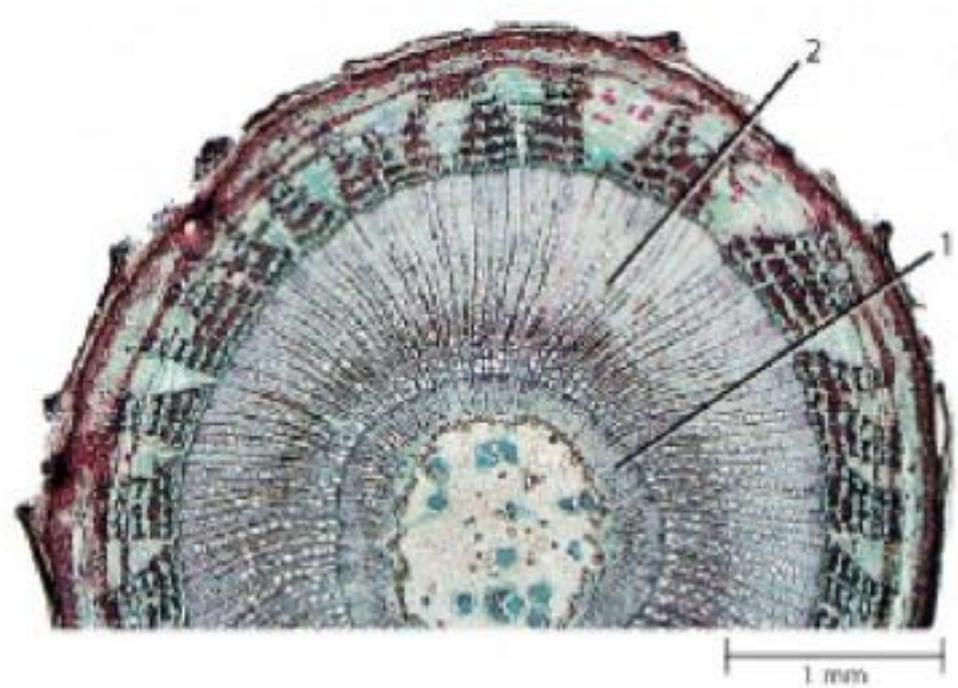
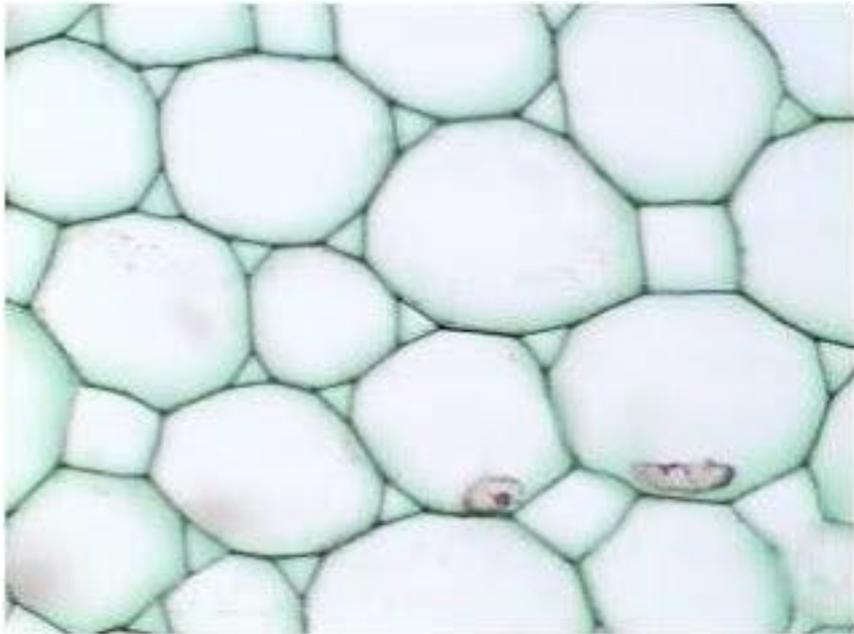


Istologia e anatomia vegetale



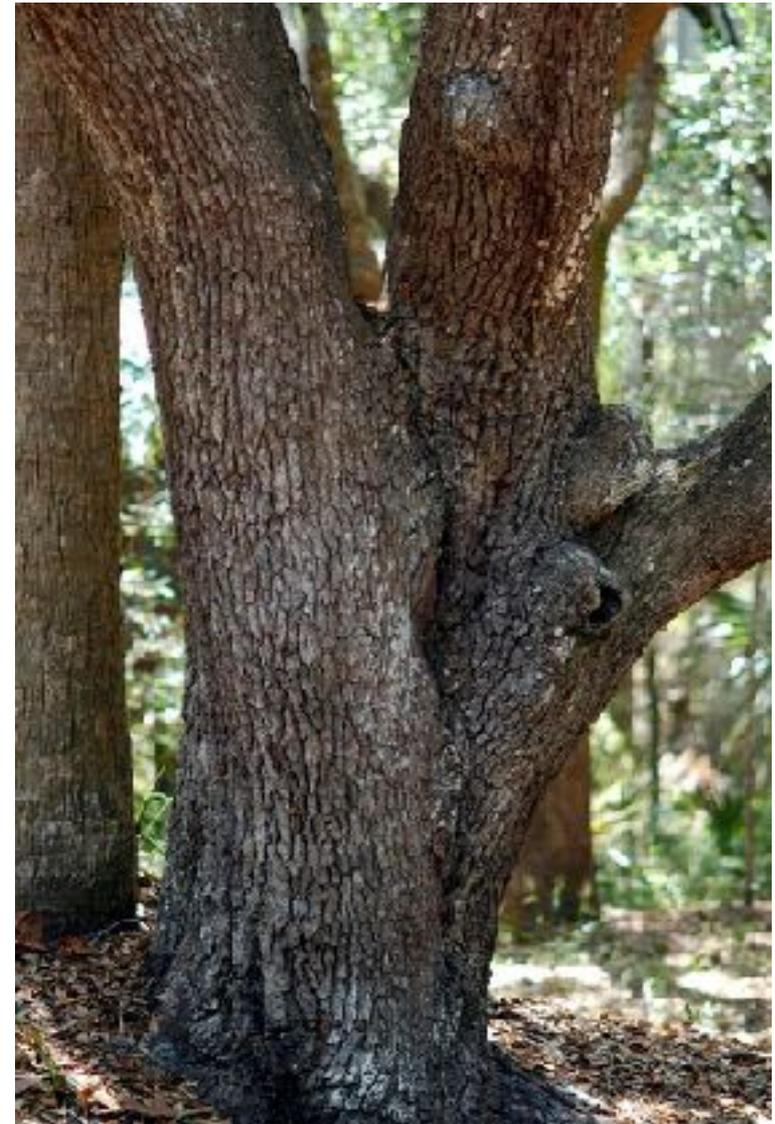


Il fusto





Struttura primaria



Struttura secondaria
con accrescimento in spessore



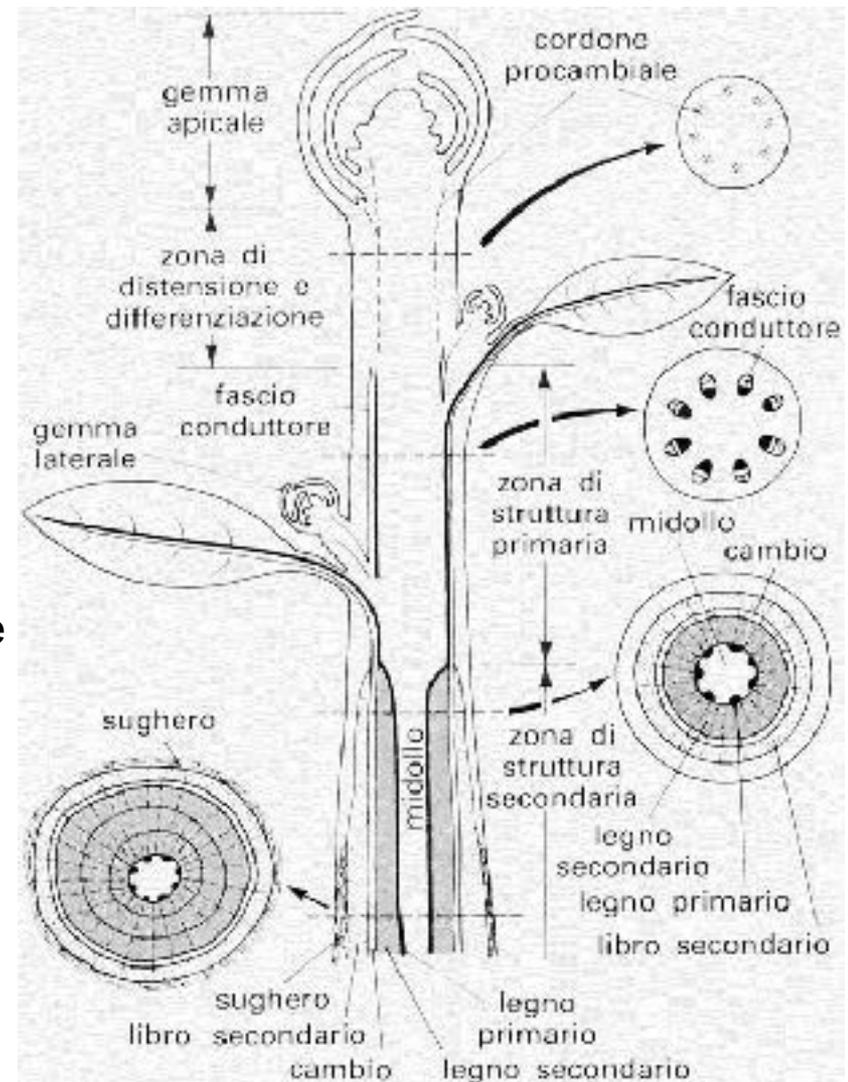


- 1) organo di sostegno
- 2) collegamento tra foglie e radici (trasporto)
- 3) accumulo di sostanze di riserva
- 4) a volte funzione fotosintetica





- **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

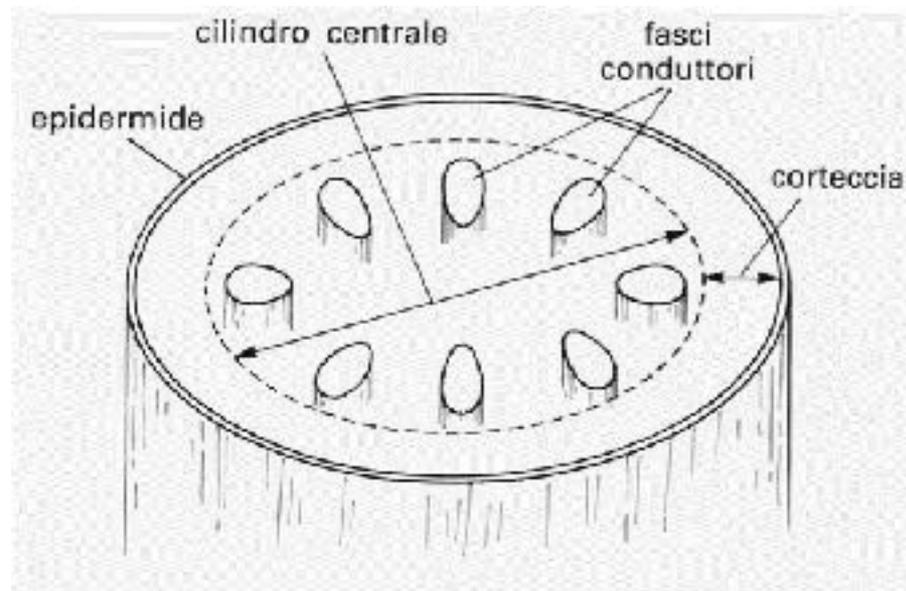




Struttura primaria del fusto nelle Spermatofite

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

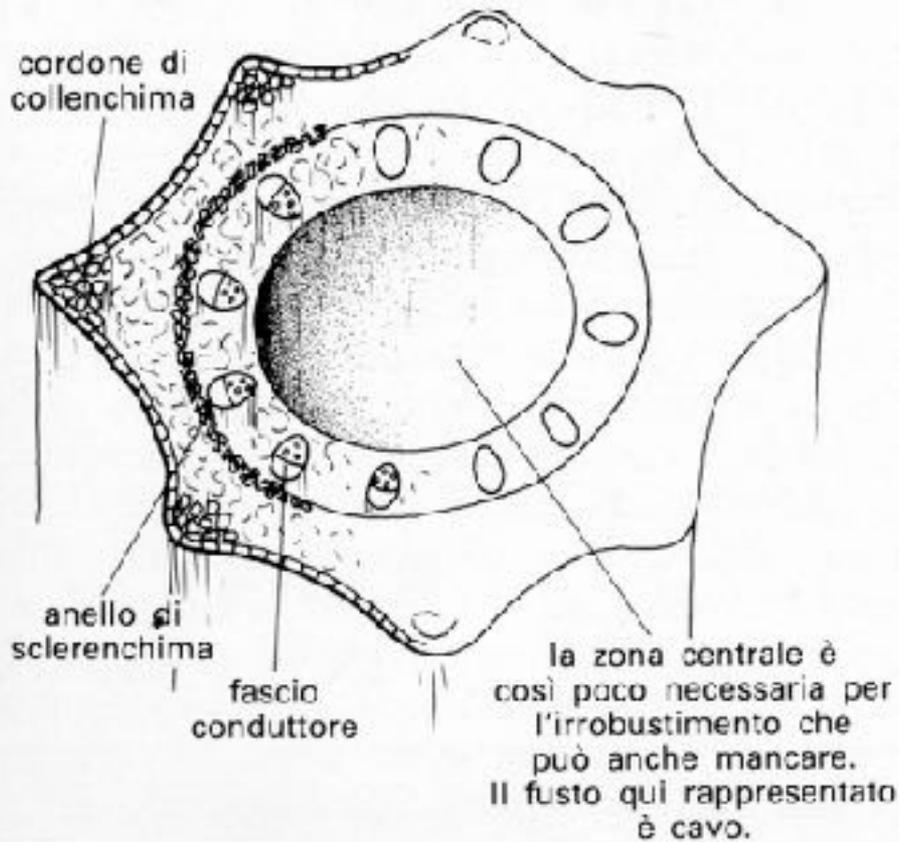


(da Longo 1997)





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



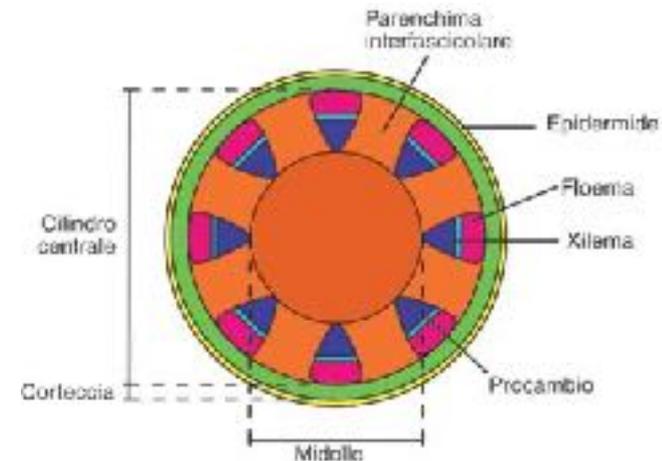


Tutte le cellule sono differenziate e adulte ed hanno perso la capacità di dividersi. Possono però permanere cellule meristematiche all'interno dei fasci conduttori: il cambio.

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

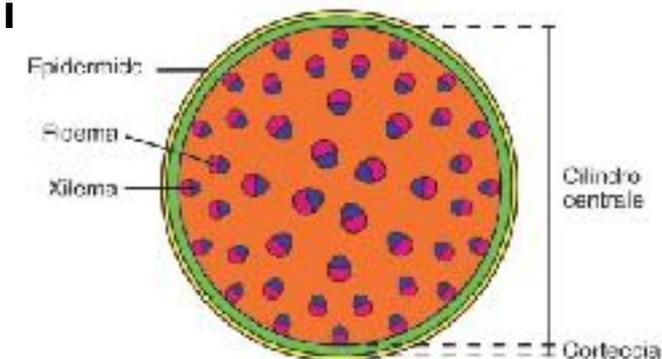
1. fusto primario delle Dicotiledoni

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

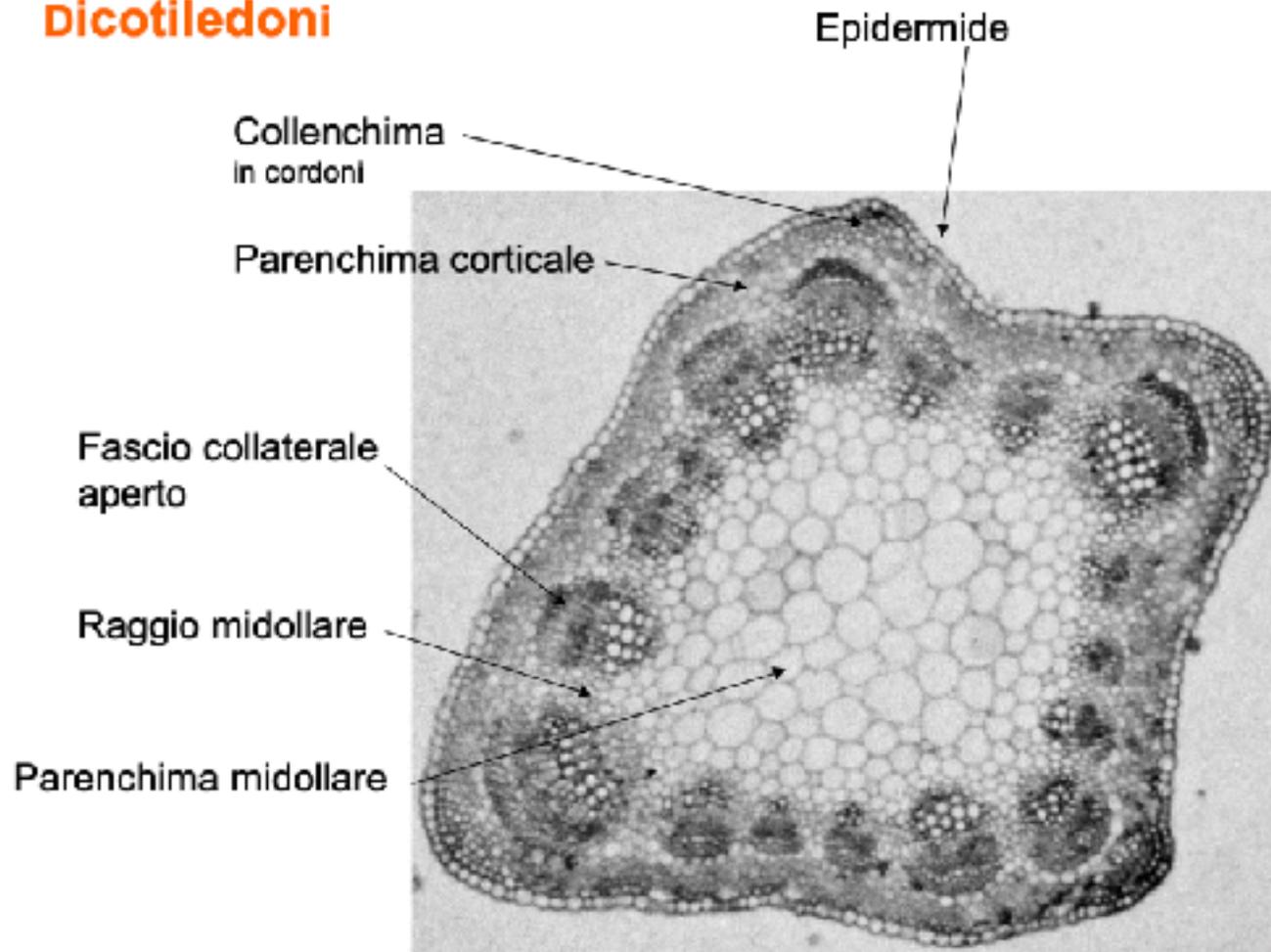


2. fusto primario delle Monocotiledoni

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



Dicotiledoni

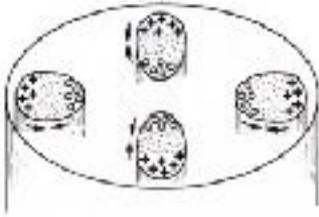
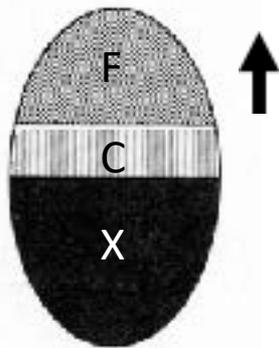


Eustele

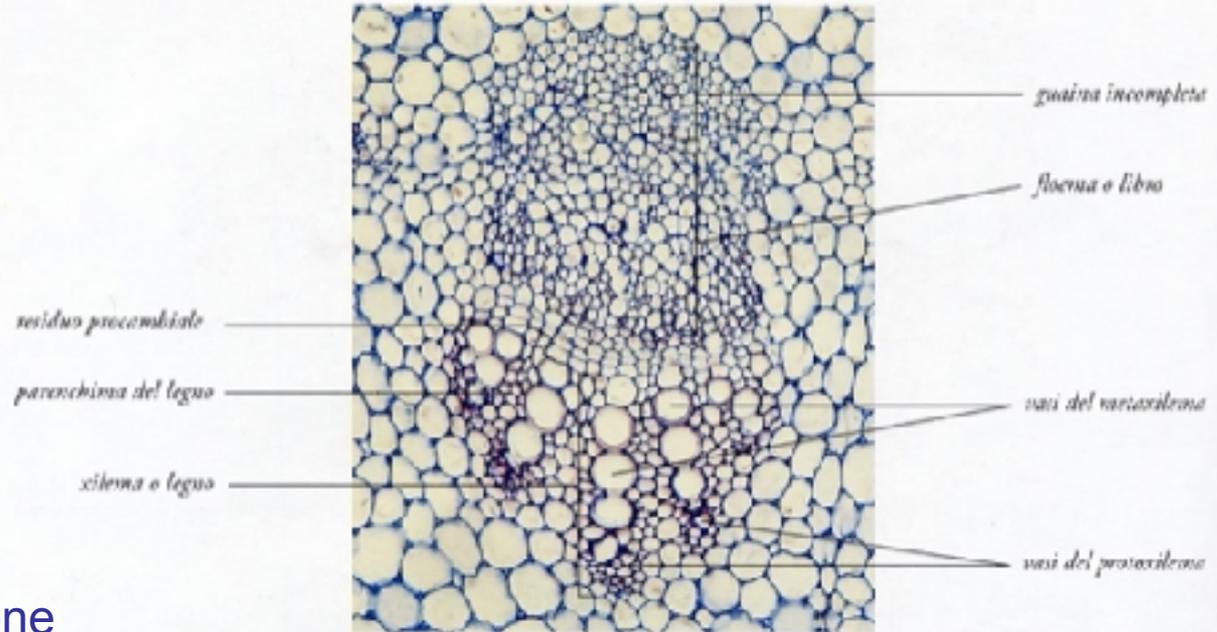
Sez. trasversale del fusto in struttura primaria di una Dicotiledone erbacea (Erba medica, *Medicago sativa*) (Da Longo 1997)



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).

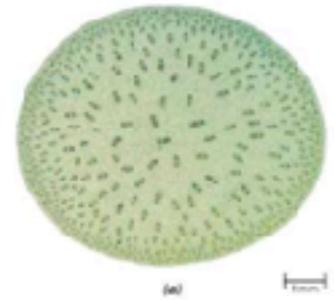
Sezione trasversale. x 200 (1/45)

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).

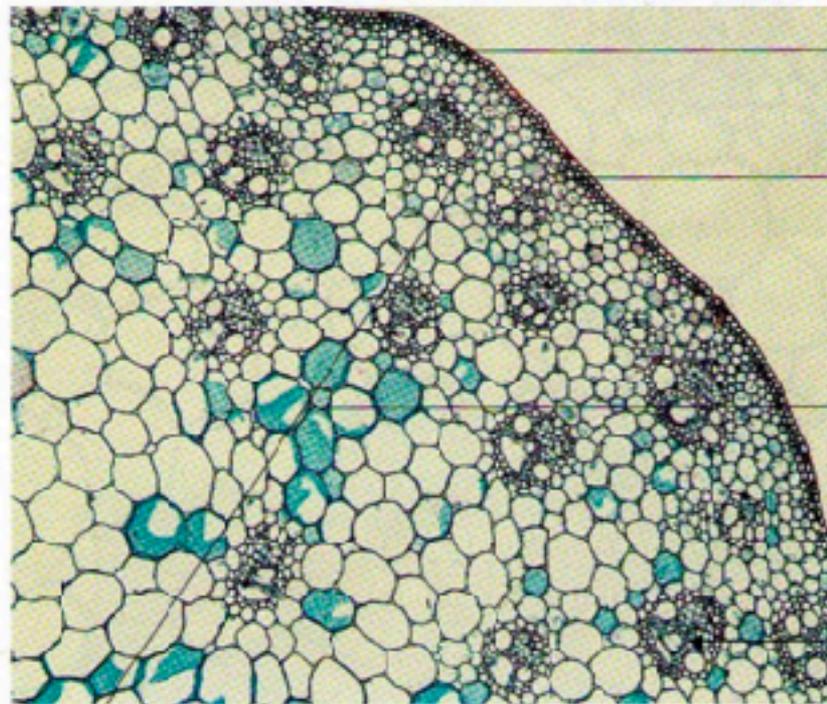
Fra libro e legno è situato il residuo indifferenziato del cordone procambiale.



Monocotiledoni



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



zona tegamentale

Epidermide

zona corticale

Parenchima corticale

cilindro centrale

Parenchima del cilindro centrale

Fascio collaterale chiuso

11

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

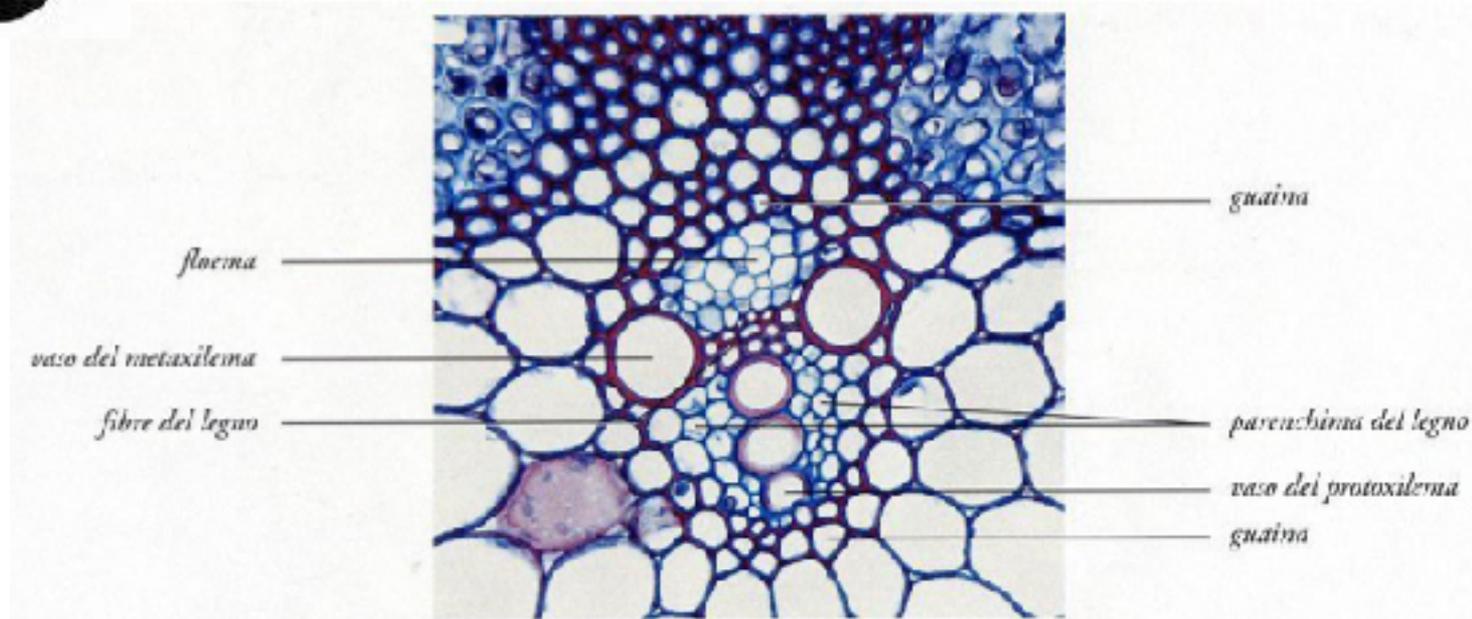
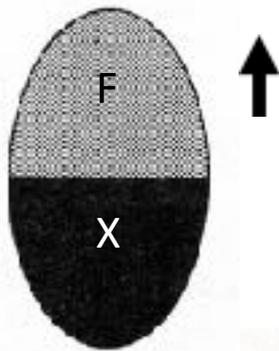
Sezione trasversale. $\times 18$ (18); $\times 100$ (100)

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)

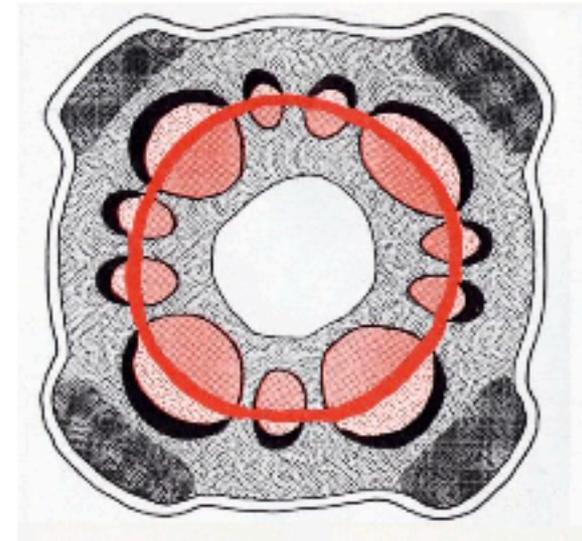
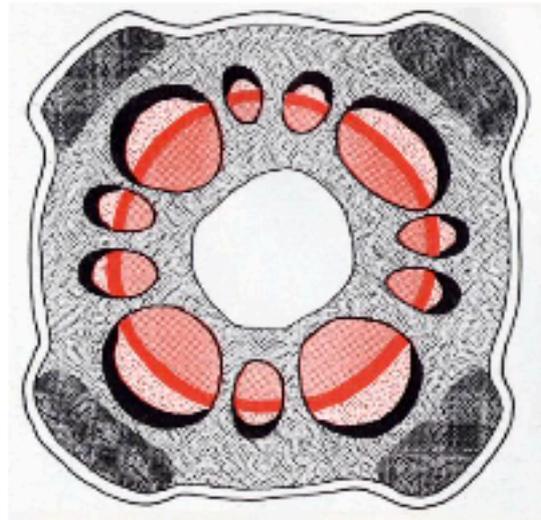
Il fascio collaterale chiuso è tipico del fusto delle monocotiledoni. Libro e legno hanno il medesimo orientamento che nel collaterale aperto: sono però a diretto contatto fra loro. Il legno, tipicamente, tende a risalire ai lati del libro.

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**

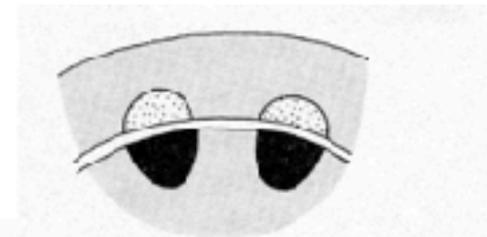




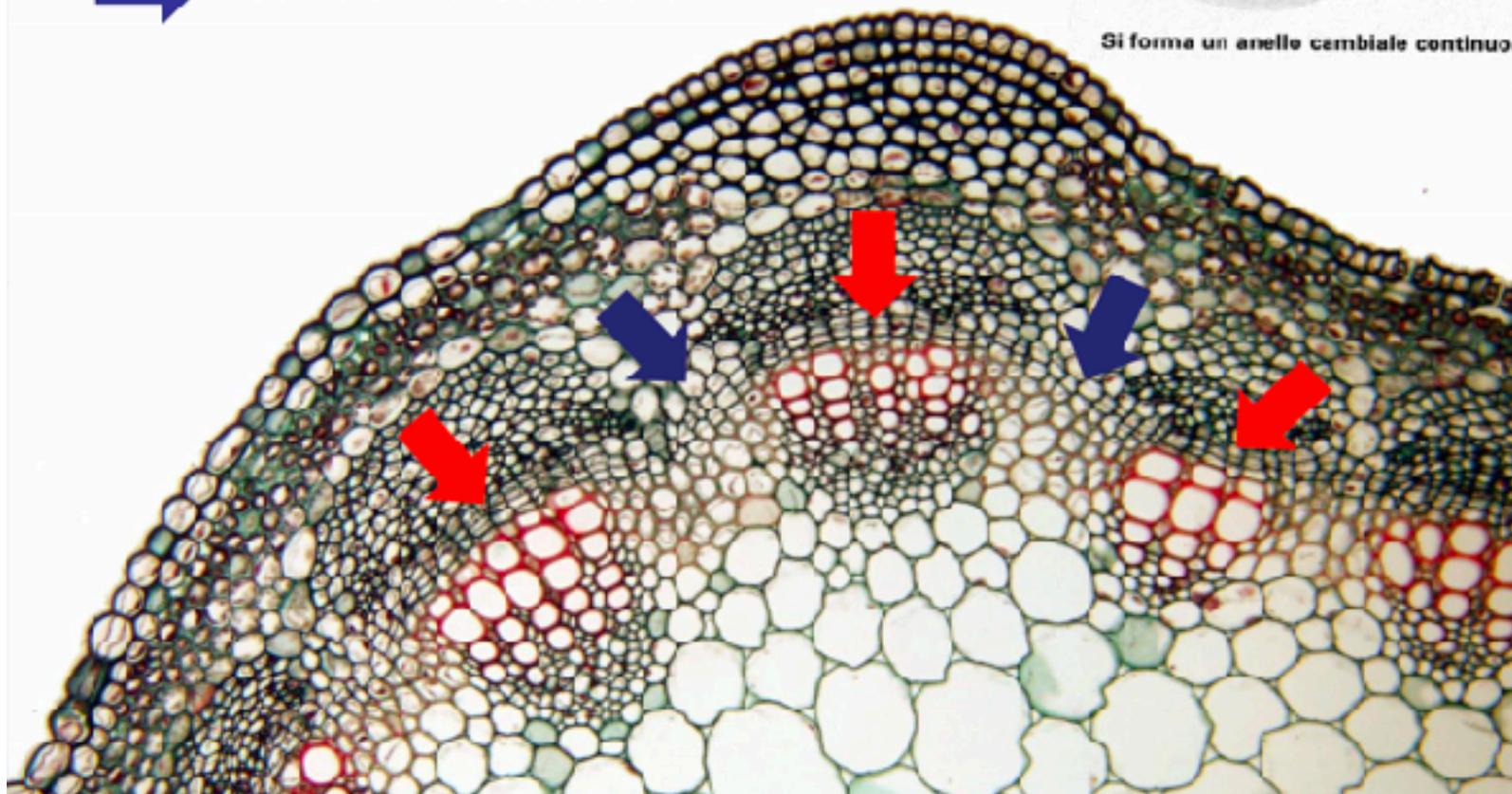
Cambio intrafascicolare

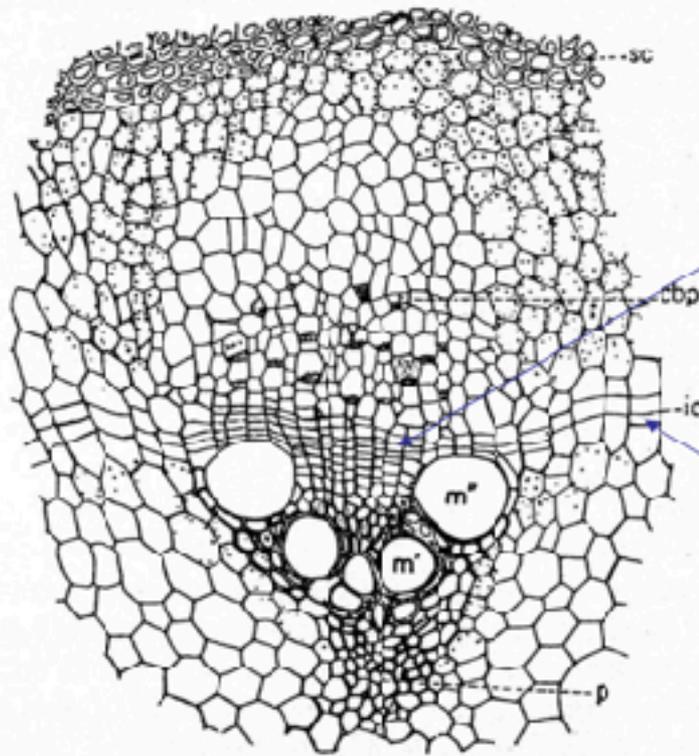


Cambio interfascicolare



Si forma un anello cembiale continuo.



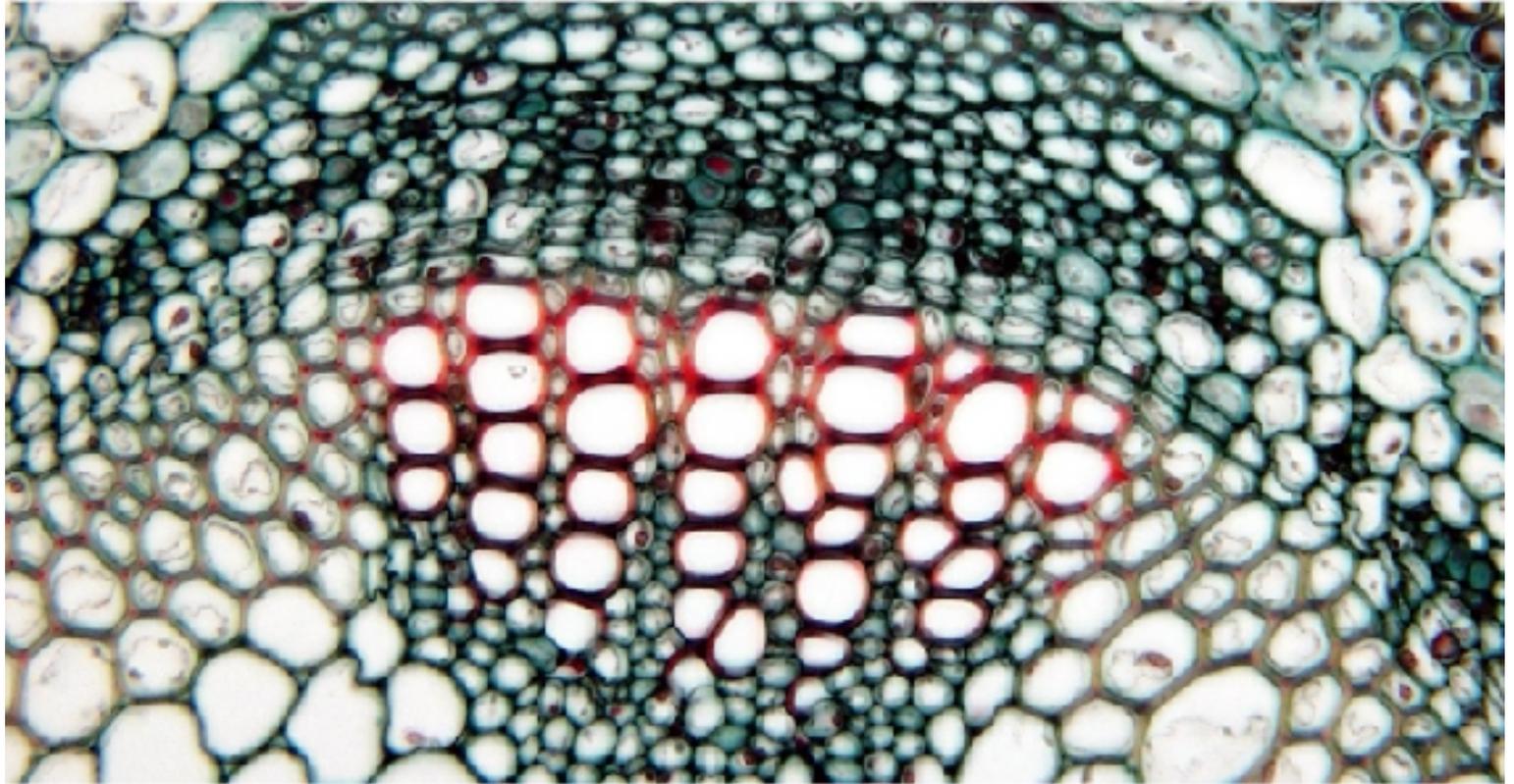


**Cambio
intrafascicolare**
(residuo del cordone
procambiale)

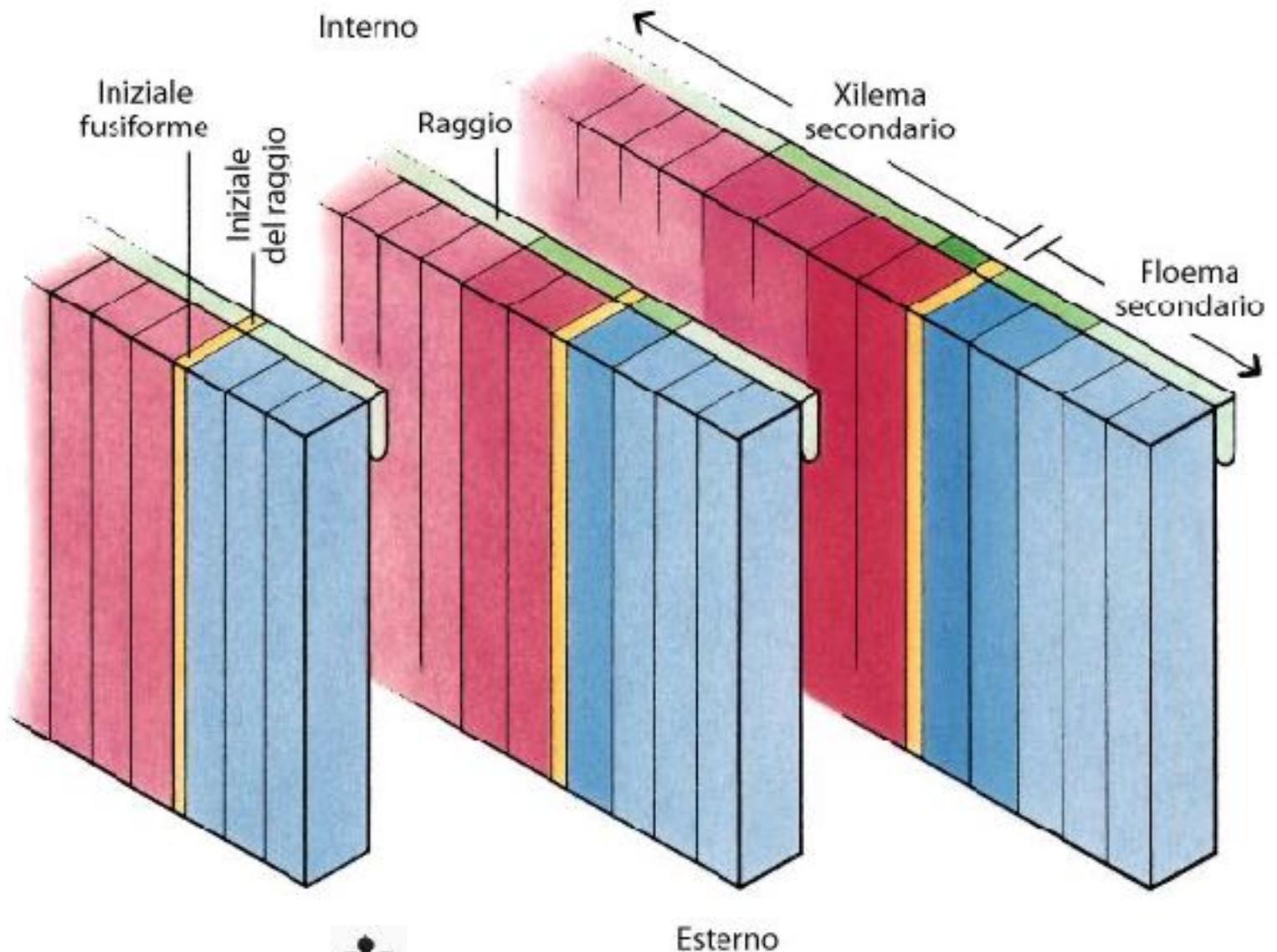
Cambio interfascicolare
(cellule parenchimatiche
del raggio midollare
indotte a dedifferenziarsi)

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).



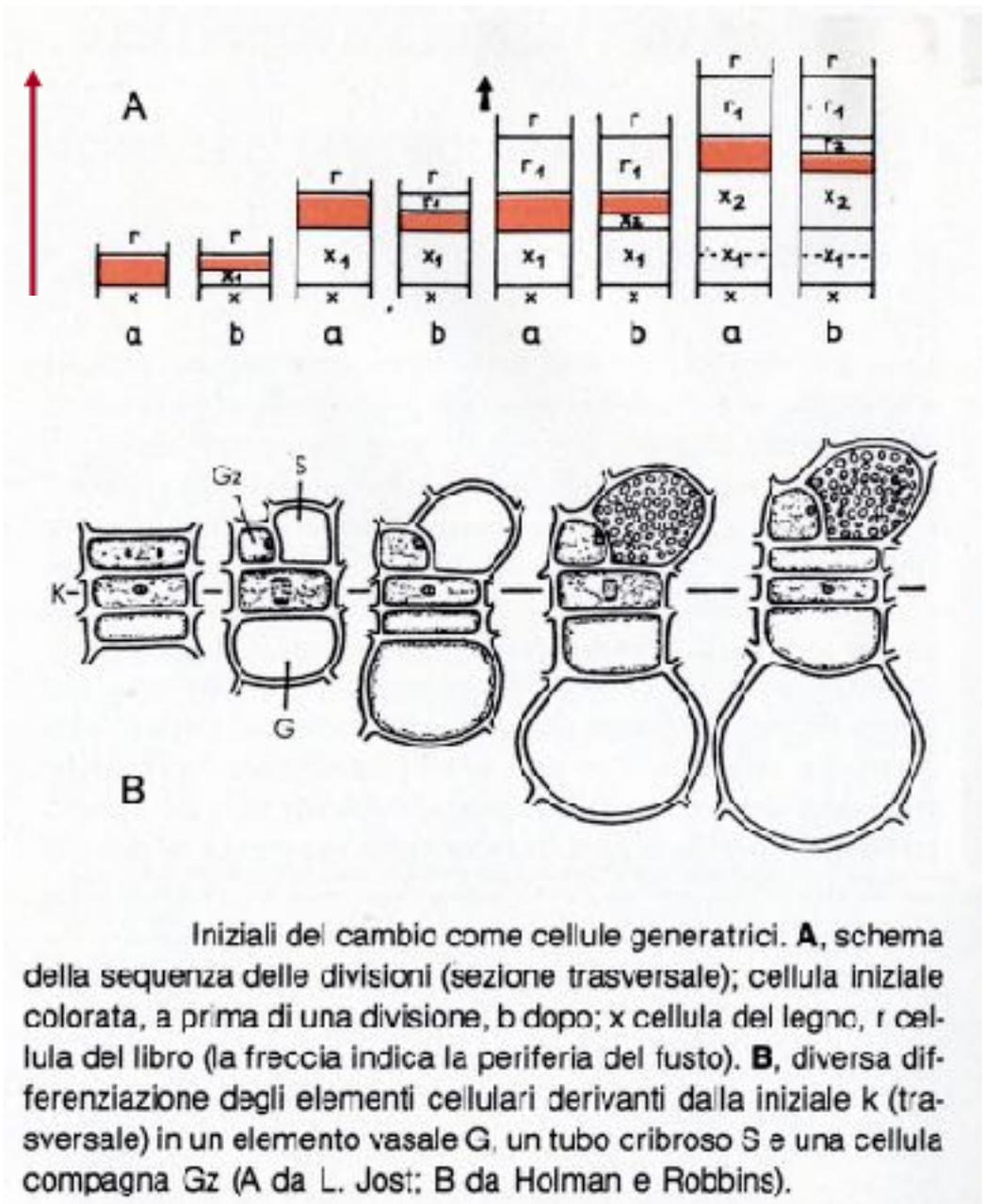


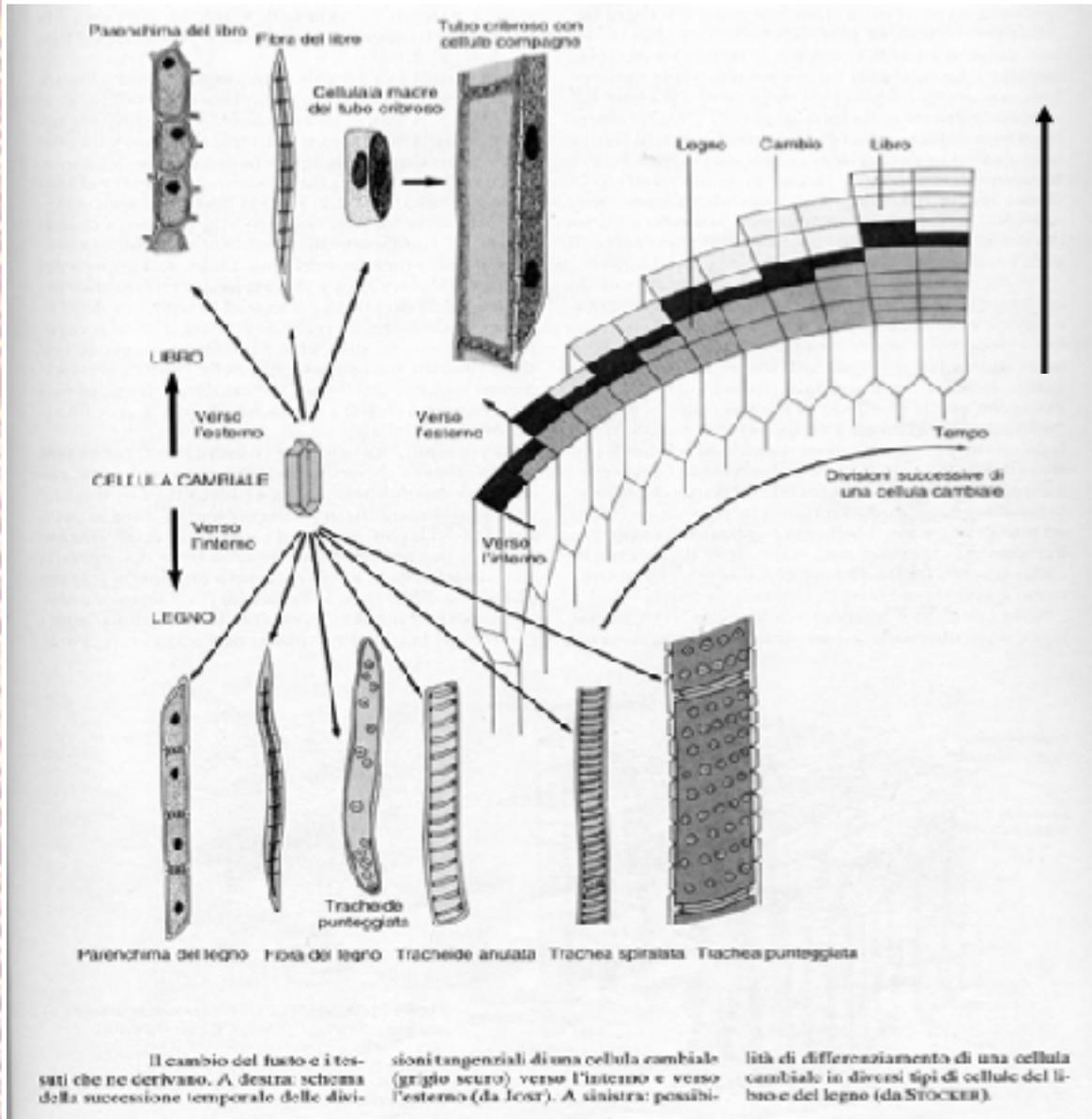
Con divisioni longitudinali tangenziali avviene la formazione di due cellule di dimensioni uguali, di cui una si differenzierà, mentre l'altra manterrà la capacità di dividersi.





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



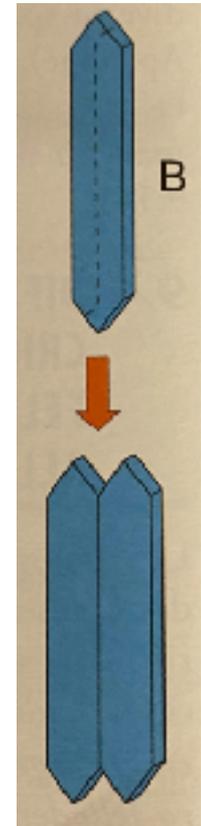
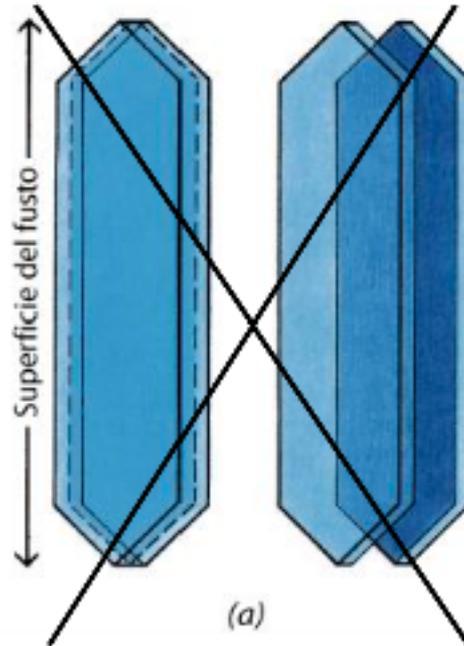
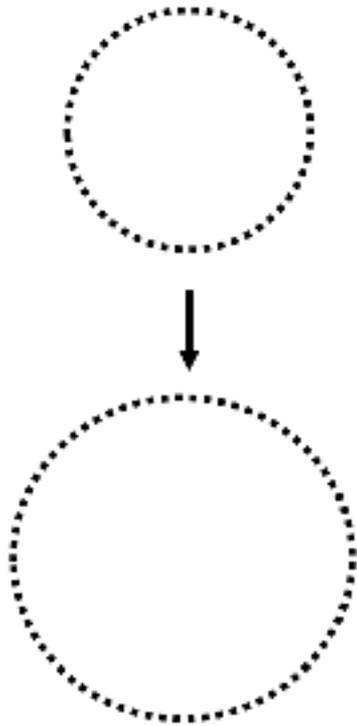


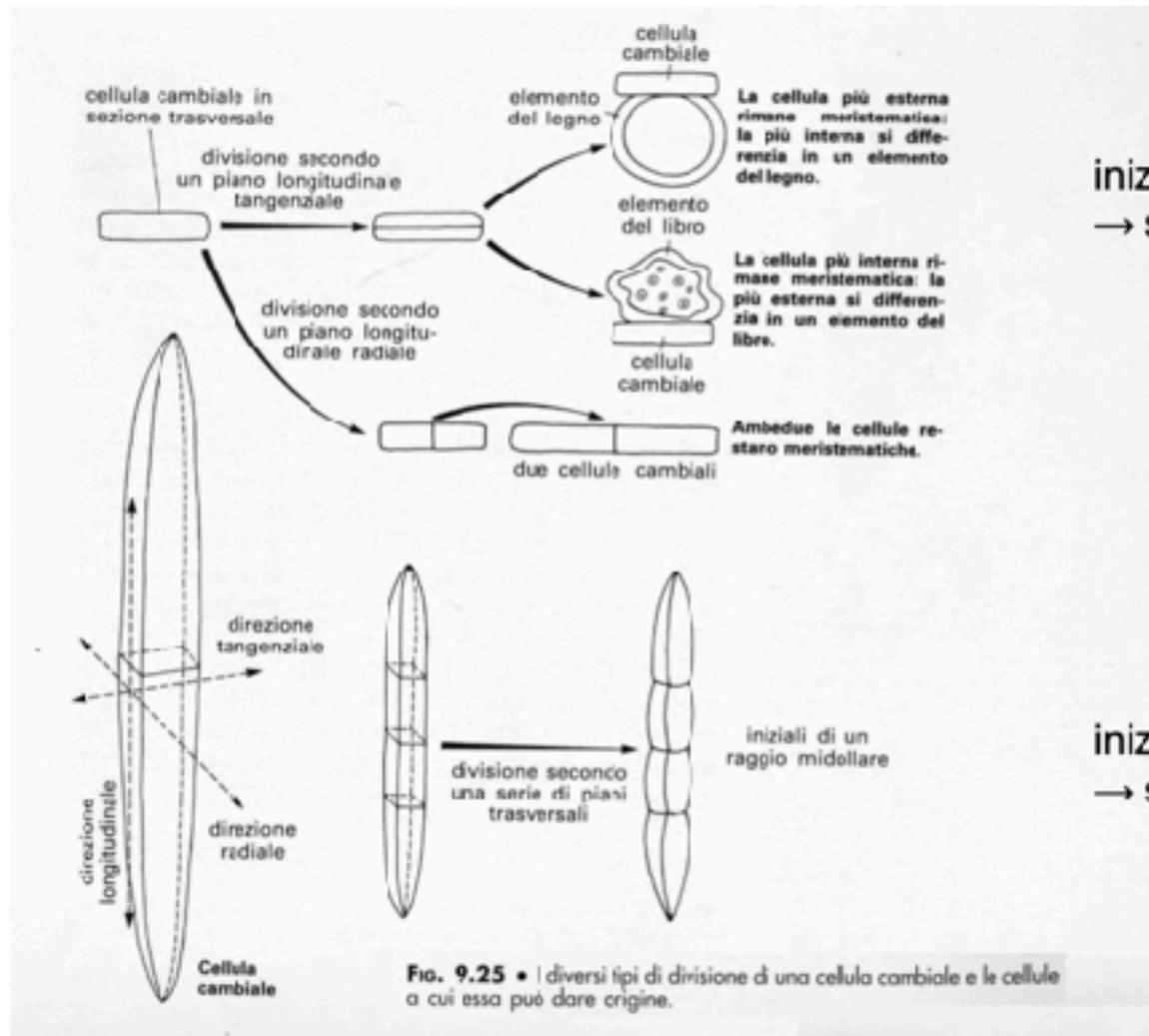
Con la formazione di nuovi elementi xilematici, il cambio si sposta sempre più lontano dal centro dell'organo, aumentando la propria circonferenza.





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).

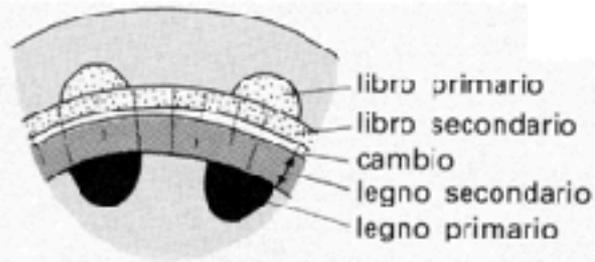




iniziali fusiformi
→ sistema assiale
del fusto

iniziali dei raggi
→ sistema radiale
del fusto

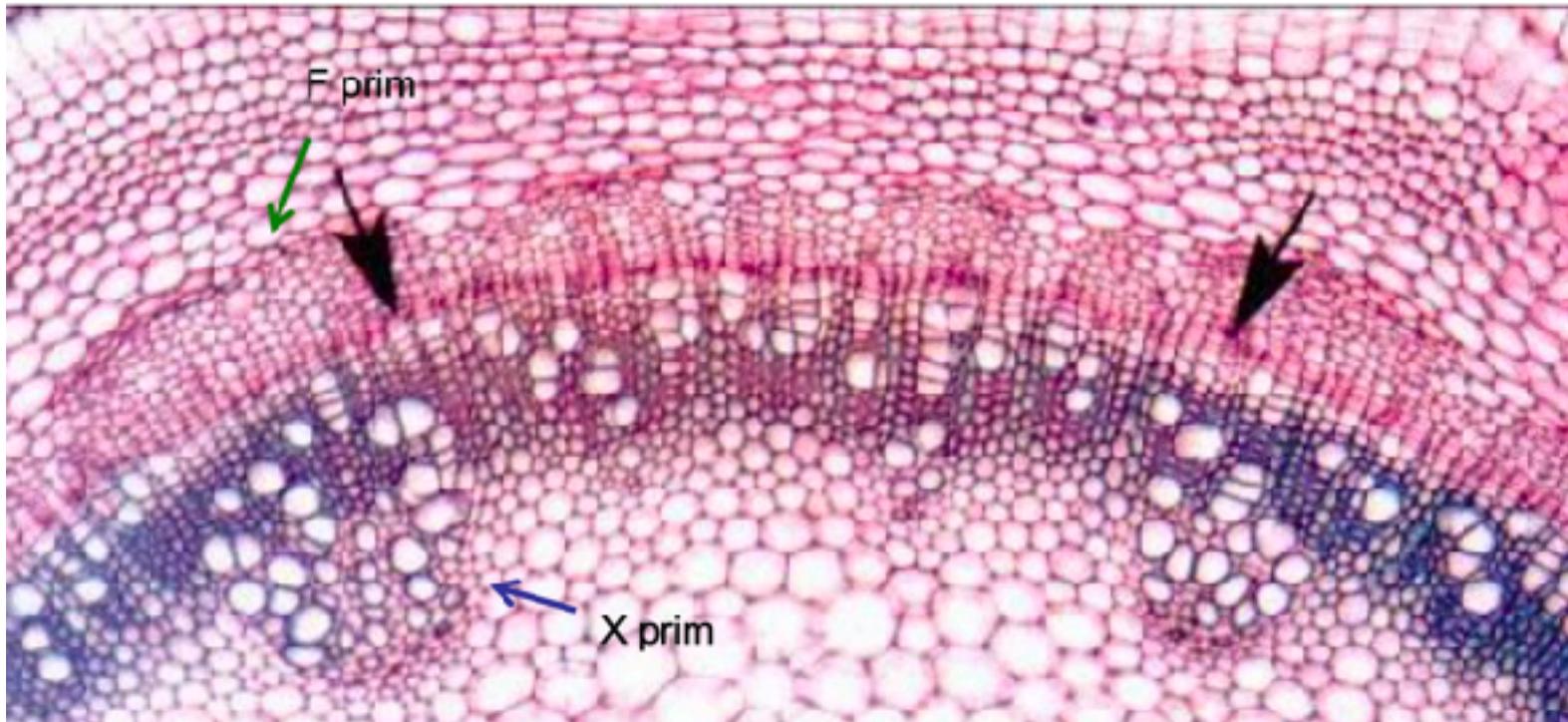


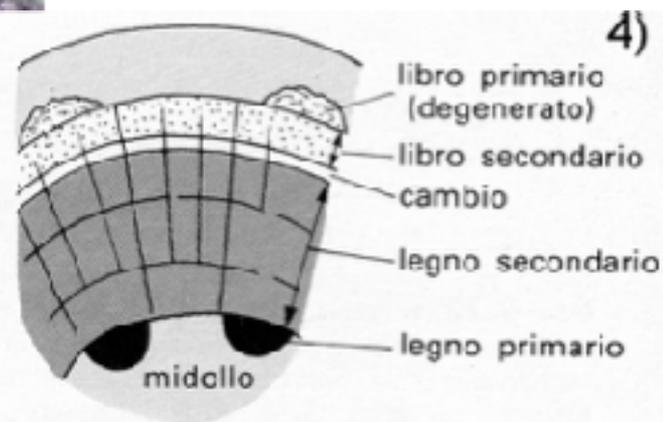
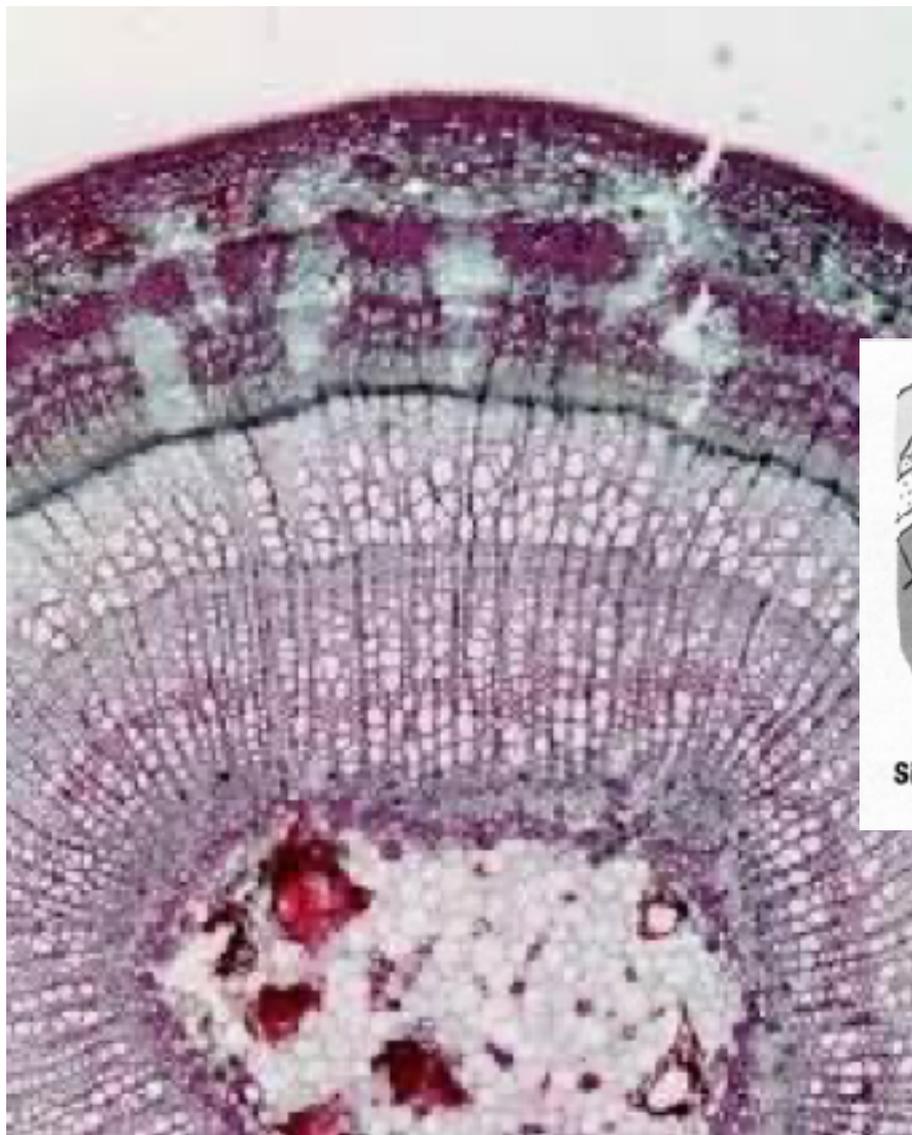


Il cambio comincia a produrre libro e legno secondi

Struttura secondaria

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



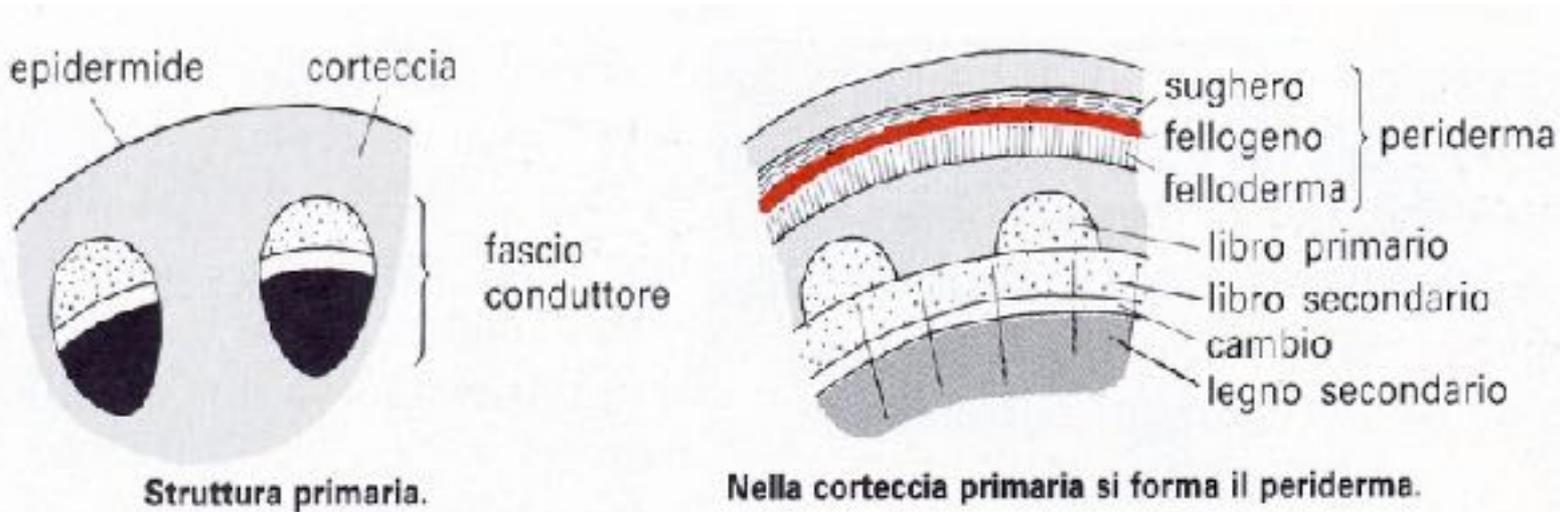


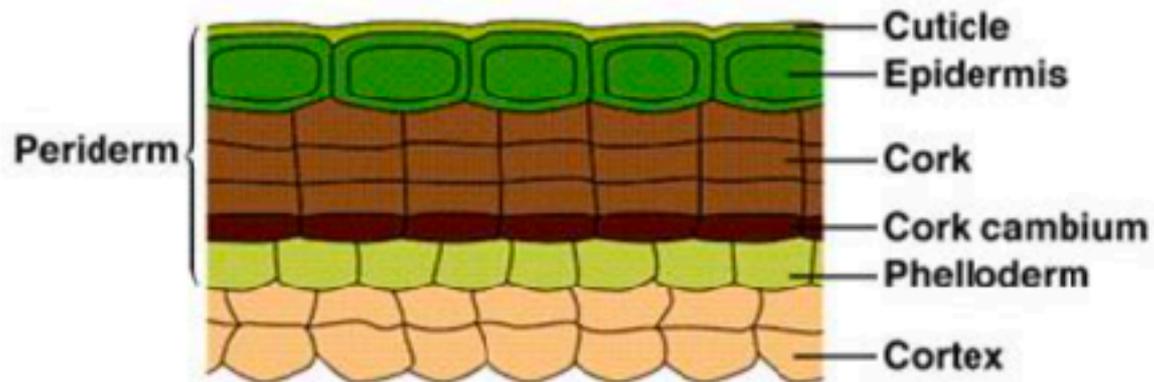
Situazione dopo alcuni anni.



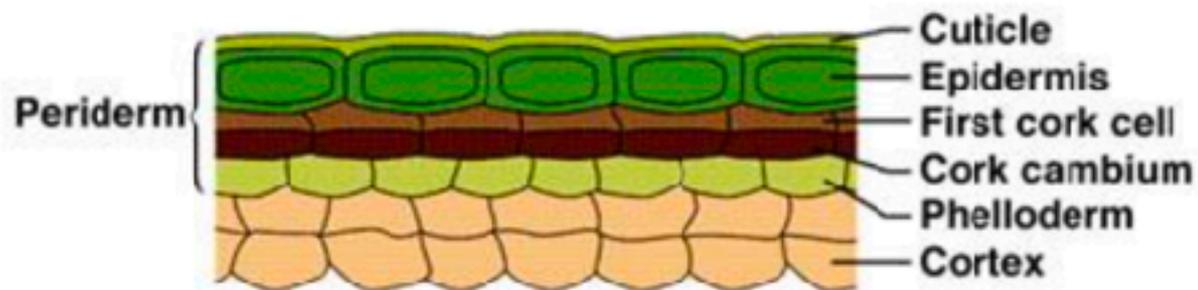
IL PERIDERMA

Nella parte più esterna del fusto, intanto...





Sughero
Fellogeno
Felloderma



Sughero
Fellogeno
Felloderma





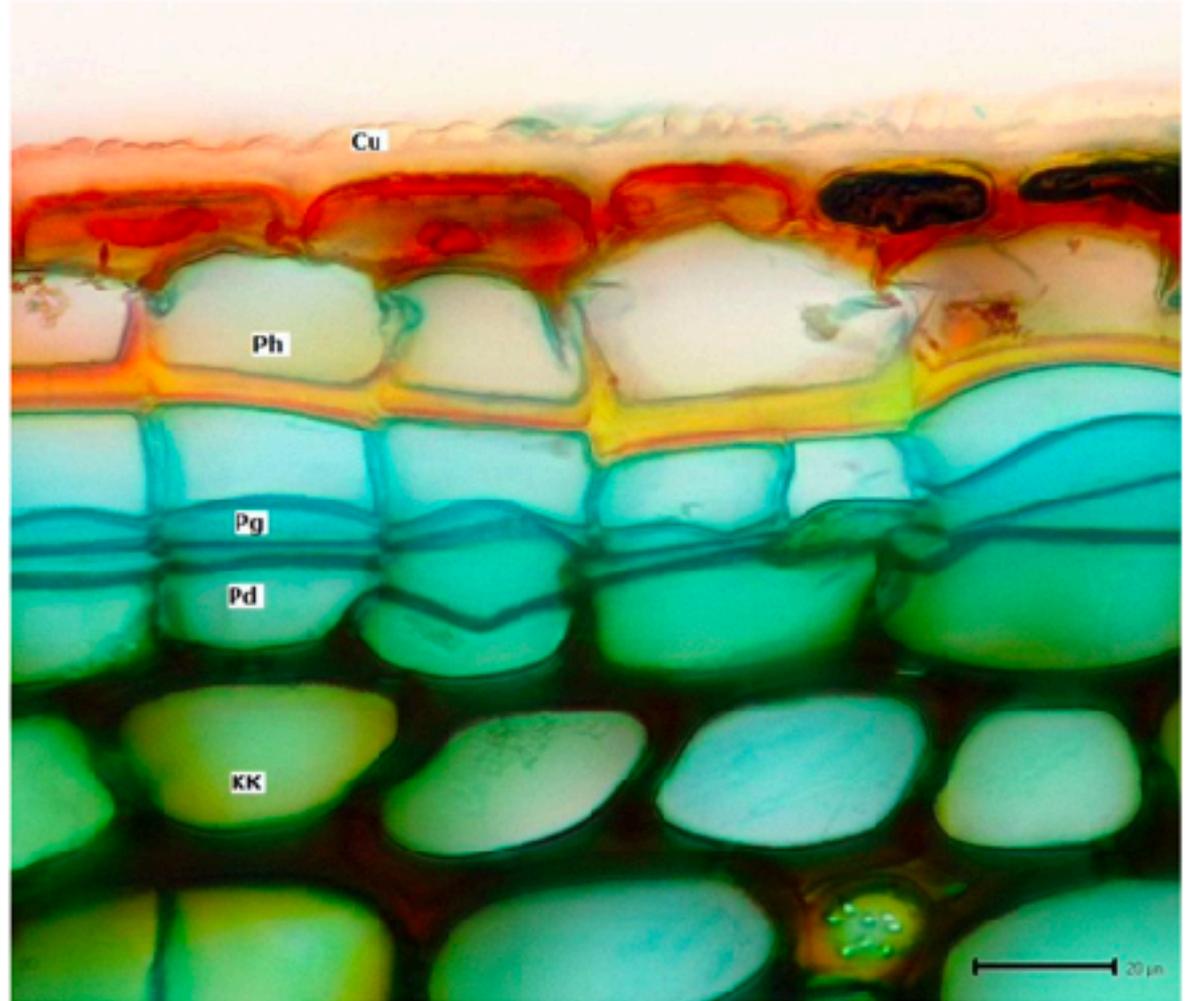
Epidermide

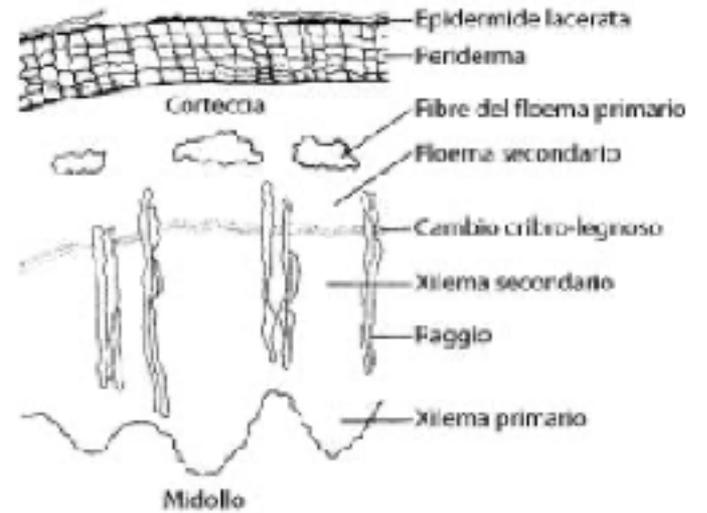
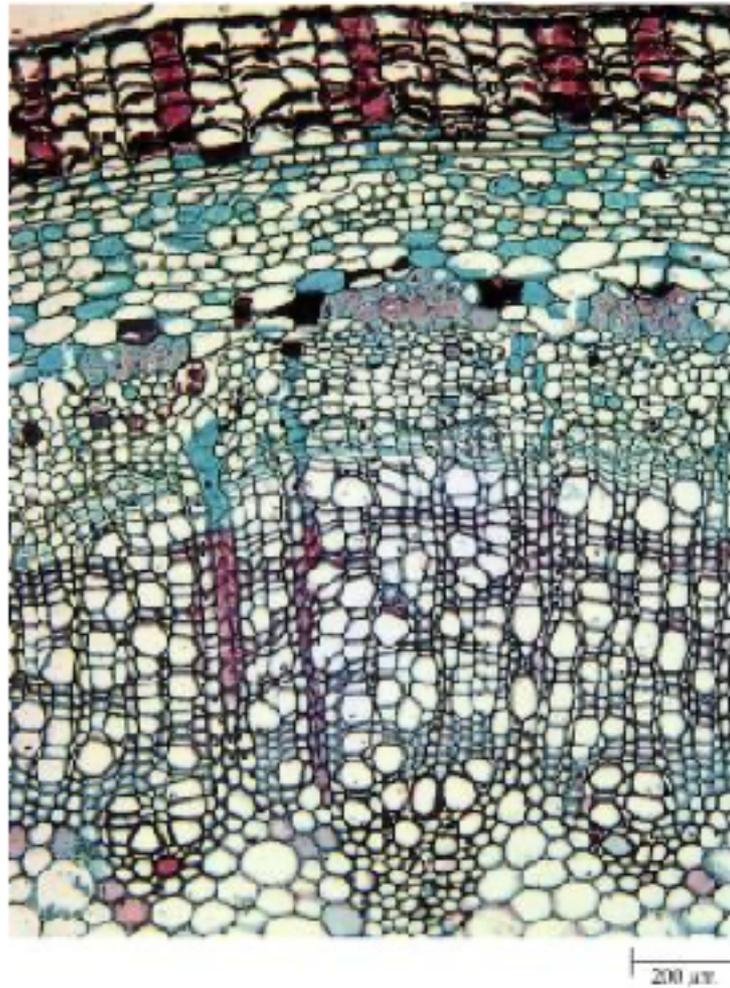
Sughero o
Fellema (Ph)

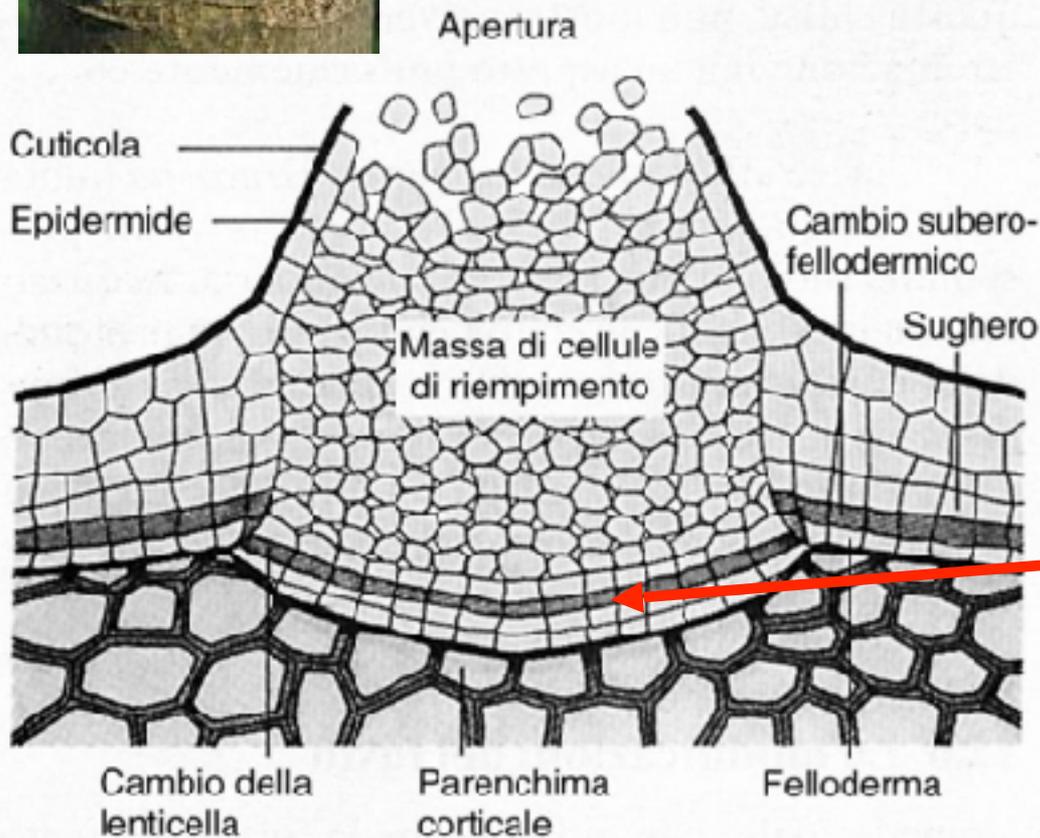
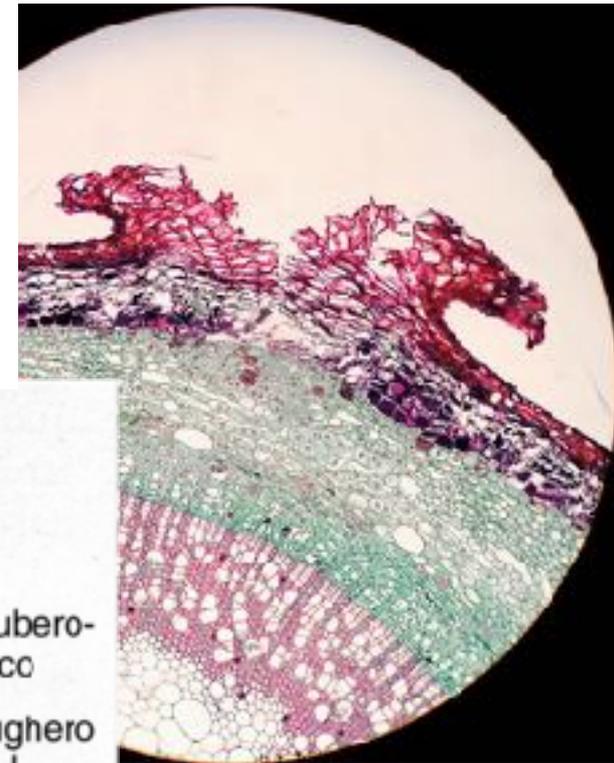
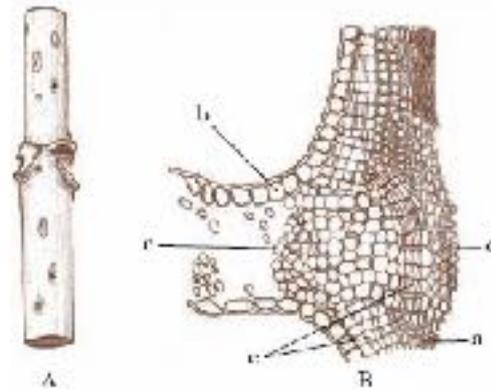
Fellogeno (Pg)

Felloderma (Pd)

Collenchima







Fellogeno della lenticella

Lenticelle

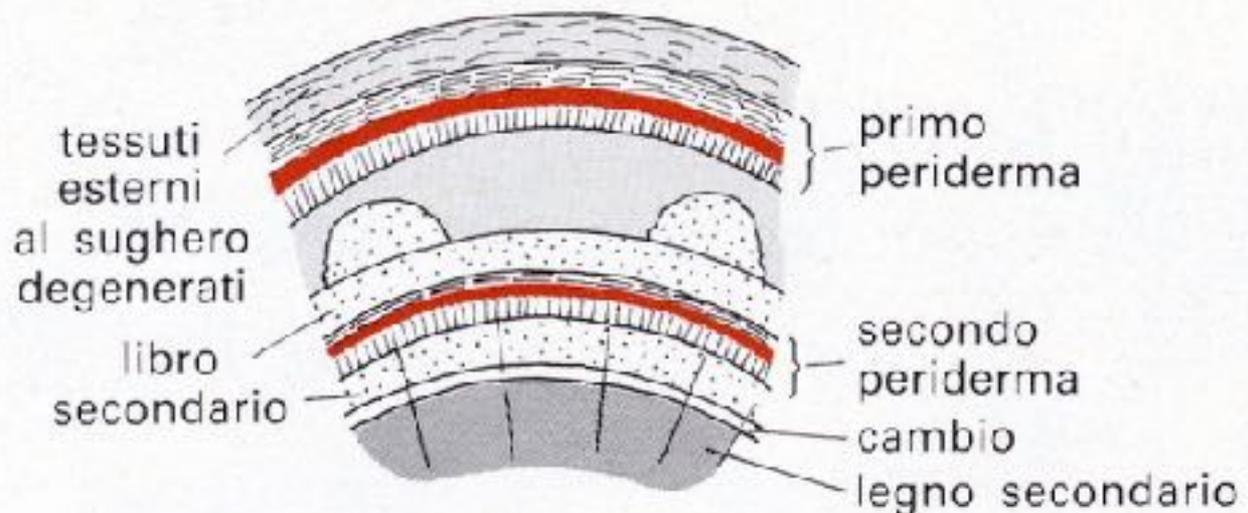


IL RITIDOMA

Il fellogeno dura generalmente un anno.

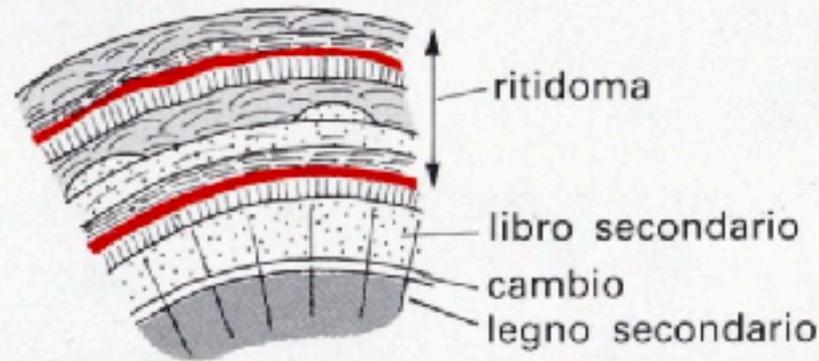
Con il passare degli anni, e l'ulteriore accrescimento in spessore del legno, anche il primo periderma viene lacerato, e se ne deve formare uno nuovo, in posizione più interna. Alla fine il fellogeno si formerà nel libro (floema 2°).

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...

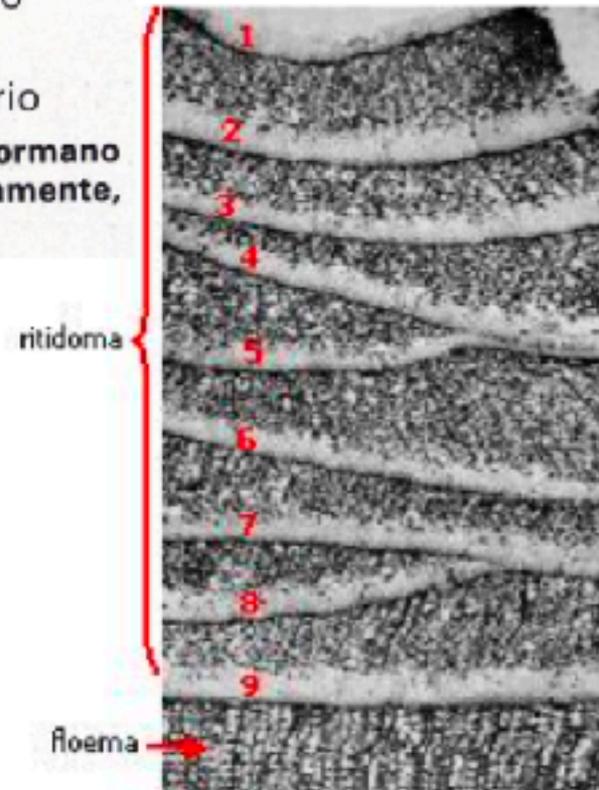


I tessuti esterni al periderma degenerano. Un secondo periderma si forma nello spessore del libro secondario.

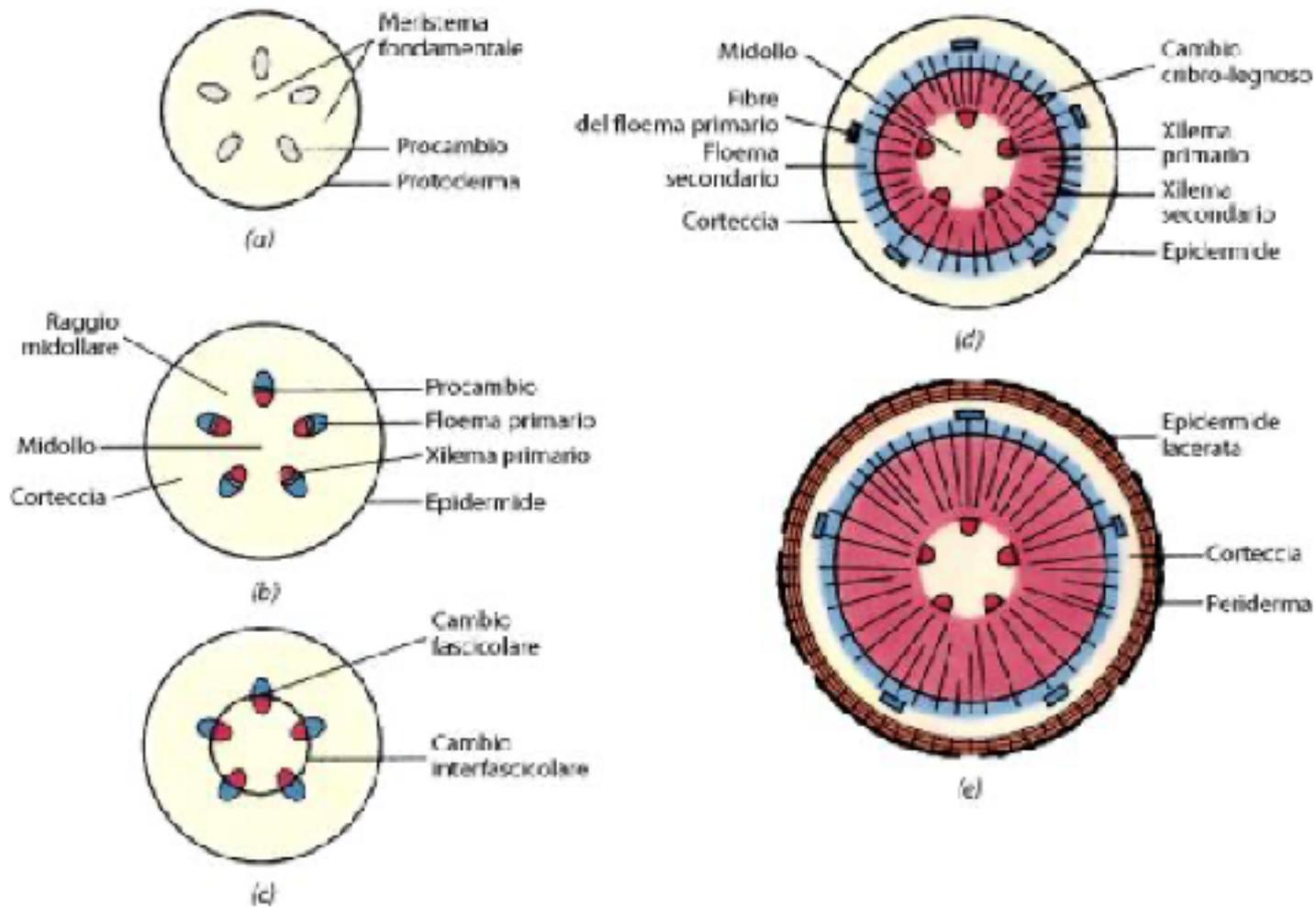


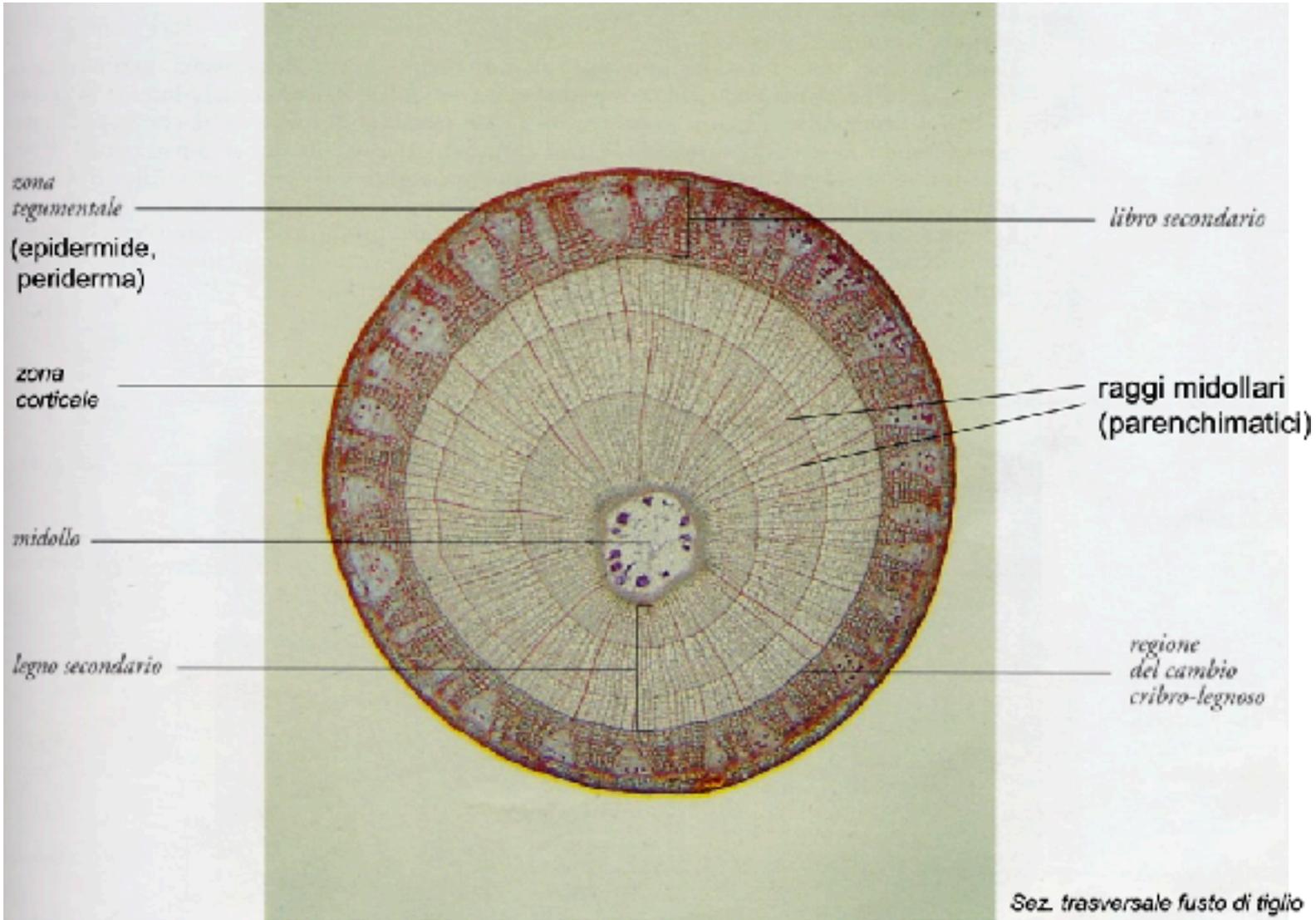


I tessuti esterni al secondo periderma degenerano e formano il ritidoma. Un nuovo periderma si formerà più internamente, nel libro secondario.









zona
tegumentale
(epidermide,
periderma)

zona
corticale

midollo

legno secondario

libro secondario

raggi midollari
(parenchimatici)

regione
del cambio
cribro-legnoso

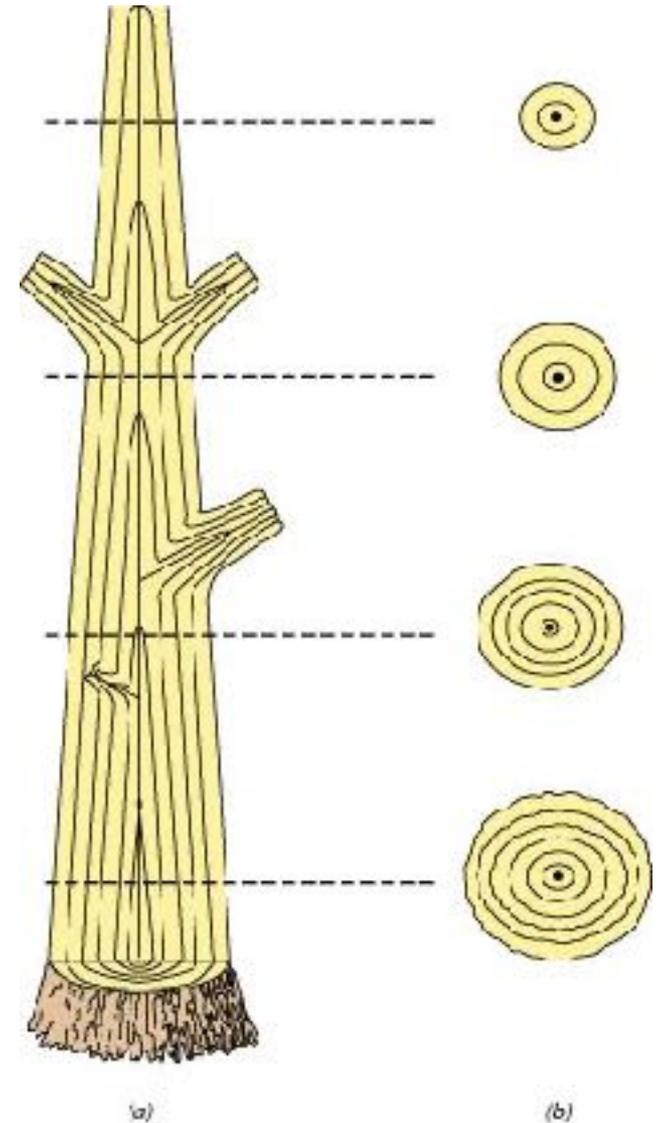
Sez. trasversale fusto di tiglio

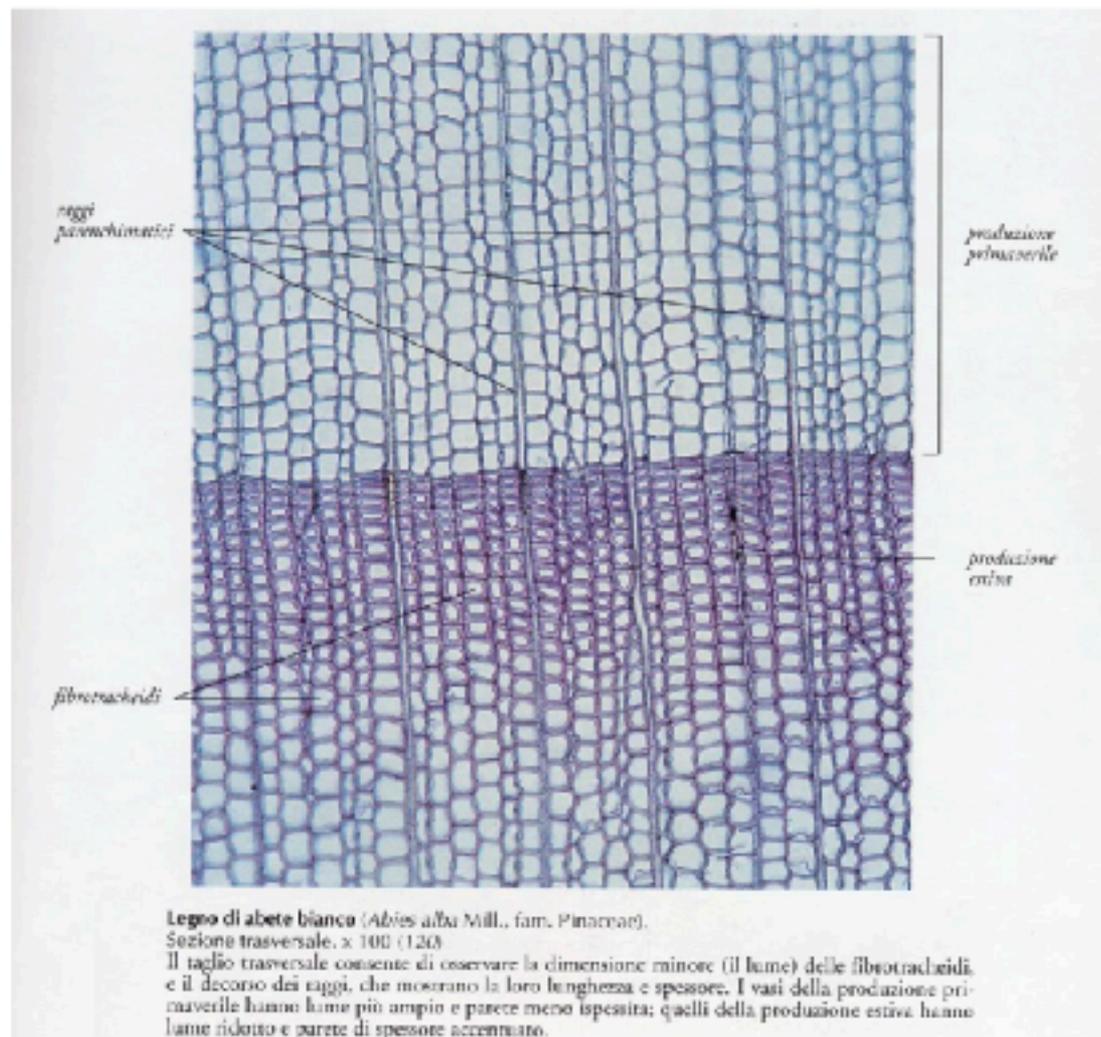


(XILEMA SECONDARIO o) LEGNO



Alle nostre latitudini i cambi hanno attività stagionale....





legno primaverile
anno successivo

pausa invernale
legno estivo

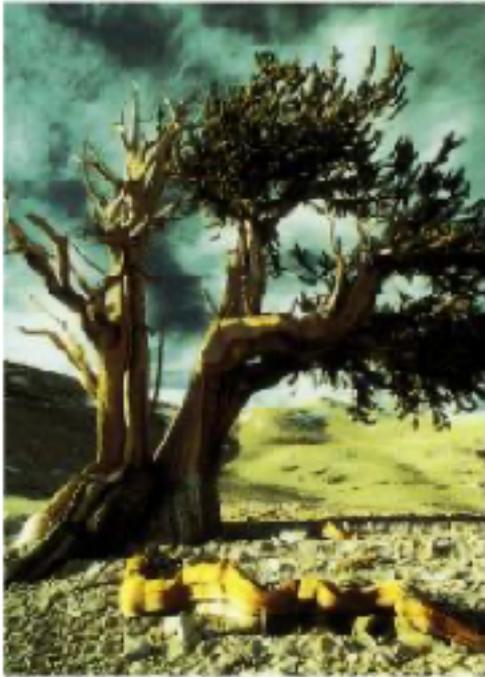
legno primaverile

Legno di abete bianco (*Abies alba* Mill., fam. Pinaceae).
Sezione trasversale, x 100 (120)

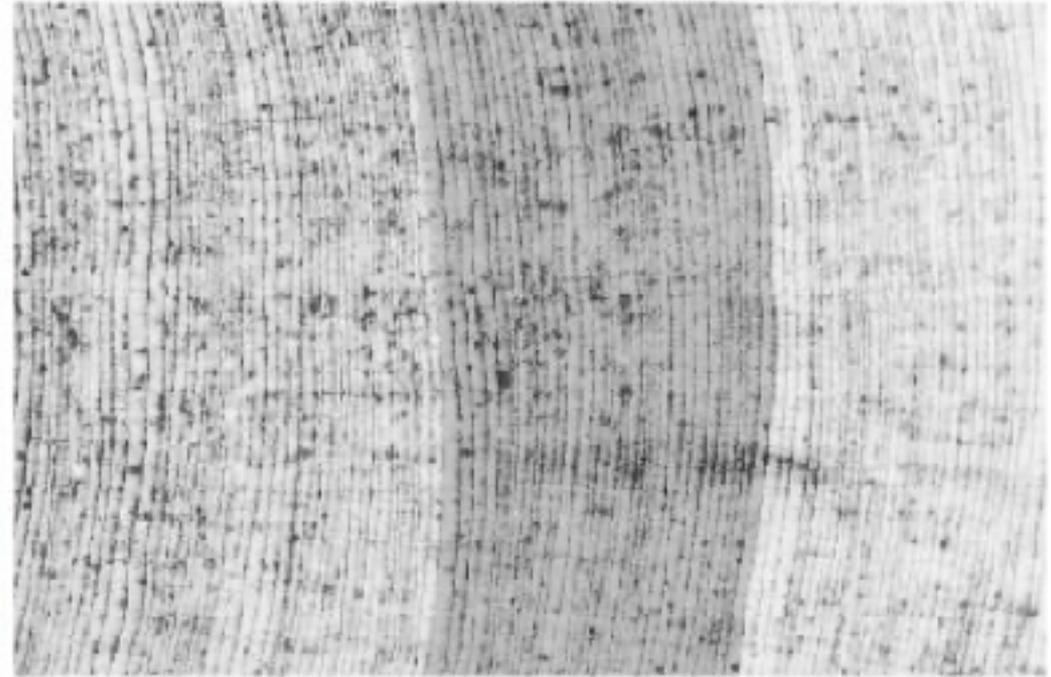
Il taglio trasversale consente di osservare la dimensione minore (il lume) delle fibratracheidi, e il decorso dei raggi, che mostrano la loro lunghezza e spessore. I vasi della produzione primaverile hanno lume più ampio e parete meno ispessita; quelli della produzione estiva hanno lume ridotto e parete di spessore accentratissimo.



XILEMA SECONDARIO o LEGNO: La DENDROCRONOLOGIA



(a)

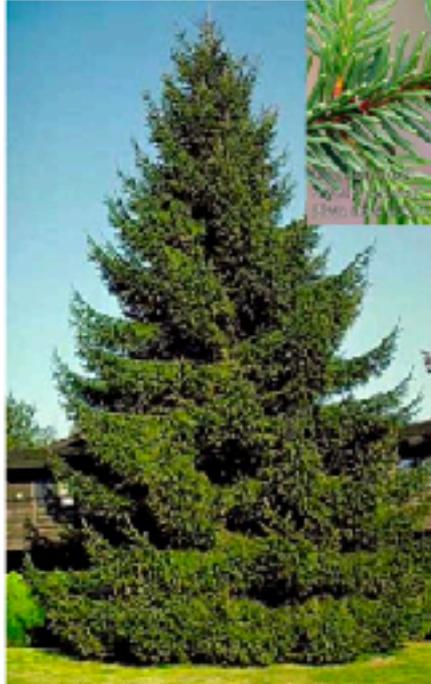


(b)

500 µm



(XILEMA SECONDARIO o) LEGNO



Gimnosperme:
legno OMOXILO

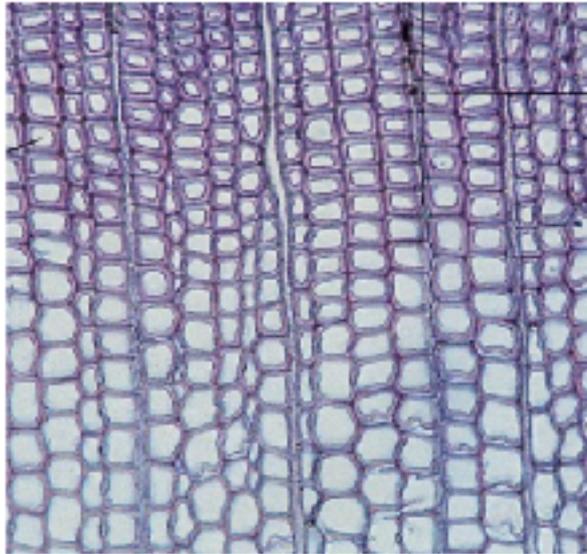
Angiosperme dicotiledoni:
legno ETEROXILO



(XILEMA SECONDARIO o) LEGNO

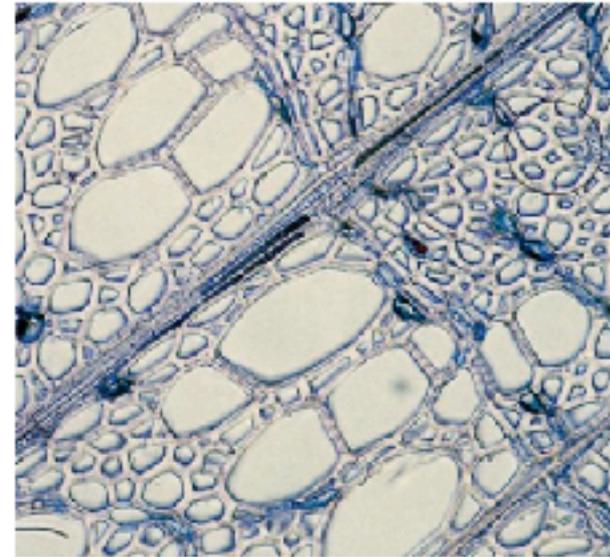
Legno OMOXILO:
formato da sole fibrotracheidi;

raggi midollari uniseriati



Legno ETEROXILO:
formato da trachee, tracheidi;
fibre;

parenchima del legno;
raggi midollari uni- e pluriseriati

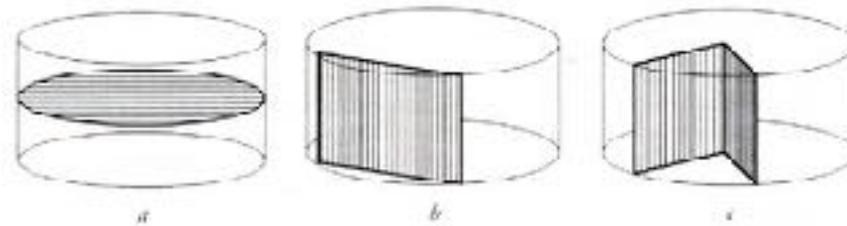




Per capire le caratteristiche del legno utilizzando un microscopio ottico sono necessari 3 tipi di sezioni:

- trasversale
- longitudinale tangenziale
- longitudinale radiale

Combinando insieme le informazioni provenienti da ciascun tipo di sezione si può comprendere l'aspetto tridimensionale di un legno.



33E Scherma delle sezioni trasversale (a), longitudinali tangenziale (b) e radiale (c).

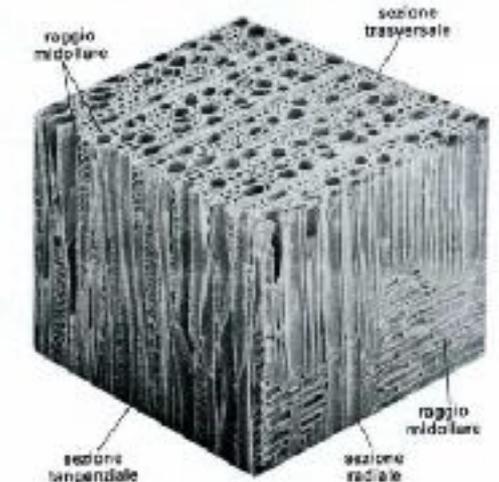
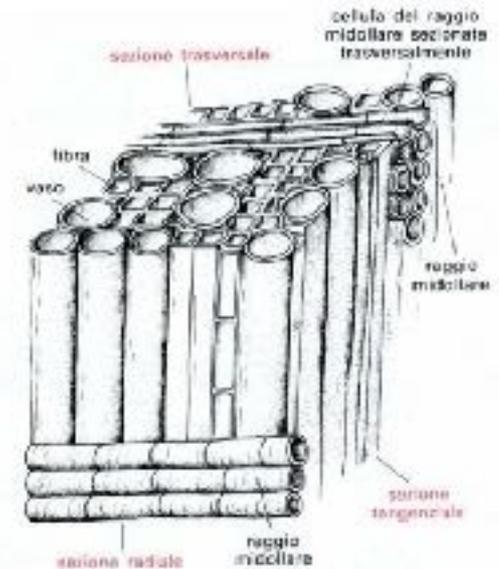
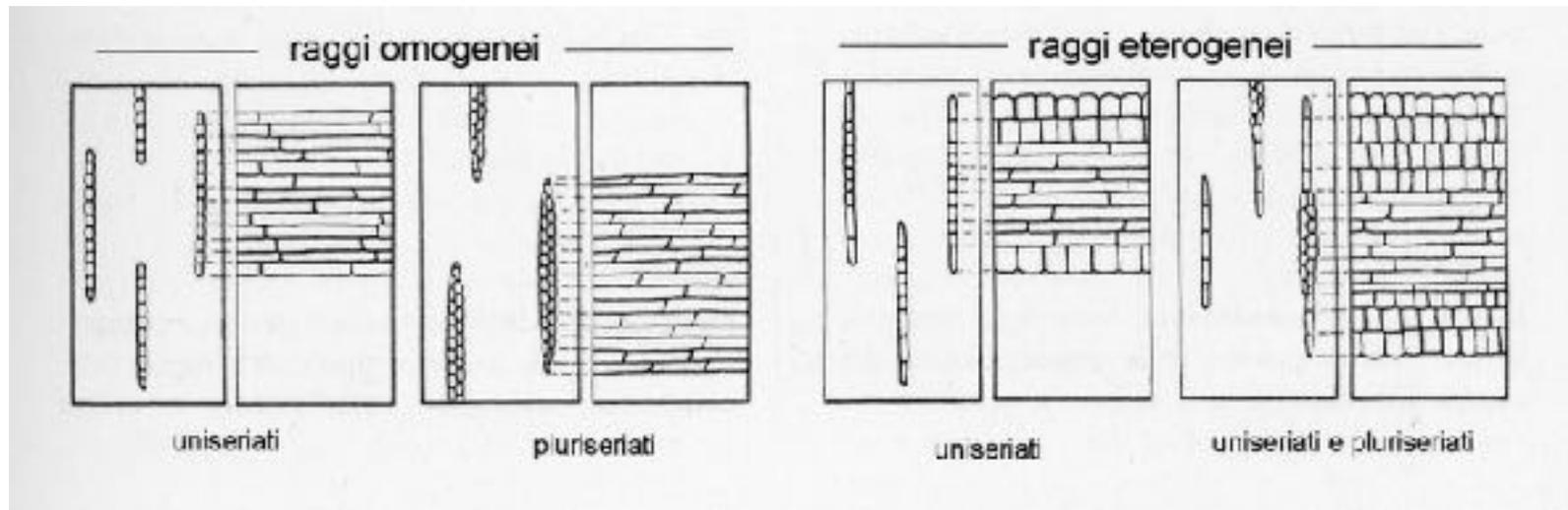


FIG. 9.38 • I raggi medullari formano un sistema di conduzione orientato trasversalmente e quindi perpendicolare alle altre cellule del fusto o del legno secondario che hanno orientamento longitudinale. Essi si possono considerare come fasci di tubi orizzontali (o meglio perpendicolari all'asse del fusto). Lo schema in alto mostra un blocchetto di legno in cui è messo in evidenza il diverso aspetto dei raggi medullari nelle tre possibili sezioni (trasversale, radiale, tangenziale). In basso si vede un blocchetto di legno di dicotiledone (*Laurus nobilis*) visto a obliquo inordinante al microscopio a scansione in cui appaiono la tre superficie di sezione. Questa foto a le successive dimostrano l'utilità del microscopio a scansione per ricostruire la struttura tridimensionale del legno.

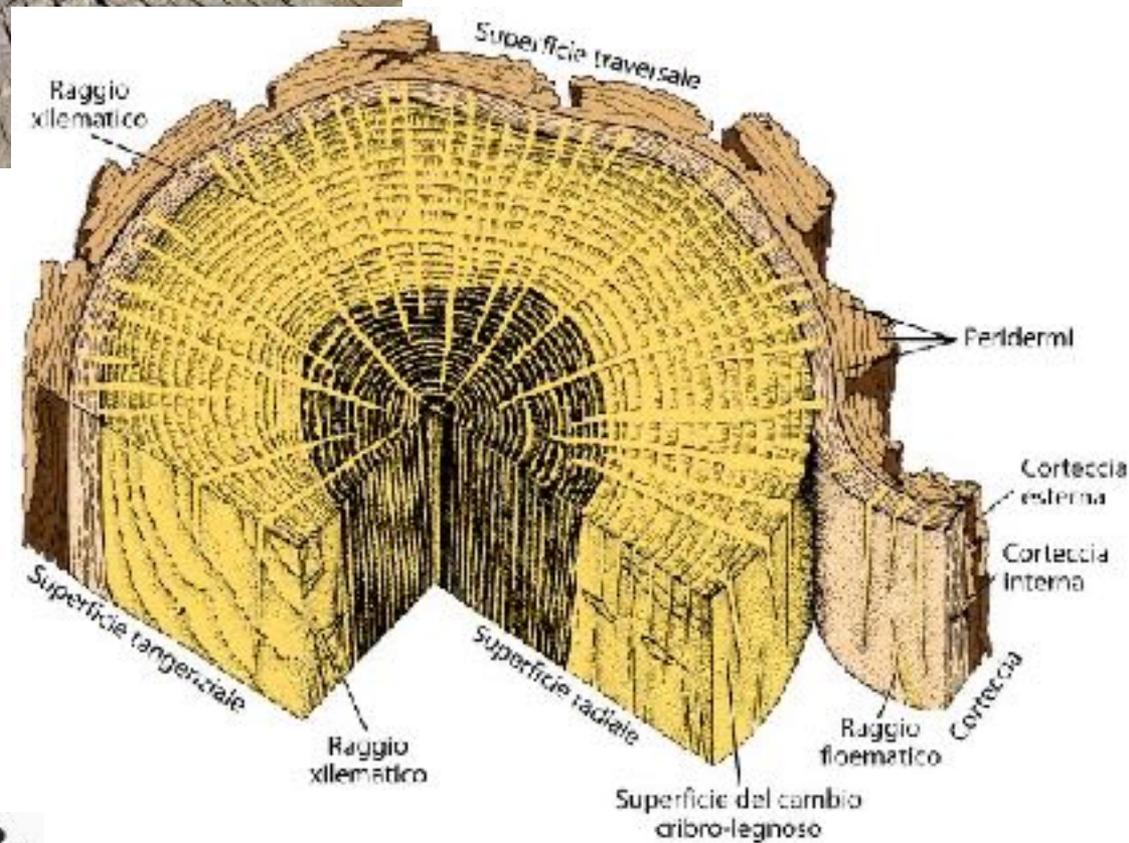




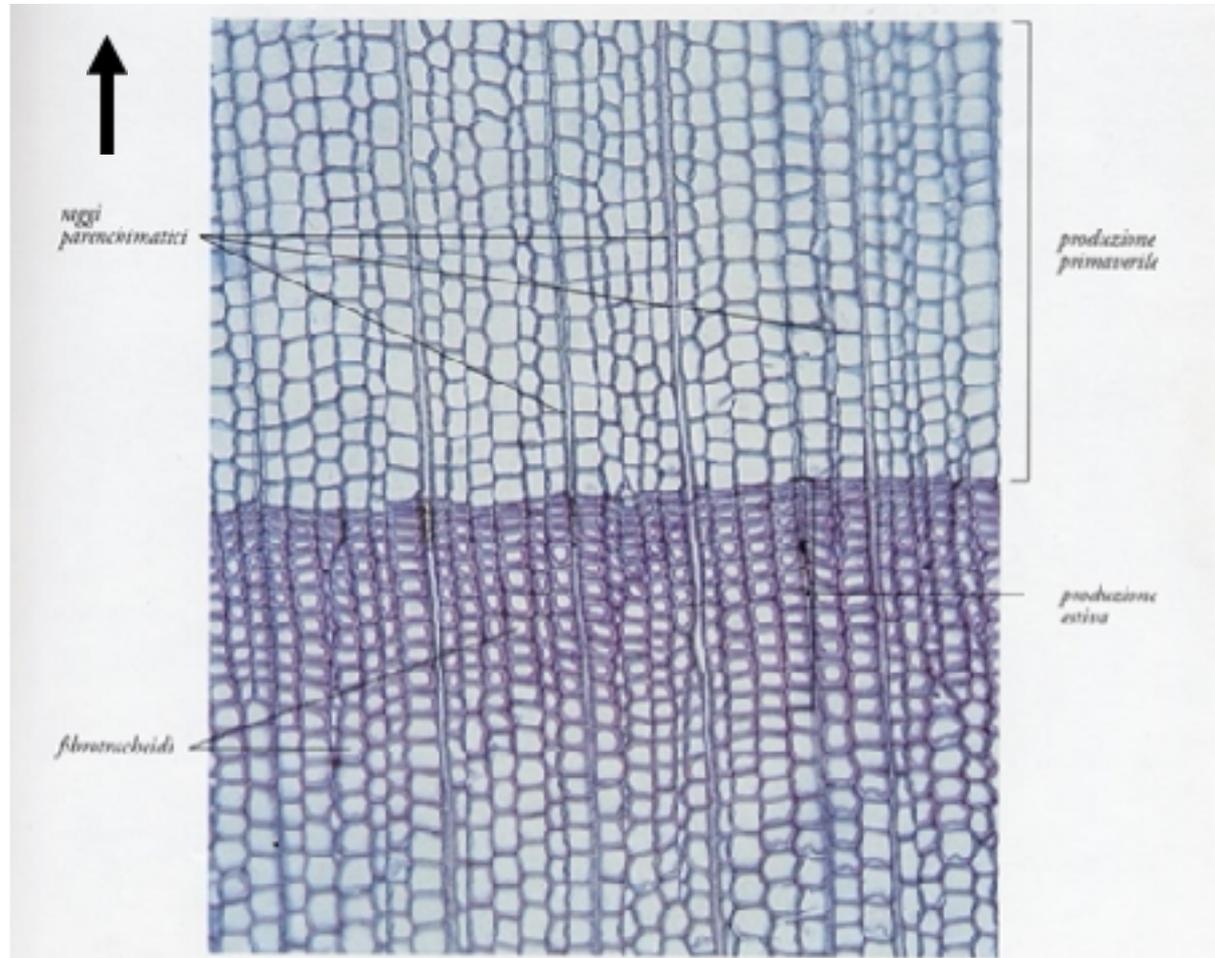
sez. longitudinale
tangenziale

sez.
longitudinale
radiale





(XILEMA SECONDARIO o) LEGNO OMOXILO



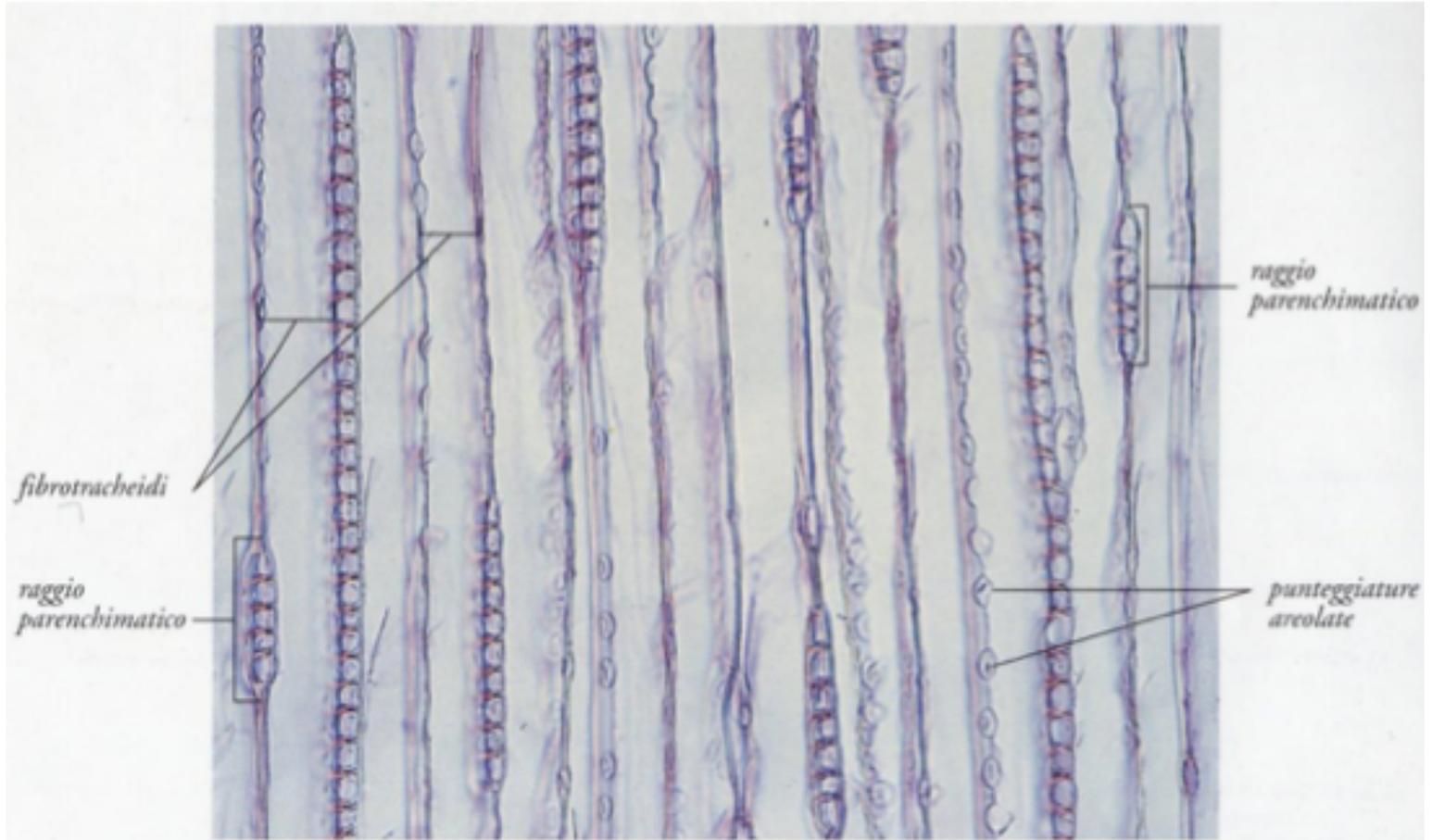
Legno di abete bianco (*Abies alba* Mill., fam. Pinaceae).

Sezione trasversale, $\times 100$ (1,20)

Il taglio trasversale consente di osservare la dimensione minore (il lume) delle fibratracheidi, e il decorso dei raggi, che mostrano la loro lunghezza e spessore. I vasi della produzione primaverile hanno lume piú ampio e parete meno ispessita; quelli della produzione estiva hanno lume ridotto e parete di spessore accentuato.



(XILEMA SECONDARIO o) LEGNO OMOXILO



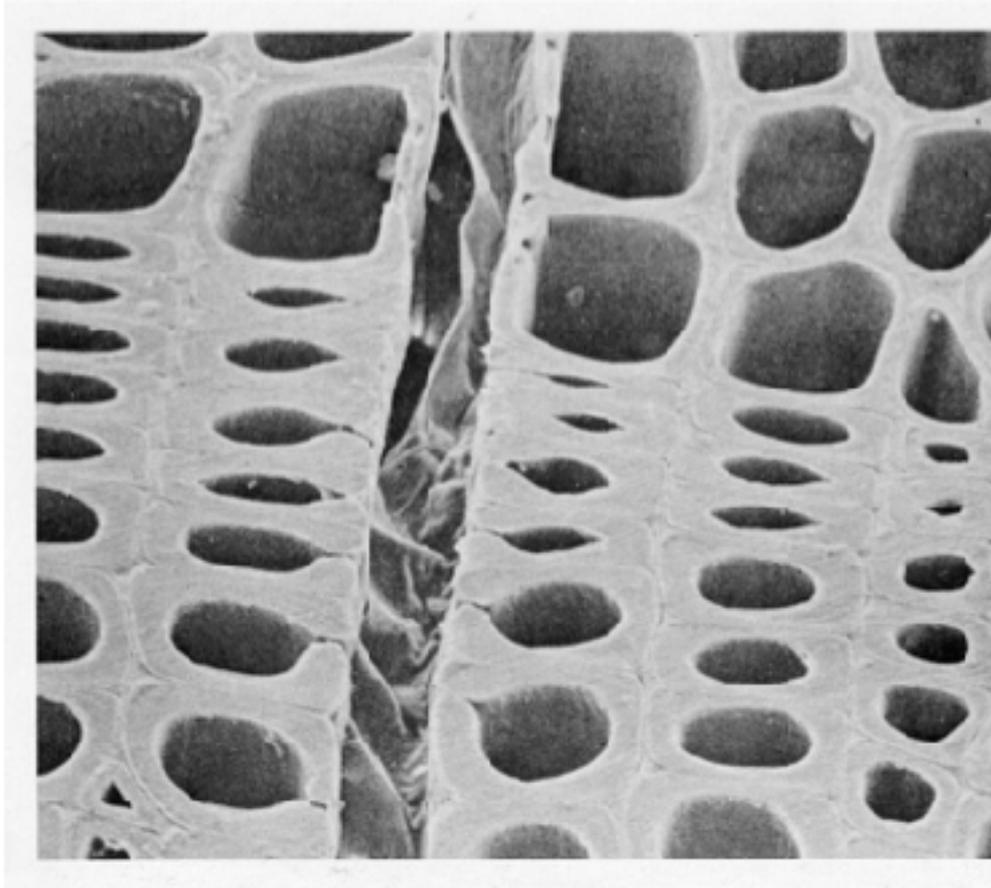
Legno di abete bianco (*Abies alba* Mill., fam. Pinaceae).

Sezione longitudinale tangenziale. x 200 (200)

Il taglio longitudinale tangenziale mostra l'altezza e lo spessore dei raggi.



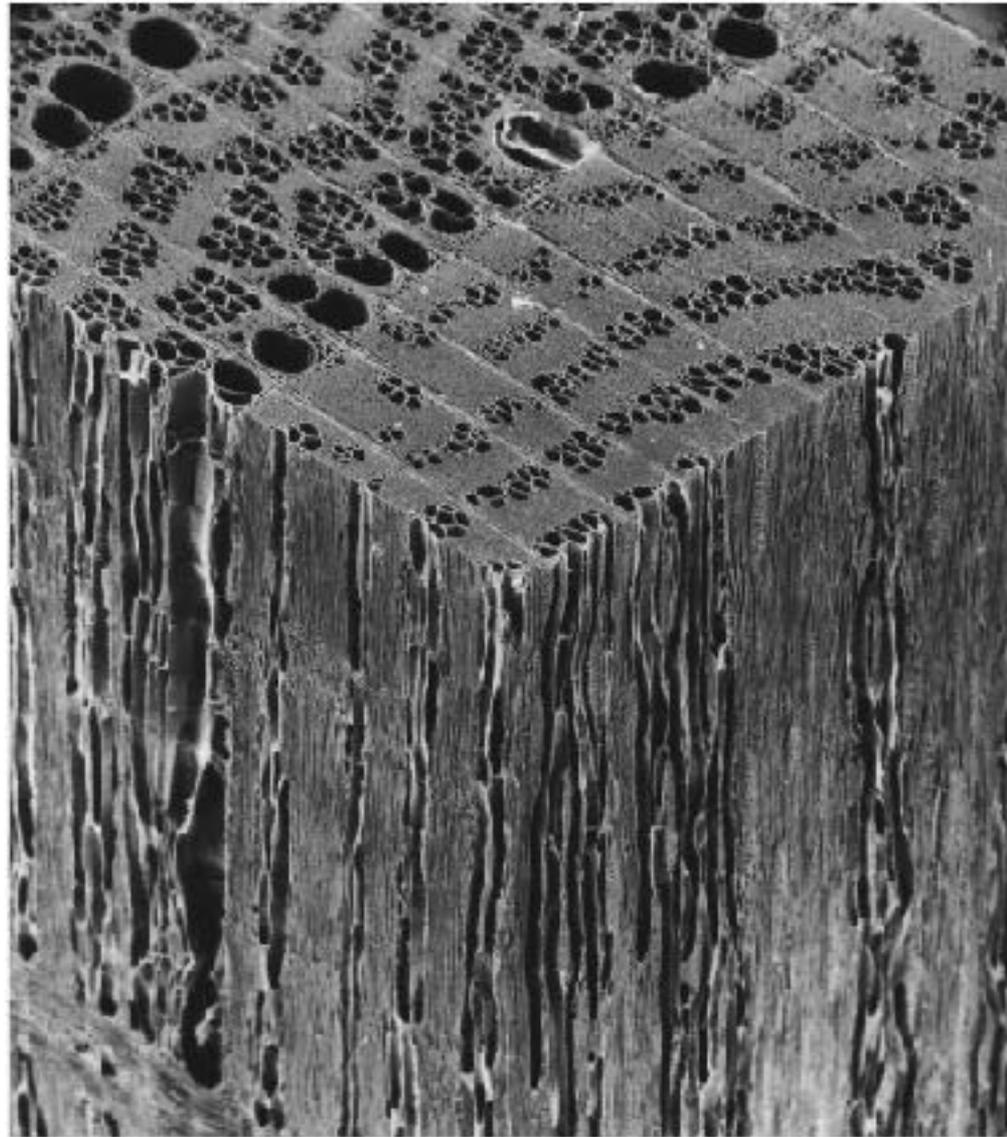
(XILEMA SECONDARIO o) LEGNO OMOXILO



Limite tra due anelli di crescita nel legno di una gimnosperma (pino) visto a forte ingrandimento al microscopio a scansione. In alto, legno primaverile formato da fibrotracheidi a lume largo con funzione prevalentemente di conduzione; in basso, legno estivo dell'anello di crescita precedente formato da fibrotracheidi a lume più stretto e parete più grossa con funzione prevalentemente di sostegno. Si vedono le lamine mediane che cementano insieme le cellule. Il canale al centro è un raggio midollare.
(Da B.A. Meylan and B.G. Butterfield, «Three-dimensional structure of wood», Chapman & Hall, fig. 38 a pag. 50).



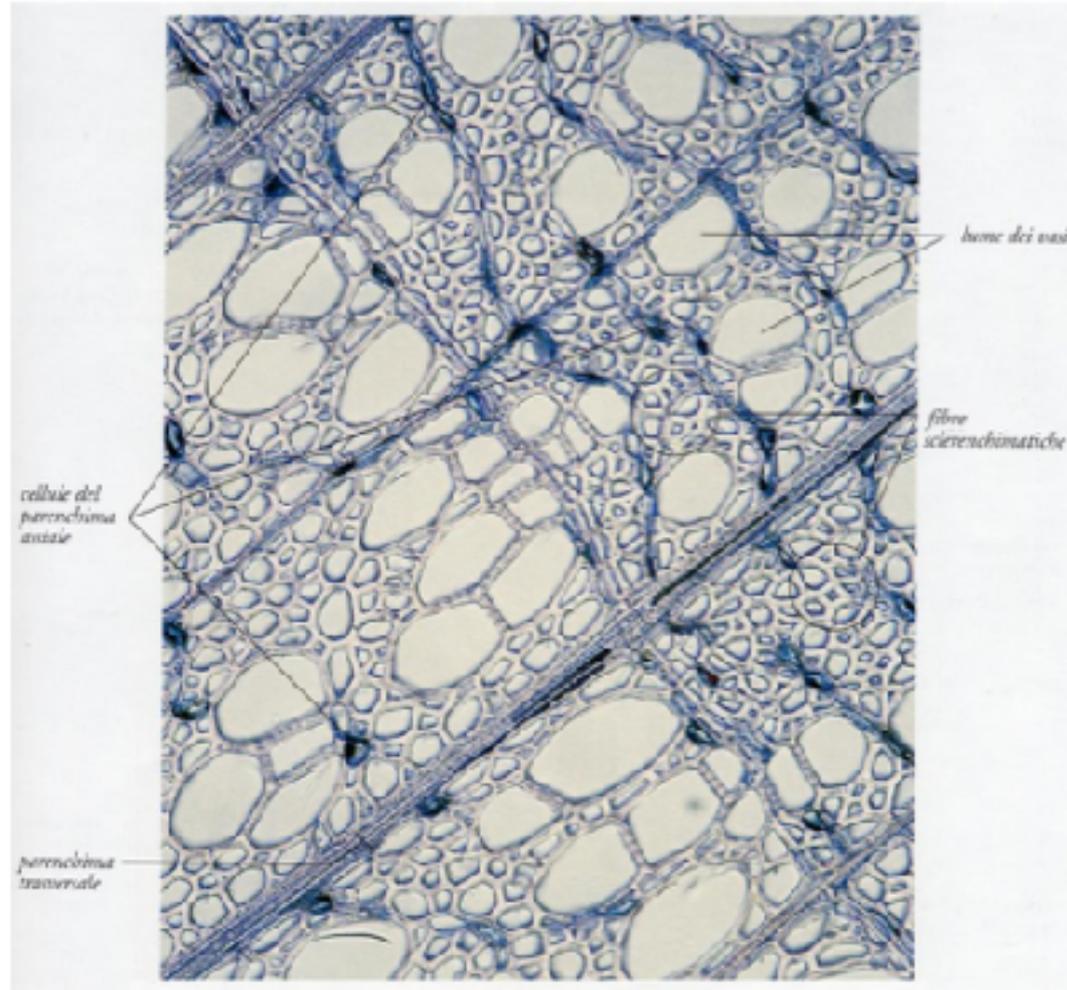
(XILEMA SECONDARIO o) LEGNO ETEROXILO



2,5 mm



(XILEMA SECONDARIO o) LEGNO **ETEROXILO**

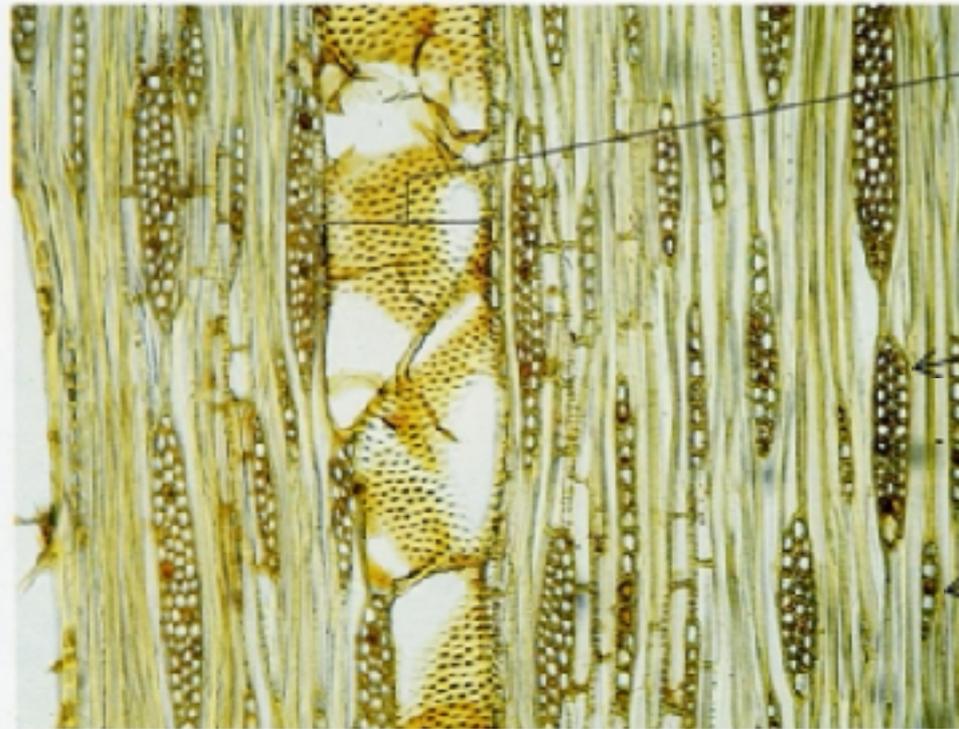


Sezione trasversale

- Vasi
 - Fibre
 - Parenchima:
 - cellule del legno (sistema assiale)
 - raggi midollari (sistema radiale)
- Tanti tipi di legno, distinti in base a vari elementi, ad es.:
- tipi di vasi
 - raggi midollari
 - distribuzione dei vasi all'interno di ogni singolo anello di crescita (porosità)
 - distribuzione delle cellule parenchimatose
 - proporzioni di vasi, fibre e parenchima (durezza)
 -



(XILEMA SECONDARIO o) LEGNO ETEROXILO



Vaso punteggiato nel legno di noce (*Juglans L.*, fam. Juglandaceae).

Sezione longitudinale. x 100 (120)

Vasi ancora più rigidi sono quelli *punteggiati*, in cui la parete secondaria è uniformemente distribuita su quella primaria tranne che a livello delle punteggiature: queste sono per lo più areolare.

I vasi punteggiati sono del tipo aperto (trachee).

Sezione long. tang.



(XILEMA SECONDARIO o) LEGNO **ETEROXILO**

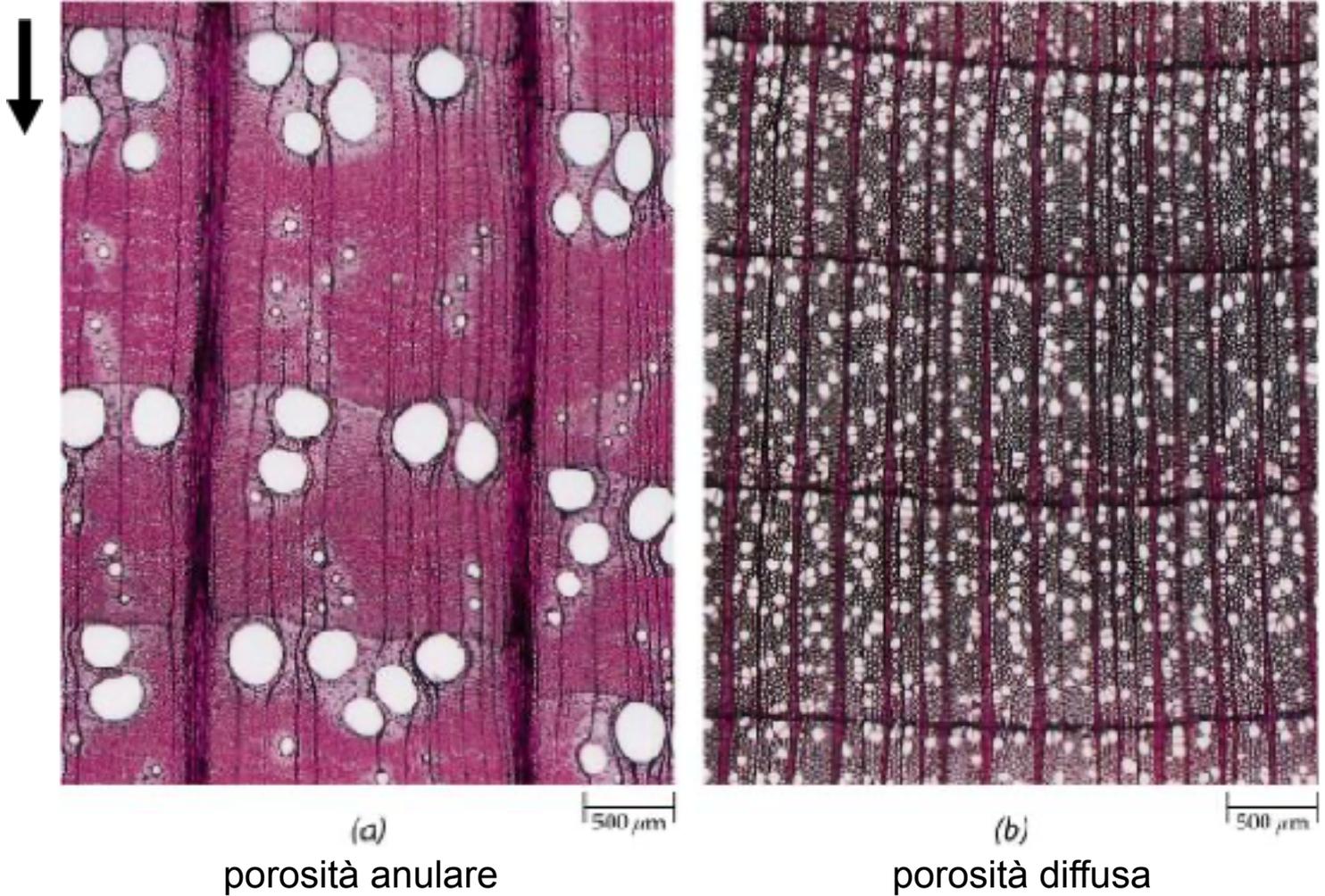


Sezione long. tang.

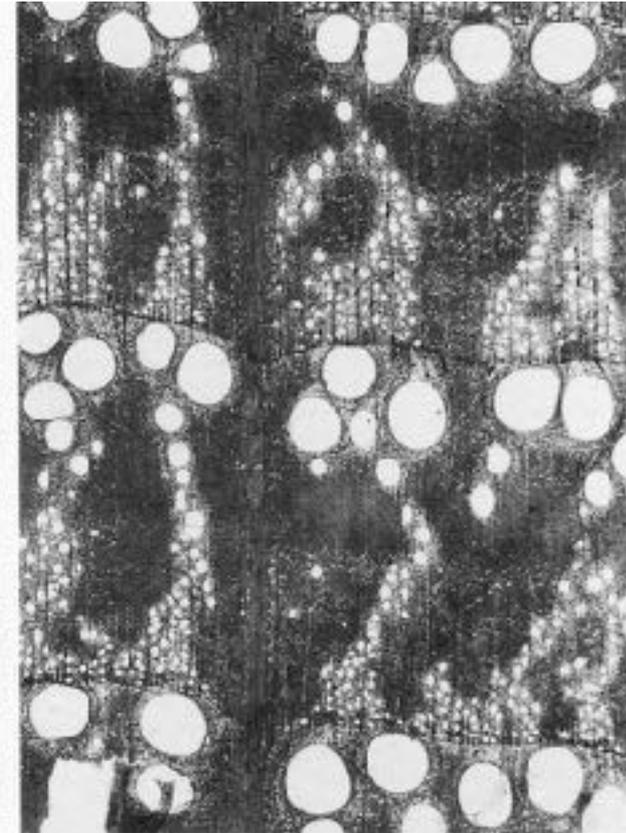
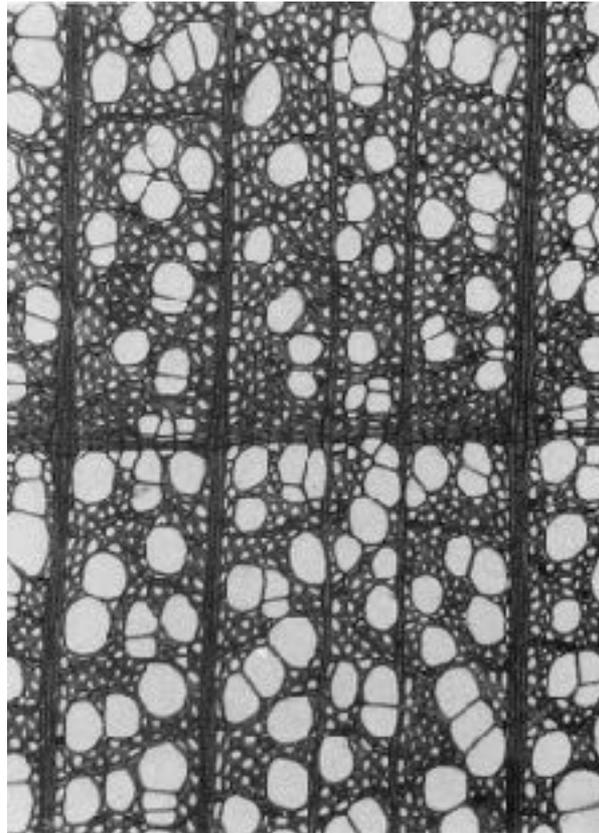


(XILEMA SECONDARIO o) LEGNO ETEROXILO

Distribuzione dei vasi all'interno di ogni singolo anello di crescita



(XILEMA SECONDARIO o) LEGNO ETEROXILO



Nei legni con porosità anulare i vasi si mantengono funzionali per un solo anno (e quindi lavorano solo nell'ultimo anello di crescita) mentre in specie con porosità diffusa essi possono funzionare per parecchi anni di seguito.





Durezza del legno: determinata dalle proporzioni fra i 3 tipi di cellule e grado di ispessimento e lignificazione delle pareti

Legni duri (es. bosso, olivo)

- prevalgono le fibre con parete grossa
- vasi piccoli
- cell. parenchimatiche scarse

Legni teneri

(salice, pioppo)

- molti vasi molto grandi
- fibre con pareti piuttosto sottili
- abbondanti cellule parenchimatiche, con pareti sottili e poco lignificate

Rapporti tra proprietà meccaniche e struttura microscopica del legno

Le principali proprietà meccaniche di un legno (durezza, elasticità, resistenza a sforzi di trazione e compressione) dipendono largamente dalla sua struttura microscopica. Queste proprietà possono variare entro una gamma enorme. Si va da legni durissimi come quello dell'olivo, del bosso, del mogano sino a legni molto teneri come quello di balsa usato dagli aeromodellisti. La durezza di un legno è determinata dalle proporzioni fra i tre elementi (fibre, vasi, cellule parenchimatiche) e dal grado di ispessimento e lignificazione delle pareti. Nei legni duri prevalgono decisamente le fibre con parete spessa; i vasi sono piccoli e le cellule parenchimatiche scarse. Nei legni teneri si trova-





I legni di cui è composto il violino rivestono un'importanza fondamentale per la sonorità dello strumento. Il tipo di legno utilizzato oggi dai liutai per la costruzione del violino è rimasto identico a quello usato ai tempi di Amati. L'esperienza secolare ha delimitato le essenze di legno da impiegare.

Abete rosso delle Dolomiti – per la tavola armonica, la catena interna e l'anima;

Acero di monte dei Balcani – per il fondo, il manico, il cavigliere con riccio e il ponticello;

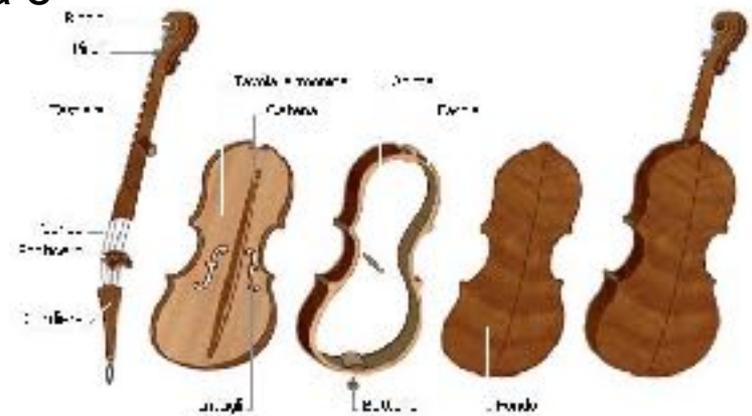
Ebano – per la tastiera, la montatura e il filetto;

Ciliegio – per il filetto

Palissandro – per la montatura (o "cordiera");

Platano – a volte per il ponticello;

Bosso, Pero – per i pirolì o bischeri





Valli del Natisone. Il piccolo paese di Tercimonte era molto noto fino a pochi decenni fa per la produzione dei rastrelli.

Ogni parte del rastrello era costruita utilizzando il legno di specie diverse.

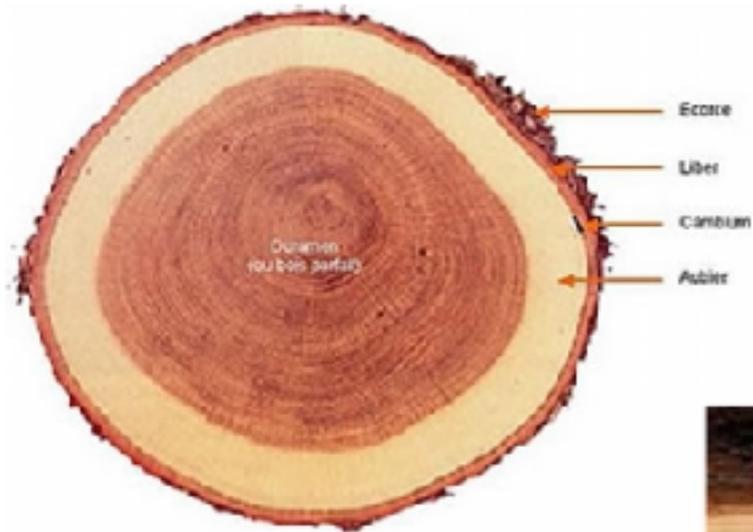
Per il pettine il legno migliore era il noce, ma se ne usavano anche altri.

Il manico era di nocciolo

I denti, che risultavano duri come il ferro, erano di corniolo (legno duro e resistente).



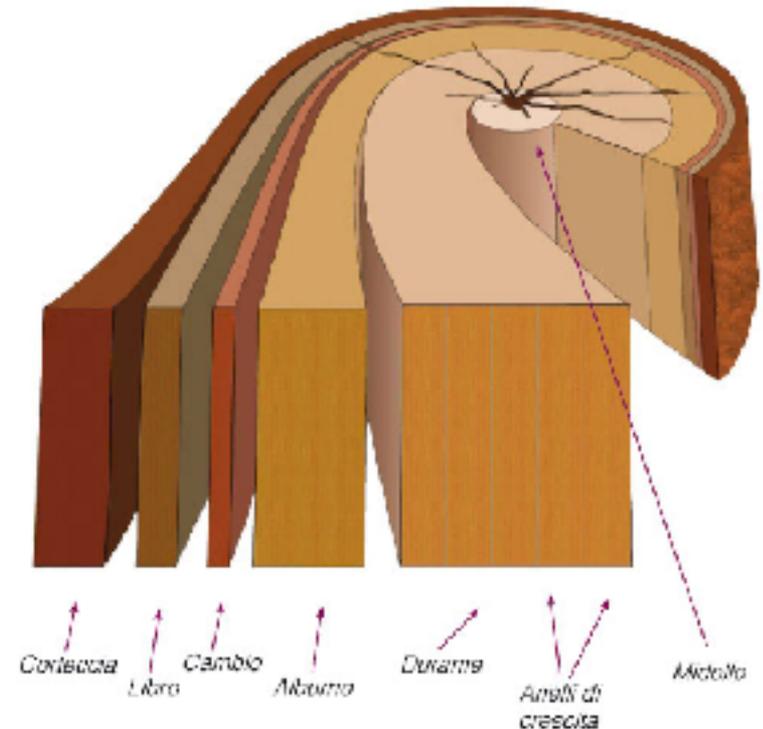
XILEMA SECONDARIO o LEGNO





Alburno: Legno tenero generato dal cambio degli alberi e degli arbusti durante il periodo annuale di ripresa delle attività vitali

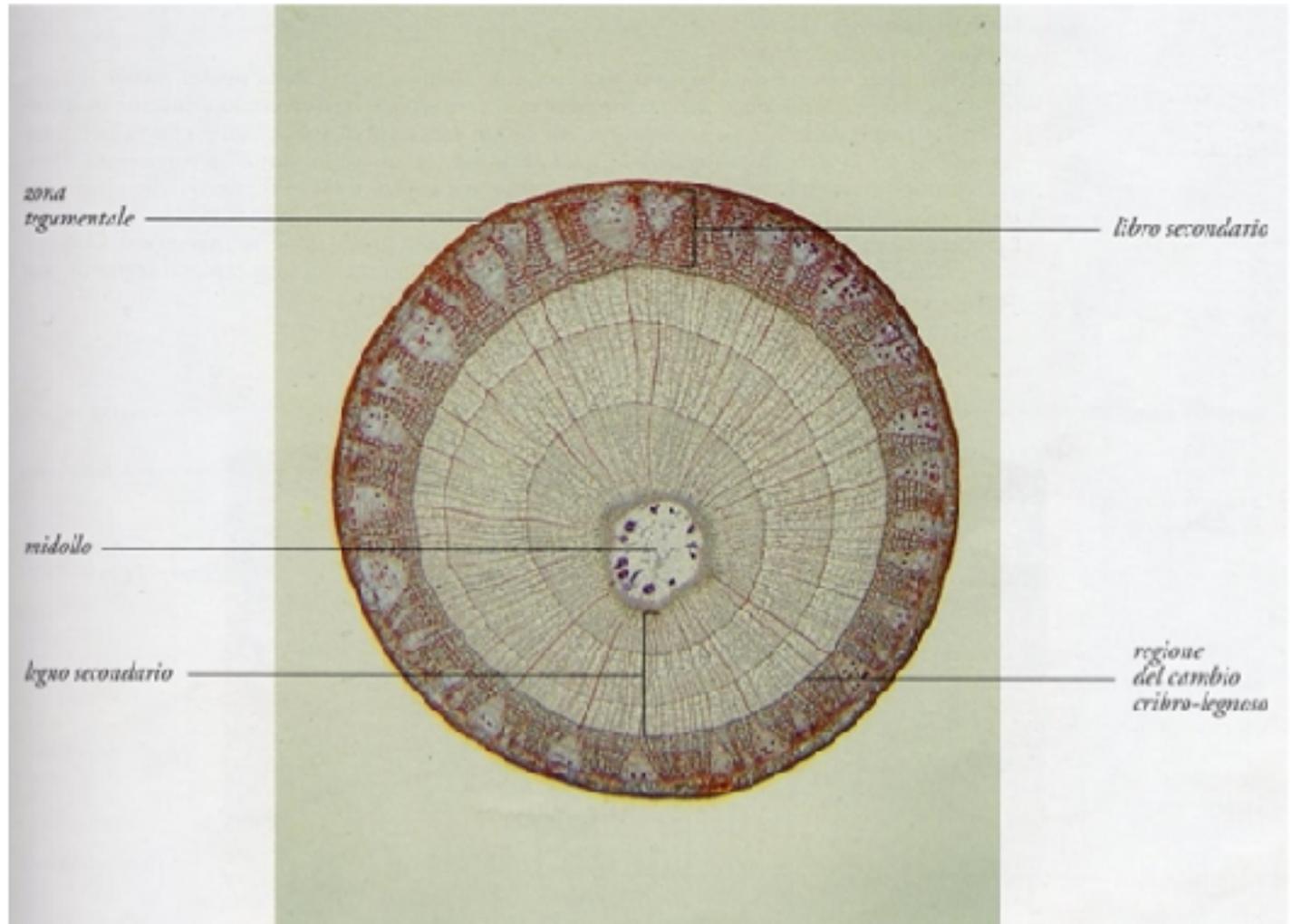
Durame: La parte centrale del tronco degli alberi delle Dicotiledoni, più compatta, dura e scura dell'alburno (che è la parte esterna); detta anche *cuore del legno*, non adempie alla funzione di trasporto delle sostanze nutritive dalle radici alle foglie, ma esplica solo quella di sostegno della pianta; è la parte del legno che meglio si presta alla lavorazione.



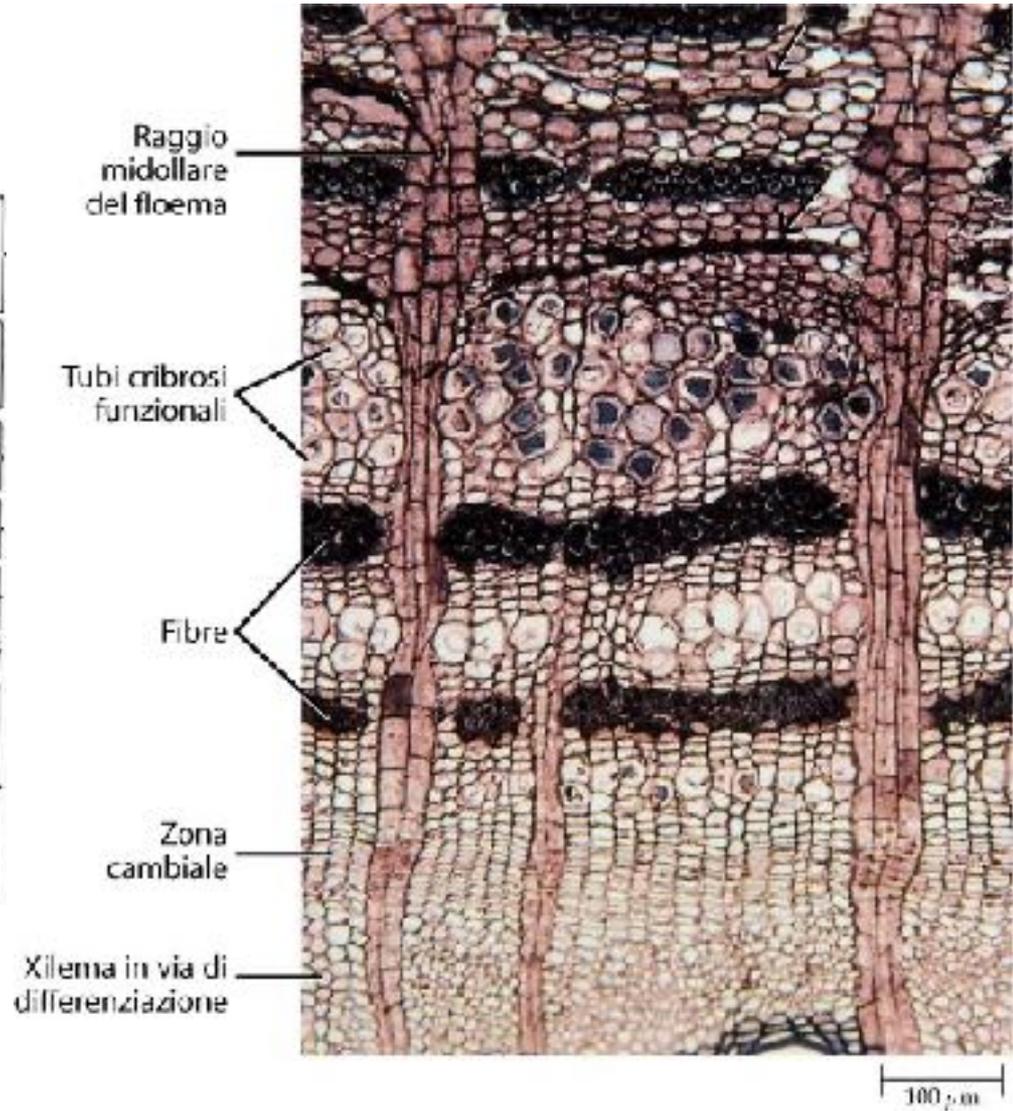
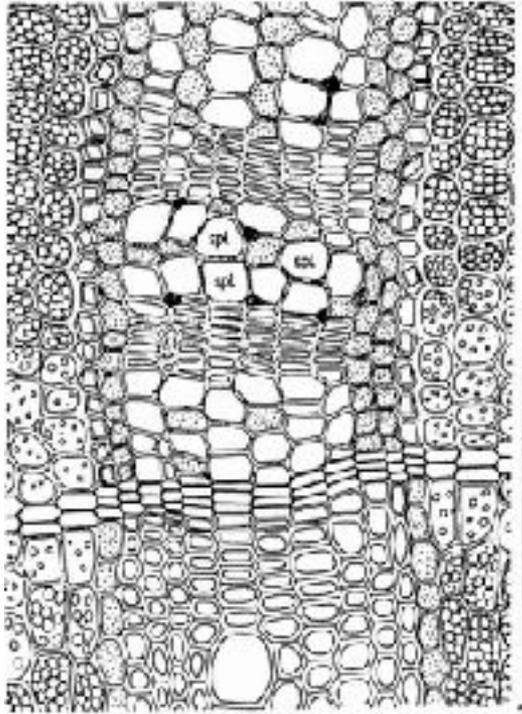




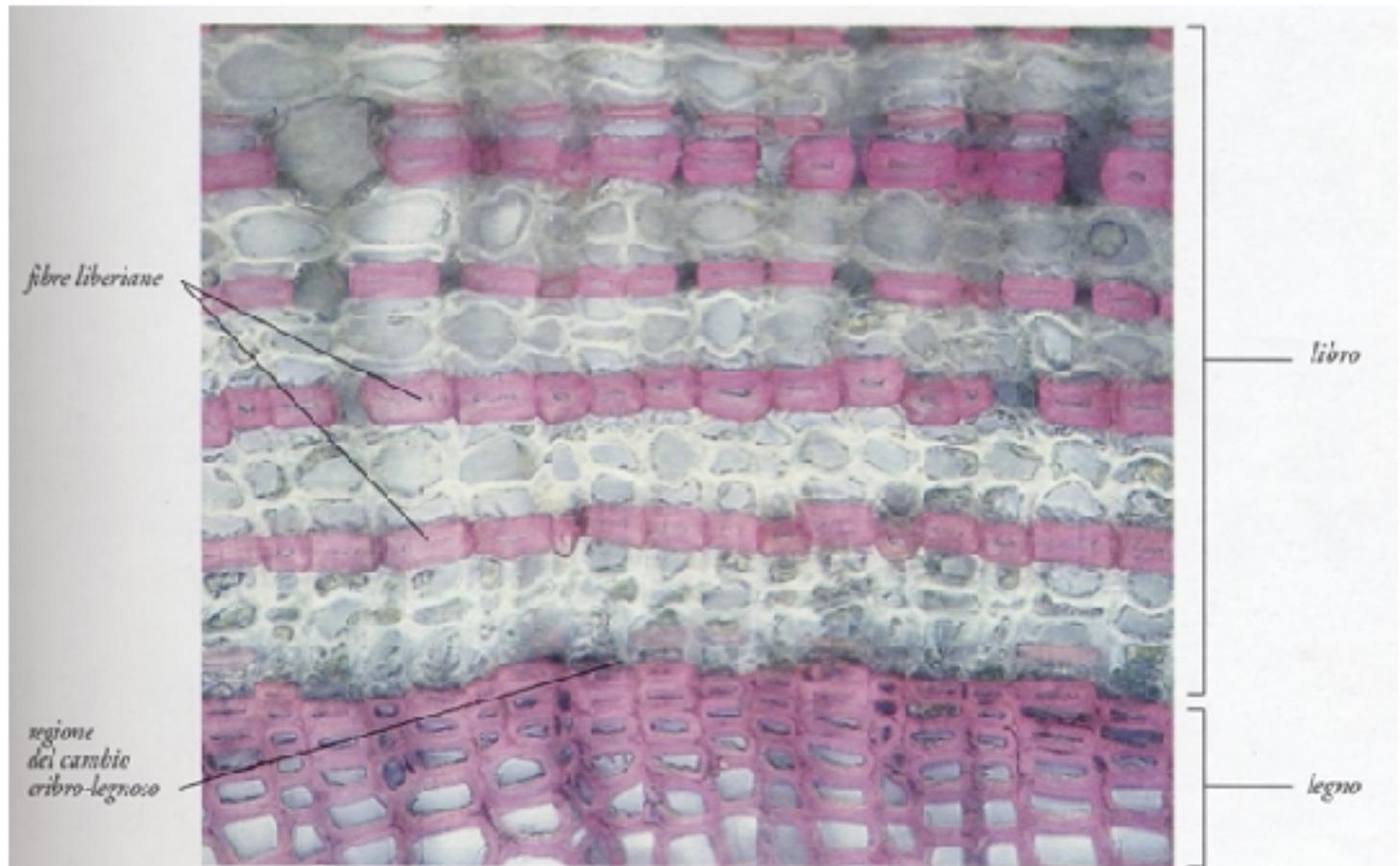
(FLOEMA SECONDARIO o) LIBRO



(FLOEMA SECONDARIO o) LIBRO



(FLOEMA SECONDARIO o) LIBRO



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

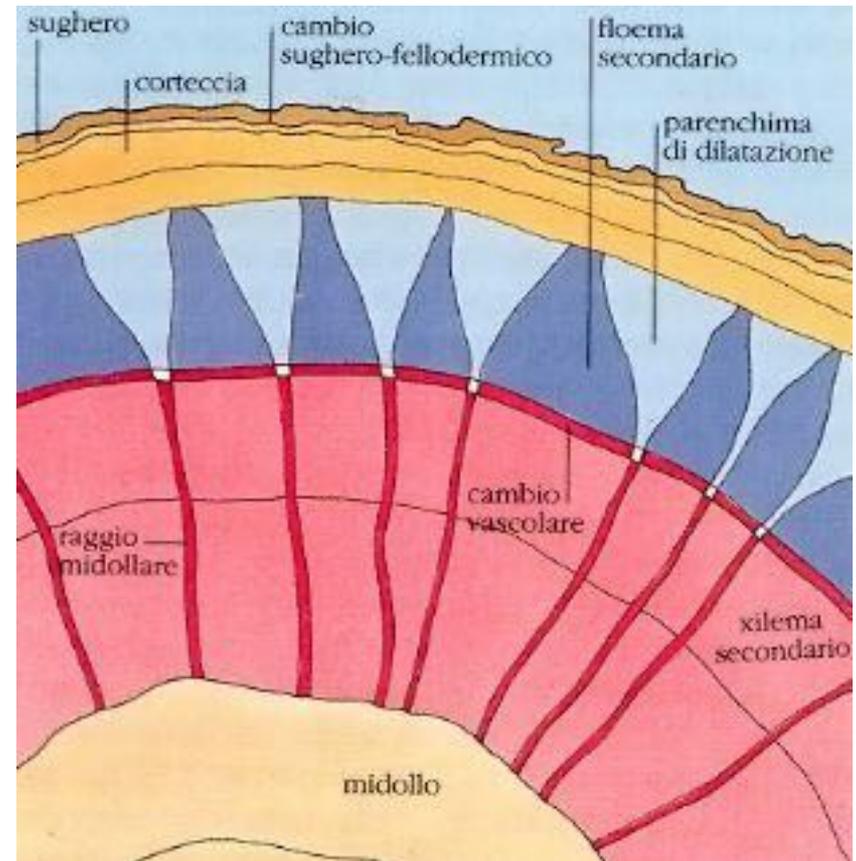
Sezione trasversale. $\times 400$ (430)

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

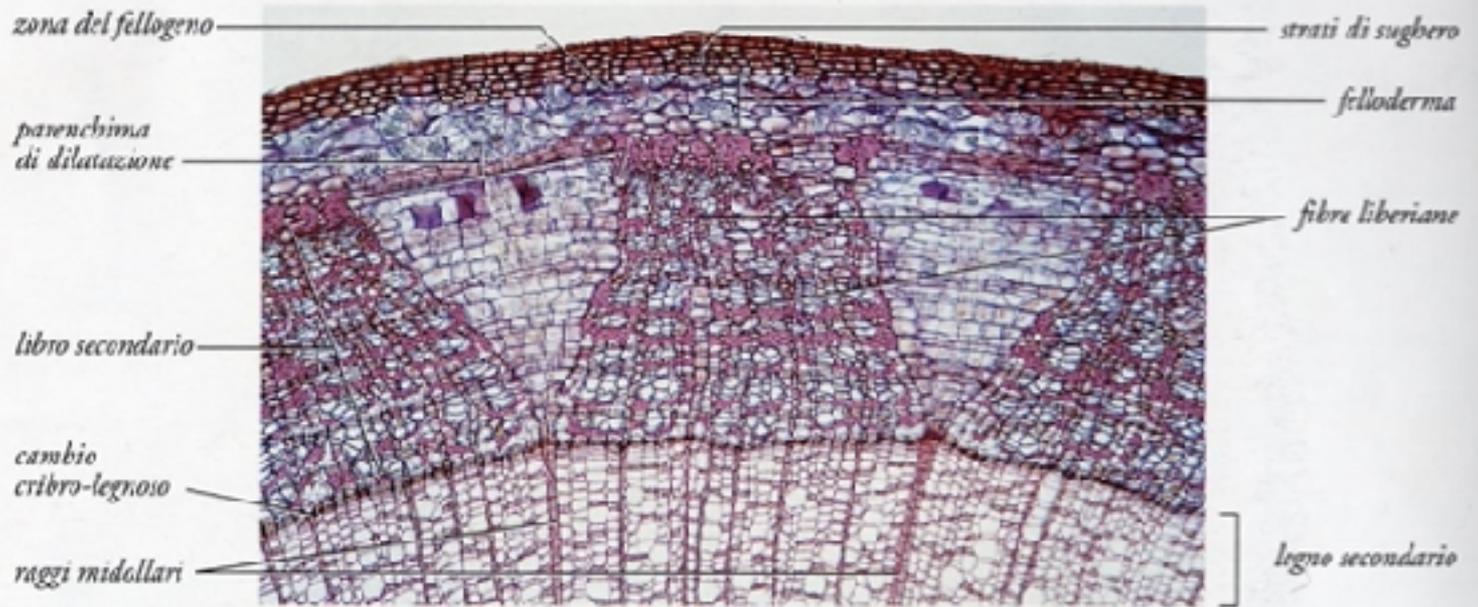


(FLOEMA SECONDARIO o) LIBRO

Nei primi anni, a causa della mancata crescita del libro più vecchio (e quindi più esterno) e della sua lacerazione, si vengono a creare degli spazi che vengono occupati da cellule parenchimatiche proliferanti direttamente dai raggi midollari. Si formano così delle caratteristiche isole triangolari di **PARENCHIMA DI DILATAZIONE** frapposte al libro.



(FLOEMA SECONDARIO o) LIBRO



Fusto di tiglio (*Tilia L.*, fam. Tiliaceae).

Sezione trasversale. x 100 (80)

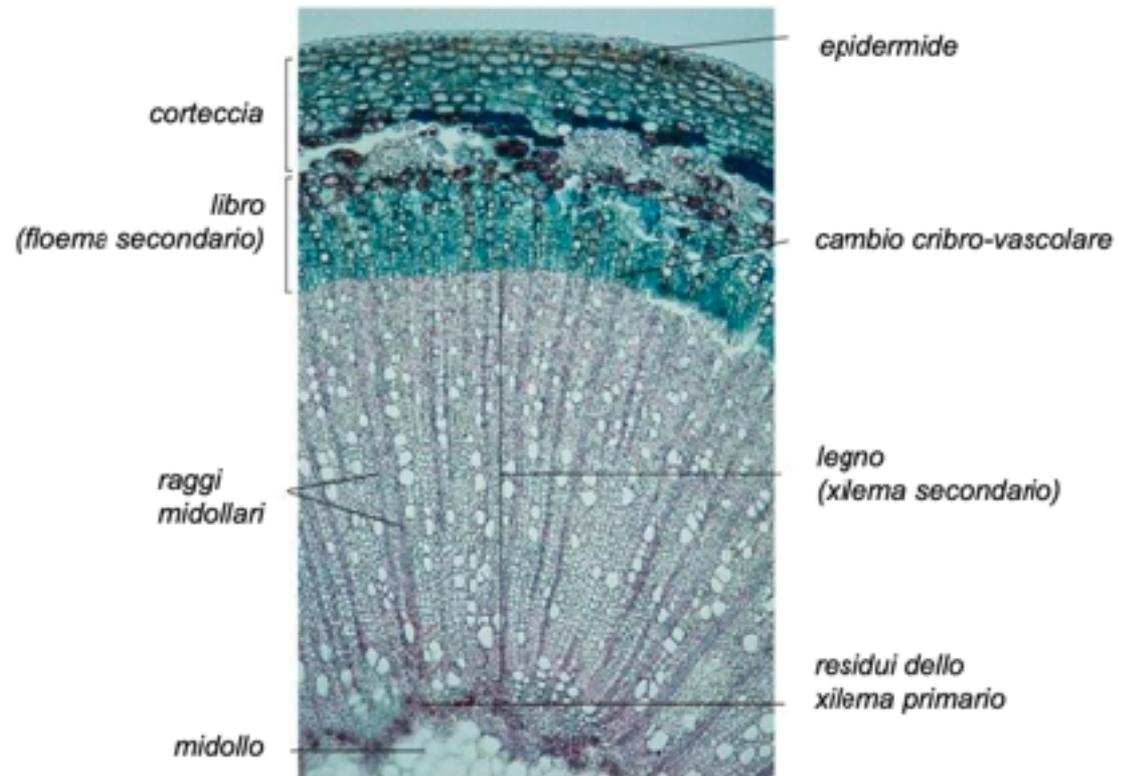
Con la crescita secondaria, il tessuto epidermico della zona tegumentale viene sostituito dal sughero, mentre la corteccia si arricchisce di un nuovo tessuto, per lo più di tipo parenchimatico, il fellogerma: ciò avviene ad opera di un secondo meristema, il cambio subero-fellogermico o fellogeno. Nell'immagine è possibile notare la struttura stratificata del libro secondario, in cui fibre sclerenchimatiche si alternano regolarmente agli altri tessuti. Inoltre, è anche evidenziato il fatto che la produzione complessiva di libro secondario non è sufficientemente adeguata per l'aumento di dimensioni raggiunte dal fusto. Gli spazi, altrimenti vuoti, fra una porzione di libro e l'altra, vengono riempiti dalle estremità dei raggi midollari, alquanto dilatate per ripetute divisioni cellulari fino a produrre delle regioni parenchimatiche cuneiformi (*parenchima di dilatazione*).



(FLOEMA SECONDARIO o) LIBRO

Fusto di pruno
(*Prunus* sp.) in
struttura secondaria
nel primo anno di
attività del cambio
cribro-vascolare.

In questo giovane
fusto non appaiono
ancora i segni
dell'attività del
fellogeno nella zona
corticale, che può
essere notevolmente
ritardata rispetto
all'inizio dell'attività
del cambio cribo-
vascolare.





COSA C'È DI VIVO IN UN FUSTO SECONDARIO?

Non molto, per la verità. Nell'ultimo periderma formato sono vive le cellule del fellogeno e del fello-derma, ma si tratta di uno strato dello spessore di poche cellule. Il floema funzionante arriva sino allo spessore di 1 mm; anche la zona cambiale è estremamente sottile. Nel legno sono vivi soltanto gli anelli di crescita più periferici, ma anche in questi le cellule vive spesso non superano il 10%. Sono vive infatti solo le cellule parenchimatiche e quelle dei raggi midollari: vasi e fibre che formano la gran massa del legno sono morti.

A proposito del legno non bisogna confondere «morto» con «funzionante». I vasi sono sempre fatti da cellule morte quando funzionano come tubazioni per il trasporto dell'acqua. La perdita della capacità di trasporto (di solito dovuta all'intrusione di bolle d'aria) non ha niente a che vedere con la morte delle cellule che era già avvenuta prima che il vaso cominciasse a funzionare.

