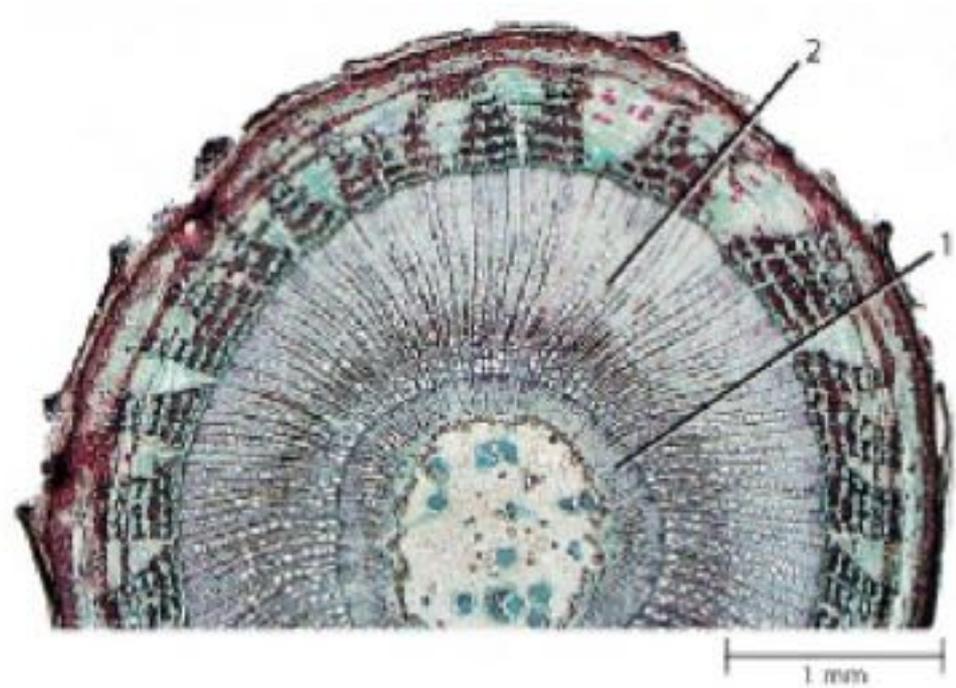
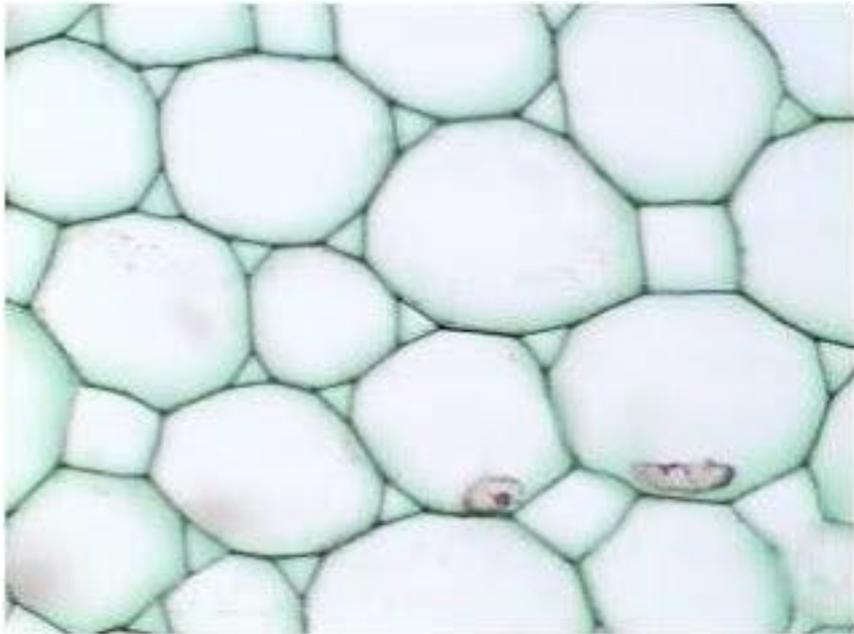


# Istologia e anatomia vegetale





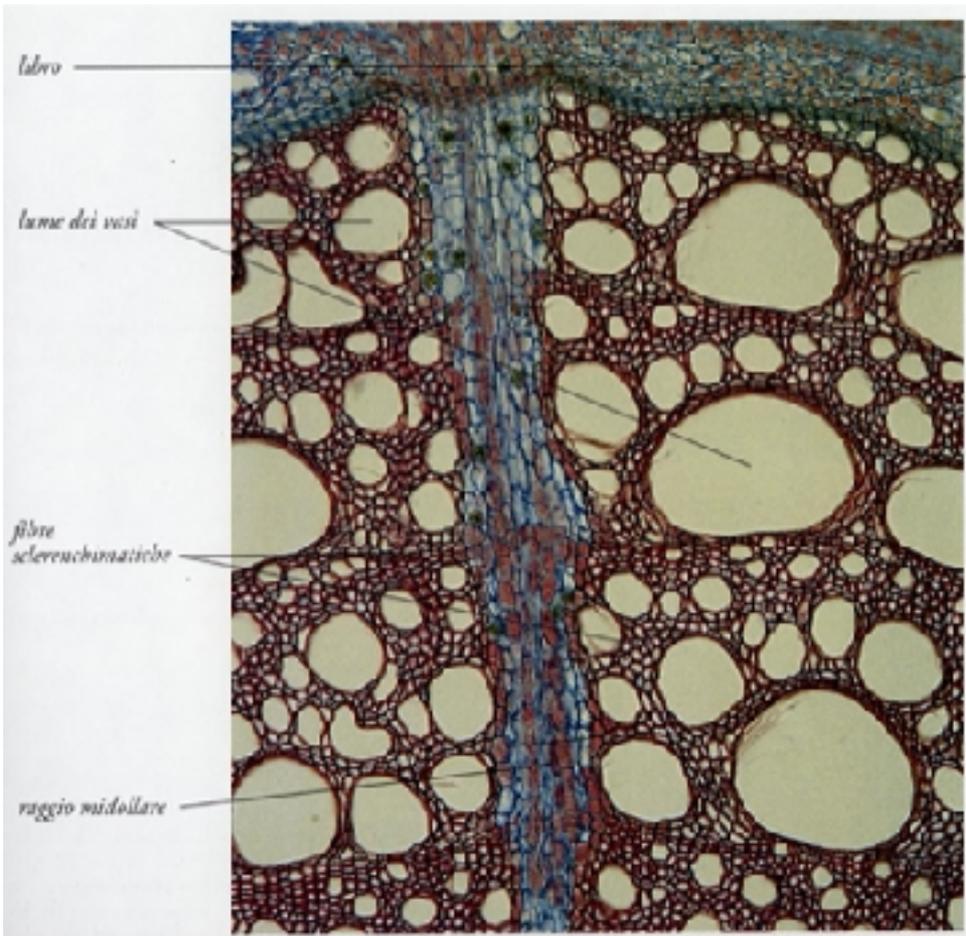
## **PARENCHIMA CONDUTTORE (o LEGNOSO)**

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

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

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

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



libro

lume dei vasi

fibre sclerenchimatose

raggio midollare

cambio cribro-legnoso

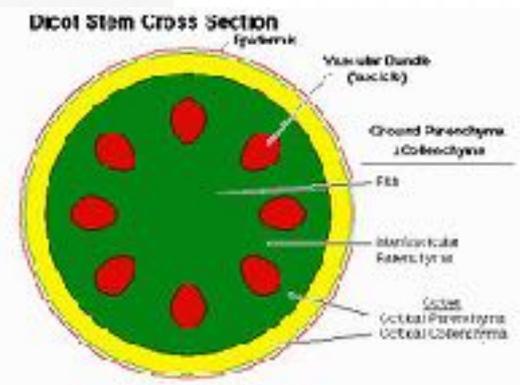


legno secondario

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

Sezione trasversale, x 100 (30)

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



**Dicot Stem Cross Section**

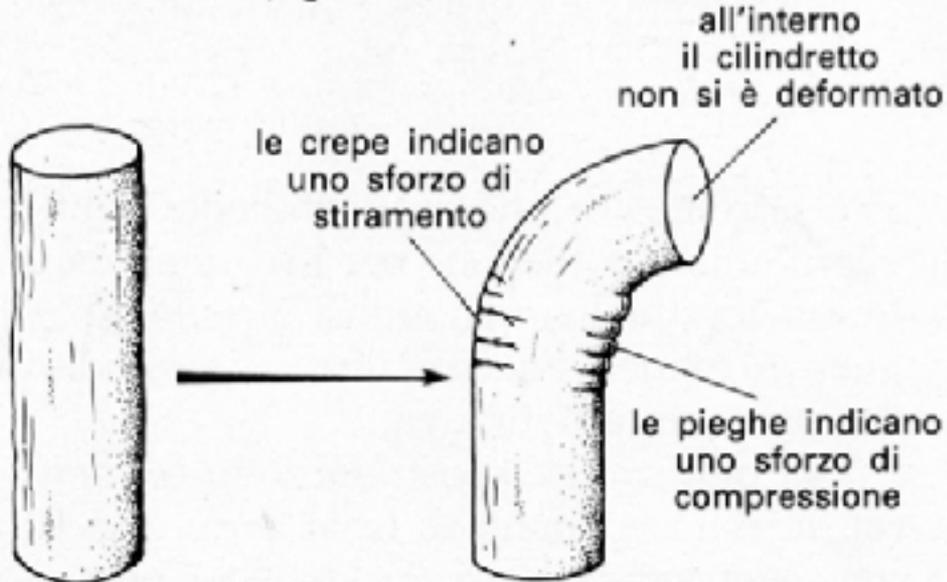
- Epidermide
- Vascole Dure (Corticke)
- Ground Parenchyma (Collenchyma)
- Fels
- Intercalated Fibers (Fibre)
- Cambium
- Cotical Parenchyma
- Cotical Colenchyma

## Tessuti MECCANICI o DI SOSTEGNO

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

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

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



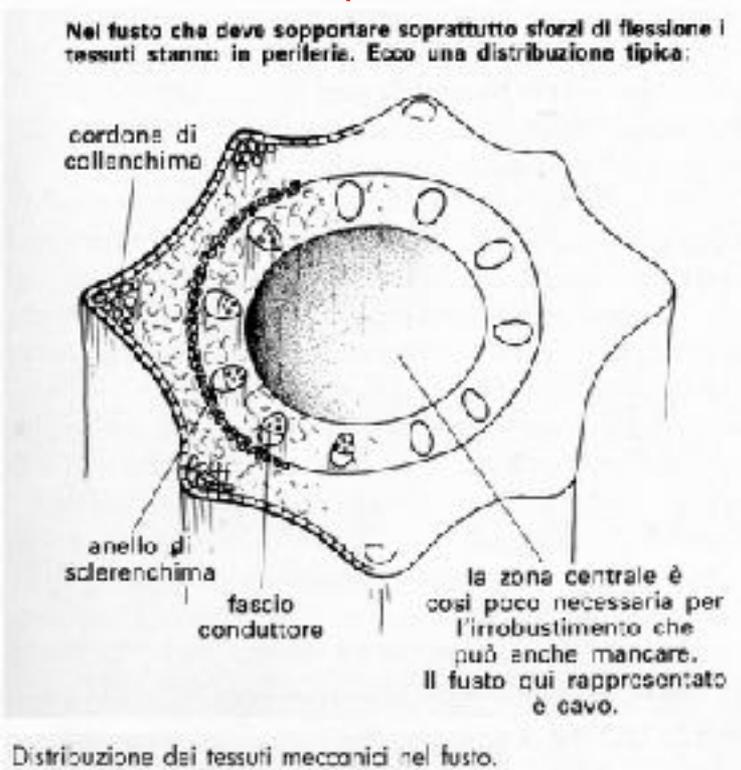


I tessuti meccanici o di sostegno sono due:

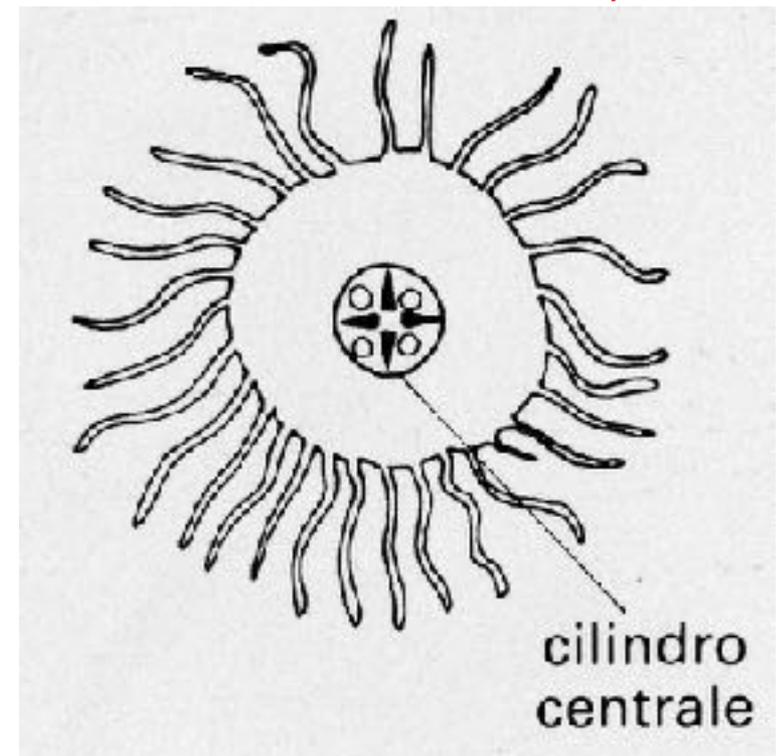
- **COLLENCHIMA**
- **SCLERENCHIMA**

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

Fusto in struttura primaria



Radice in struttura primaria





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

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

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

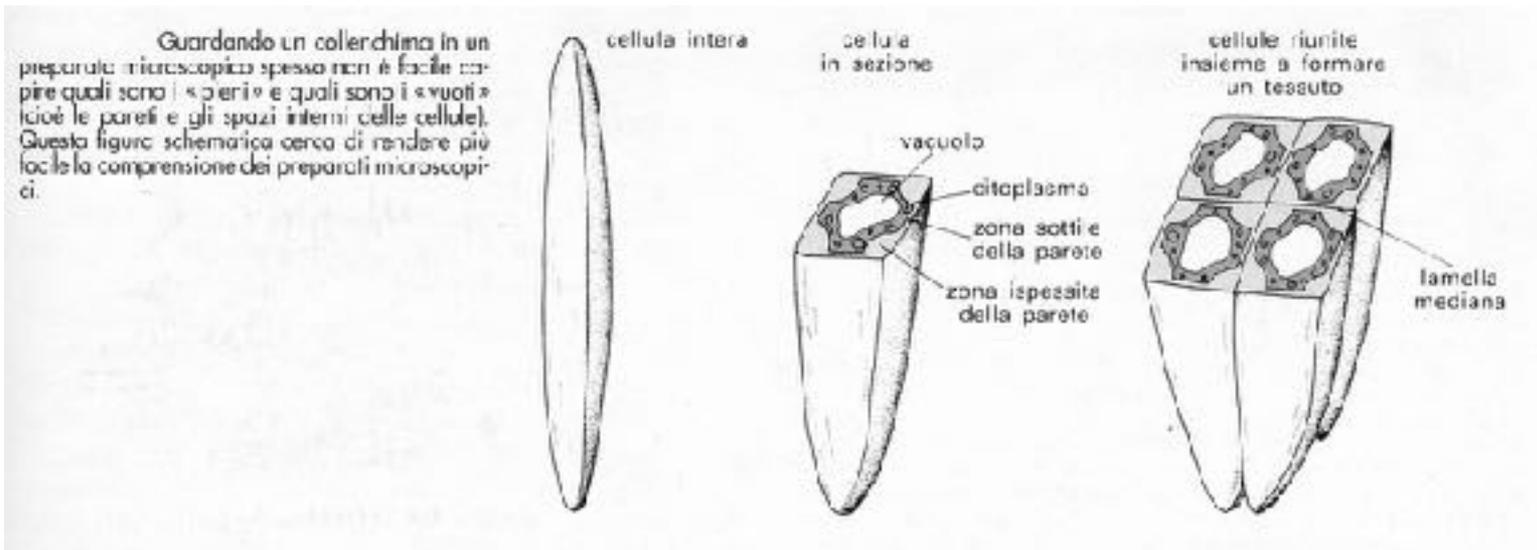
Presentano una **parete ispessita**, in genere in maniera irregolare formata da **lamelle di cellulosa** alternate a **lamelle di sostanze pectiche, non lignificata**, estensibile.

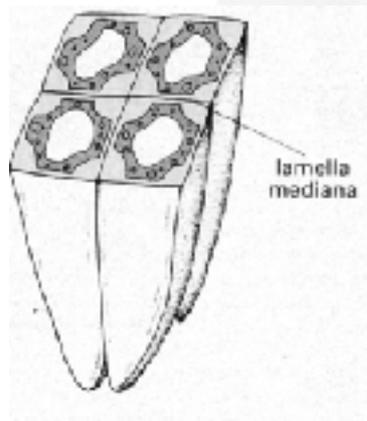
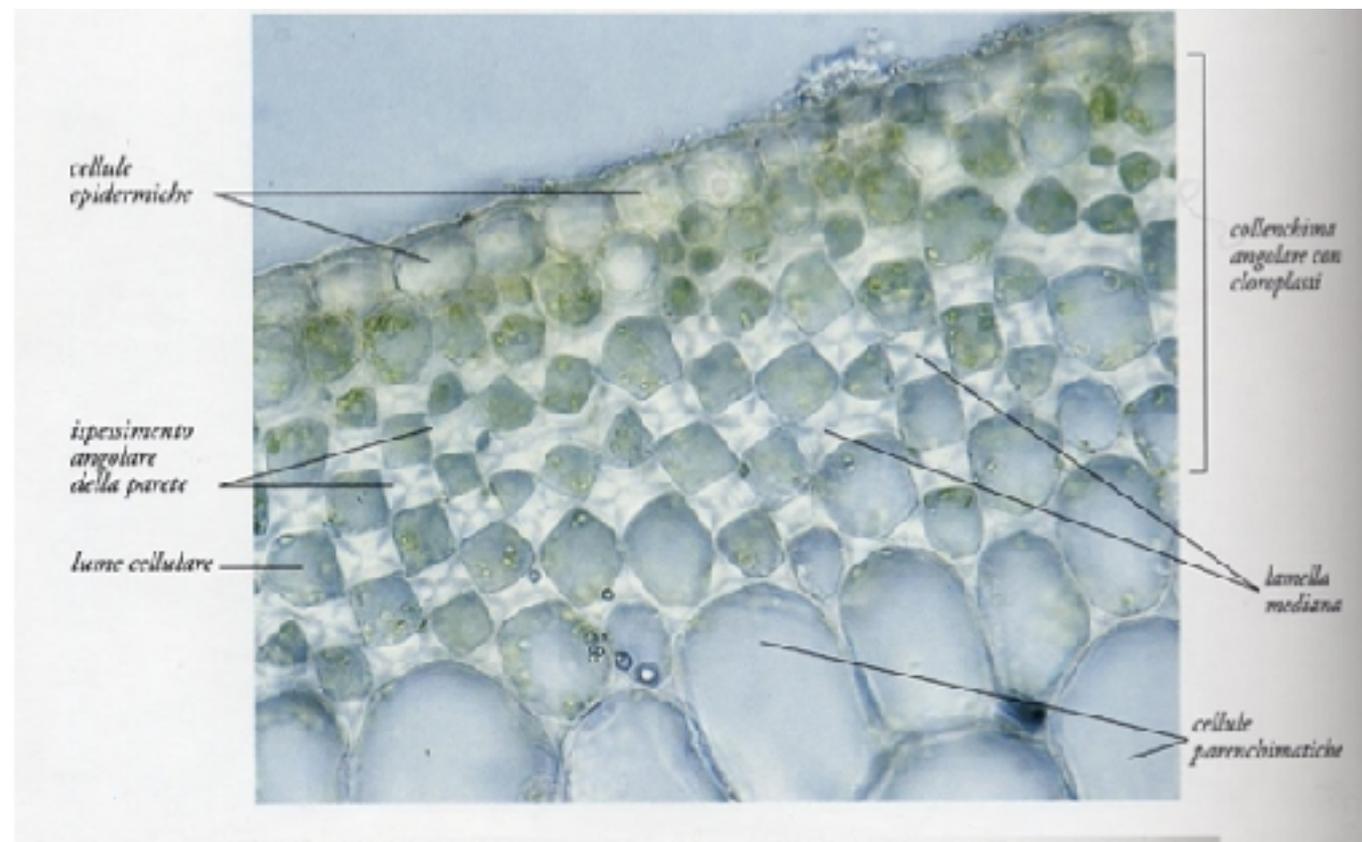
In base alla forma degli ispessimenti, è possibile riconoscere tre tipi fondamentali di collenchima:

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

## COLLENCHIMA ANGOLARE.

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

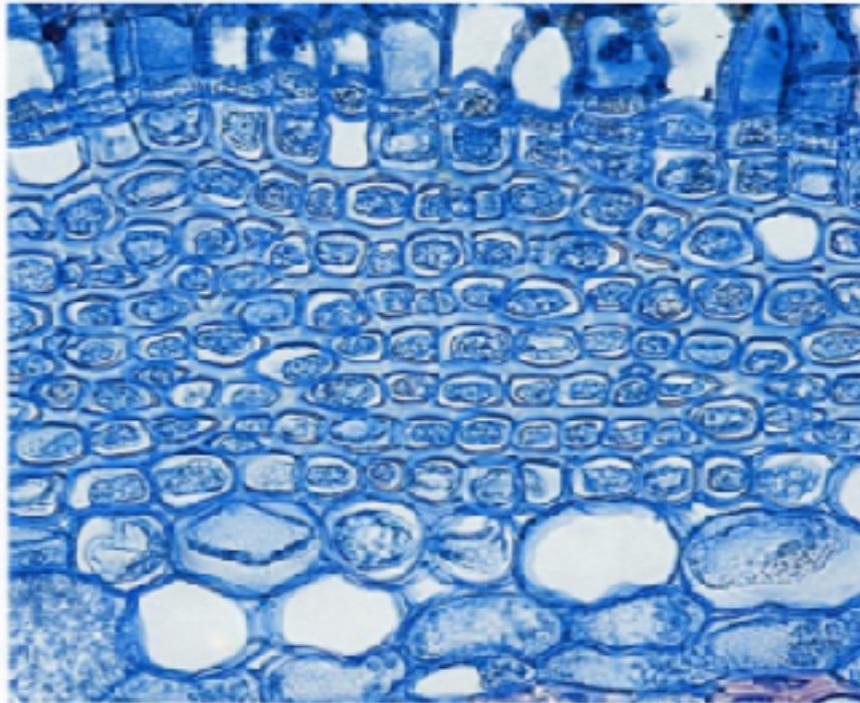




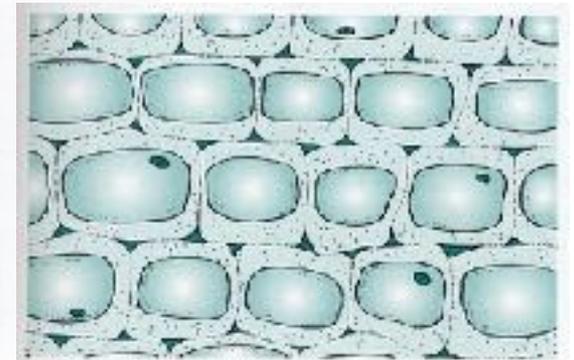
**Collenchima angolare nel picciolo di ninfea (*Nymphaea alba* L., fam. Nymphaeaceae).**  
Sezione trasversale. x 200 (210); x 400 (420)  
A livello degli angoli, dove è localizzato l'ispessimento cellulosico, le lamelle mediane delle cellule contigue sembrano incrociarsi. La presenza di cloroplasti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

## COLLENCHIMA LAMELLARE.

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



angoli di  
collenchima  
lamellare



collenchima lamellare

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

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



## COLLENCHIMA CIRCOLARE.

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



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

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

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

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

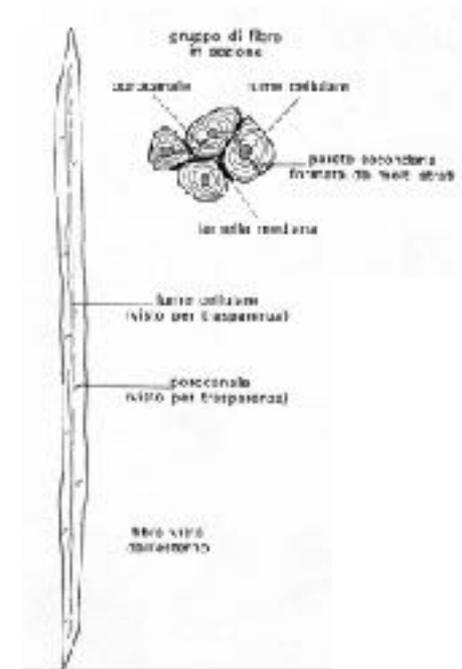
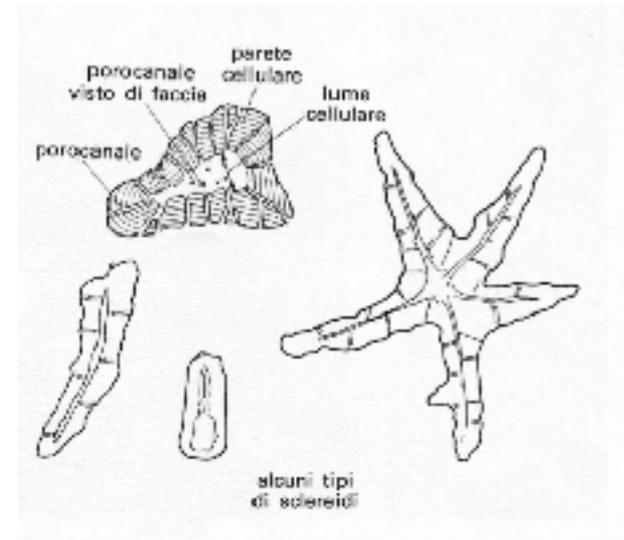


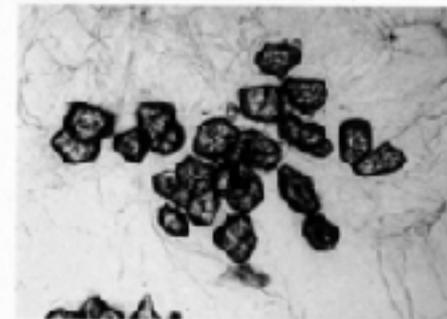
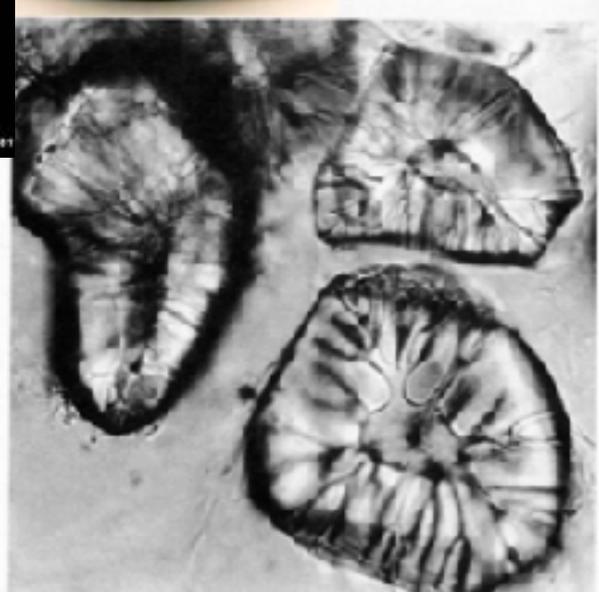
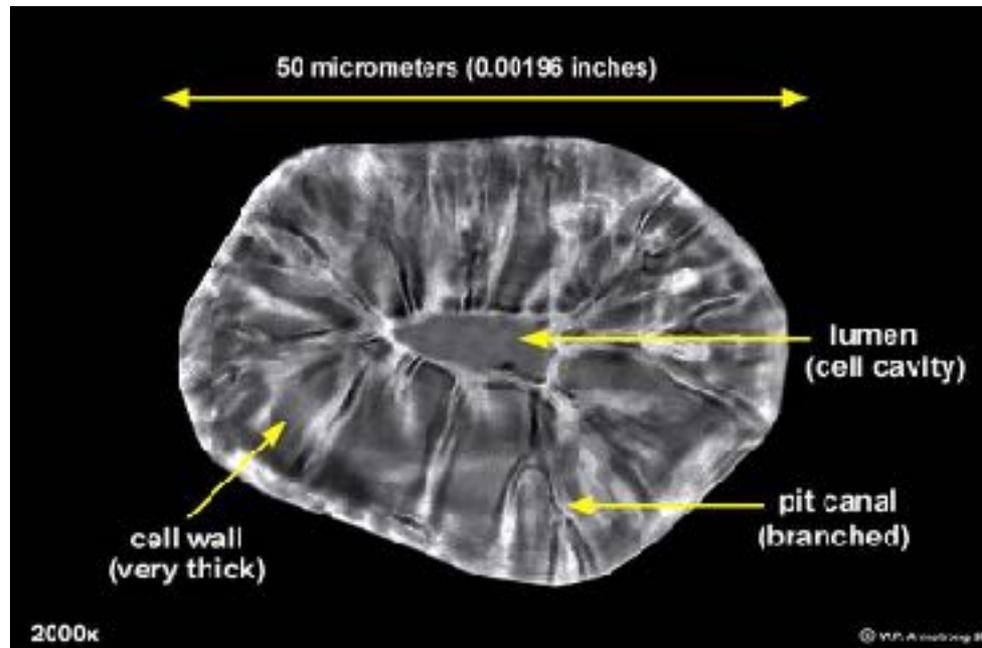
E' possibile riconoscere due tipi fondamentali di cellule sclerenchimatiche:

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

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

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





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

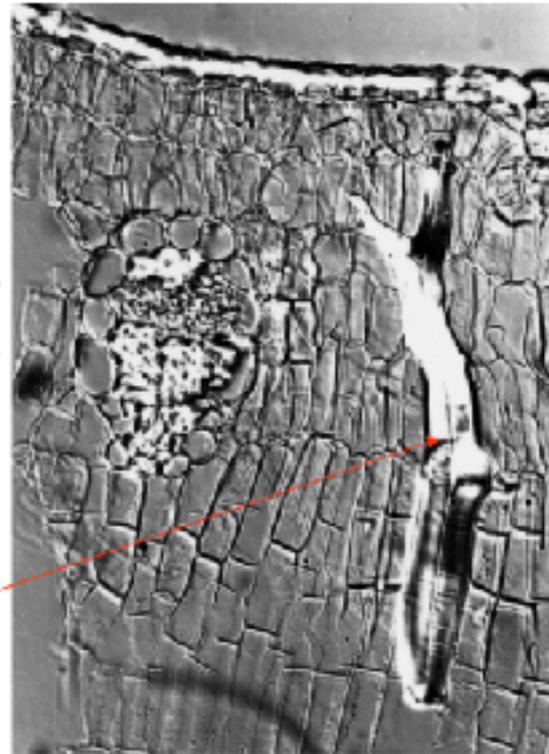
# SCLEREIDI



Fascio di trasporto



sclereide

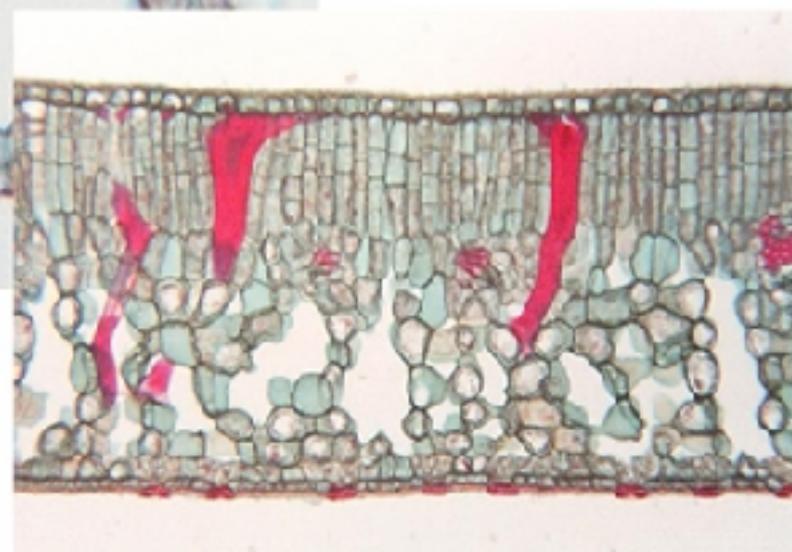
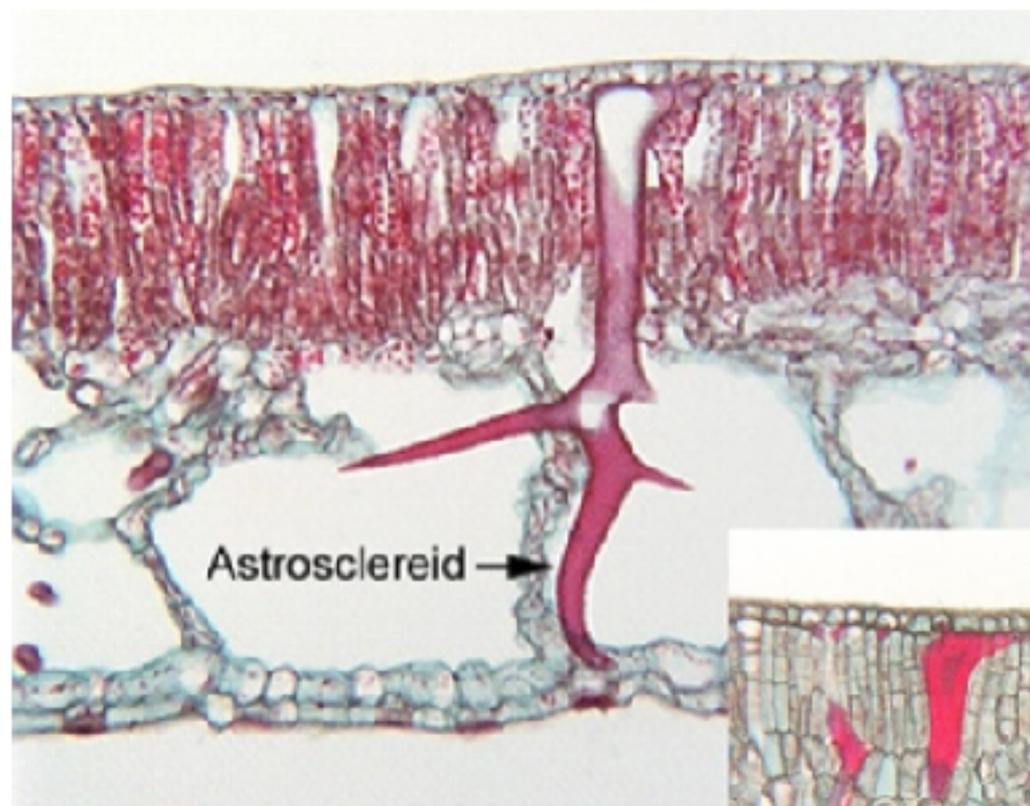


mesofillo

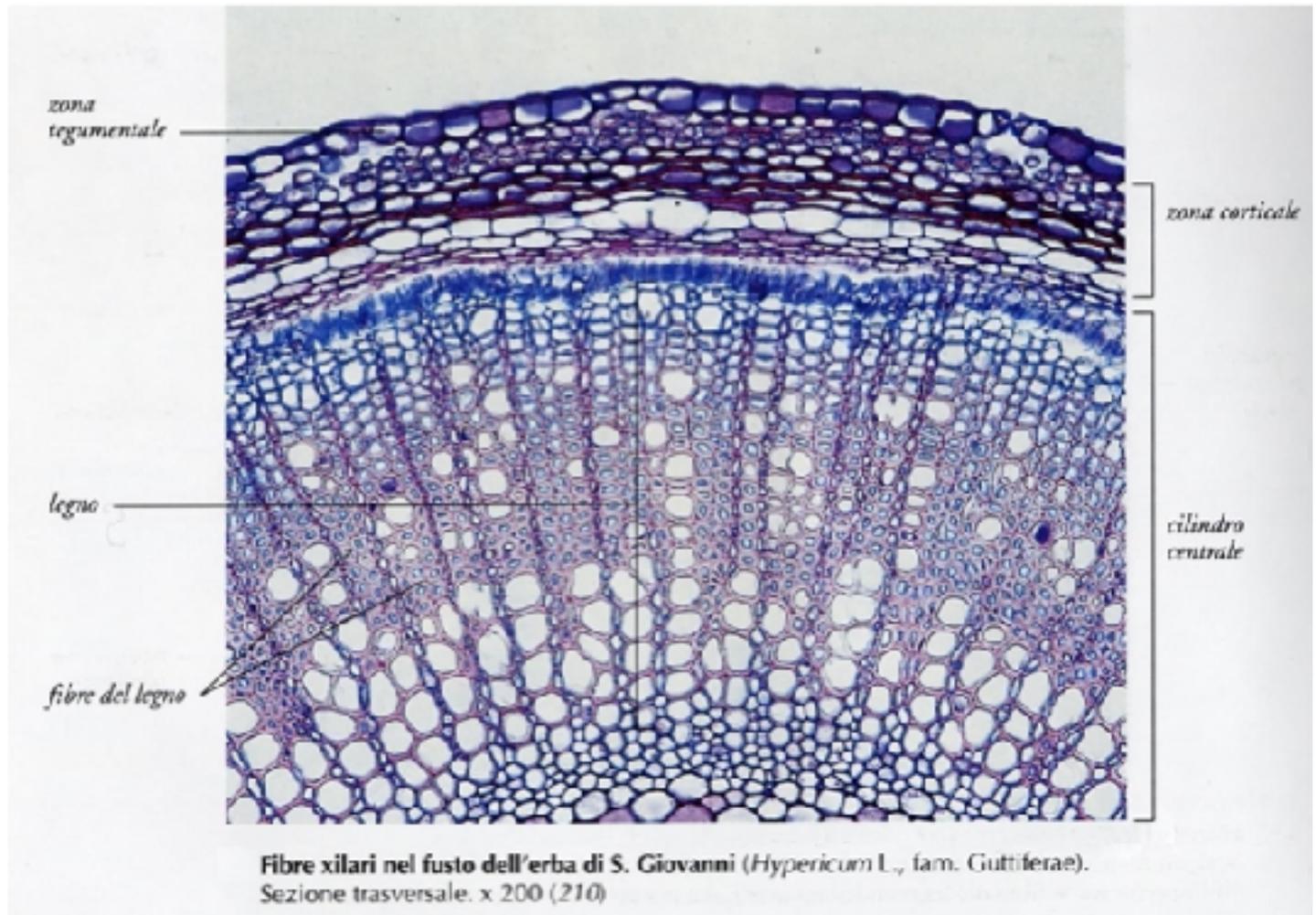


Foglia sclerofilla di *Phillyrea latifolia*, un albero a distribuzione circum-Mediterranea

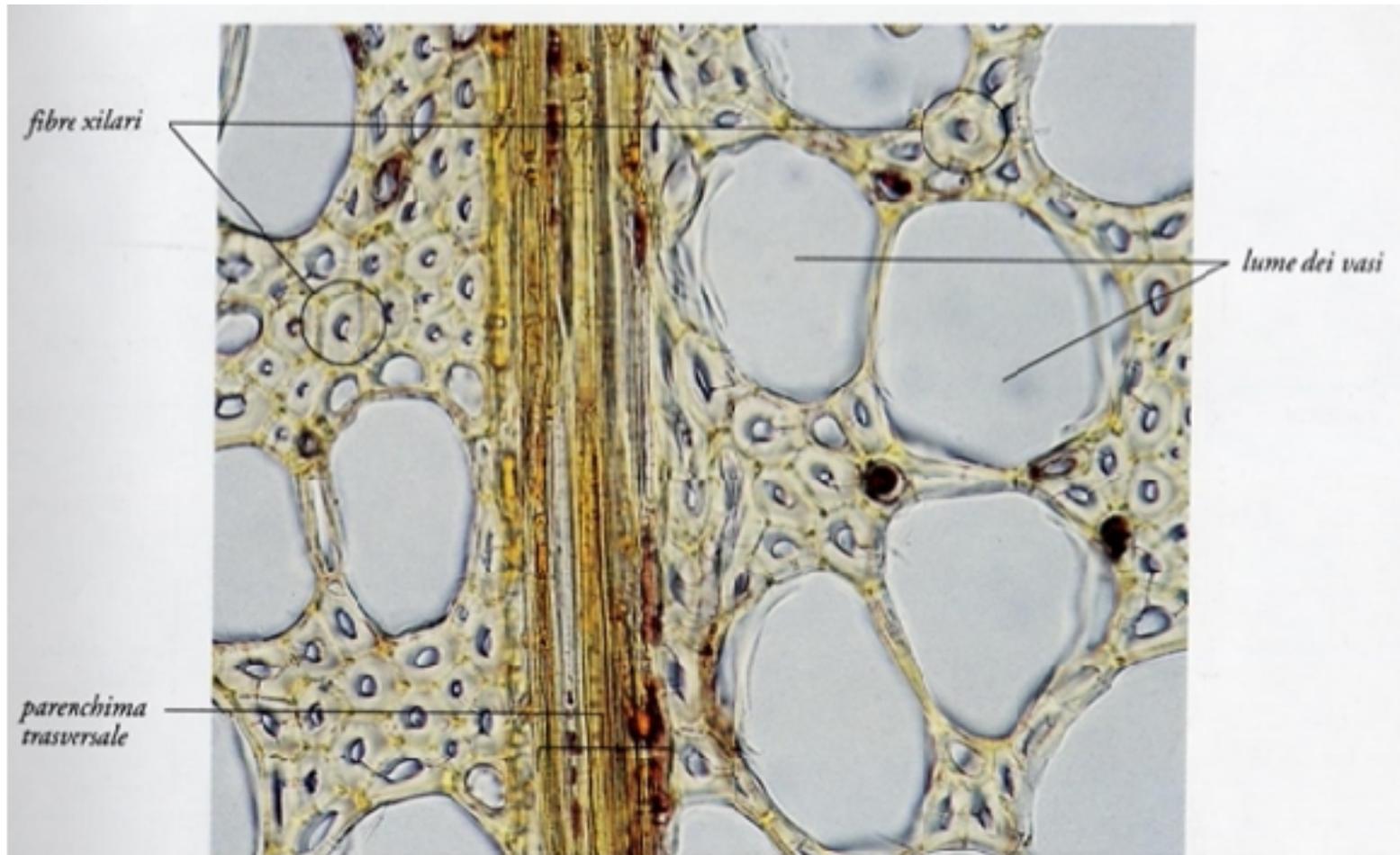




# Fibre xilari



# Fibre xilari

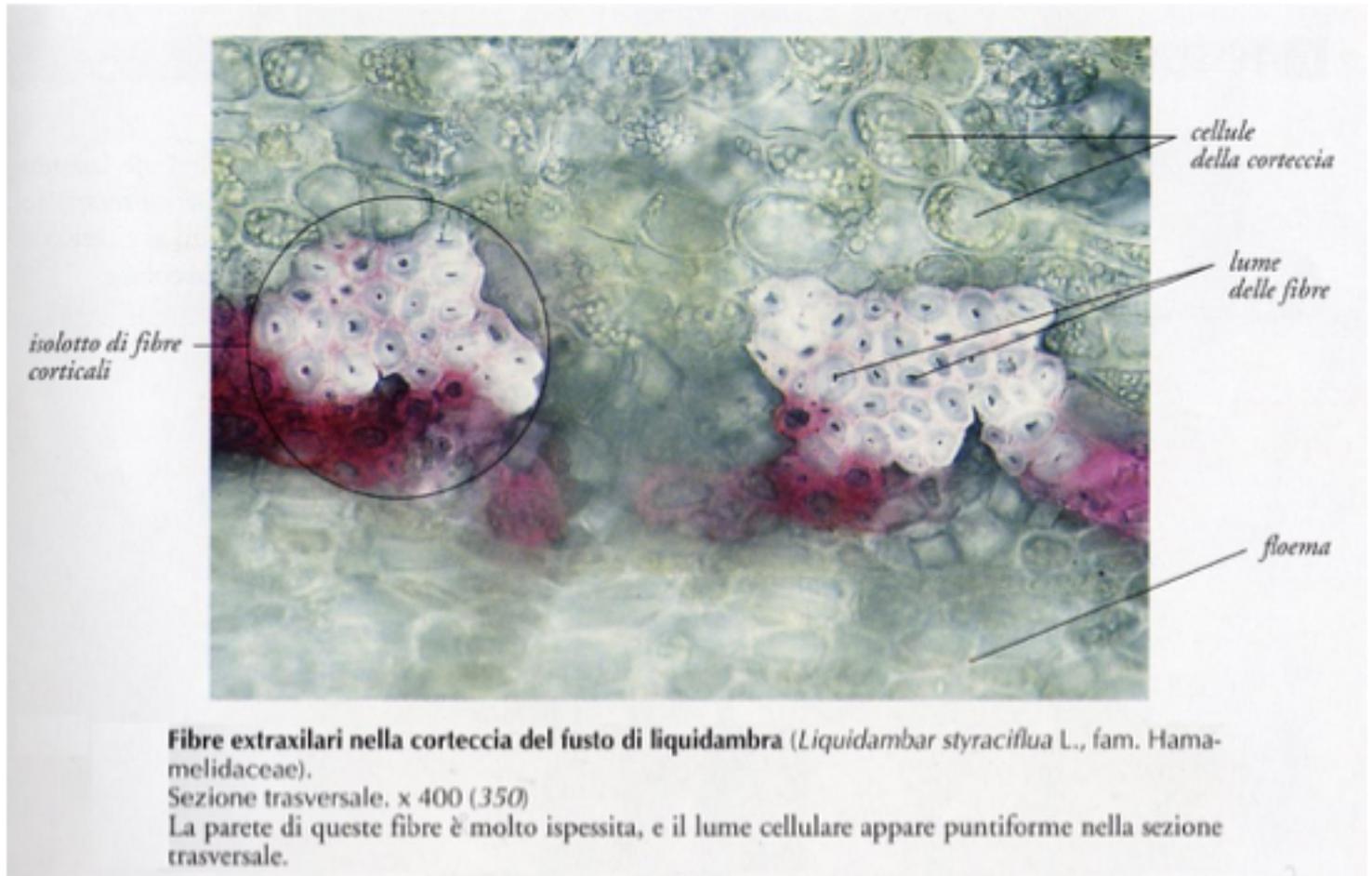


**Fibre de** **Fibre del legno di faggio** (*Fagus sylvatica* L., fam. Fagaceae).

Sezione Sezione trasversale. x 400 (420)

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

# Fibre extra-xilari



isolotto di fibre  
corticali

cellule  
della corteccia

lume  
delle fibre

floema

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

Sezione trasversale. x 400 (350)

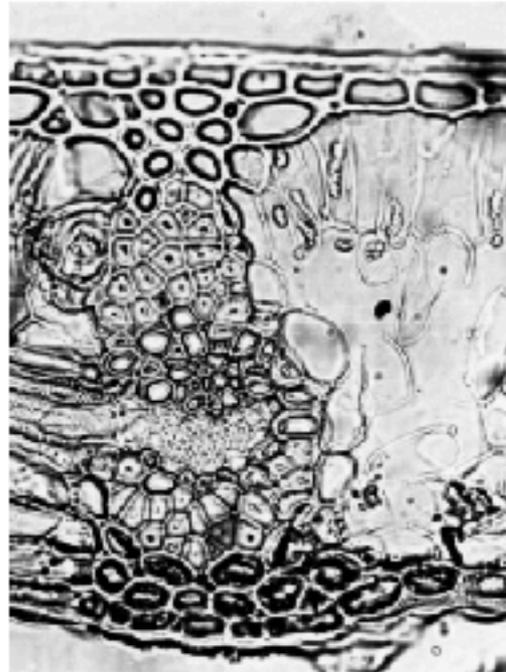
La parete di queste fibre è molto ispessita, e il lume cellulare appare puntiforme nella sezione trasversale.

## Fibre extra-xilari

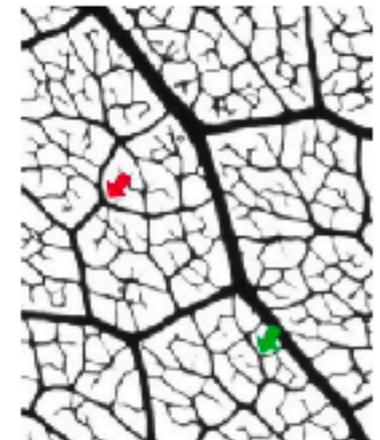
Fascio di fibre



Fascio di trasporto



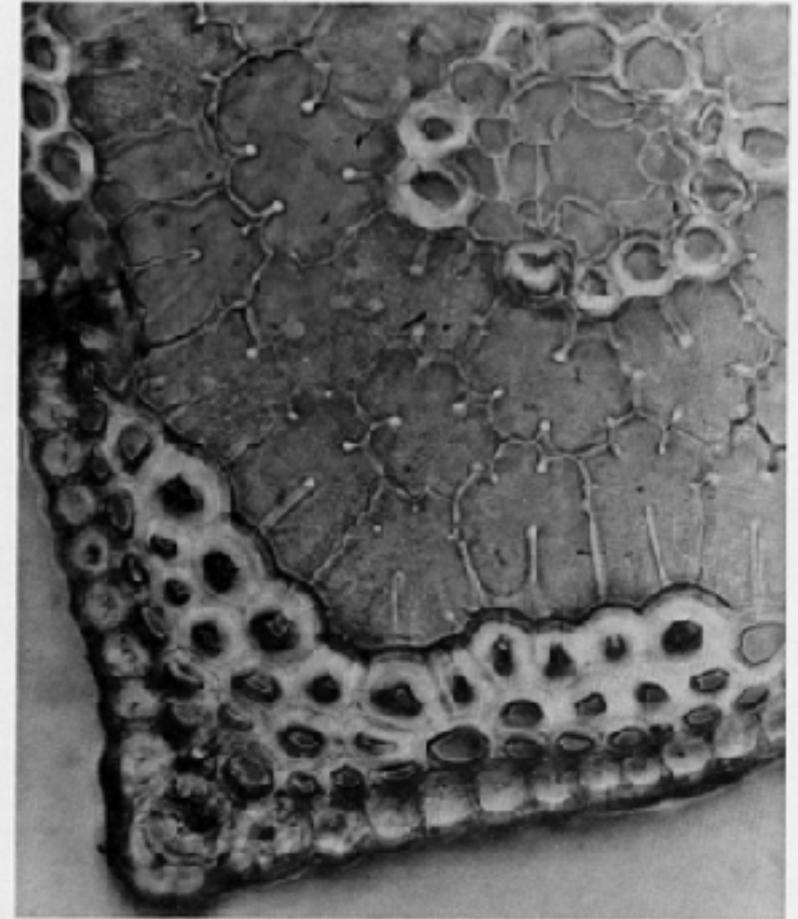
mesofillo



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

# Fibre extra-xilari

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



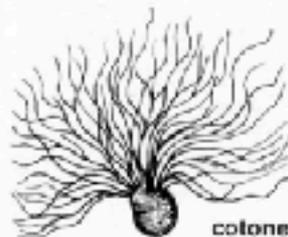


### TIPO DI FIBRA TESSILE



lino, canapa, iuta, ecc.

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



colono, kapok

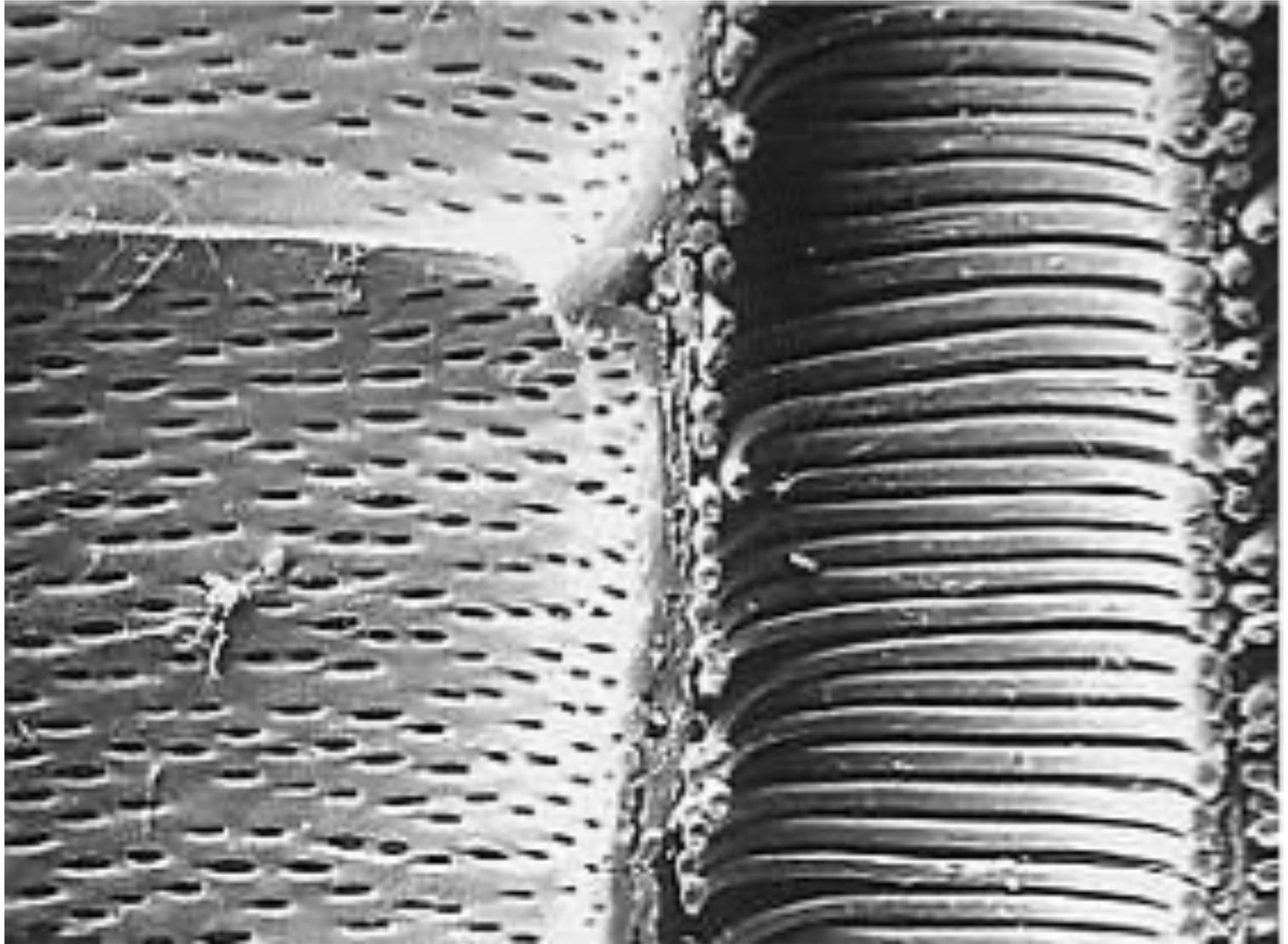


agave sisalana ecc.

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 sono privi di lignina.

# Tessuti di trasporto





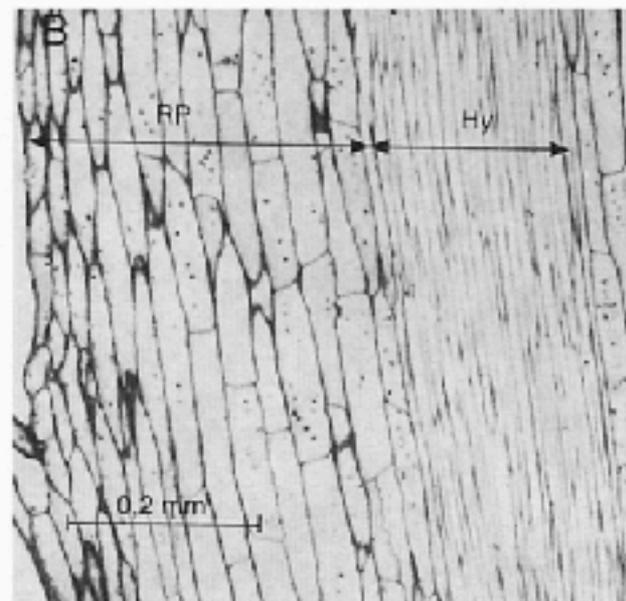
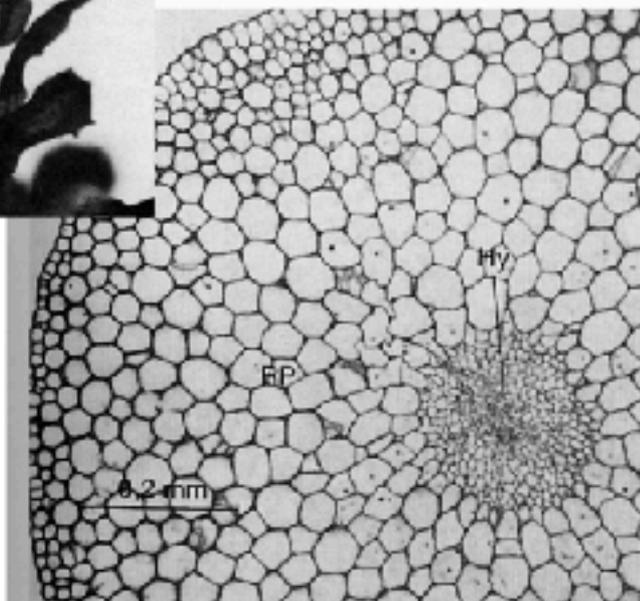
I tessuti di trasporto sono specializzati per il trasporto di sostanze tra le varie parti della pianta.

Si distinguono due tessuti diversi:

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

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

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



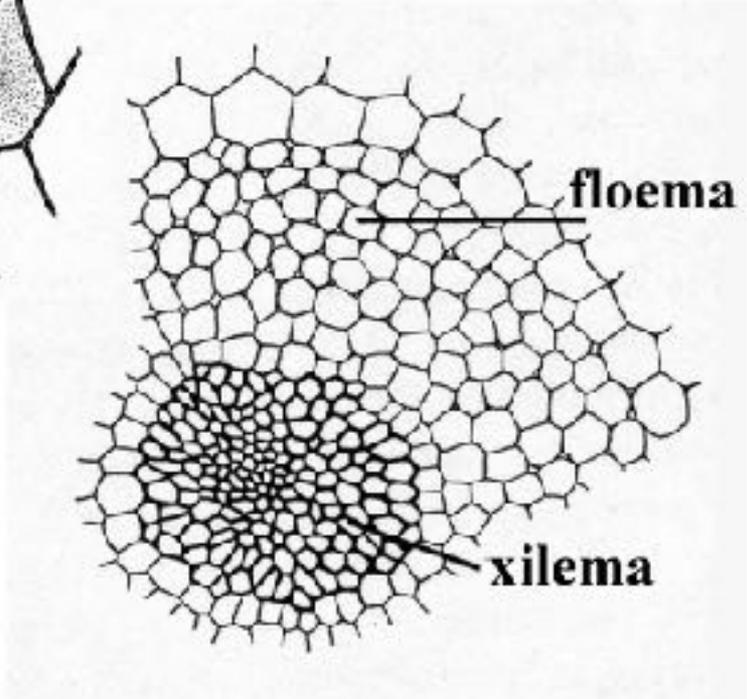
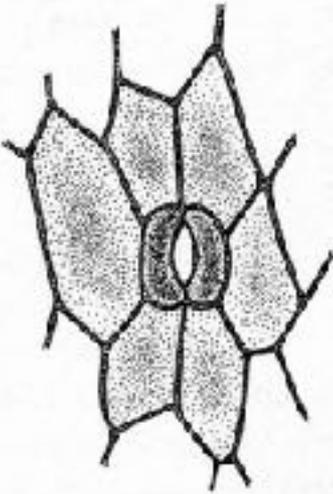
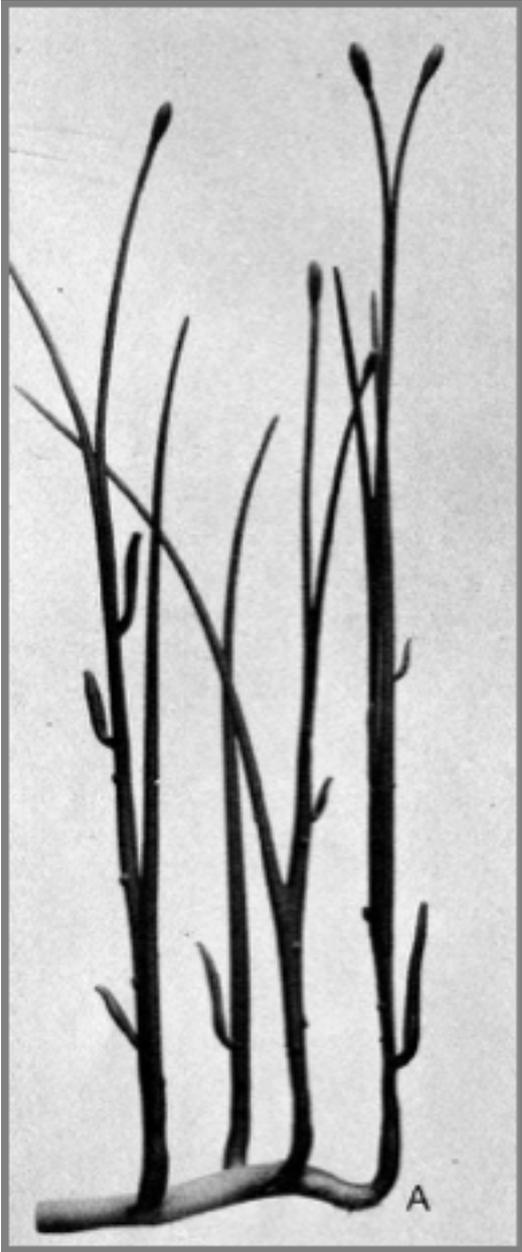
# MUSCHI

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

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

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

*Rhynia gwynne-vaughani*

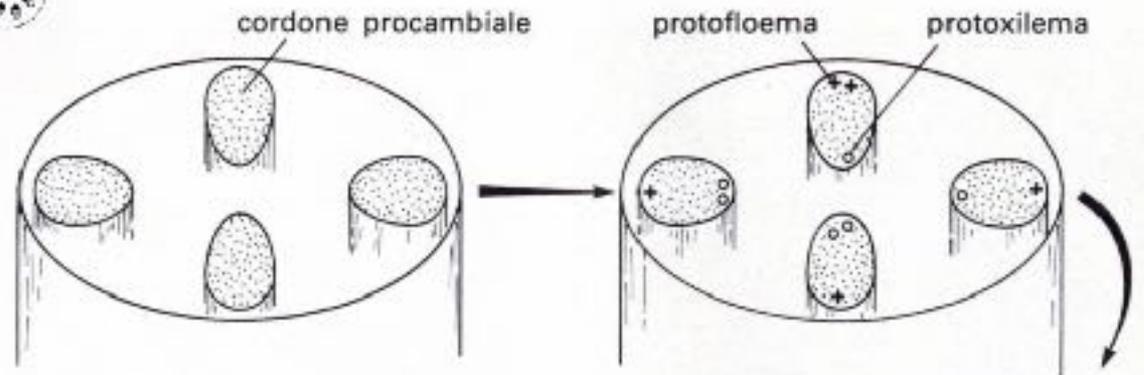
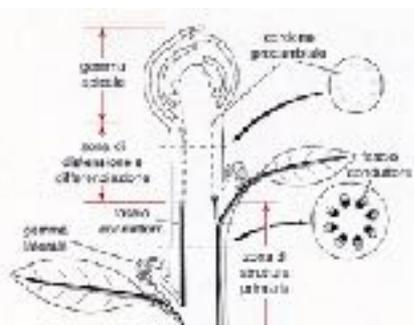




I tessuti di trasporto si originano dal **procambio** (zona di determinazione).

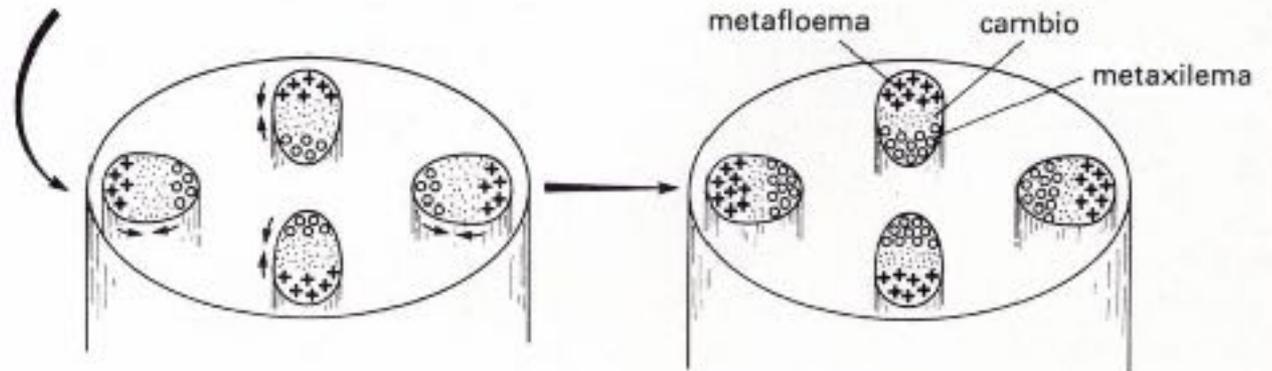
I cordoni procambiali si differenziano rapidamente in **fasci cribro-vascolari, aperti o chiusi** a seconda che alcune cellule rimangano indifferenziate nella zona di contatto tra i due tessuti fondamentali: **xilema** e **floema**.

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



I cordoni procambiali sono formati da cellule indifferenziate.

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

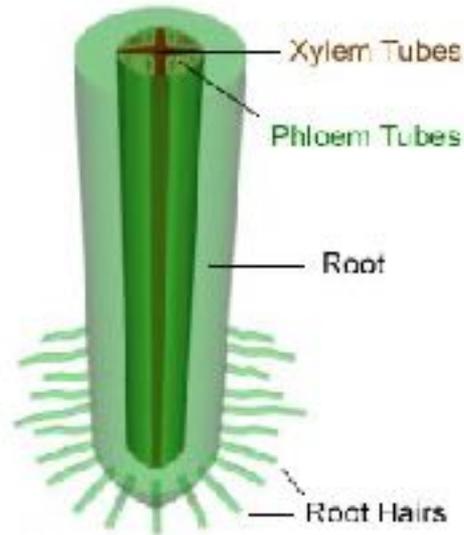


Successivi elementi si differenziano in direzioni opposte (indicate dalle frecce).

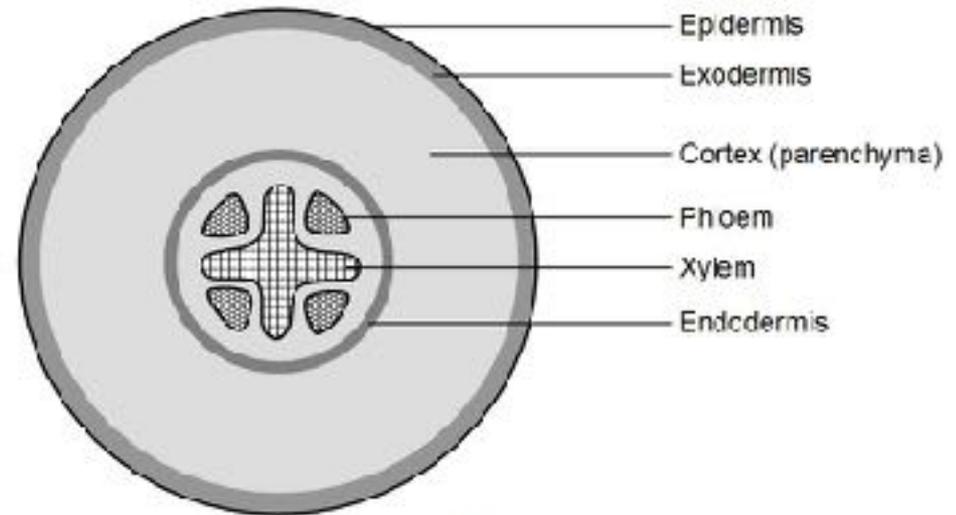
I cordoni procambiali si sono differenziati in fasci. Tra i due tessuti è rimasta una striscia di cellule indifferenziate (cambio).

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

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



Root  
Copyright © 2003 science-resources.co.uk



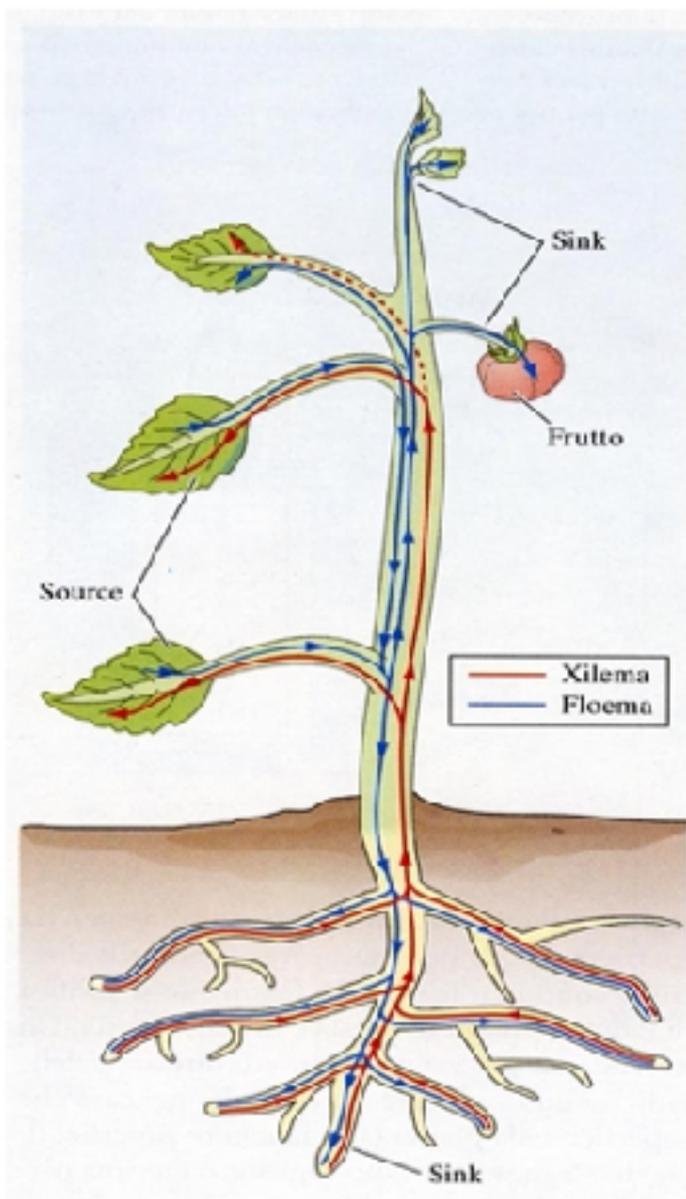
Cross-section through a young non-woody dicot root



Tessuti di trasporto:

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

Entrambi sono tessuti complessi, formati da più tipi di cellule



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

## XILEMA

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

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

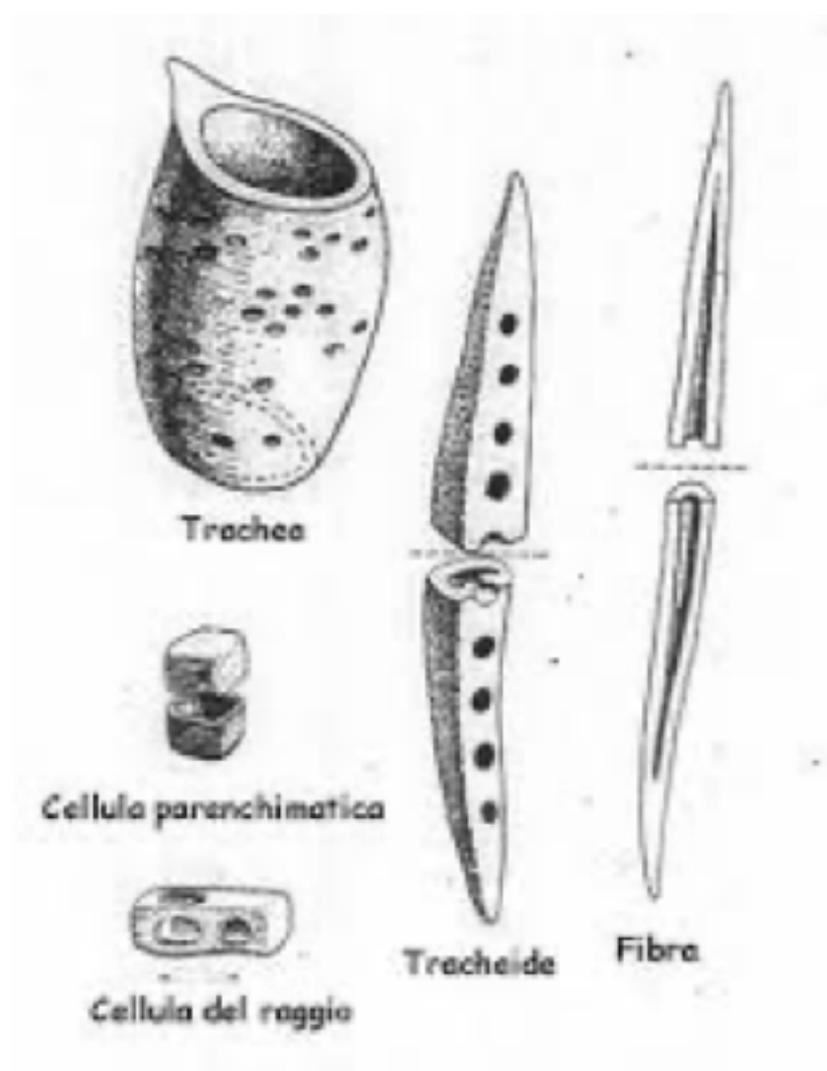
I primi due tipi di cellule servono per il trasporto dell'acqua, e sono **morte** quando svolgono la loro funzione.

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

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

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







Gli elementi conduttori dello xilema sono chiamati vasi

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

- anulati
- spiralati
- scalariformi
- reticolati
- punteggiati

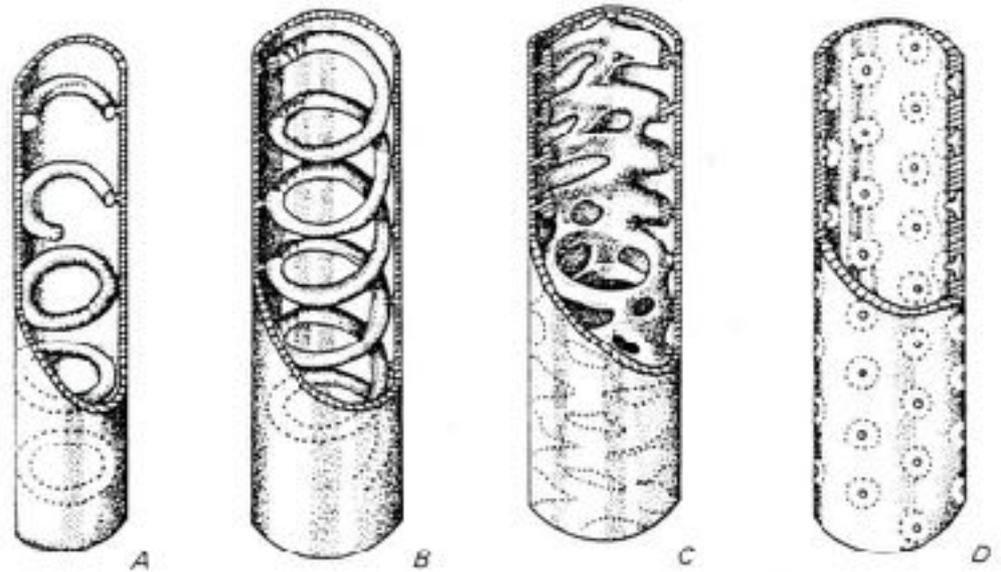


FIG. 29.31 • Tipi differenti di vasi: A, anulati; B, spiralati; C, reticolati; D, punteggiati. (Da Nutsch).



In base alle caratteristiche delle cellule che li compongono, si distinguono due tipi di vasi:

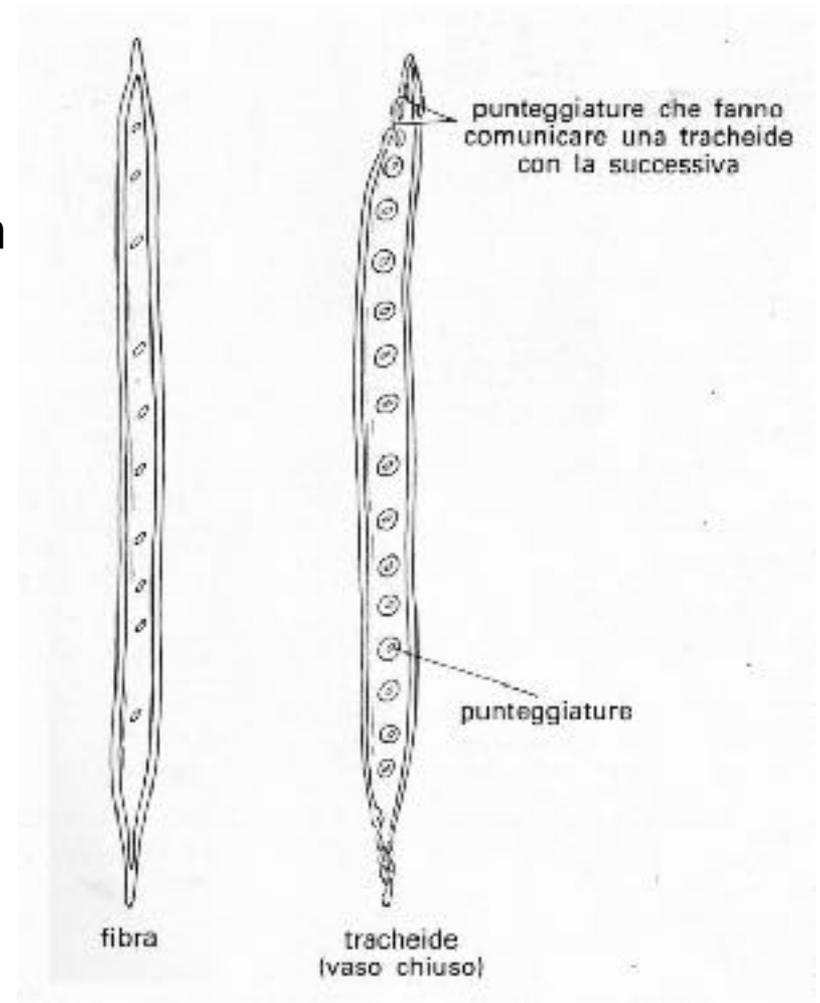
- **tracheidi**
- **trachee**



Le **TRACHEIDI** sono cellule allungate con estremità in genere appuntite, parete ampiamente lignificata (spesso molto lignificata: ad esempio nel caso delle fibrotracheidi delle conifere), con numerose punteggiature.

Lunghezza: ca. 0,3-10 mm  
diametro: ca. 30  $\mu\text{m}$ .

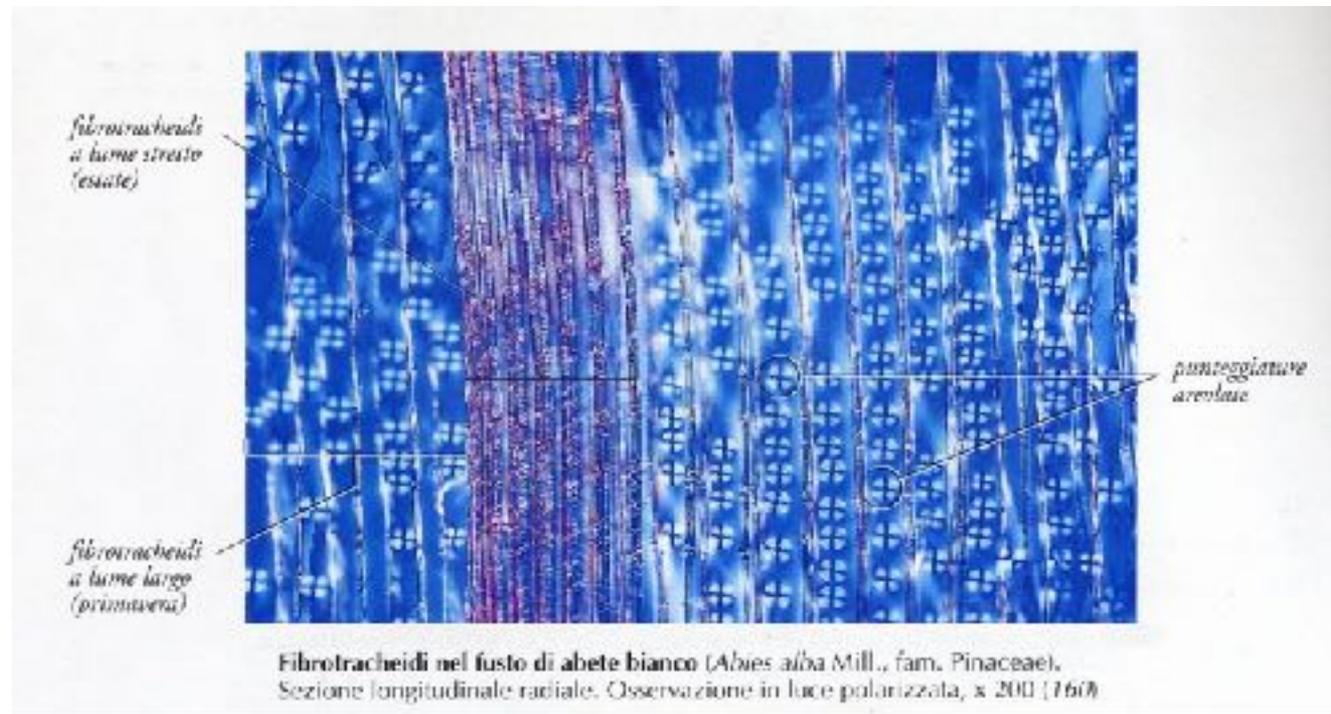
Le tracheidi sono presenti in quasi tutte le pteridofite, nelle gimnosperme, e nelle angiosperme.



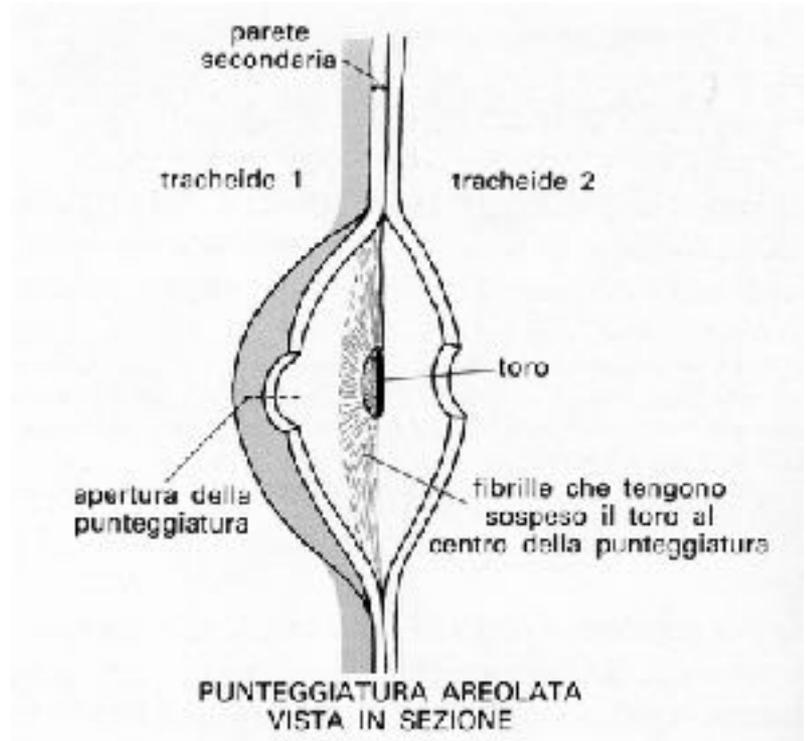
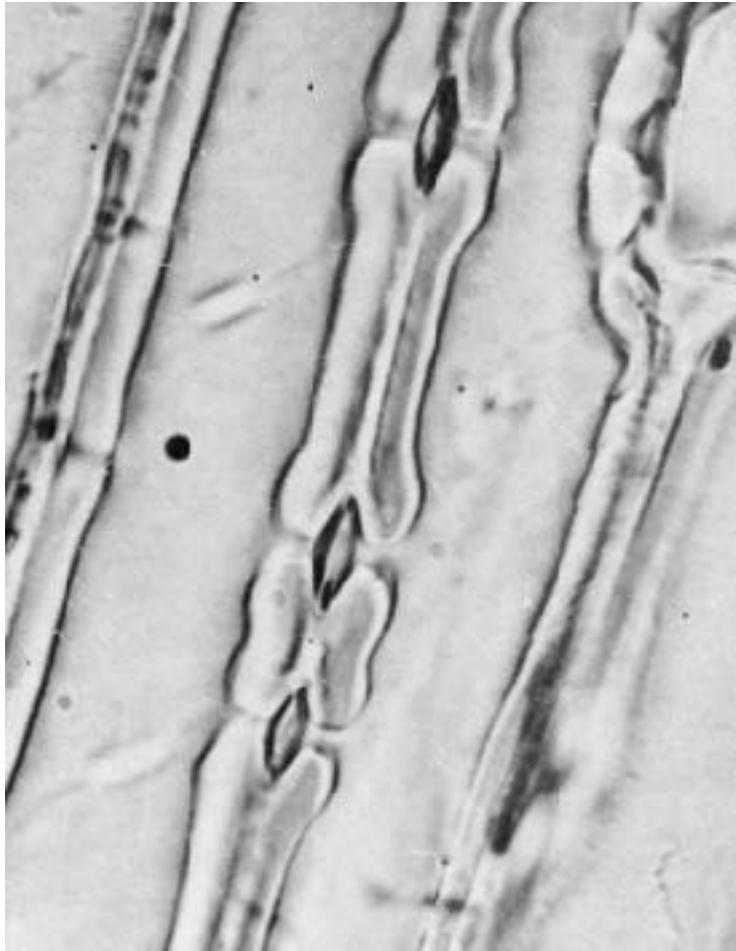


Nelle conifere, le **tracheidi** hanno **pareti fortemente ispessite**, e accanto alla funzione di trasporto della linfa grezza svolgono anche la **funzione di sostegno**, in assenza di vere e proprie fibre. Si parla perciò di **FIBROTRACHEIDI**.

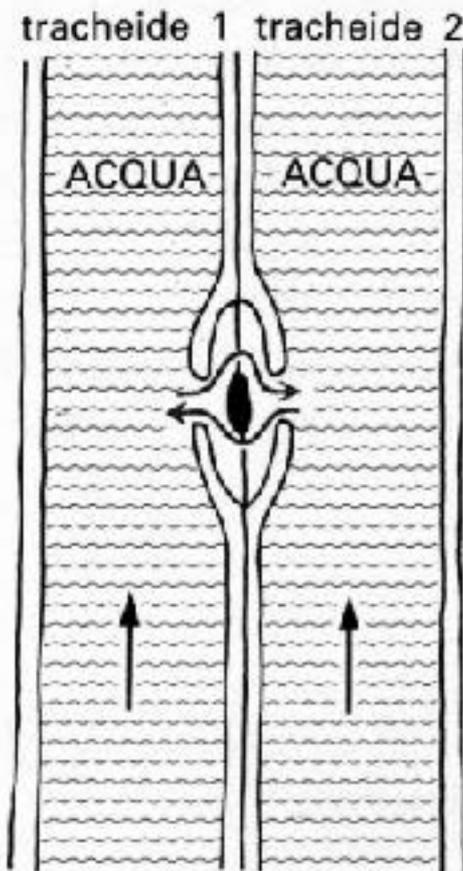
Queste presentano inoltre particolari specializzazioni, le **punteggiature areolate con toro**, per garantire in sicurezza il trasporto dell'acqua anche in direzione orizzontale, tra i diversi elementi.



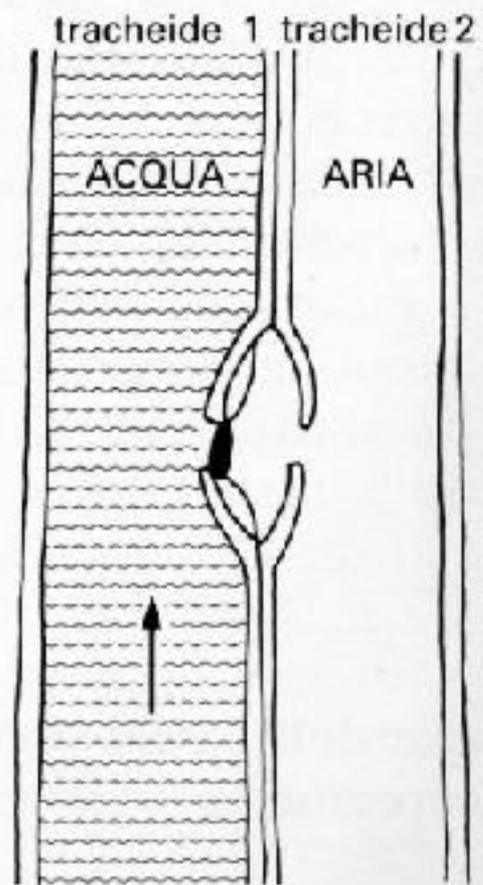
# Punteggiature areolate delle tracheidi di conifere



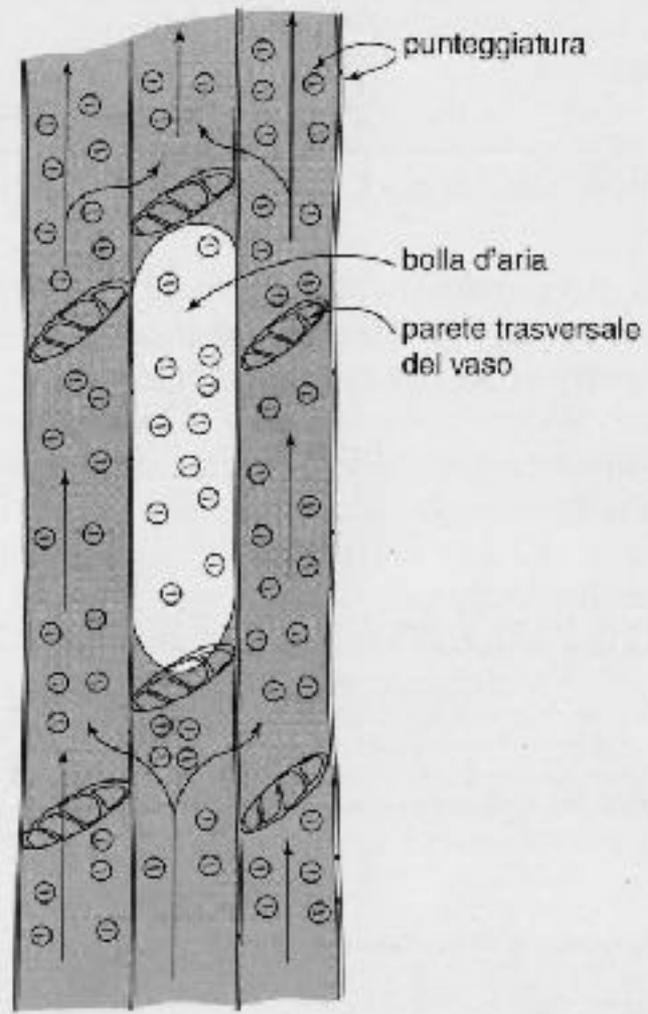
Punteggiature areolate in fibrotracheidi di una conifera viste in sezione al microscopio ottico.



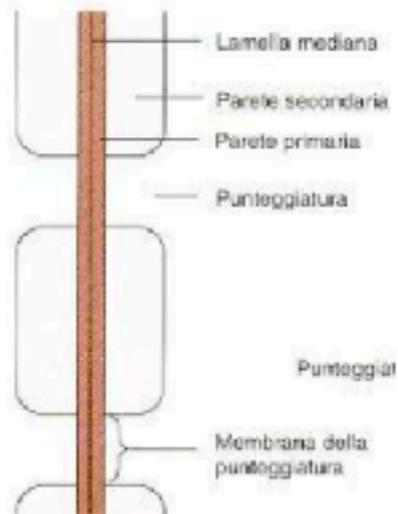
Se ambedue le tracheidi sono piene d'acqua la valvola è aperta. L'acqua può passare liberamente da una tracheide all'altra.



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.

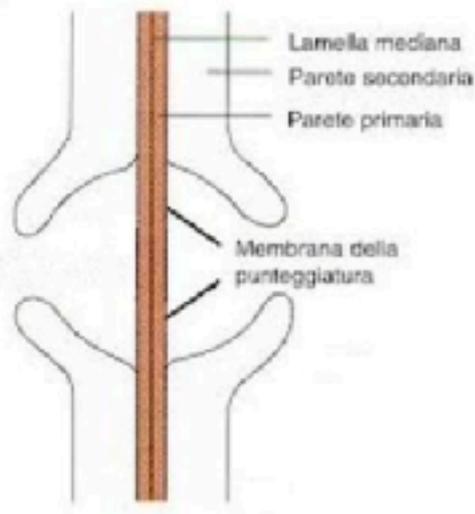


Una bolla d'aria in un vaso lo blocca, ma l'acqua riesce ad aggirare l'ostacolo passando nei vasi vicini in corrispondenza dell'ostacolo. Questo passaggio è reso possibile dalle punteggiature. (Da Taiz-Zeiger, «Plant Physiology», modificato).



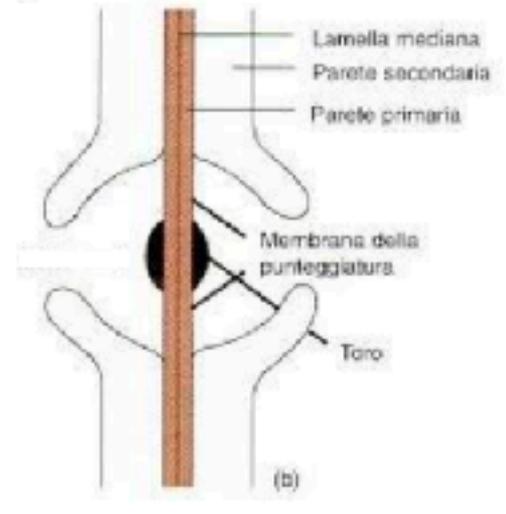
**Punteggiatura  
semplice**

parenchima  
sclerenchima



**Punteggiatura  
areolata**

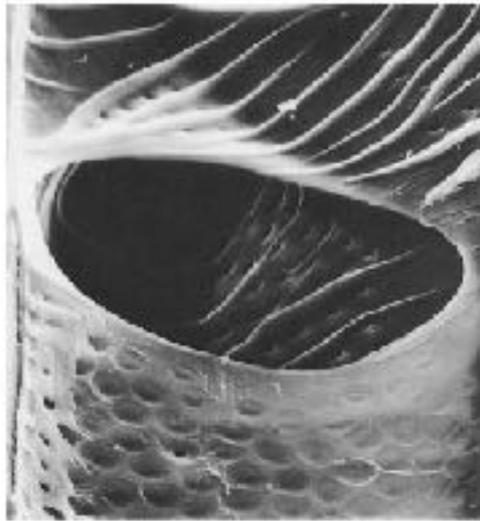
vasi  
Angiosperme



**Punteggiatura  
areolata con toro**

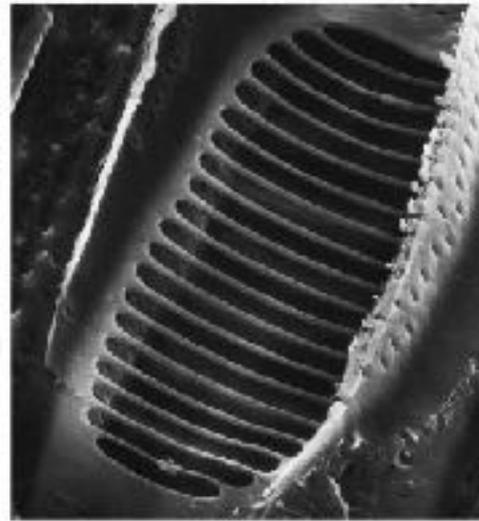
vasi (fibrotracheidi)  
delle Conifere

Le **TRACHEE** sono elementi composti, formati da più cellule ("elementi della trachea") impilate le une sulle altre, a formare delle colonne lunghe eccezionalmente anche alcuni metri, in cui sono andate perse del tutto o quasi del tutto le pareti trasversali, per cui si forma una sorta di tubo pluricellulare.



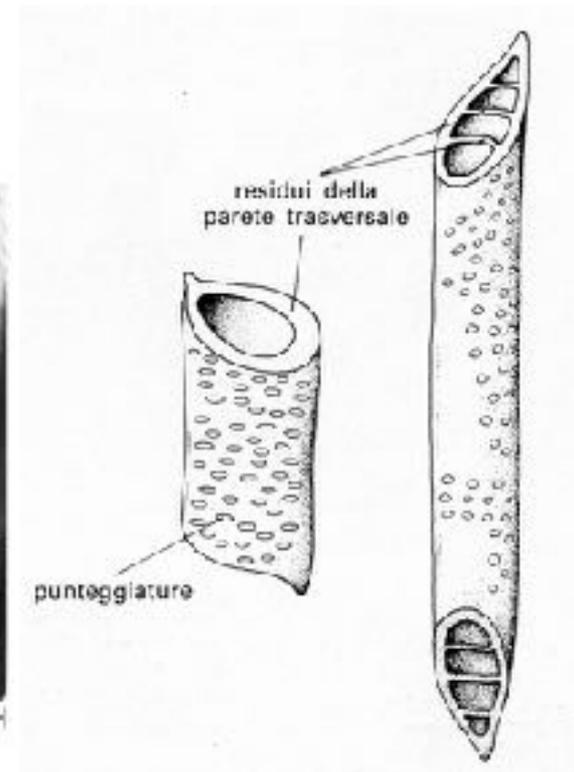
(a)

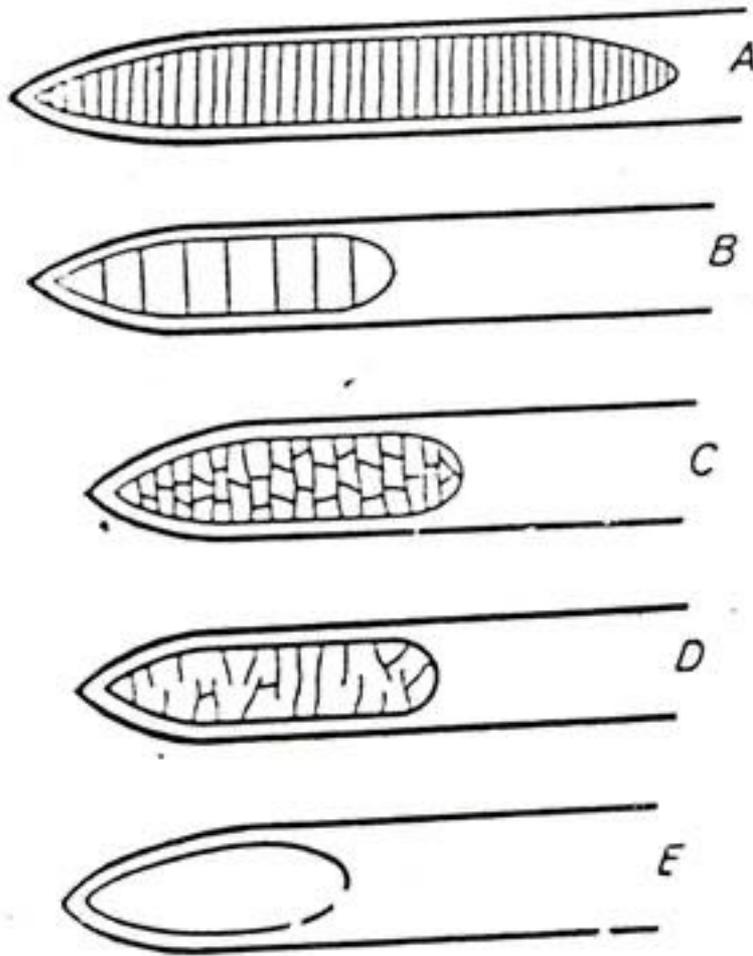
20  $\mu$ m



(b)

20  $\mu$ m



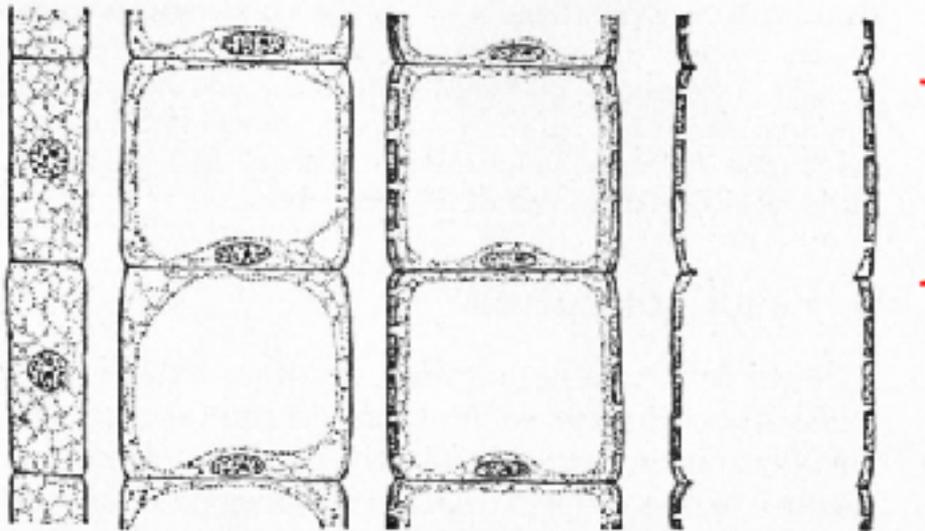


Tipi di perforazioni della parete trasversale:

A, B: scalariformi

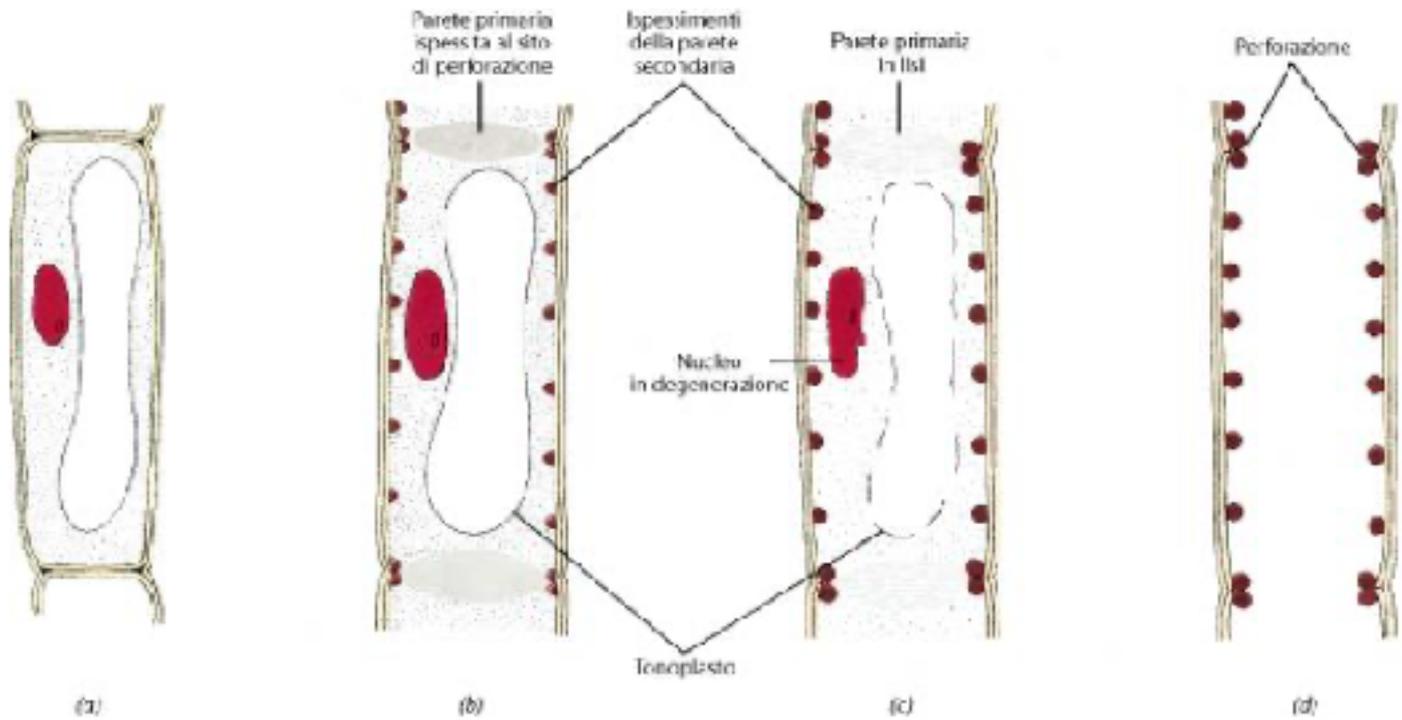
C, D: reticolate

E: complete



elemento  
tracheale

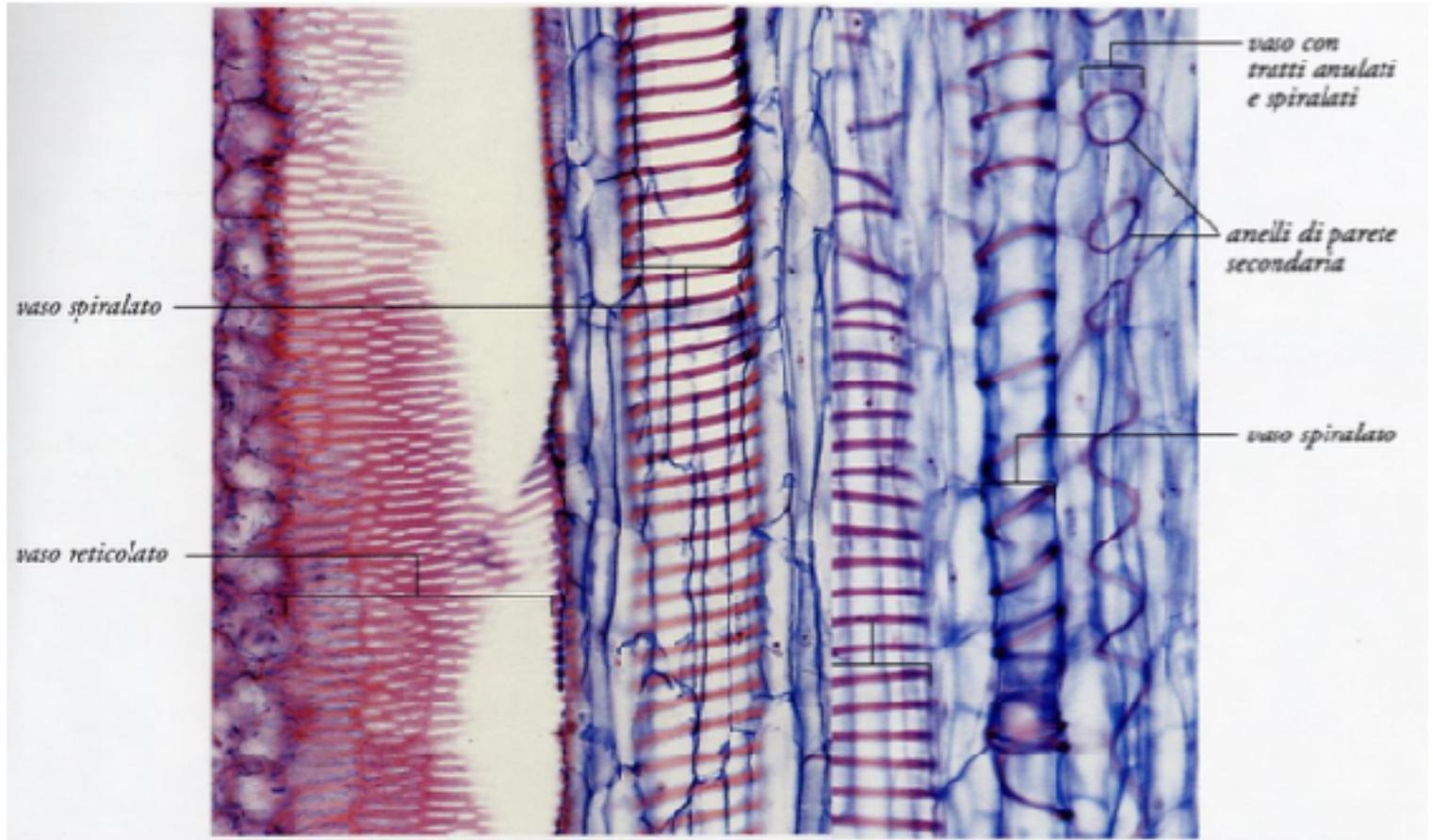
T  
R  
A  
C  
H  
E  
A



Schema dello sviluppo di un elemento tracheale.

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*).



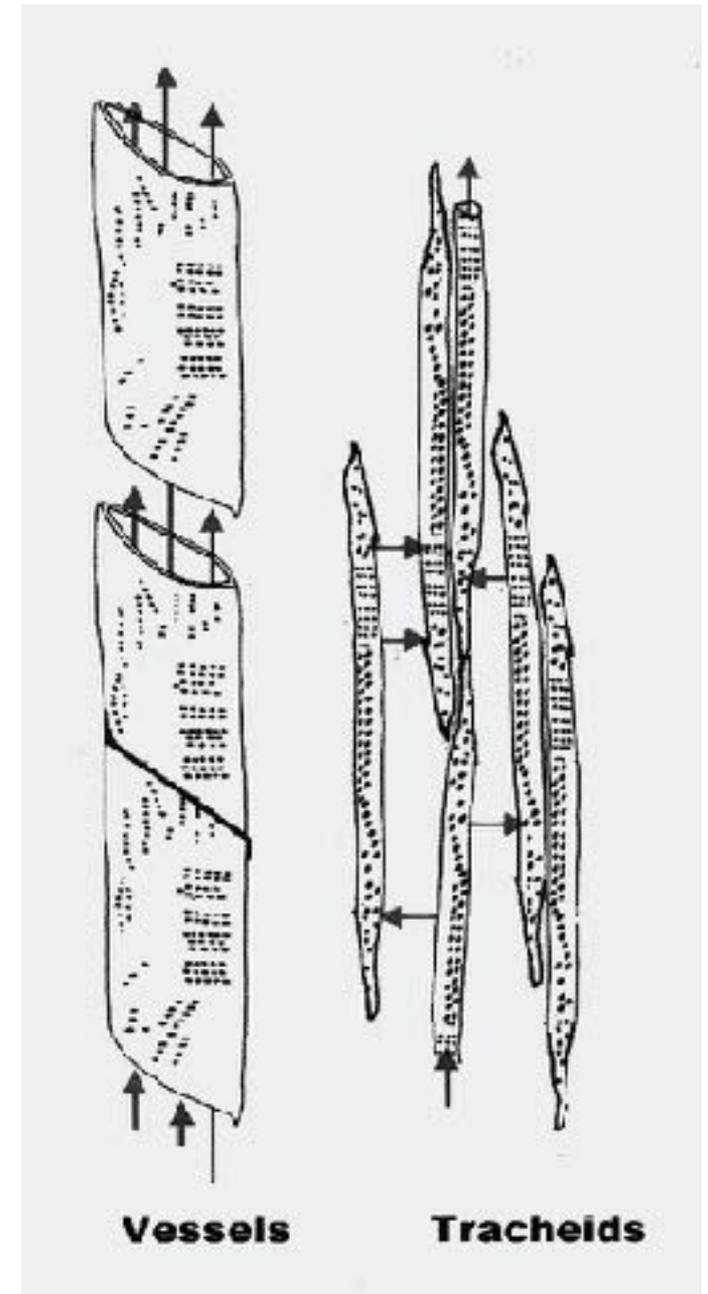


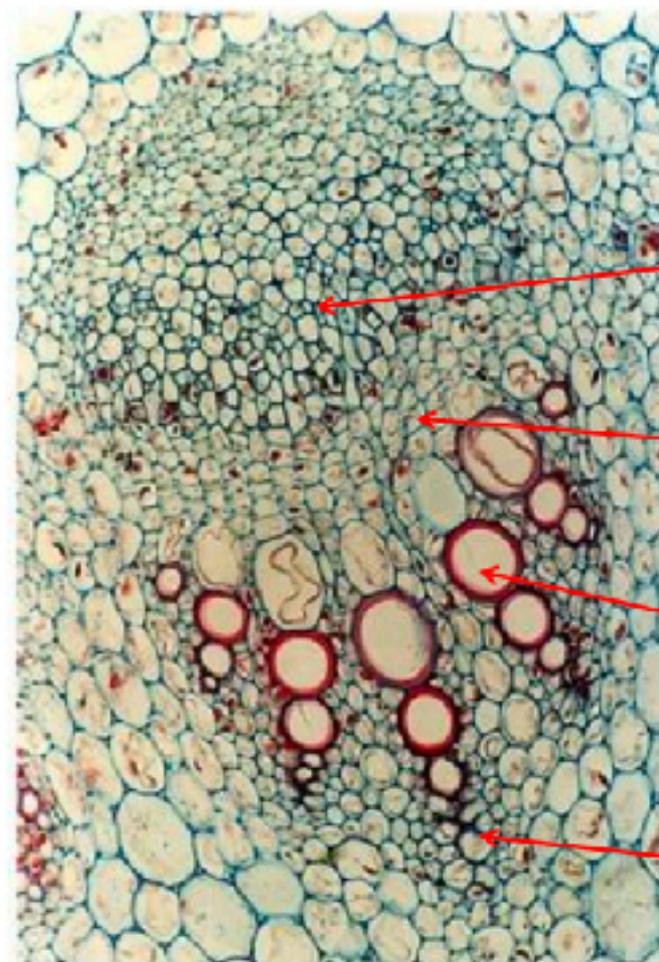
I primi due tipi di ispessimento (anulato e spiralato) permettono ancora l'allungamento della cellula prima che questa muoia, e quindi sono tipici dello xilema che si forma per primo [**protoxilema**].



Rispetto alle tracheidi, le trachee (“**vessels**” in inglese) trasportano con maggior efficienza l'acqua perché hanno un lume più ampio, e non ci sono setti apicali a limitare il flusso tra un elemento e l'altro.

Esse sono però maggiormente esposte al pericolo dell'embolia, cioè alla formazione di bolle di gas che occludono il vaso, bloccando il passaggio della linfa grezza. In molte piante le trachee rimangono funzionali per tempi molto brevi (in alcuni alberi addirittura per una sola stagione).



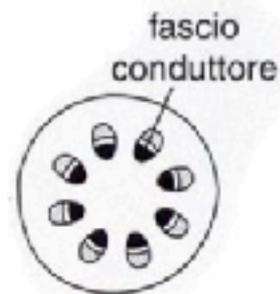


protofloema  
floema  
metafloema

cambio

metaxilema: vasi grandi  
(trachee reticolate, scalariformi, ...)

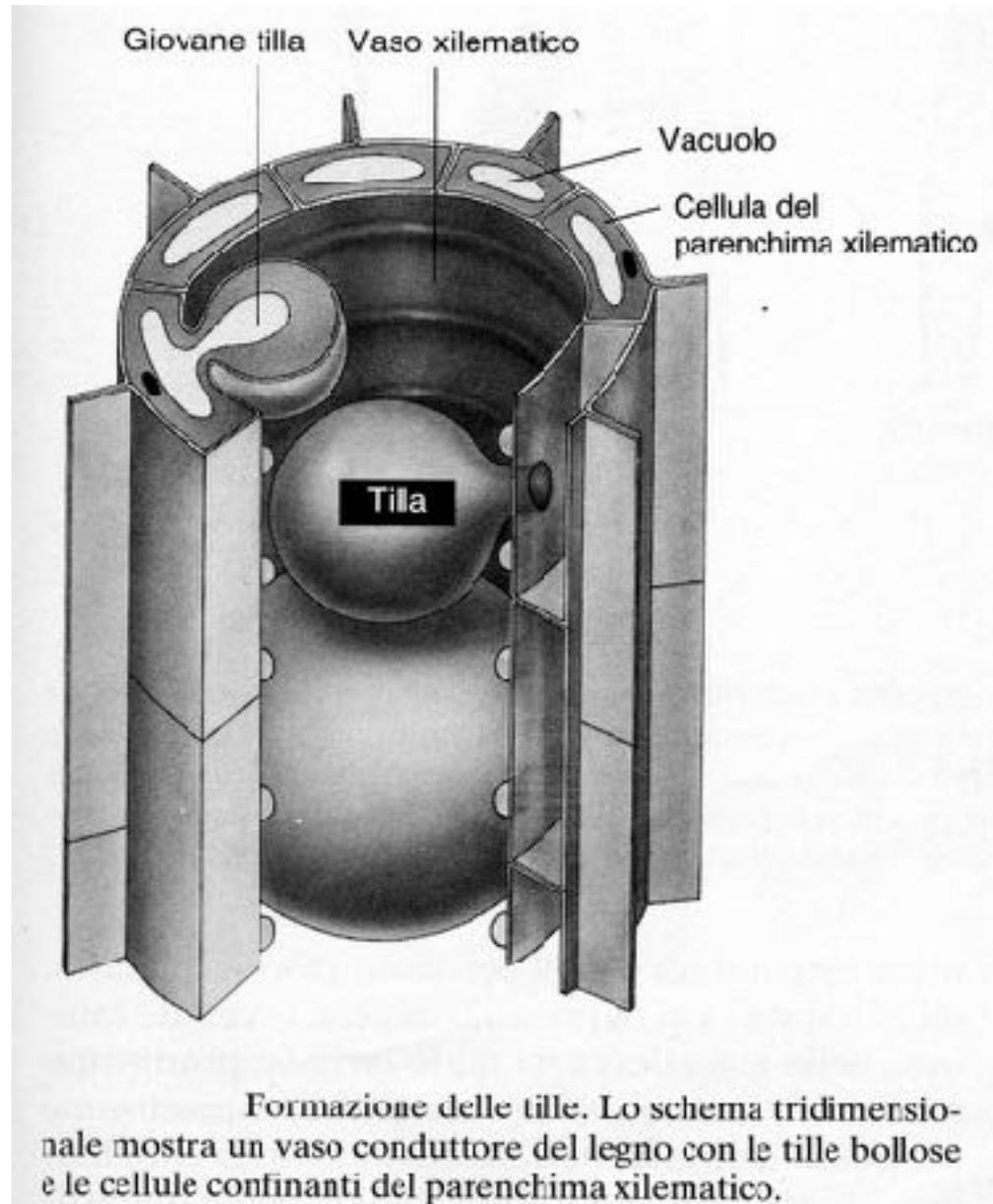
protoxilema: vasi piccoli  
(tracheidi anulate o spiralate)



Fascio cribrovascolare collaterale aperto  
(sezione trasversale), nel fusto in struttura  
primaria di una Dicotiledone



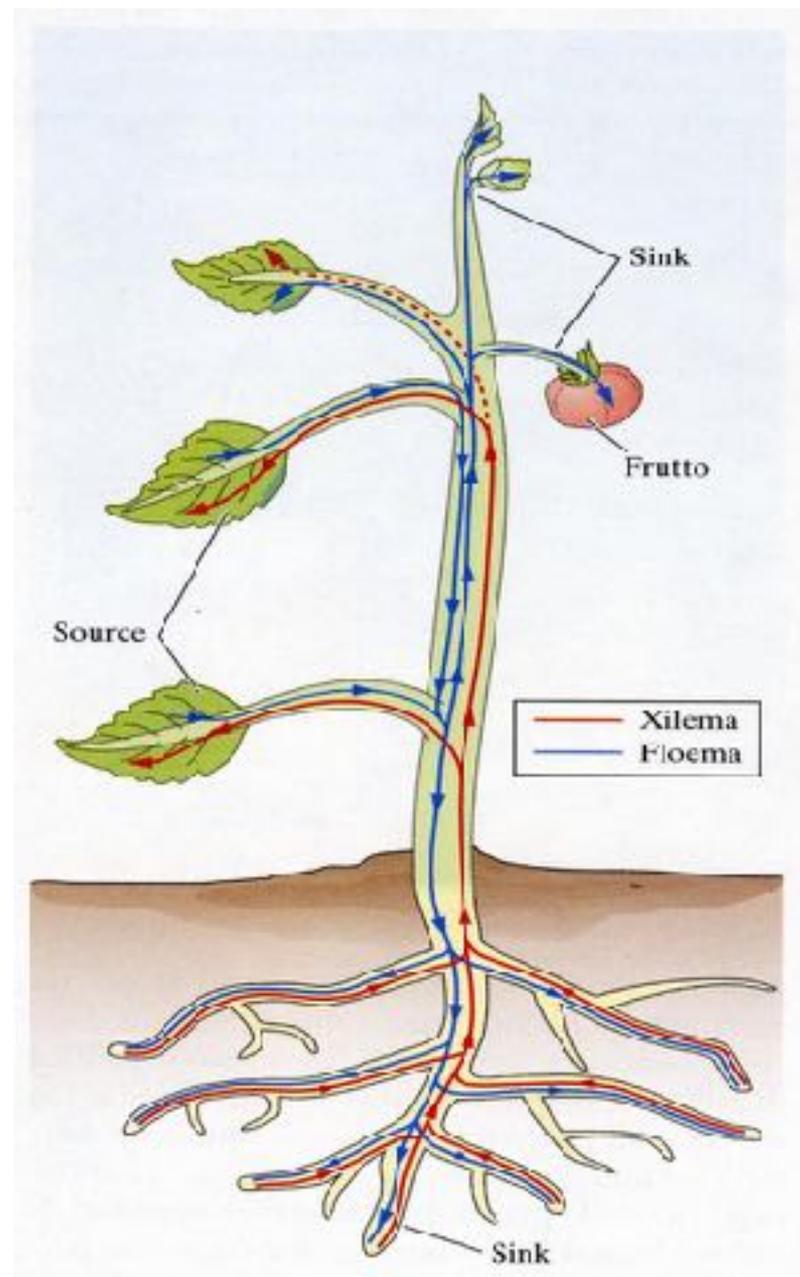
In molti casi alla fine della stagione di crescita le cellule parenchimatiche invadono il lume tracheale attraverso le punteggiature, formando strutture vescicolari, le **TILLE**, che occludono i vasi.





## FLOEMA

Trasporto della “LINFA ELABORATA”, acqua e molecole organiche (mono- ed oligosaccaridi, fitormoni, aa, etc.) dai diversi organi di produzione agli organi che li devono accumulare o consumare, ad es. dalle foglie agli organi di riserva, ai frutti in formazione, ai tessuti in attiva crescita.



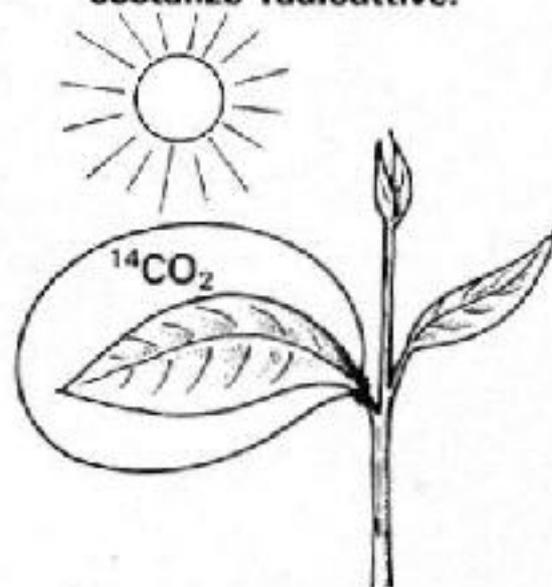


**Il composto organico radioattivo è somministrato dall'esterno.**



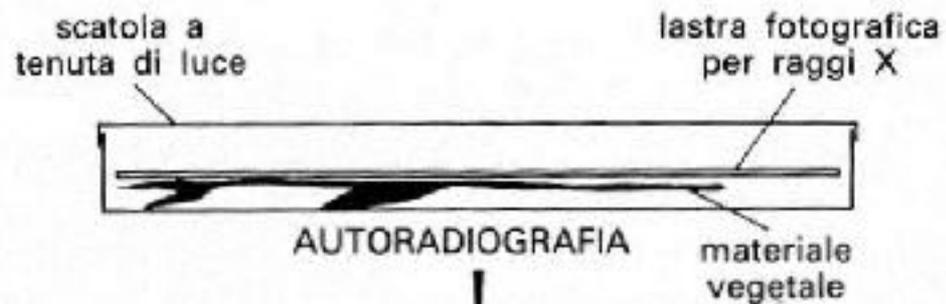
**Un lembo ritagliato da una foglia pesca nella soluzione del composto radioattivo.**

**Alternativamente è la foglia stessa che sintetizza sostanze radioattive.**

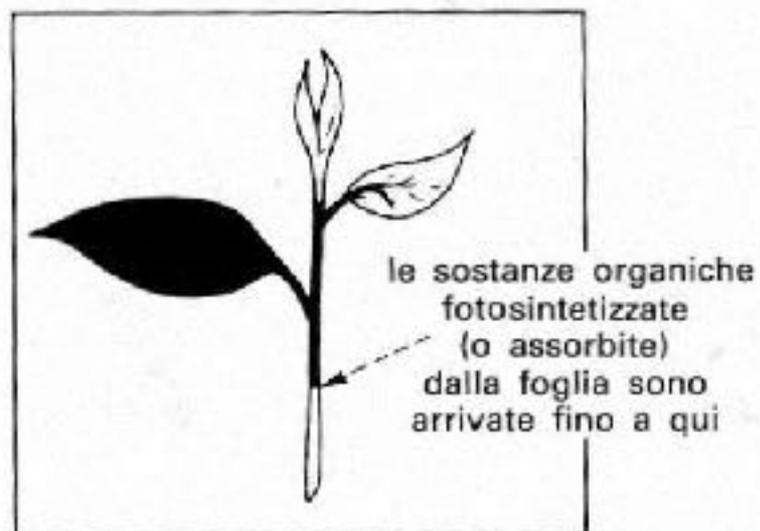


**Una foglia è racchiusa in un sacchetto di plastica che contiene un'atmosfera con  $\text{CO}_2$  radioattiva. La foglia sintetizza sostanze organiche radioattive.**

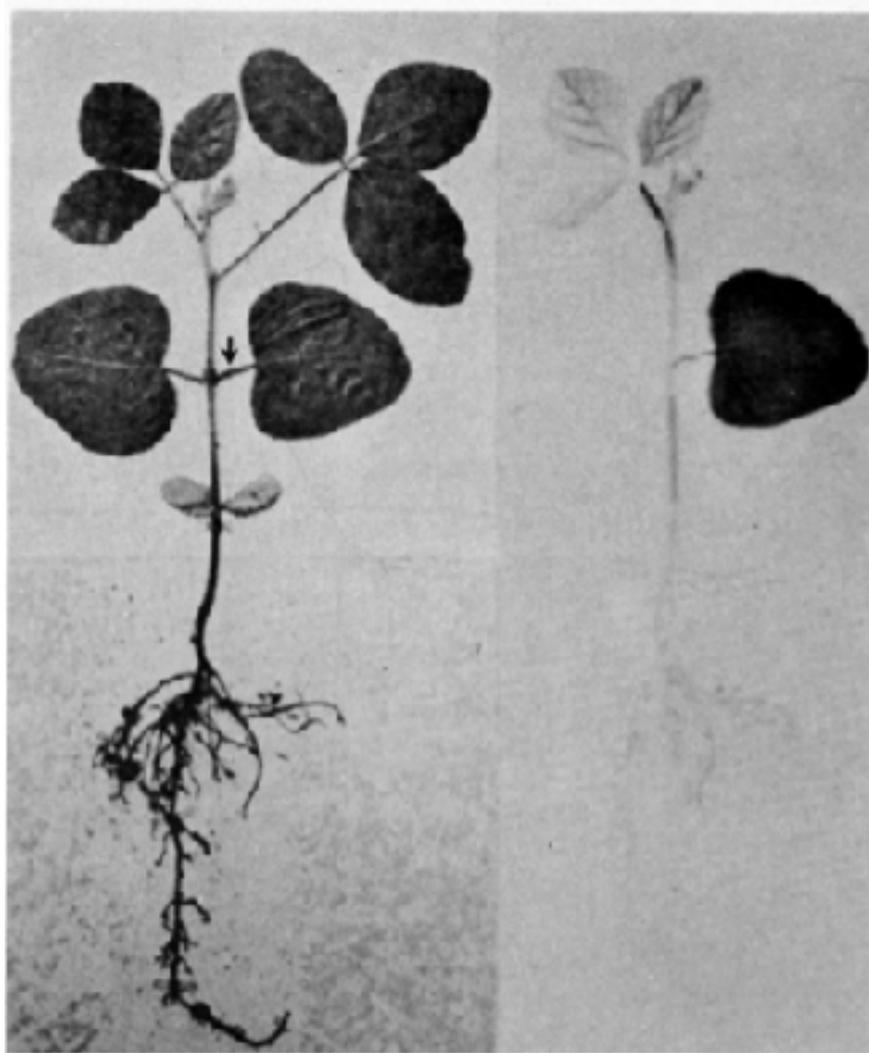
**Il materiale vegetale viene congelato ed essiccato per impedire un ulteriore trasporto delle sostanze radioattive.**



Dopo 2 settimane la lastra fotografica viene sviluppata.



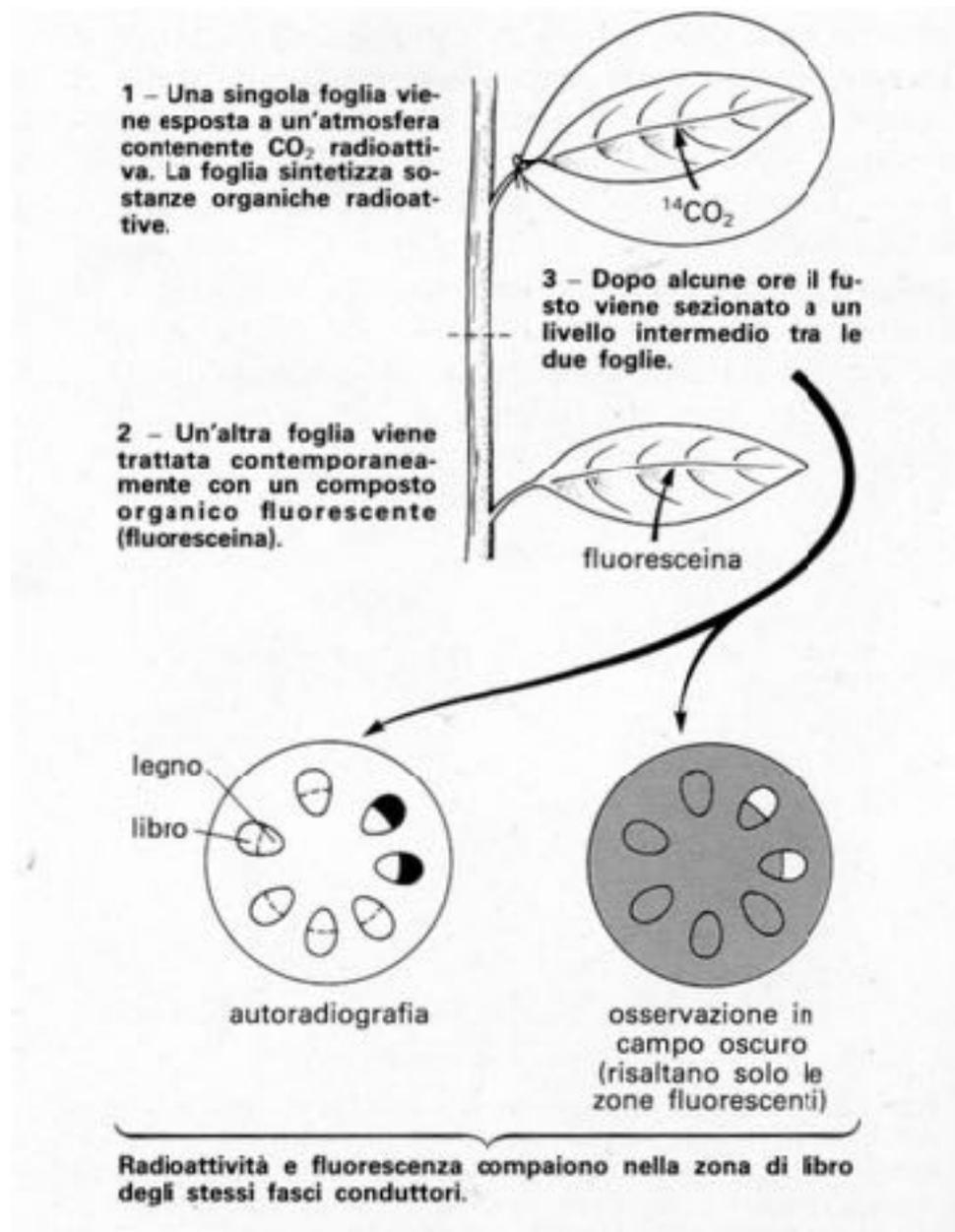
Le zone annerite indicano la presenza di sostanze organiche radioattive.



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  $CO_2$  radioattivo. 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).



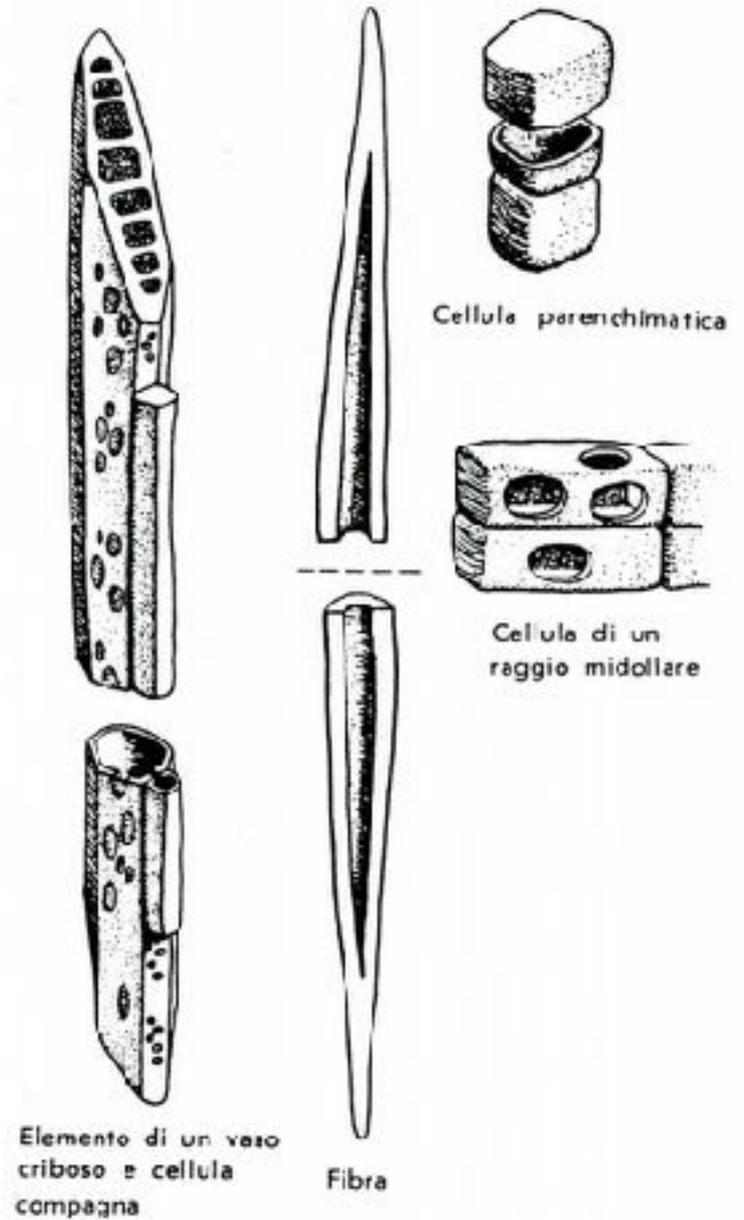
Con questo esperimento si dimostra come il trasporto possa avvenire contemporaneamente nei due sensi all'interno dello stesso internodo.

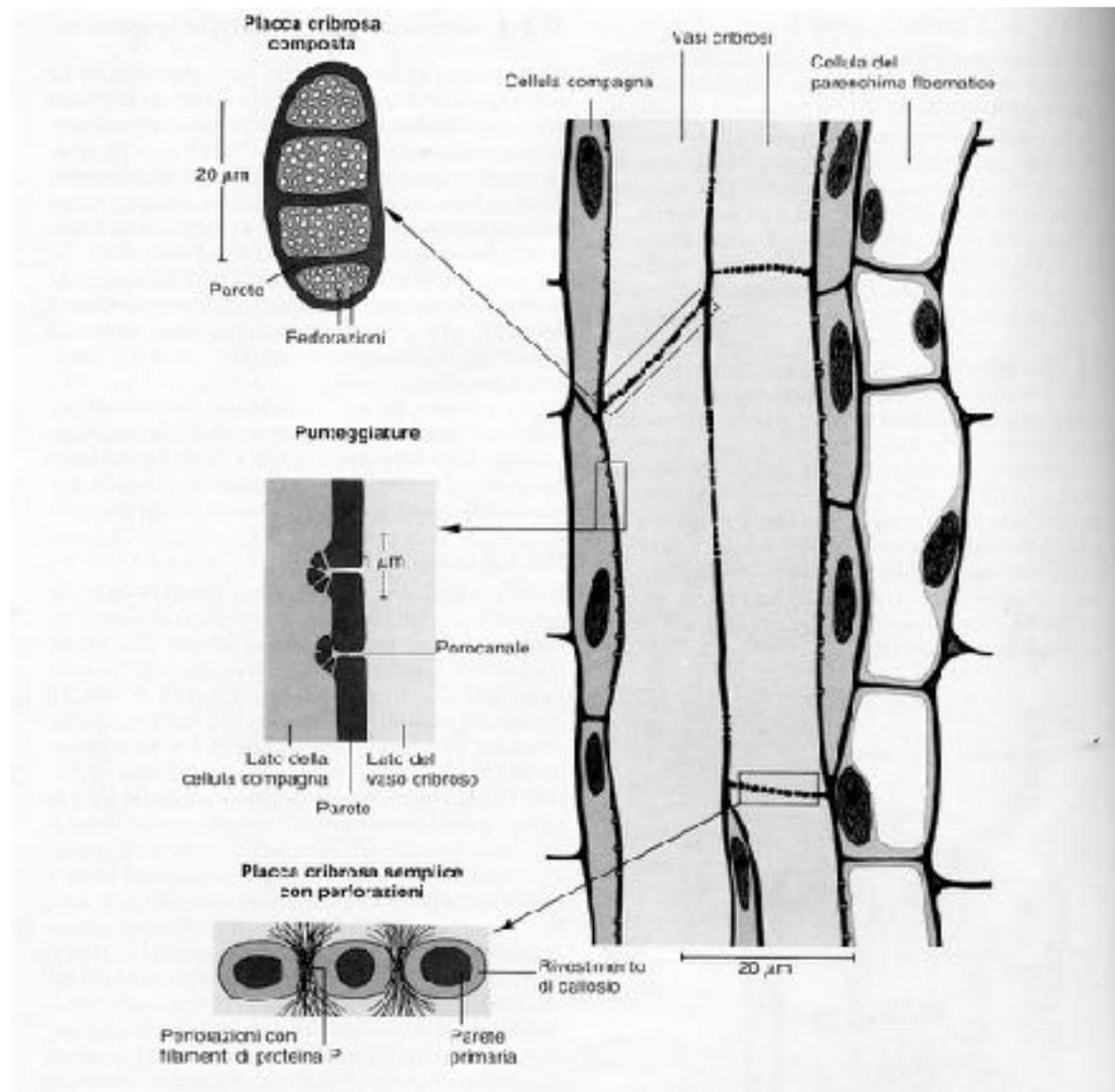




## Tessuto composto:

- elementi dei tubi cribrosi (Angiosperme)
- fibre
- parenchima





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

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

compagna. Tale parete è interrotta da numerose punteggiature ramificate. In basso, sezione longitudinale di una placca cribrosa. I pori rivestiti di celulosio, sono attraversati da una proteina P fibrillare.



## Elementi dei tubi cribrosi:

Composti da cellule allungate, **a maturità vive**, ma con il nucleo che degenera, e con vacuolo che scompare.

Le pareti trasversali e laterali hanno grossi pori (**pori cribrosi**) in cui passano i plasmodesmi.

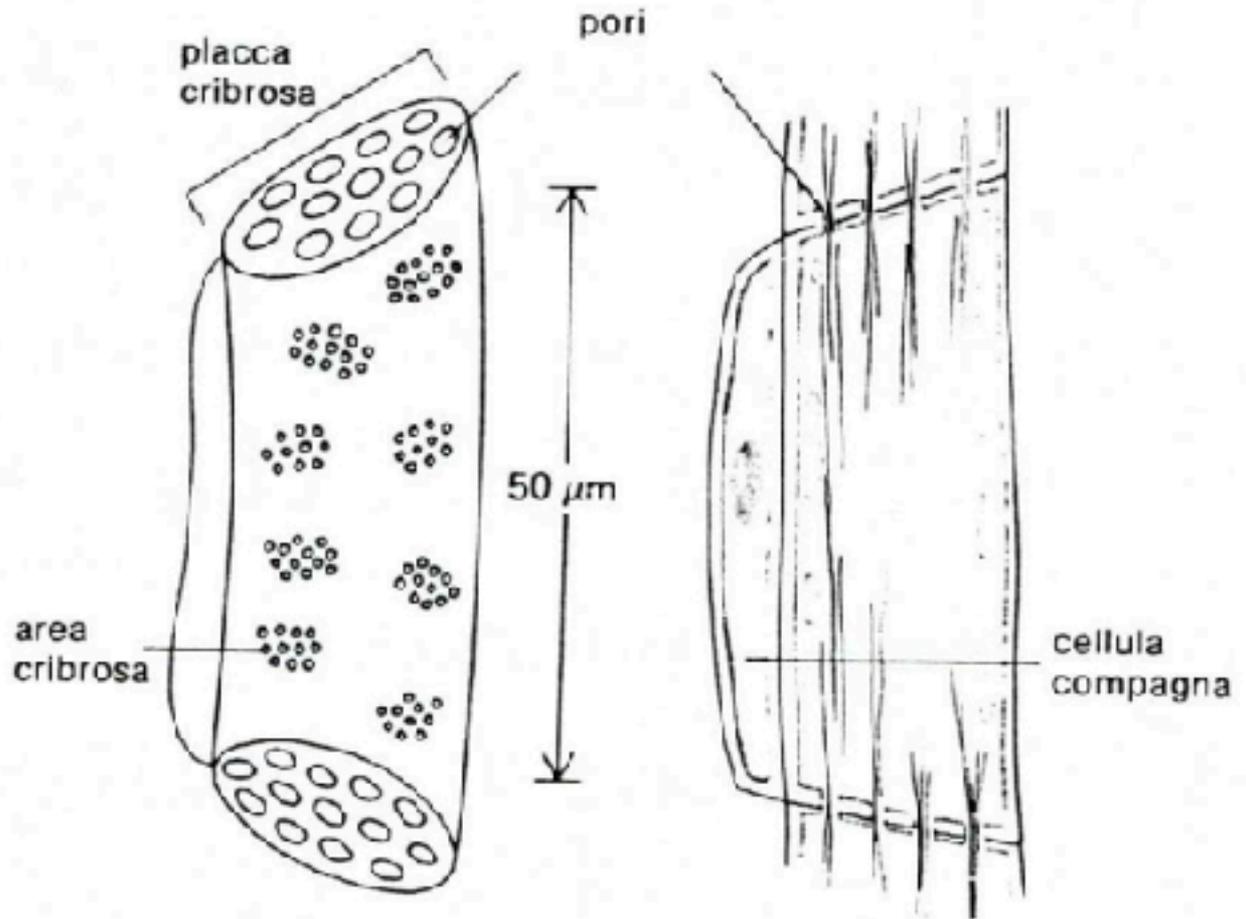
I pori cribrosi sono raggruppati in zone dette **aree cribrose** nelle pareti laterali.

I pori cribrosi maggiori sono invece concentrati in aree chiamate **placche cribrose** nelle pareti trasversali.

I pori delle placche cribrose sono tappezzati da **callosio**.



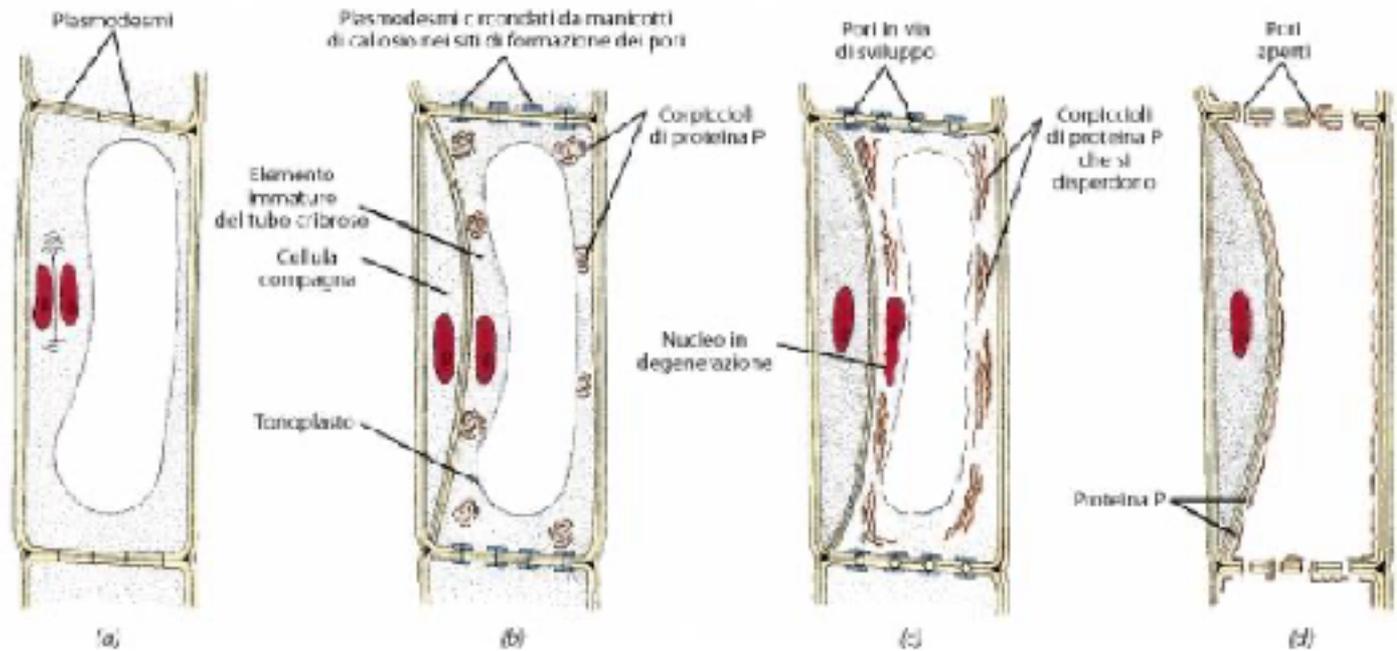
FLOEMA



vista esterna di un elemento di tubo cribroso

elemento di tubo cribroso in sezione trasversale

## DIFFERENZIAMENTO DEGLI ELEMENTI DEI TUBI CRIBROSI O LIBERIANI



Schema dello sviluppo di un elemento di un tubo cribroso (TC).

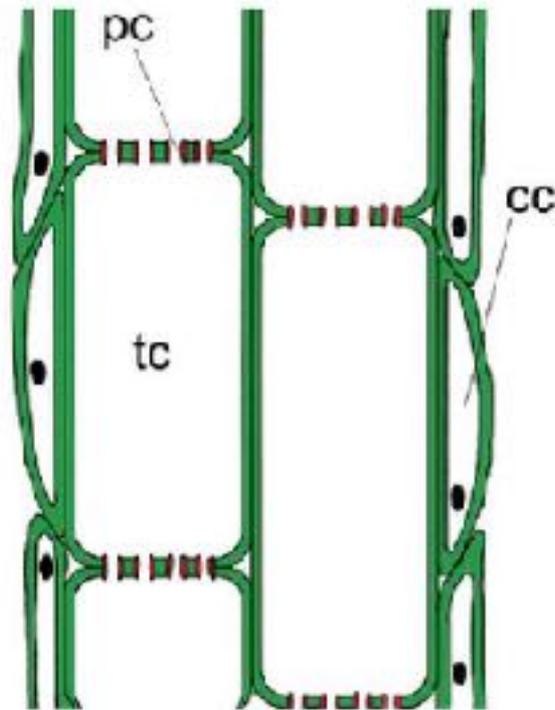


Figura 8.25  
Sezione longitudinale di tubi cribrosi (tc), cellule compagne (cc) e placche cribrose (pc) (disegno di R. Braglia).

I tubi cribrosi sono formati da cellule allungate sovrapposte.

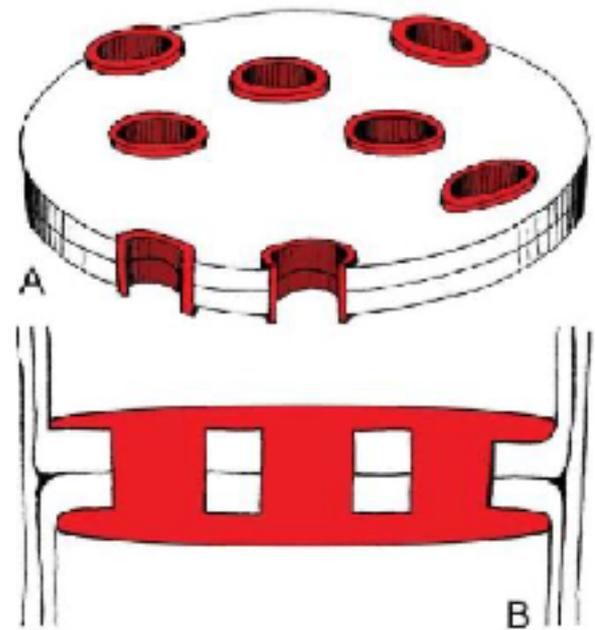
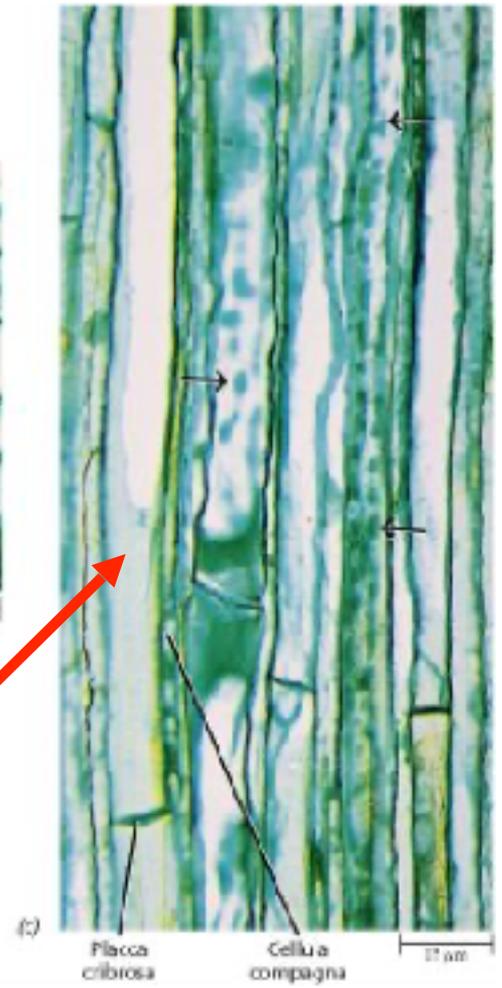
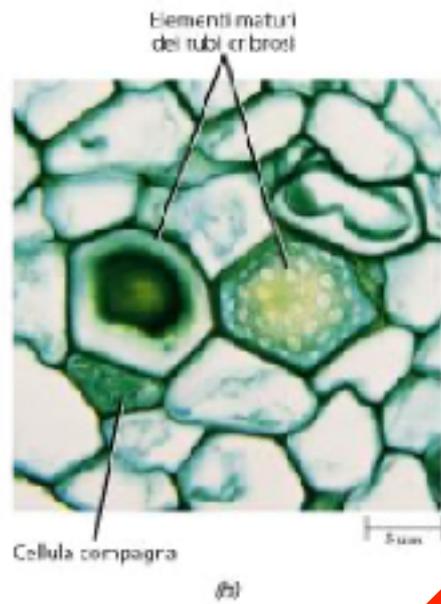
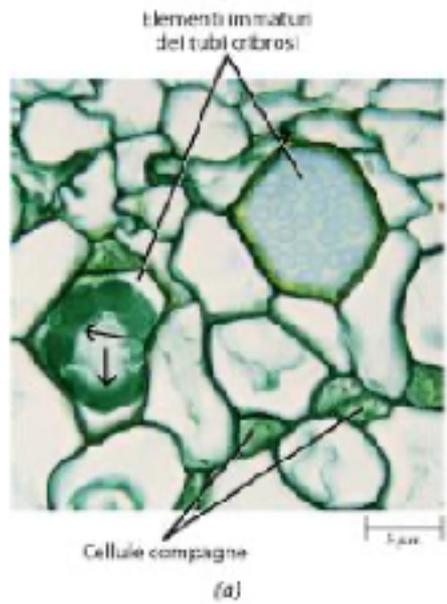
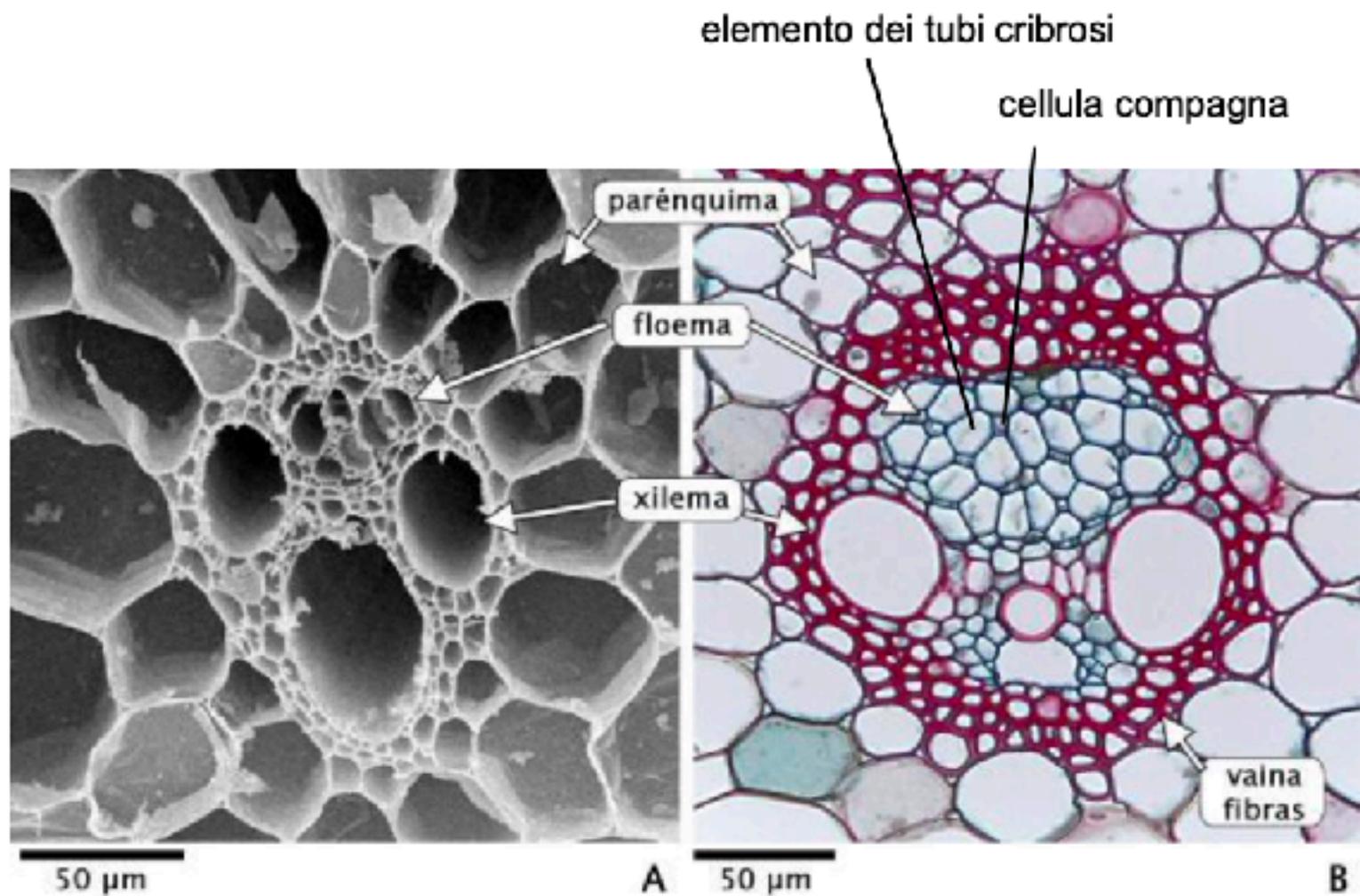


Figura 8.27  
Particolare di placche cribrose con rivestimenti di callosio (A, in rosso) e con callo (B, in rosso) (disegno di R. Braglia).

I tubi cribrosi restano funzionali per una stagione vegetativa, poi il rivestimento di callosio si amplia e la placca cribrosa viene coperta sulle due facce da callosio



elemento del  
tubo cribroso



Fascio conduttore nel fusto del mais (*Zea mays*)



## FASCI CONDUTTORI O CRIBRO-VASCOLARI

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

I fasci vascolari (xilema) e cribrosi (floema) sono più o meno vicini tra loro, e formano così un unico fascio, chiamato **fascio cribro-vascolare**.

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

Sia il **floema** e che **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 (X) e floema (F) si distinguono diversi tipi di fasci cribro-vascolari:

- **collaterale**

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

- **bicollaterale** (C): fascio aperto con F sia interno ed esterno

- **concentrico** (D): un fascio circonda l'altro, senza tessuti meristematici

- **radiale**: X e F in cordoni disposti a raggio
  - *chiuso* (E)
  - *aperto*

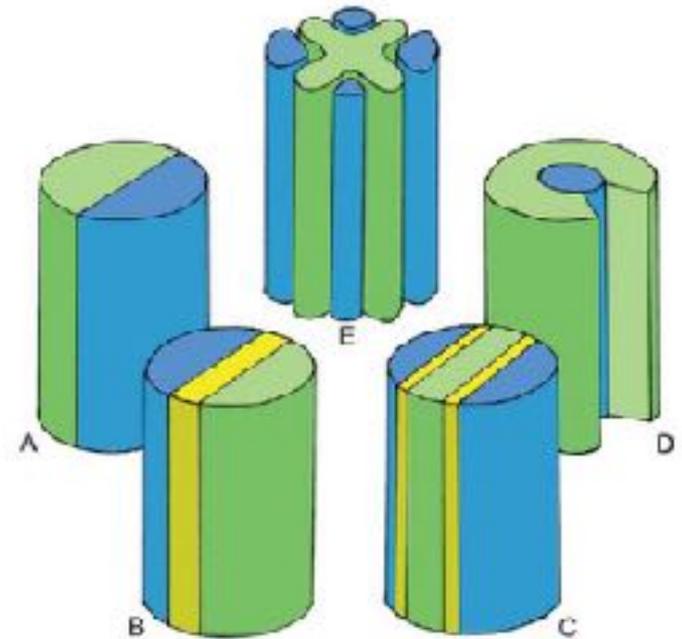
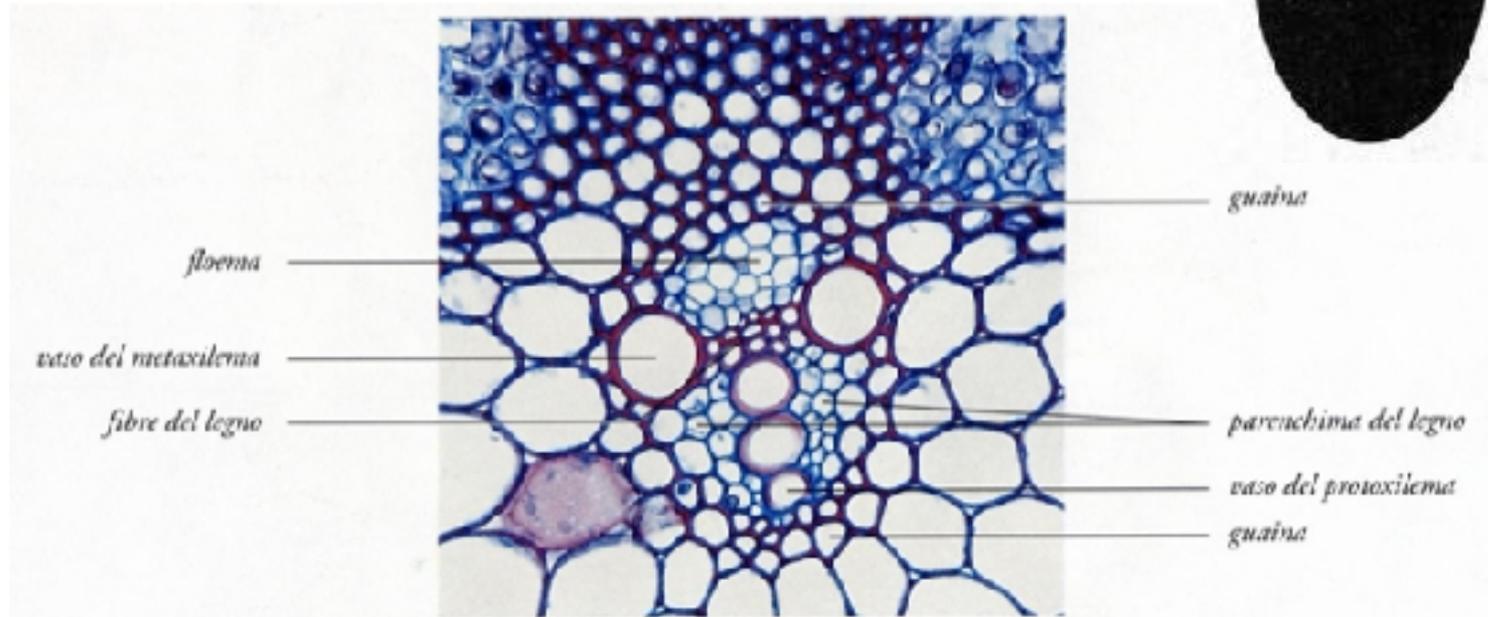


Figura 8.29

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).



# Fascio collaterale chiuso



**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.

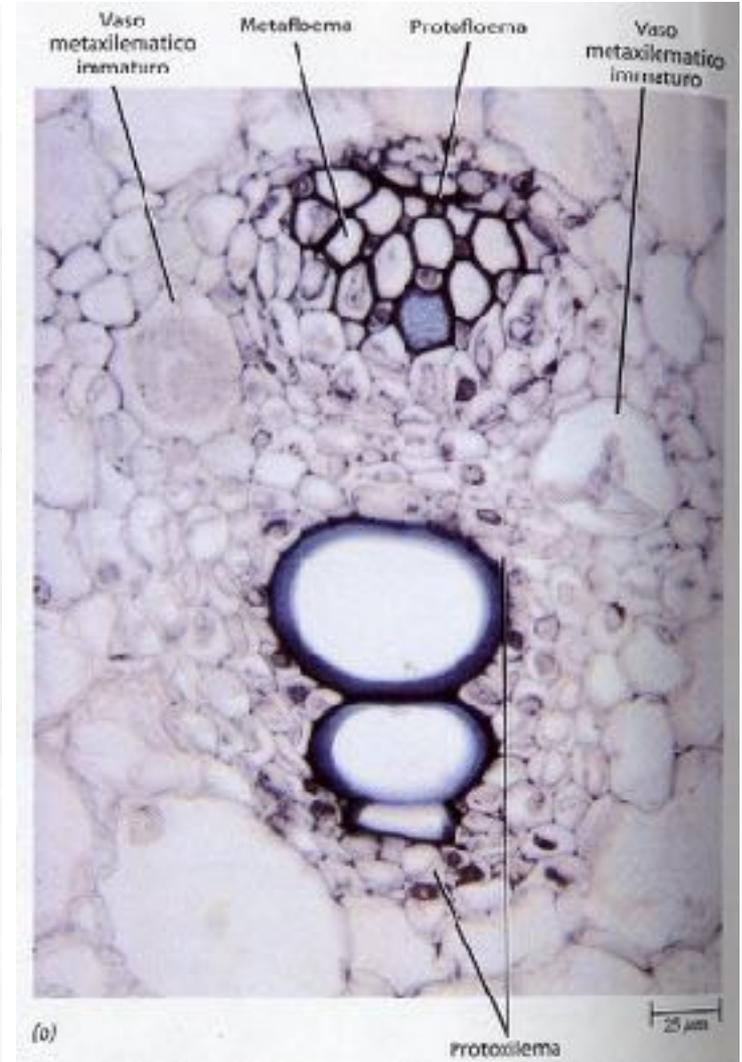
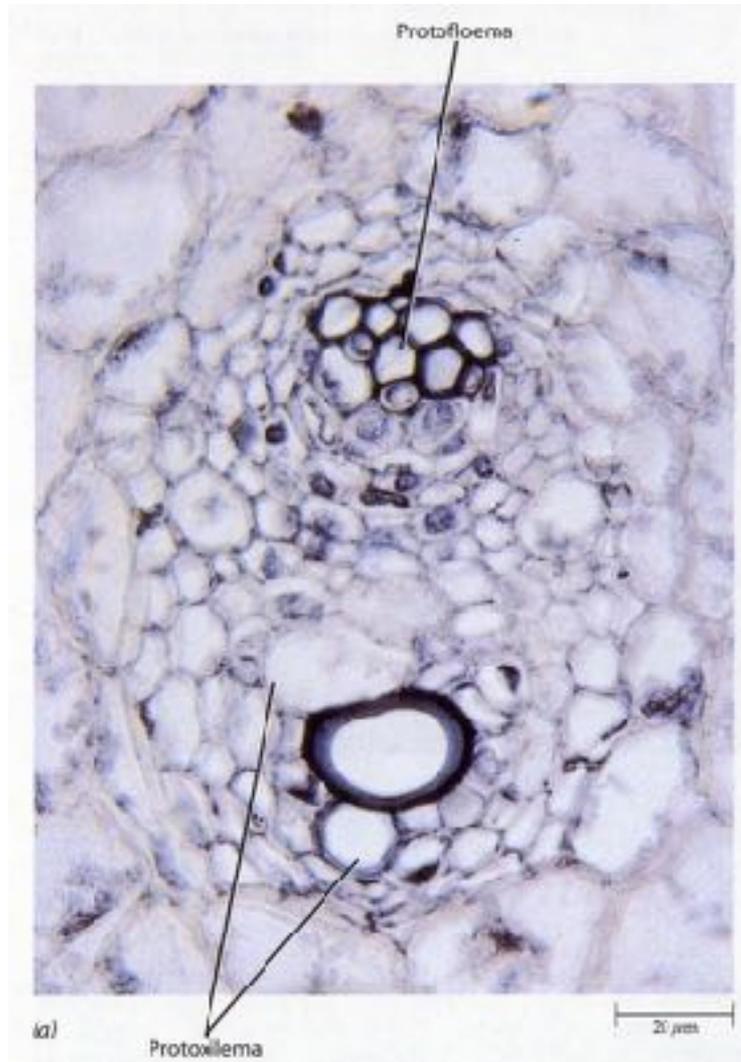
I fasci, in genere, sono accompagnati da elementi di rinforzo meccanico; in questo caso, caratteristico del fascio chiuso, una *guaina* completa costituita da fibre sclerenchimatiche avvolge l'intero fascio.



Questo tipo di fasci è caratteristico delle Monocotiledoni e delle **piante erbacee** Dicotiledoni nelle parti del caule che sono prive di accrescimento secondario in spessore.

Contengono inoltre fasci collaterali chiusi quasi tutte le nervature delle **foglie**, che sono generalmente organi a crescita definita.

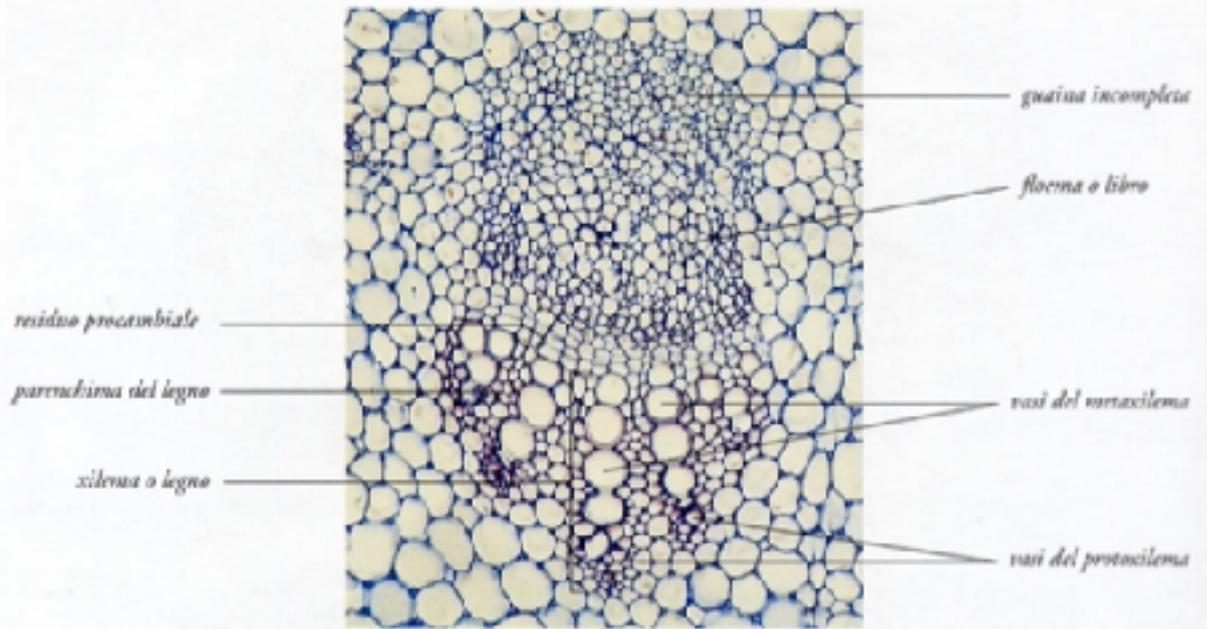
Il differenziamento procede a partire dai due poli più esterni verso la zona centrale, iniziando dal polo floematico.



# Fascio collaterale aperto



Nei fasci aperti una parte delle cellule del cordone procambiale non si sono differenziate, mantenendo proprietà meristematiche



Fascio collaterale aperto nel fusto di girasole (*Helianthus 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 spirali, anulati, anulo-spirali). 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 procambiale.



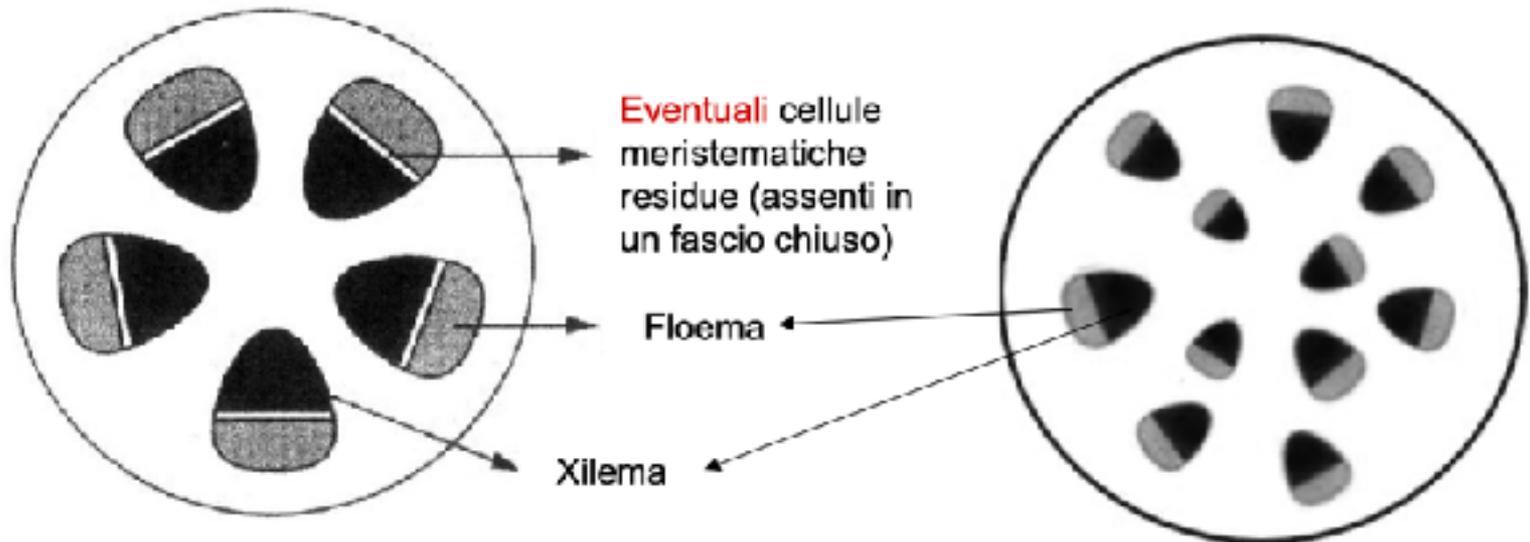
Il **tessuto meristemático** residuo dei fasci collaterali aperti (*che ha caratteristiche citologiche diverse dai meristemi primari, perché le cellule sono vacuolarizzate*) potrà dividersi, e una parte delle cellule potrà differenziarsi in nuovi elementi **xilematici** e **floematici**, che andranno ad aggiungersi a quelli preesistenti, che progressivamente non saranno più funzionanti. Ciò comporterà un **aumento in spessore** dell'organo, con imponenti cambiamenti (“**accrescimento secondario in spessore**”).

Fasci collaterali aperti sono assenti nelle Monocotiledoni e in tutte le parti di una pianta erbacea dicotiledone che NON ha accrescimento in spessore.

Essi caratterizzano invece tutte le piante “legnose”, perché l'accrescimento in spessore, che porta alla formazione di quel tessuto eterogeneo che chiamiamo “legno”, dipende dalla presenza di fasci aperti.



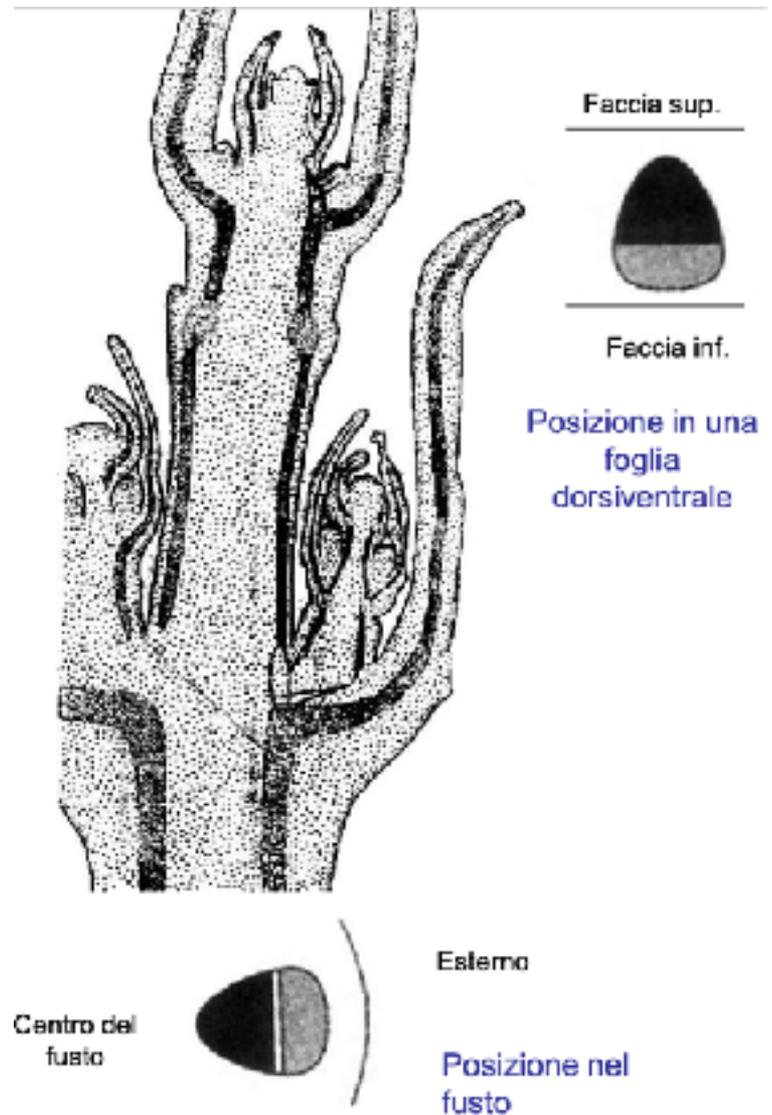
Nel caule, la porzione xilematica del fascio conduttore è collocata verso il centro dell'organo, quella floematica verso l'esterno, qualsiasi sia la disposizione dei fasci, **regolare** (anulata, a sinistra) o **irregolare** (a destra).



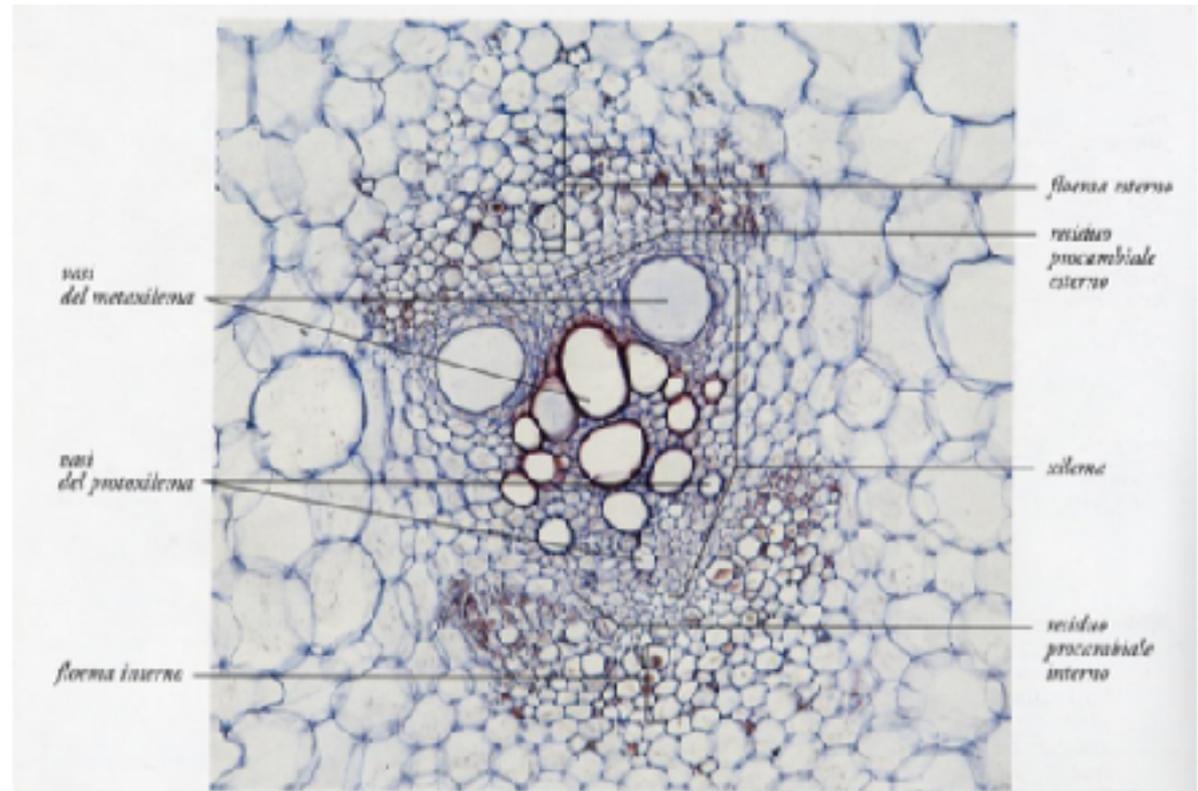
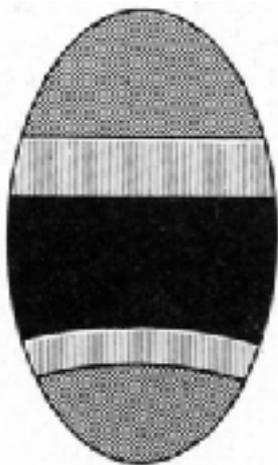


Nella foglia, sono presenti fasci conduttori collaterali chiusi. La loro disposizione dipenderà sempre dalla collocazione della lamina nello spazio.

In una foglia dorsiventrata (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] Centro del l’asse).



# Fascio bicollaterale aperto

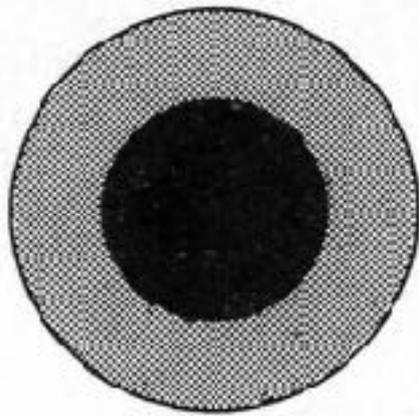


**Fascio bicollaterale nel fusto di zucca (*Cucurbita pepo* L., fam. Cucurbitaceae).**

Sezione trasversale x 100 (120)

Il fascio bicollaterale è un fascio aperto caratteristico del fusto in alcune famiglie di dicotiledoni (Apocynaceae, Corvulaceae, 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 perifloemático

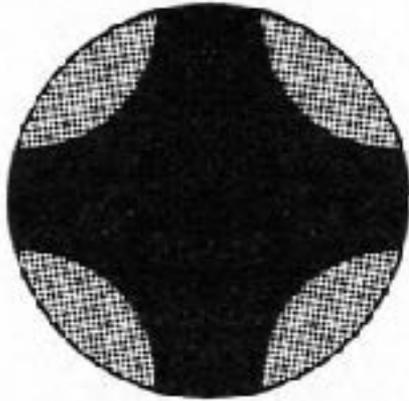


Fasci concentrici perifloemáticos nel rizoma di polipodio (*Polypodium vulgare* L., fam. Polypodiaceae).

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

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

# Fasci radiali chiusi e aperti



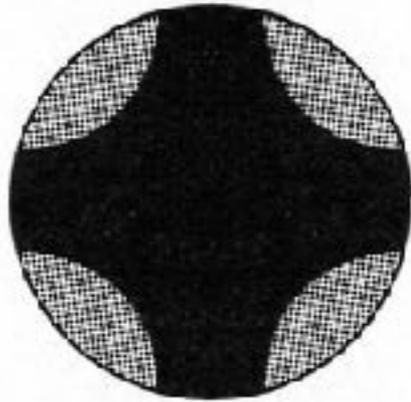
Cambio

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 alterno 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). Nello spazio delimitato da due arche xilematiche si trova un'**arca floematica**.



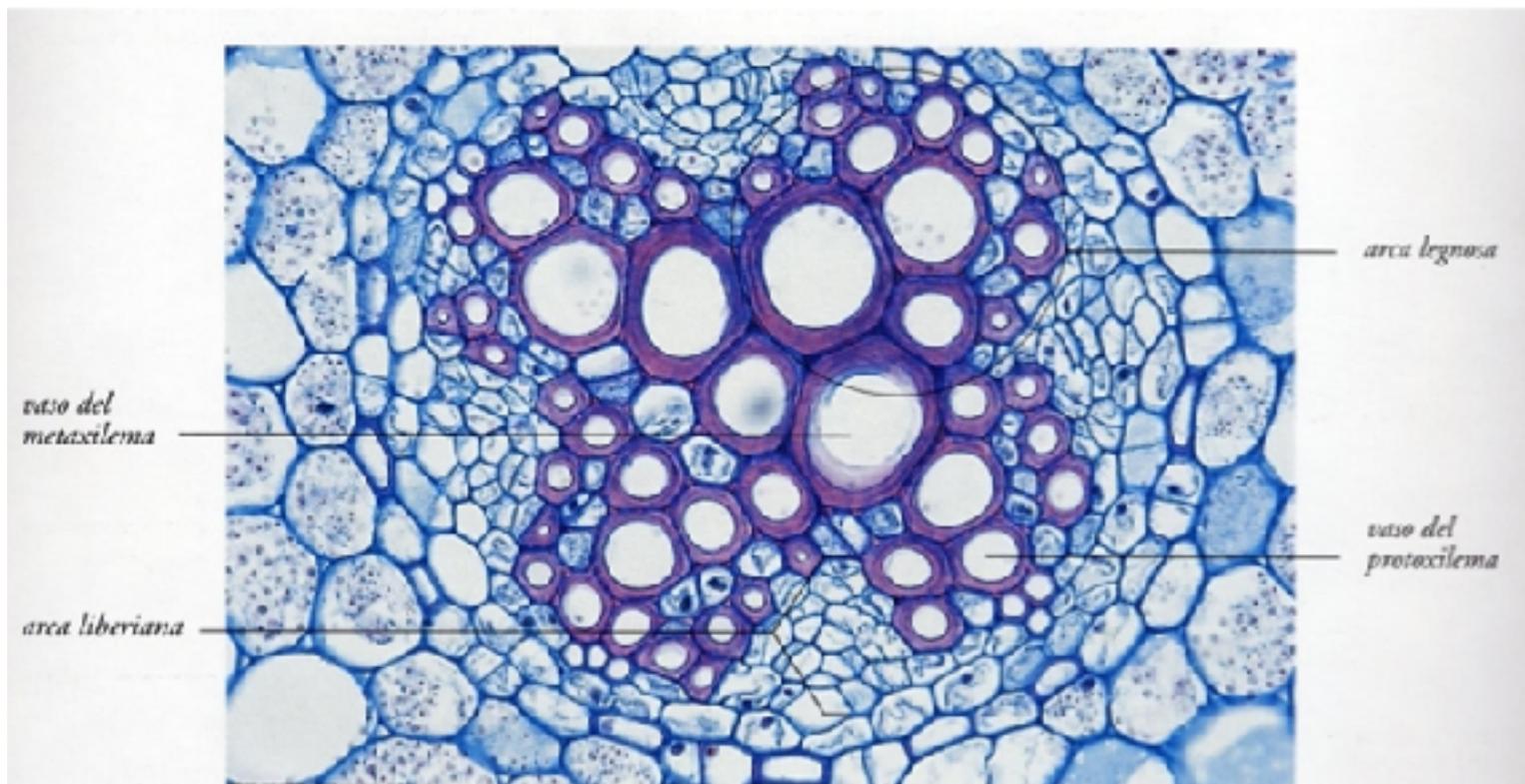
Cambio

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 crescere in spessore (ma possono però formare normalmente radici secondarie).

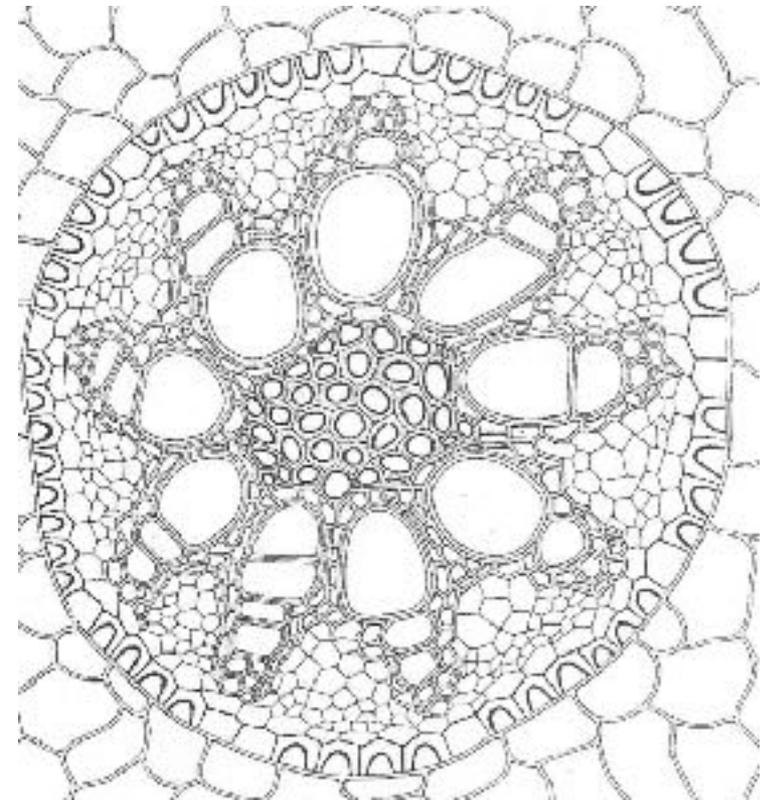
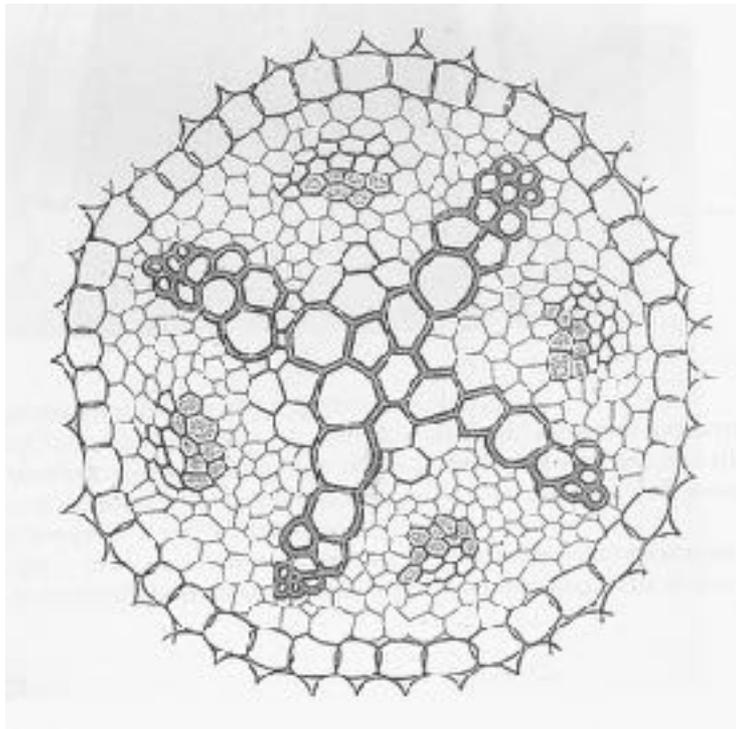
Si ricorda che questi fasci radiali hanno un'altra peculiarità: il loro **differenziamento avviene in senso centripeto**, cioè dall'esterno verso l'interno, per cui ad esempio i vasi metaxilematici si trovano più all'interno rispetto ai vasi protoxilematici.



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

Sezione trasversale. x 400 (3.50)

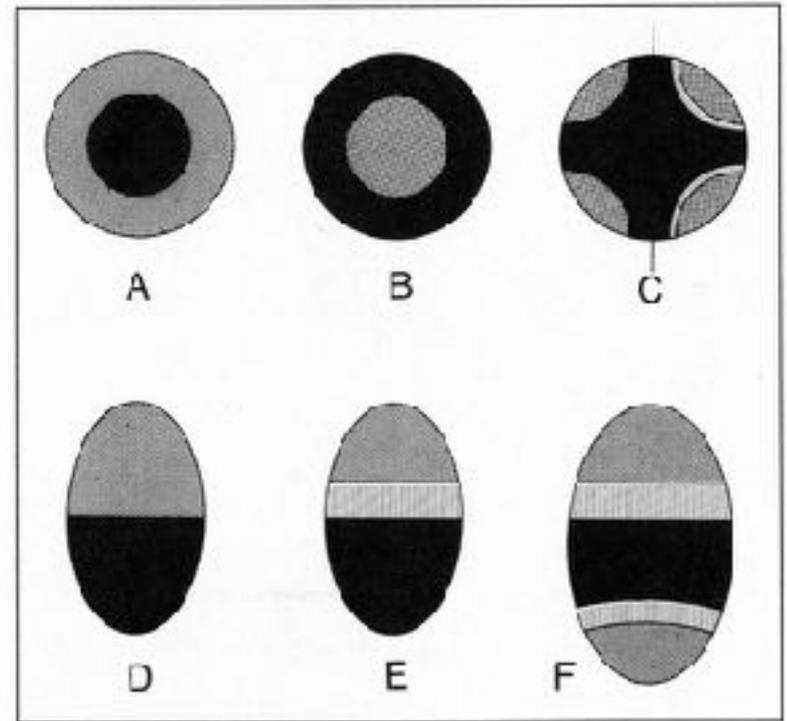
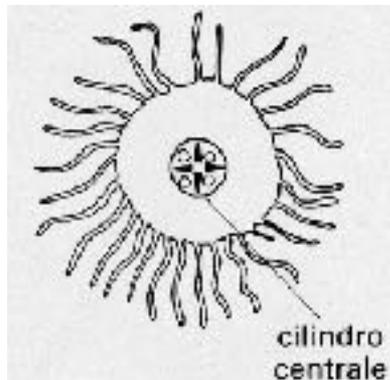
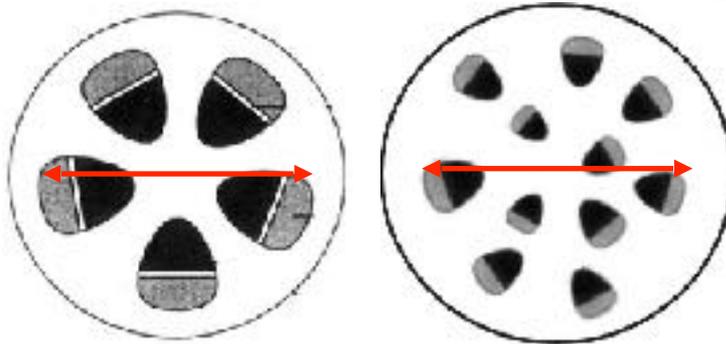
Il numero delle arche liberiane è sempre uguale a quello delle arche legnose; questo numero, però, può variare nella stessa specie o a livelli diversi della stessa radice, aumentando all'ingrossarsi dell'organo.



Talvolta nella zona centrale del fascio radiale della radice sono presenti fibre sclerenchimatiche che servono a rendere più resistente la struttura a sforzi di trazione (disegno a destra). Ciò è particolarmente frequente nelle monocotiledoni.



La zona centrale del fusto o della radice in cui si trovano i fasci conduttori è chiamata **cilindro centrale** o **stele**, in cui si possono trovare anche altri tessuti (delimitata da endodermide e periciclo).



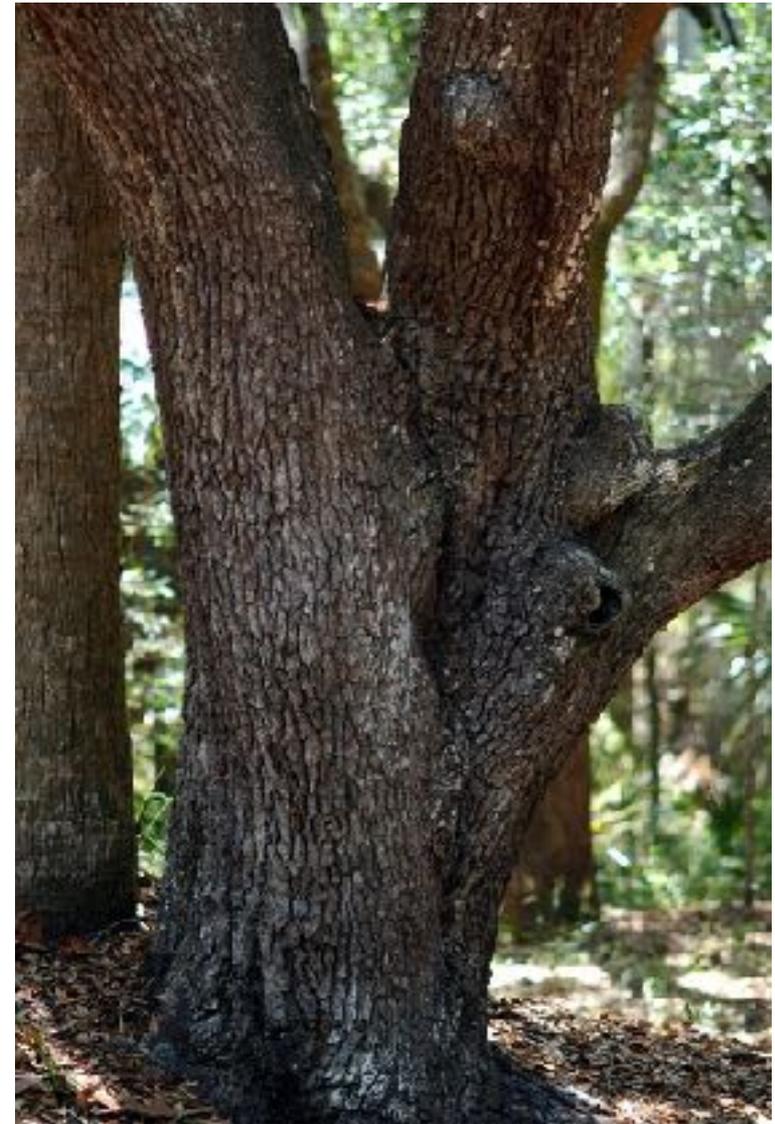
Tipi di fasci conduttori: disposizione dello xilema (nero), del floema (punteggiato) e del cambio (colorato) in sezione trasversale. **A**, fascio concentrico con xilema all'interno (fascio «adrocetrico» o perifloematico); **B**, lo stesso con xilema all'esterno (fascio «leptocentrico» o perixilematico); **C**, fascio radiale con xilema all'interno e, nel caso disegnato, con 4 poli xilematici (fascio «tetraarco»); 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).



# Il fusto



Struttura primaria



Struttura secondaria  
con accrescimento in spessore

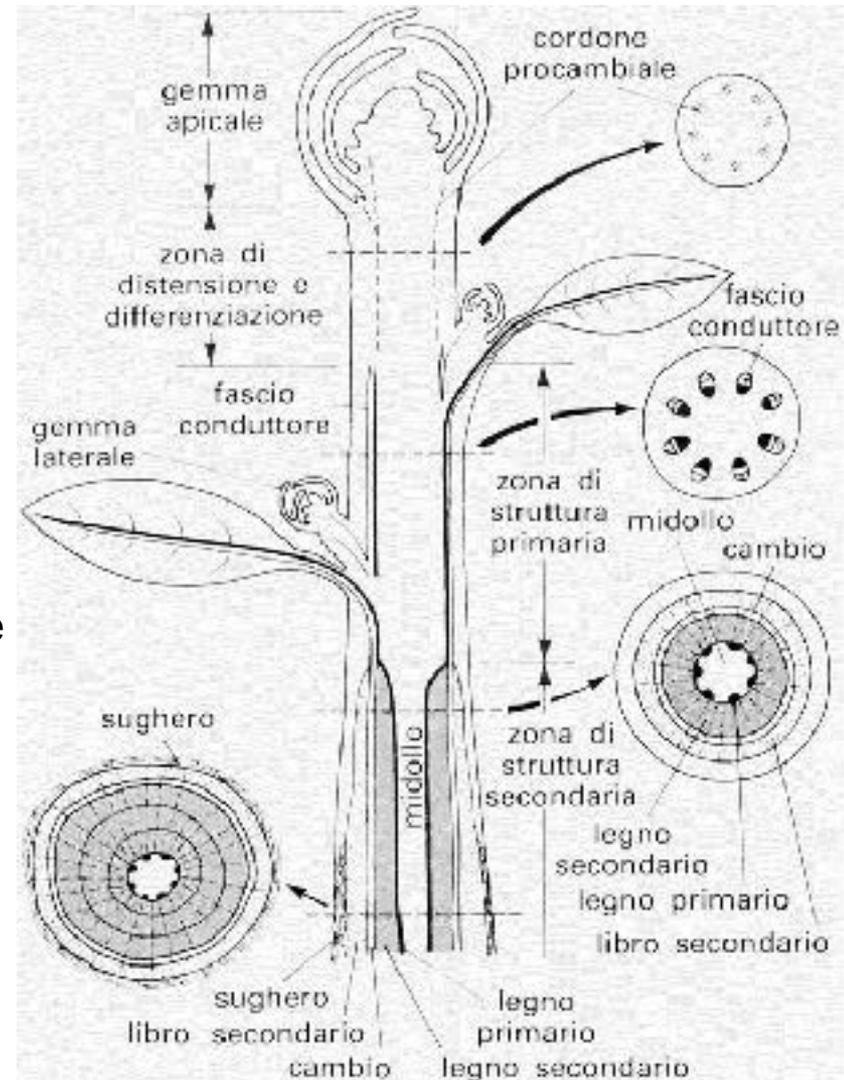


- 1) organo di sostegno
- 2) collegamento tra foglie e radici (trasporto)
- 3) accumulo di sostanze di riserva
- 4) a volte funzione fotosintetica





- **zona meristemica** (crescita per divisione cellulare)
- **zona di distensione e differenziazione** (crescita per distensione: allungamento del fusto)
- **zona di struttura primaria** (cellule completamente differenziate, ma possono permanere aree meristematiche residue). Struttura primaria definitiva: Pteridofite, Monocotiledoni, Dicotiledoni erbacee
- **zona di struttura secondaria** (crescita per ispessimento). Formazione di 2 meristemi secondari:
  - cambio → crescita spessore
  - fellogeno → tessuti di protezioneGimnosperme e molte Angiosperme Dicotiledoni



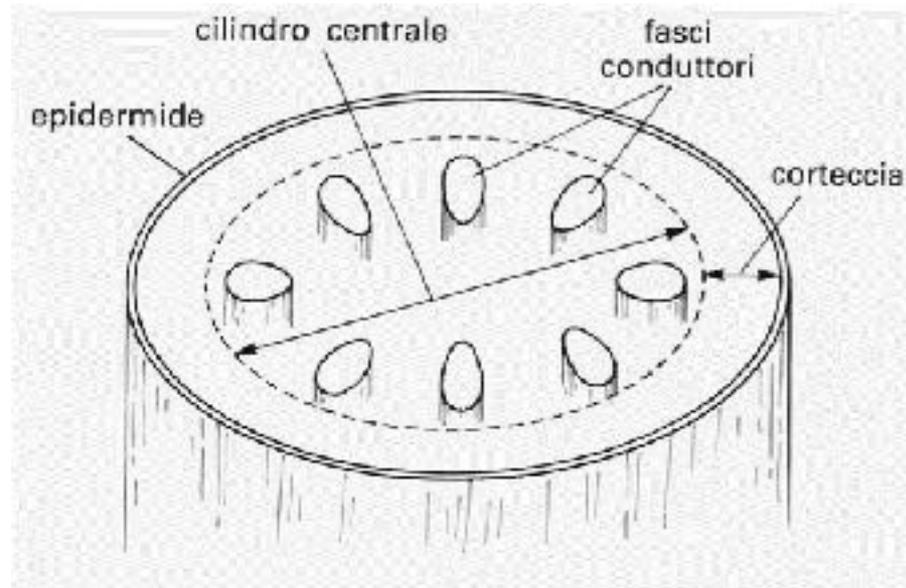
Schema delle diverse zone di crescita di un fusto di una Angiosperma Dicotiledone



## Struttura primaria del fusto nelle Spermatofite

Organizzata in:

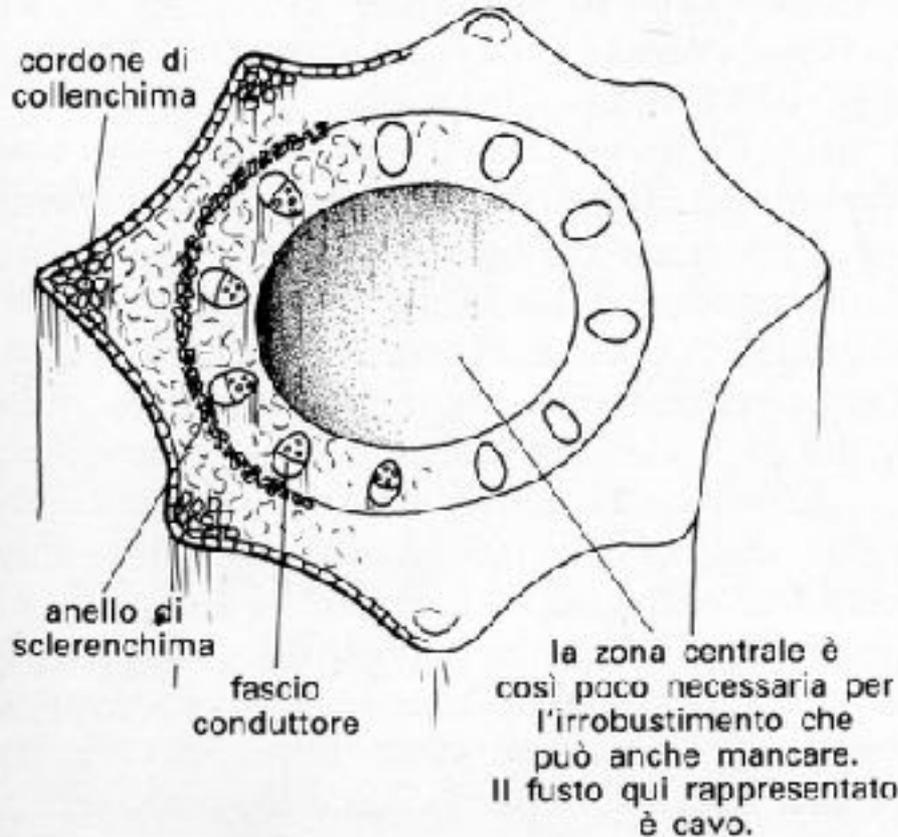
1. **zona tegumentale:** tessuti di protezione
2. **zona corticale:** tessuti parenchimatici e di sostegno
3. **zona del cilindro centrale (stele):** tessuti di trasporto, parenchimi



(da Longo 1997)



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



Distribuzione dei tessuti meccanici nel fusto.

Nel fusto in struttura primaria, nella zona corticale si trovano generalmente tessuti meccanici di sostegno ben sviluppati

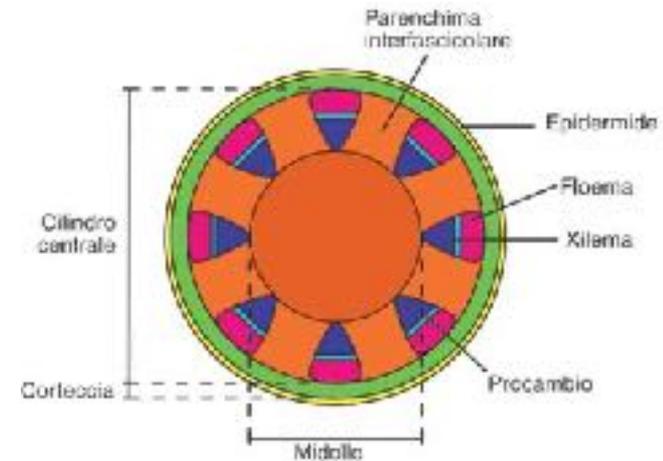


Tutte le cellule sono differenziate e adulte ed hanno perso la capacità di dividersi. Possono però permanere cellule meristematiche all'interno dei fasci conduttori: il cambio.

L'organizzazione del fusto primario è varia, ma nelle Spermatofite si riconduce a 2 tipologie principali, in base alle caratteristiche del cilindro centrale:

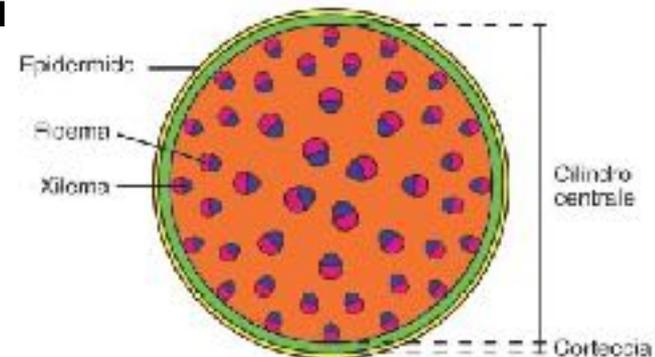
### 1. fusto primario delle Dicotiledoni

- fasci collaterali aperti (con cambio)
- disposti regolarmente ad anello
- fusto con accrescimento primario e secondario



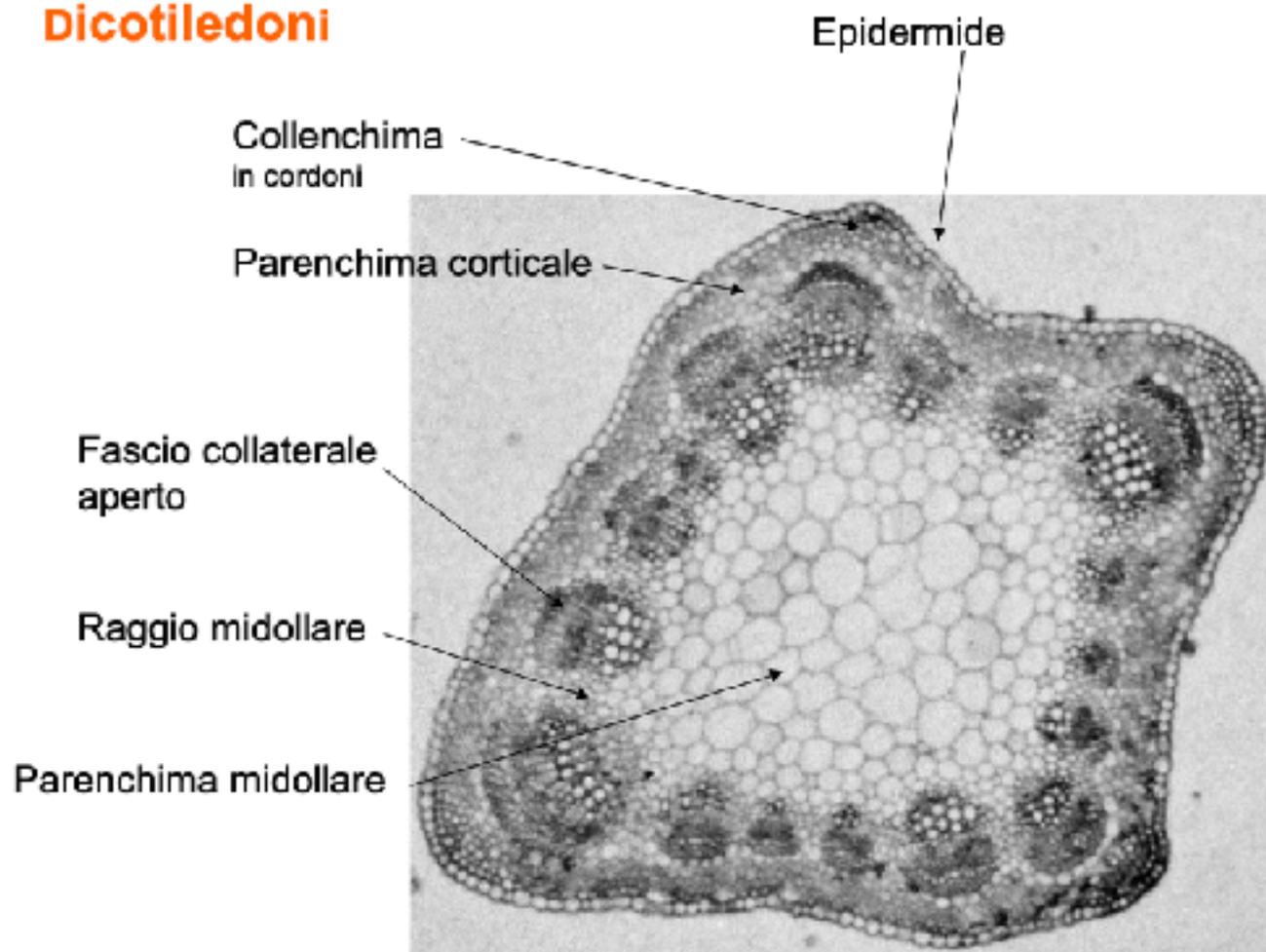
### 2. fusto primario delle Monocotiledoni

- fasci collaterali chiusi (senza cambio)
- sparsi irregolarmente
- fusto con accrescimento solo primario





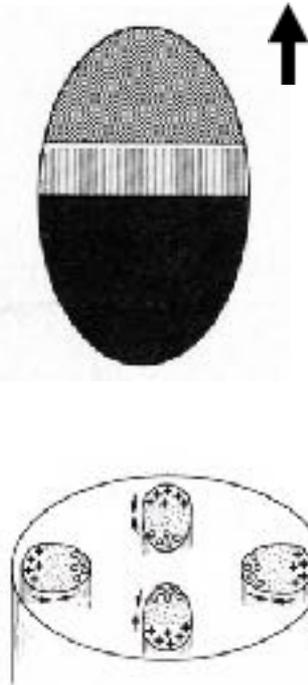
## Dicotiledoni



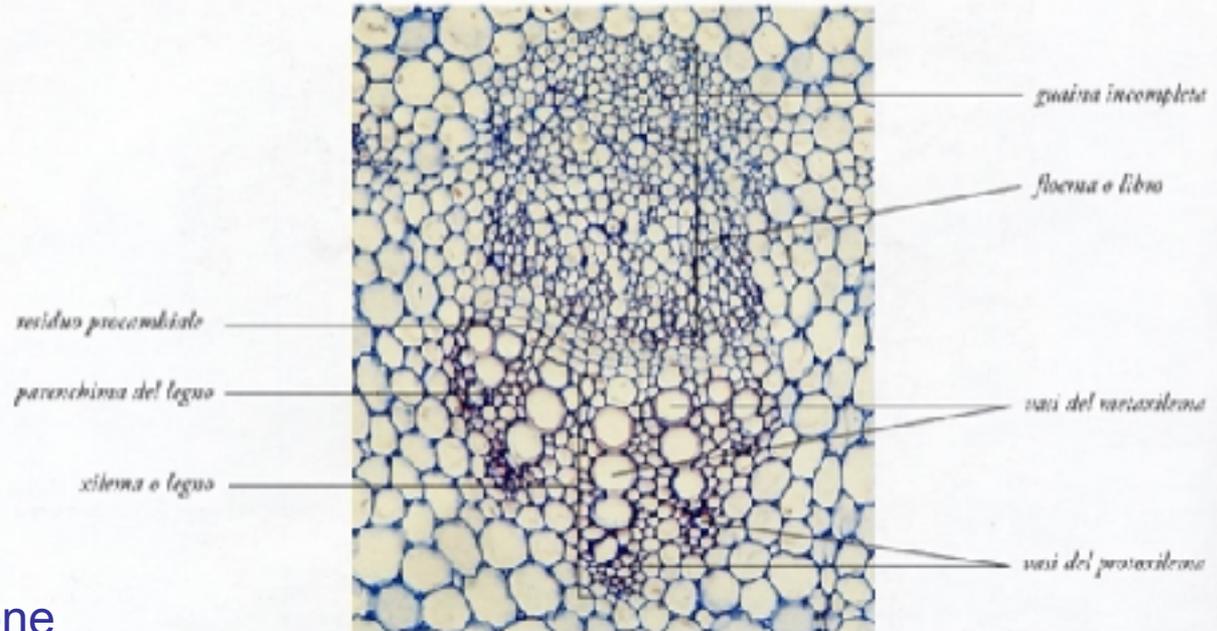
Eustele

Sez. trasversale del fusto in struttura primaria di una Dicotiledone erbacea (Erba medica, *Medicago sativa*) (Da Longo 1997)

# Fascio collaterale aperto



Nei fasci aperti una parte delle cellule del cordone procambiale non si differenziano, mantenendo proprietà meristematiche: **CAMBIO**

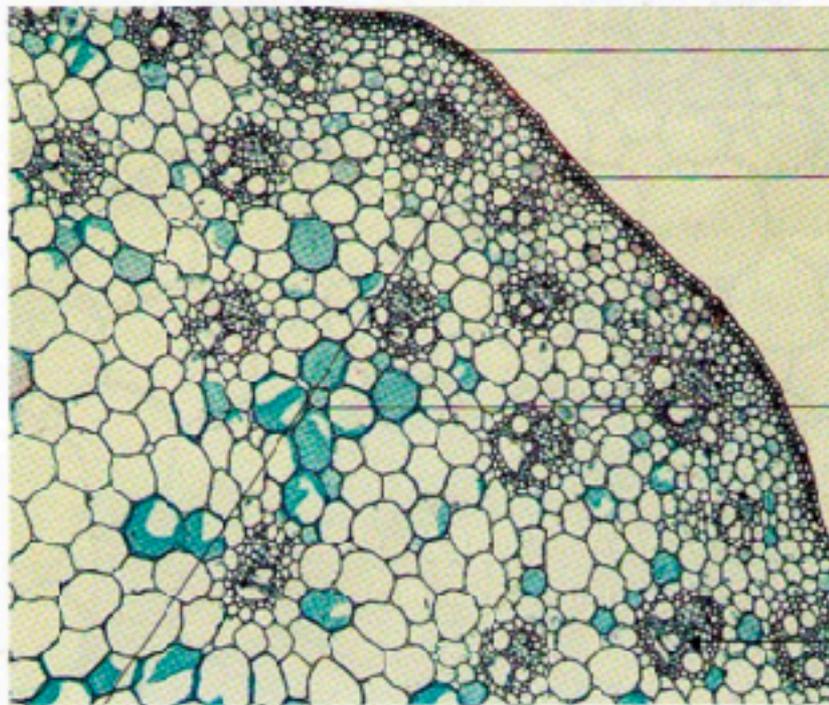


Fascio collaterale aperto nel fusto di girasole (*Helianthus annuus* L., fam. Compositae). Sezione trasversale. x 200 (1/45)

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 procambiale.

## Monocotiledoni



*zona tegamentale*

Epidermide

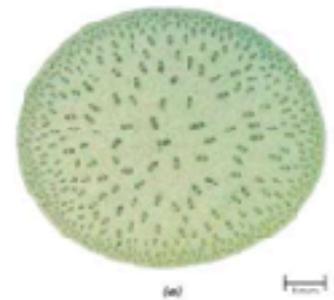
*zona corticale*

Parenchima corticale

*cilindro centrale*

Parenchima del cilindro centrale

Fascio collaterale chiuso



Sez. trasversale del fusto in struttura primaria di una Monocotilidone (*Zea mays*)

11

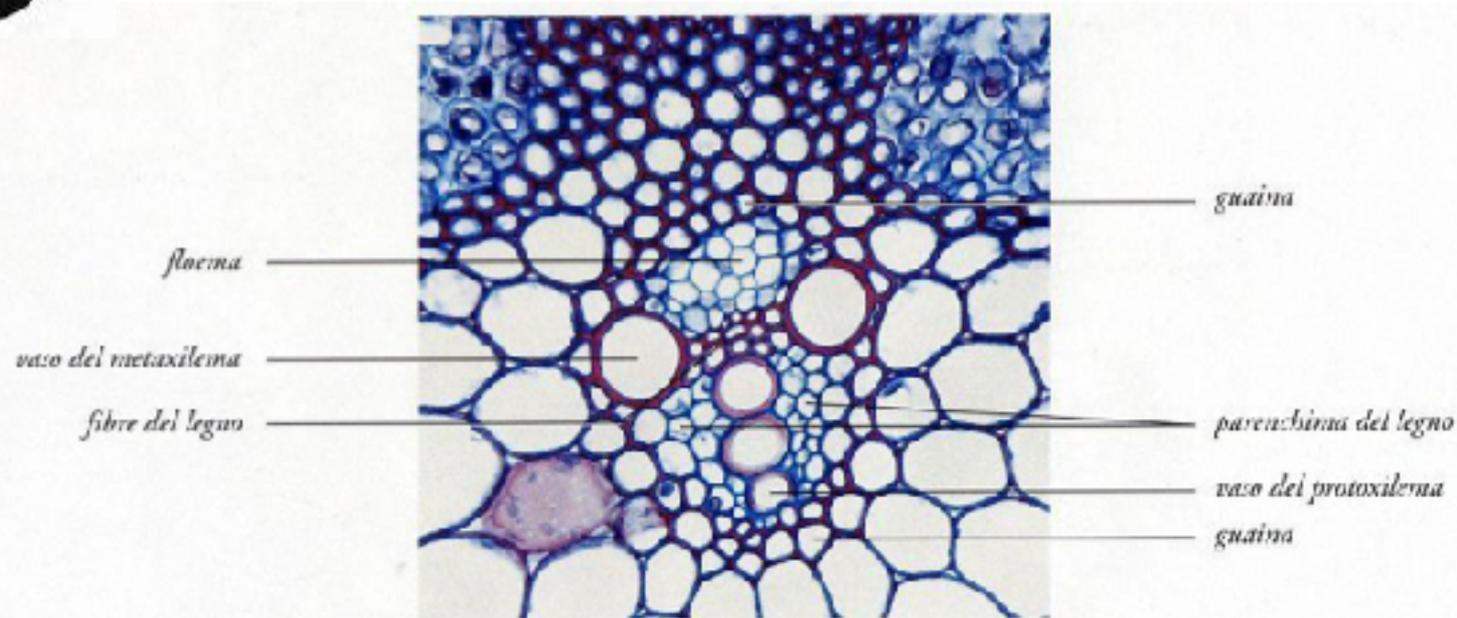
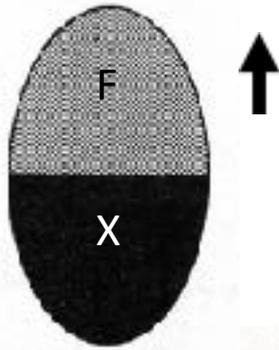
12 Culmo di mais (*Zea mays* L., fan. Graminaceae).

Sezione trasversale.  $\times 18$  (18);  $\times 100$  (100)

Il modello strutturale del fusto delle monocotiledoni è detto *atactostele*, in cui si osservano numerosi fasci disseminati nel cilindro centrale. Si tratta di fasci per lo più collaterali, sempre di tipo chiuso; le dimensioni dei fasci periferici generalmente sono inferiori rispetto a quelli centrali, più radi. In una struttura di questo tipo non è possibile individuare raggi midollari e zona midollare.

Atactostele

# Fascio collaterale chiuso



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

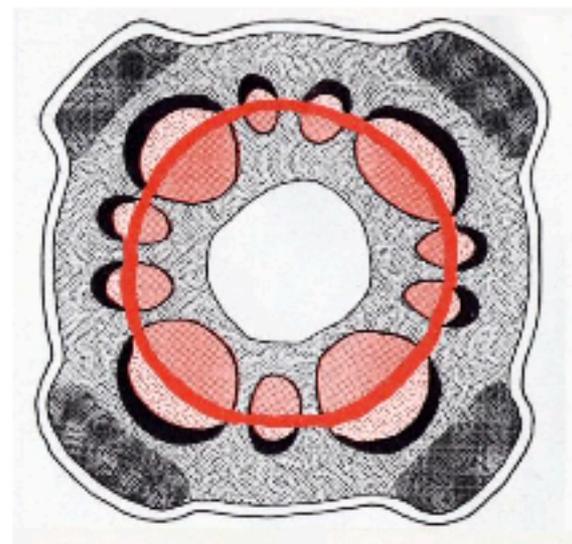
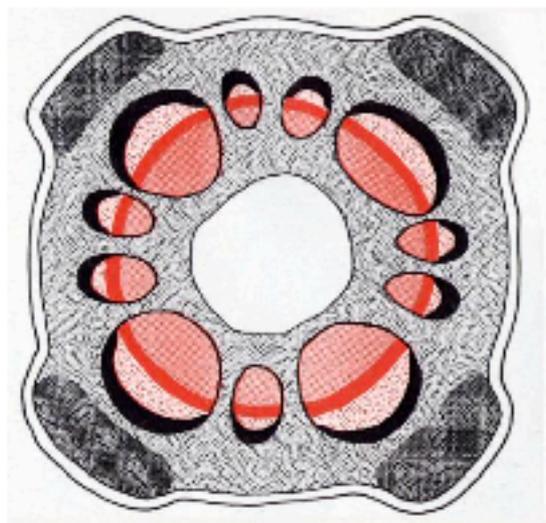
Sezione trasversale. x 400 (300)

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 sclerenchimatiche avvolge l'intero fascio.

## Struttura primaria → secondaria

(Dicotiledoni e Gimnosperme)



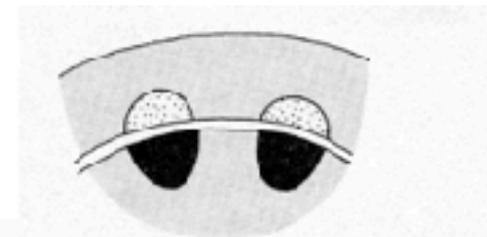
**Cambio  
cribrovascolare**



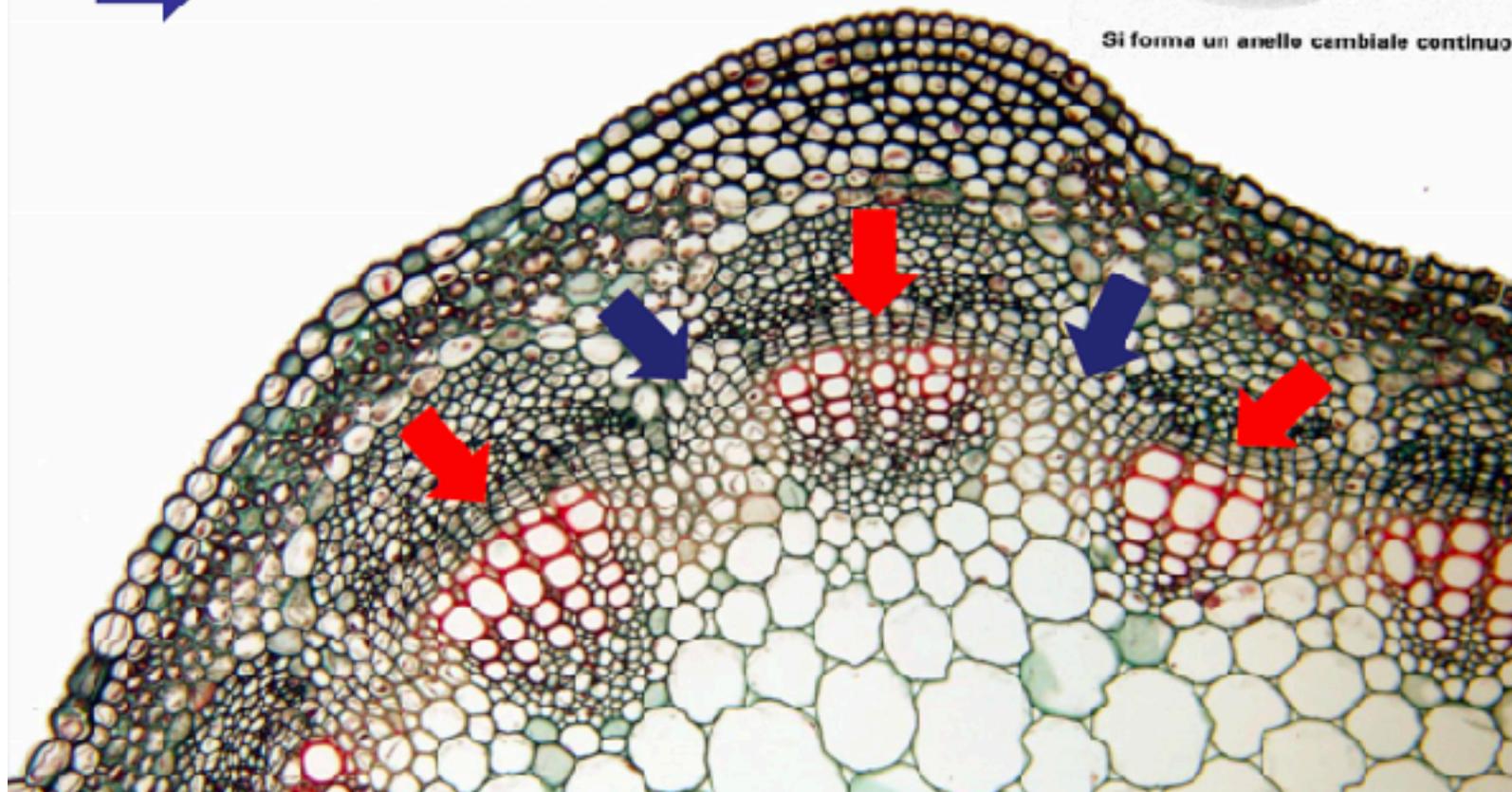
Cambio intrafascicolare

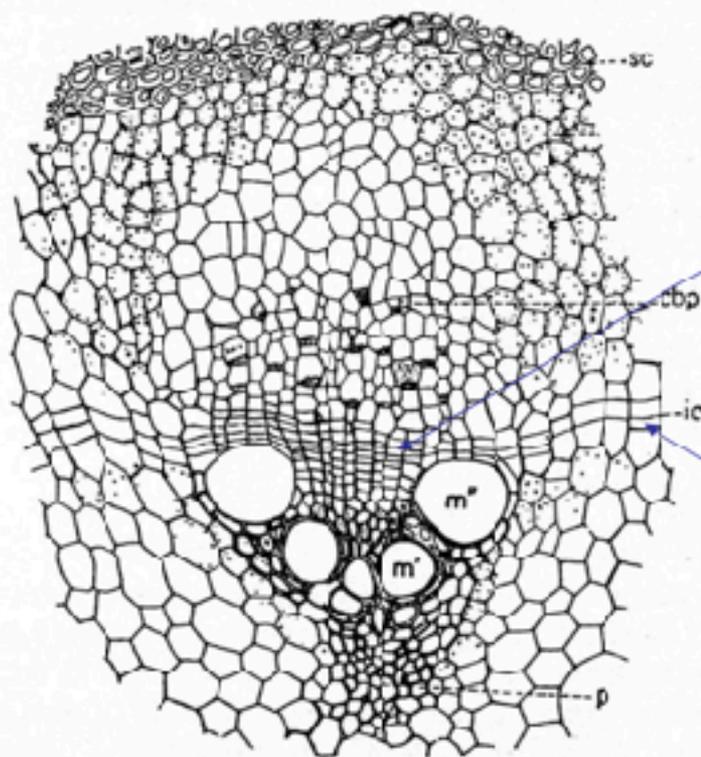


Cambio interfascicolare



Si forma un anello cembiale continuo.



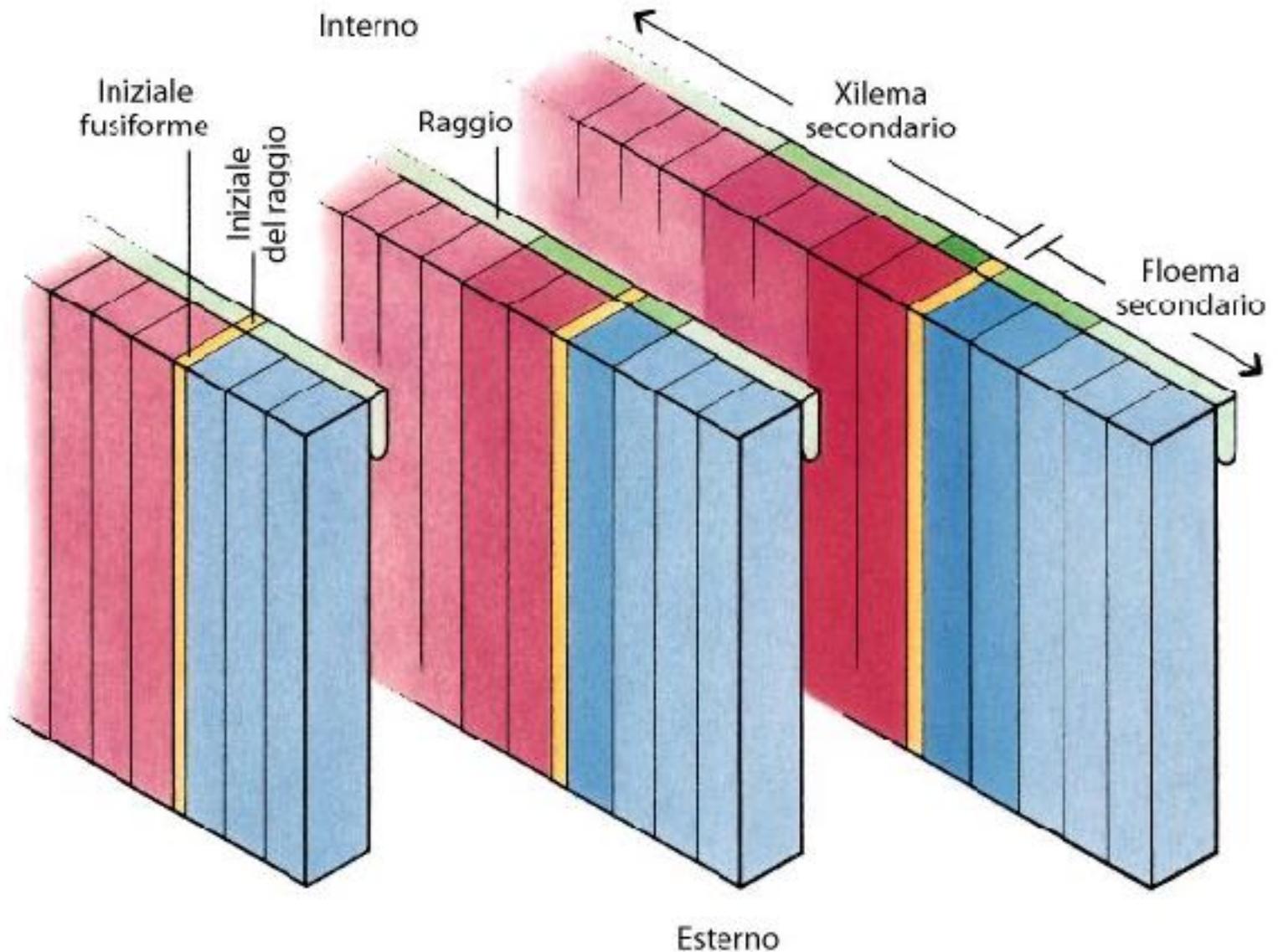


**Cambio intrafascicolare**  
(residuo del cordone procambiale)

**Cambio interfascicolare**  
(cellule parenchimatiche del raggio midollare indotte a dedifferenziarsi)

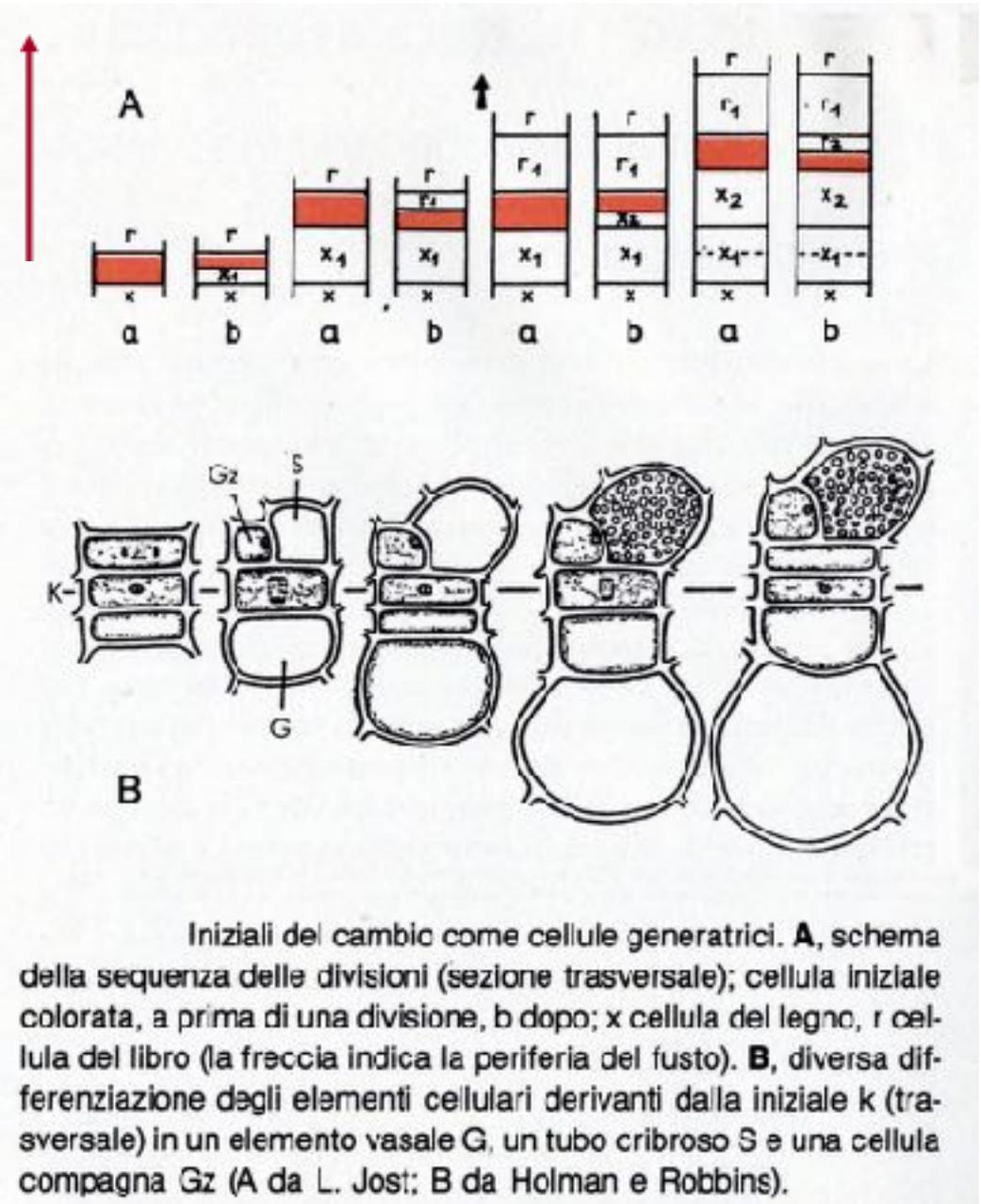
Formazione del cambio interfascicolare ic ai lati del cambio del fascio conduttore mediante riembrionalizzazione e rinnovata attività mitotica delle cellule parenchimatiche nei raggi midollari (fusto della liana *Aristolochia durior*, sezione trasversale). p protoxilema; m', m'' vasi del metaxilema; cbp protofloema; sc guaina sclerenchimatosa (80:1, da E. Strasburger).

Con divisioni longitudinali tangenziali avviene la formazione di due cellule di dimensioni uguali, di cui una si differenzierà, mentre l'altra manterrà la capacità di dividersi.



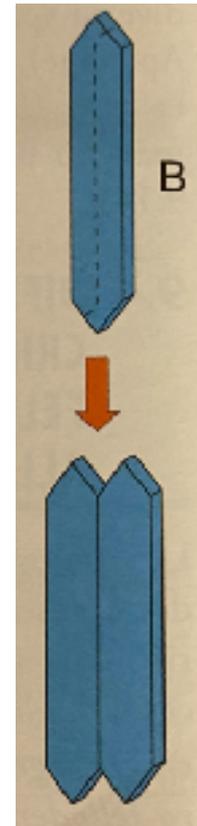
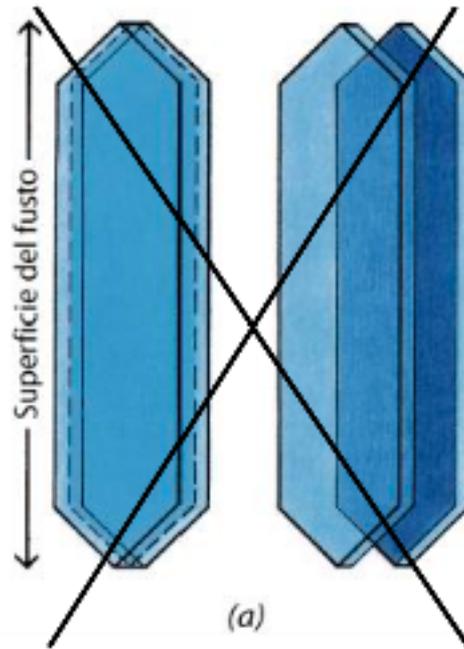
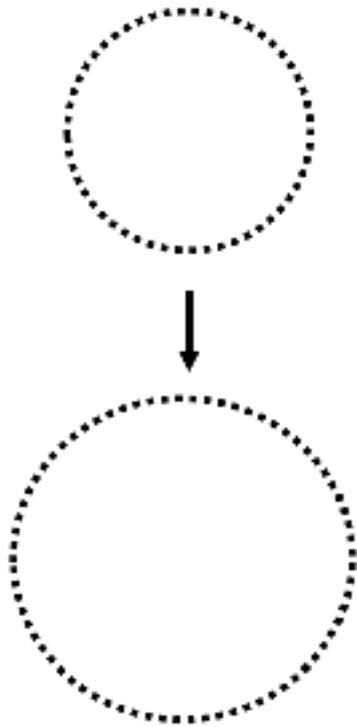


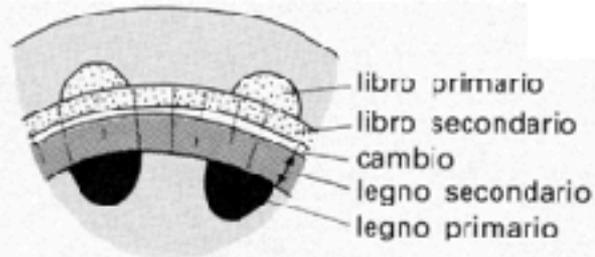
La posizione della cellula cambiale si sposta progressivamente più lontano dal centro dell'organo





L'aumento progressivo di distanza dal centro della circonferenza dell'anello cambiale determina un aumento stesso della circonferenza, e quindi la necessità di aumentare il numero di cellule cambiali stesse. Ciò avviene non con le "solite" divisioni tangenziali (a), ma grazie a occasionali divisioni longitudinali radiali (b).

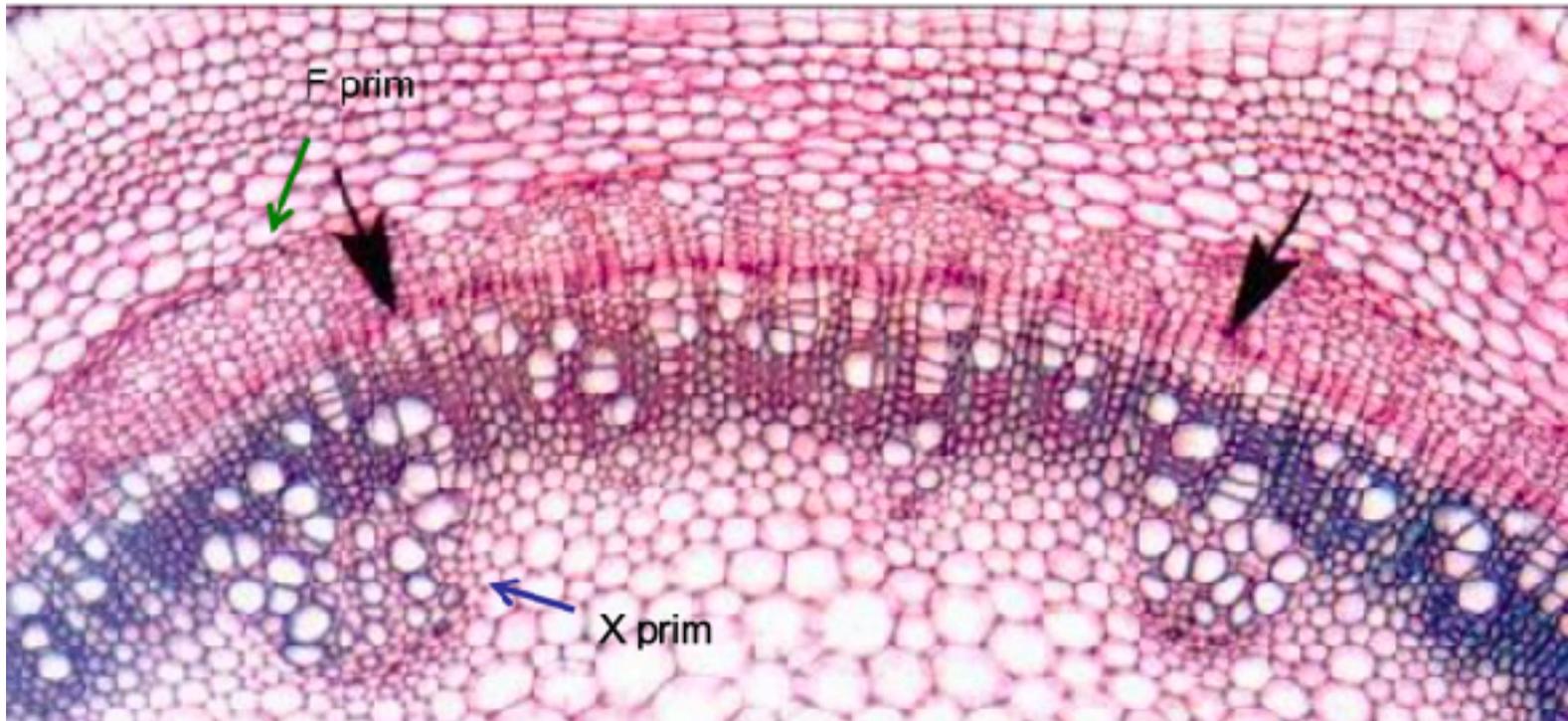




Il cambio comincia a produrre libro e legno secondi

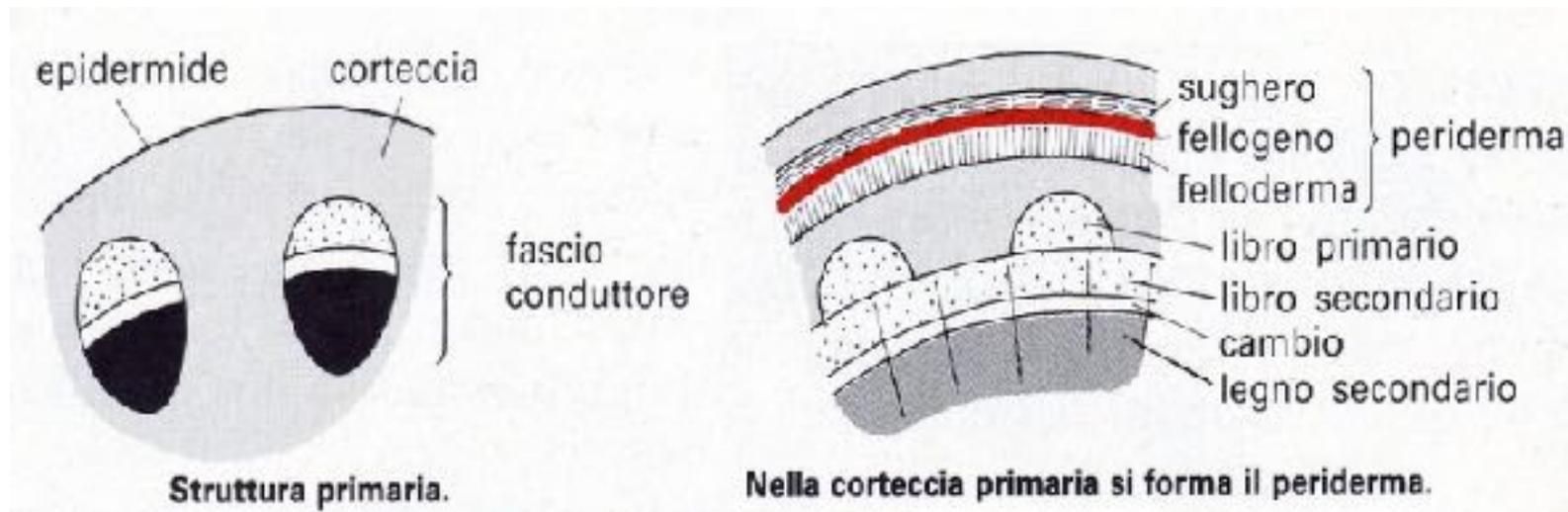
## Struttura secondaria

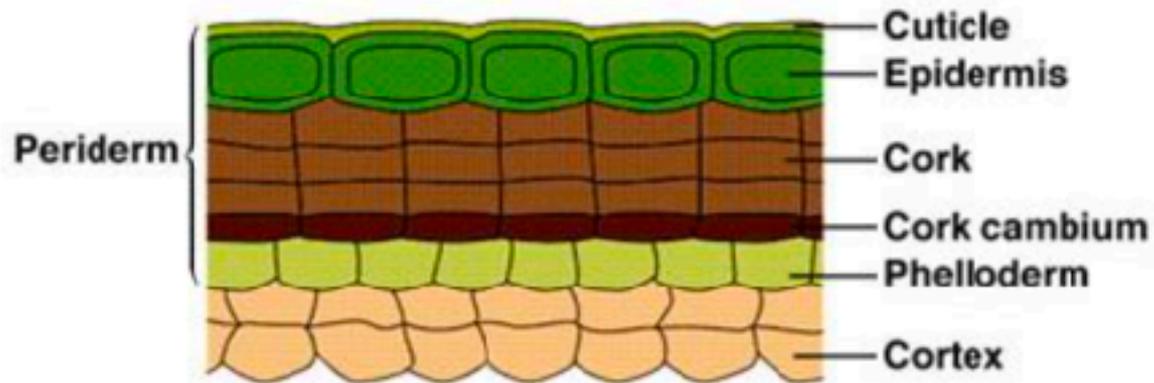
<i>struttura primaria</i>	<i>secondaria</i>
<b>floema</b> (libro 1°)	→ <b>libro</b> (floema 2°, libro 2°)
<b>xilema</b> (legno 1°)	→ <b>legno</b> (xilema 2°, legno 2°)



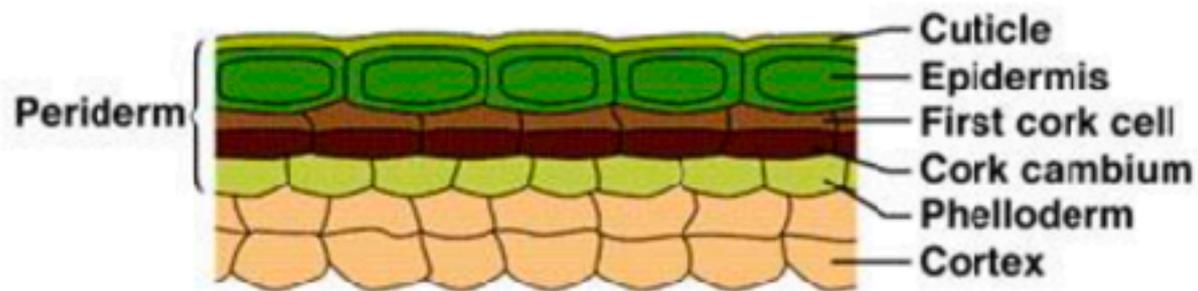
## IL PERIDERMA

Nella parte più esterna del fusto, intanto...





Sughero  
**Fellogeno**  
Felloderma



Sughero  
**Fellogeno**  
Felloderma



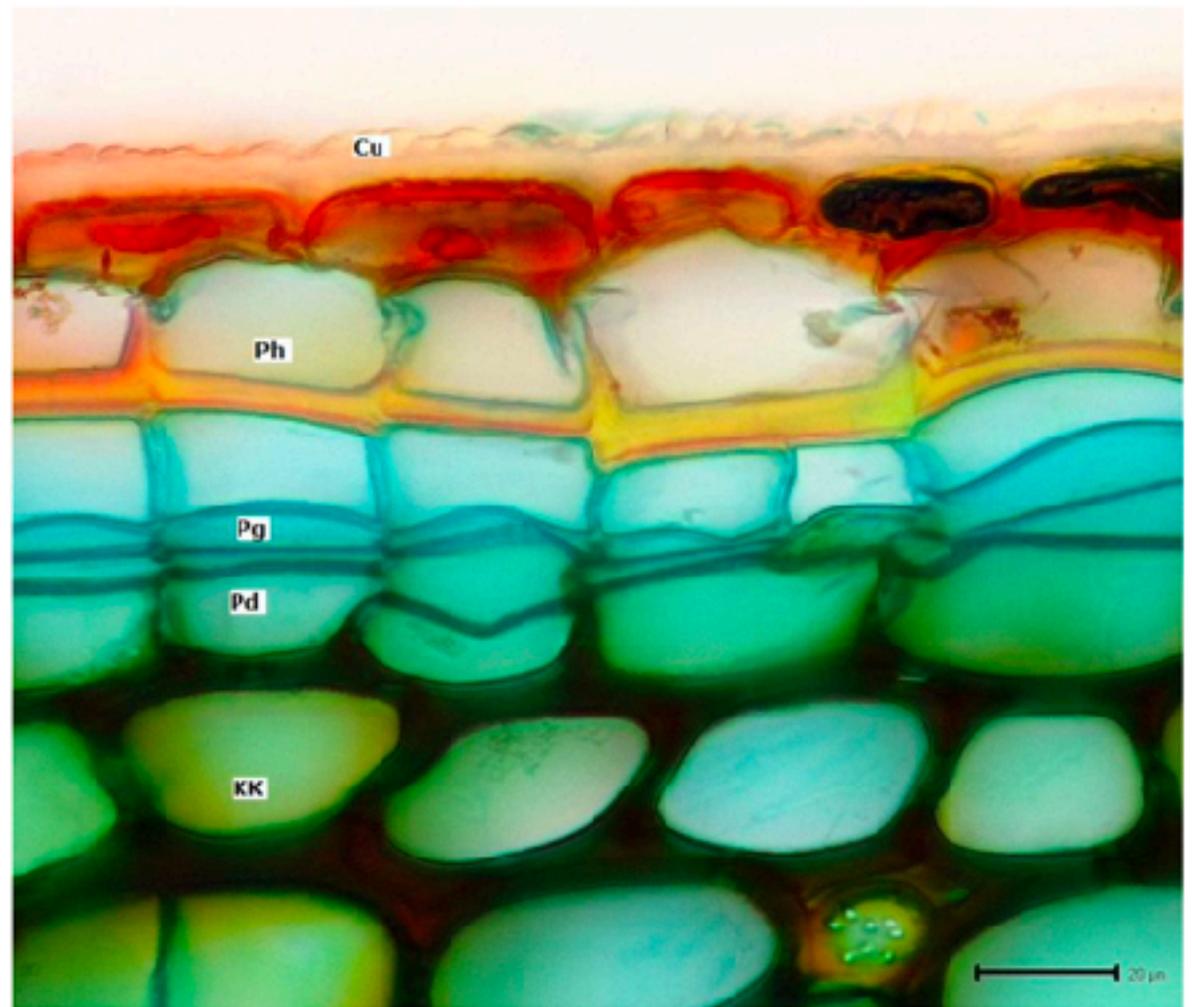
Epidermide

Sughero o  
Fellema (Ph)

Fellogeno (Pg)

Felloderma (Pd)

Collenchima

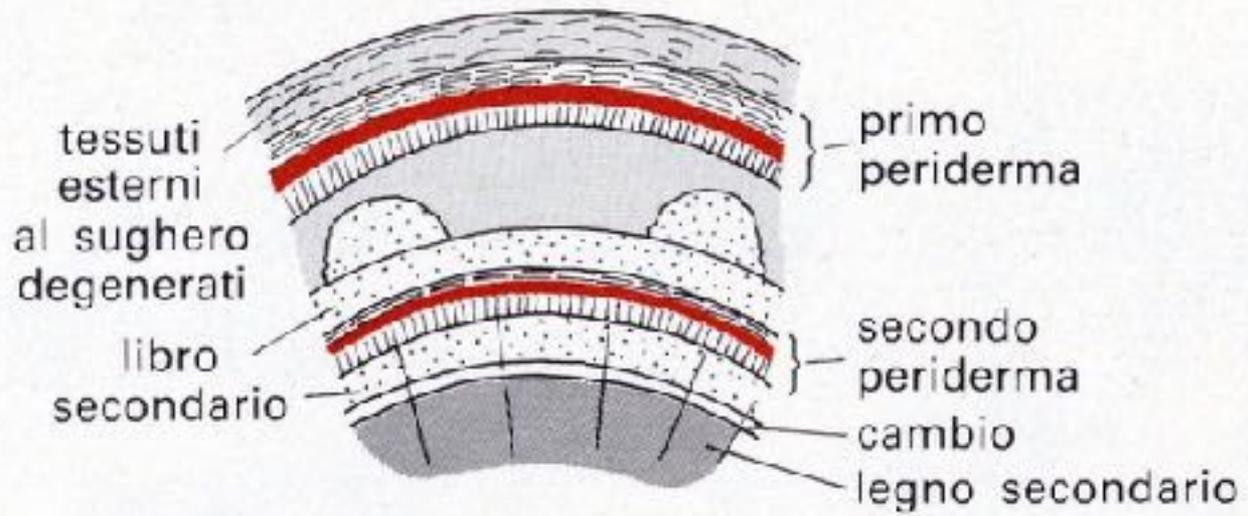


## IL RITIDOMA

Il fellogeno dura generalmente un anno.

Con il passare degli anni, e l'ulteriore accrescimento in spessore del legno, anche il primo periderma viene lacerato, e se ne deve formare uno nuovo, in posizione più interna. Alla fine il fellogeno si formerà nel libro (floema 2°).

Tutto ciò che rimane esterno al periderma che si forma ogni anno morirà. Il ciclo quindi si ripeterà più volte, formando il "ritidoma" (o scorza; "corteccia ") degli alberi...



**I tessuti esterni al periderma degenerano. Un secondo periderma si forma nello spessore del libro secondario.**

