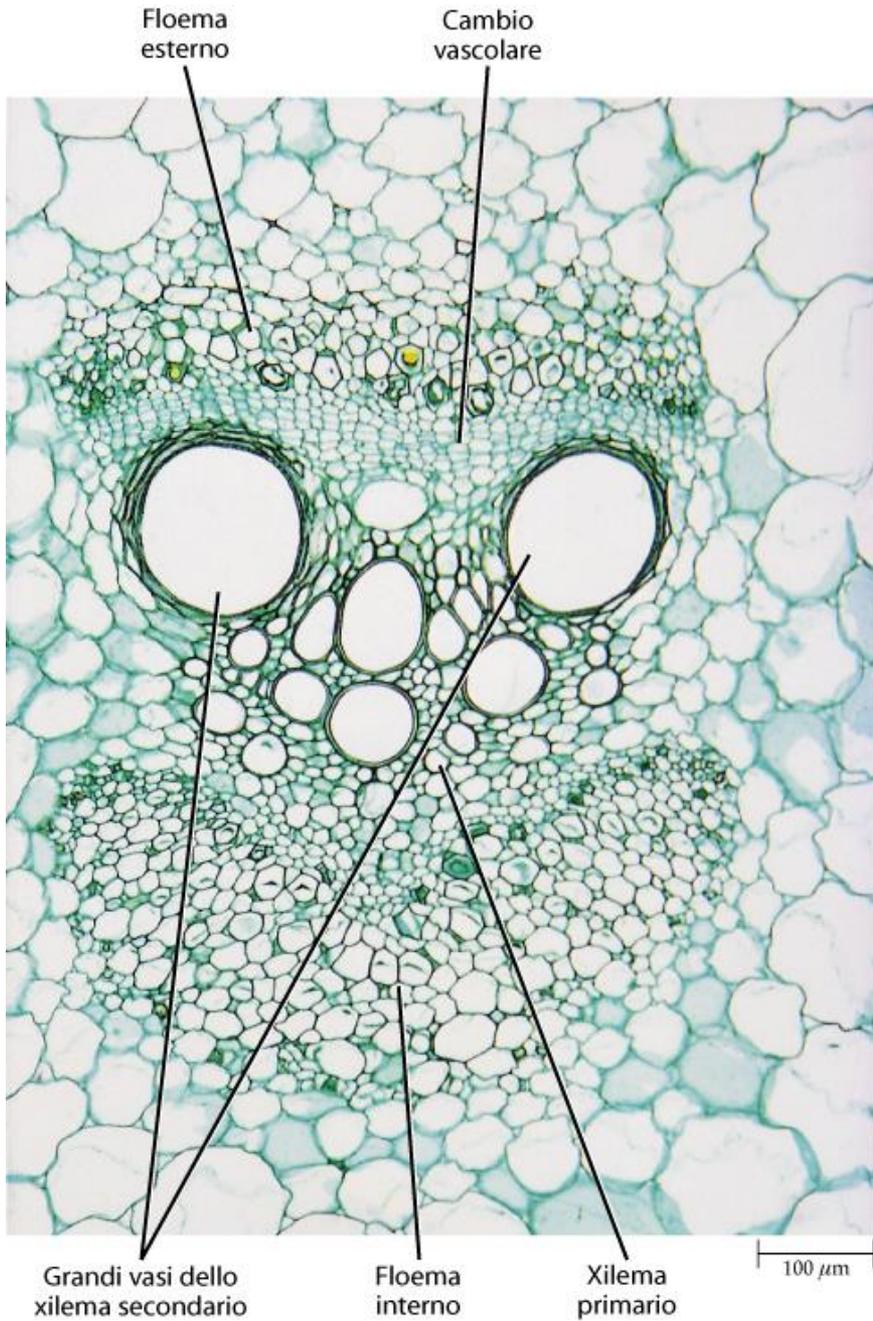
Fascio bicollaterale aperto



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.



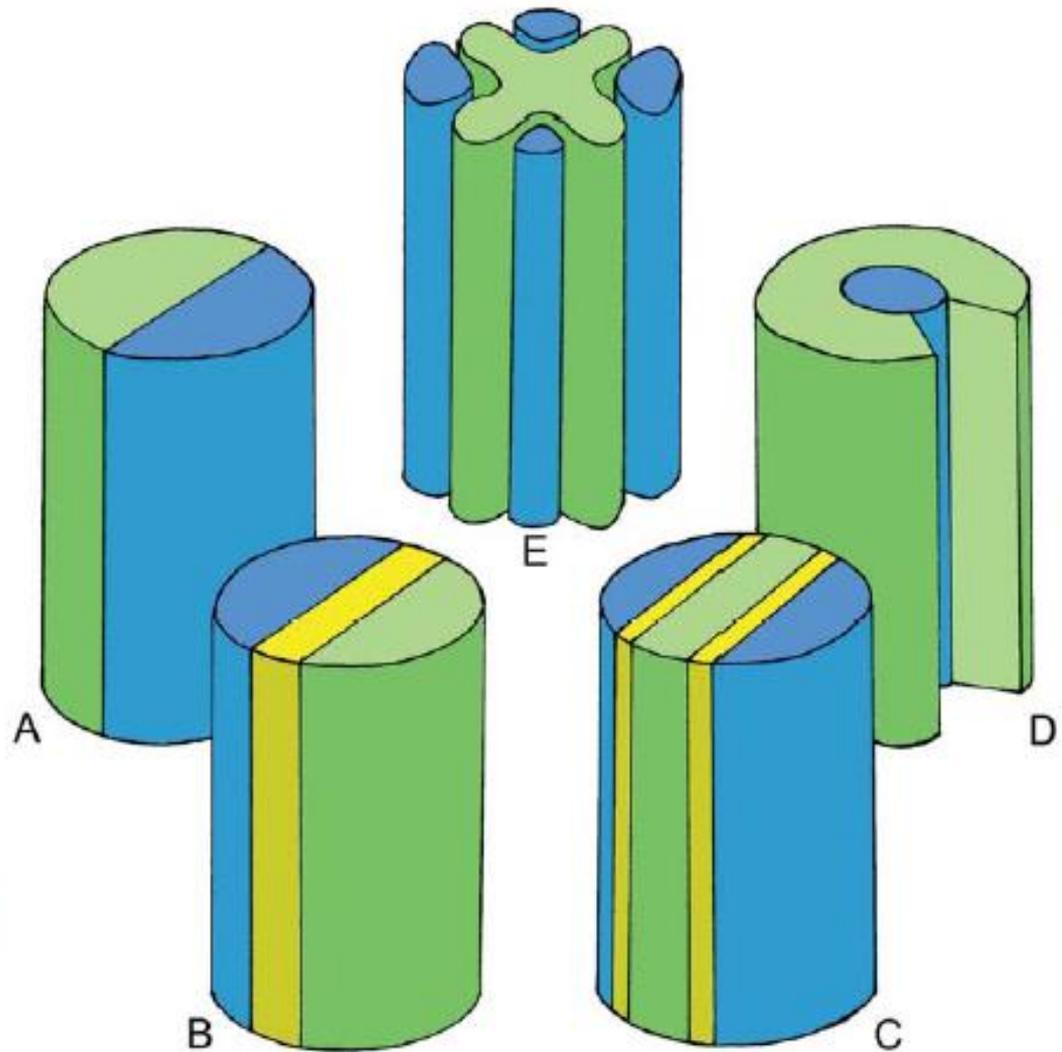
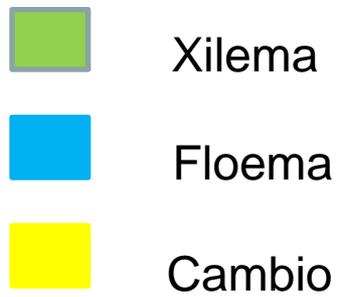
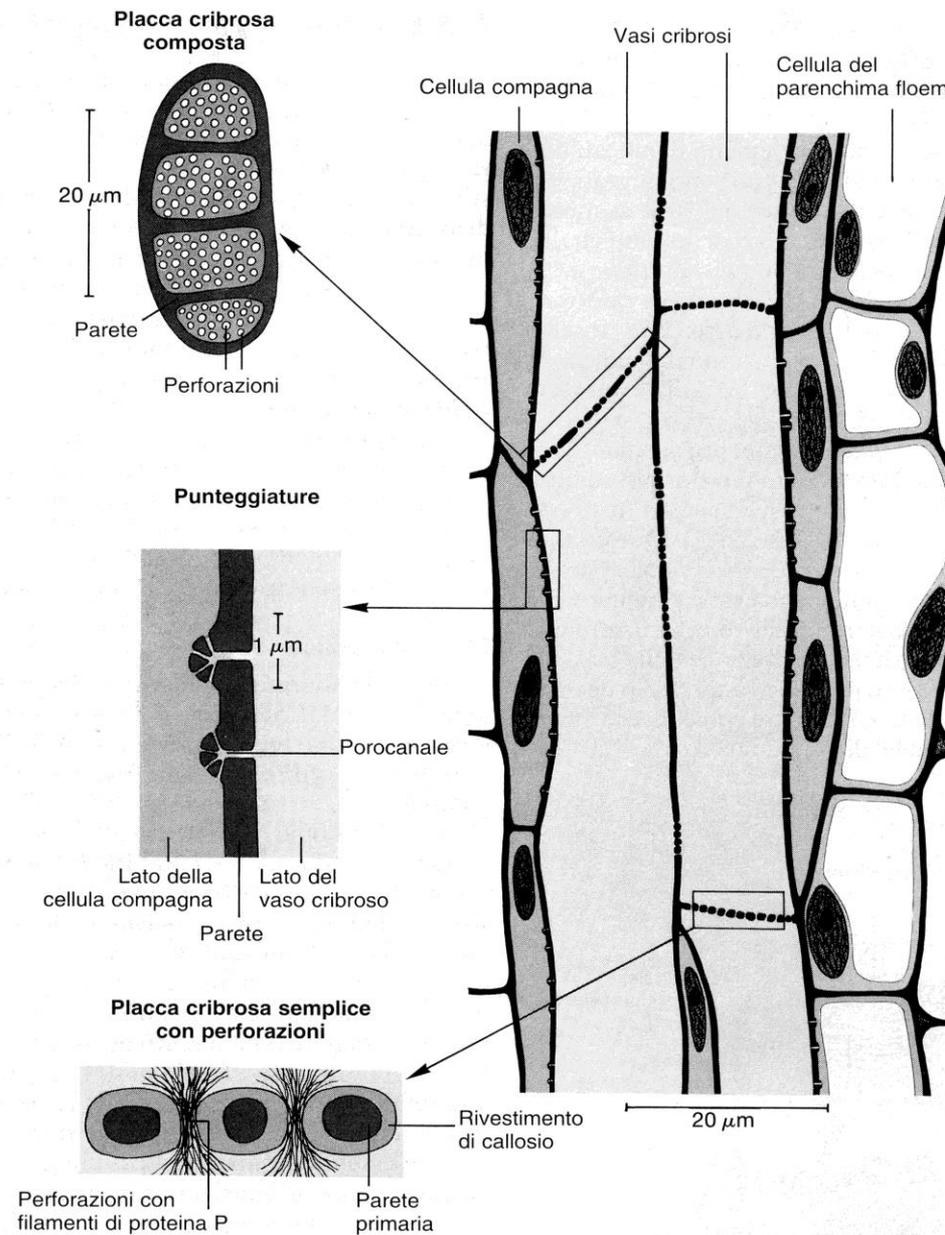


Figura 8.29

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).



Elementi floematici. La figura mostra una sezione longitudinale molto schematizzata del floema del fiore della passione (*Passiflora sp.*) (da KOLLMANN). A sinistra appaiono dei particola-

ri ingranditi. In alto, una placca cribrosa composta con aree punteggiate separate da ponti di origine parietale. Sotto, sezione longitudinale della parete di separazione fra un tubo cribroso e una cellula

compagna. Tale parete presenta numerose punteggiate. In basso, sezione longitudinale della parete di separazione fra un tubo cribroso e una cellula compagna. I pori, rivestiti di callosio, sono attraversati da una proteina P.