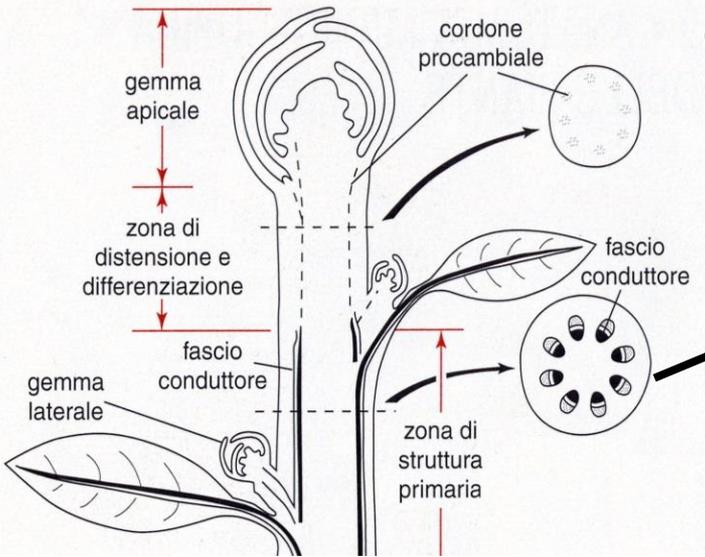
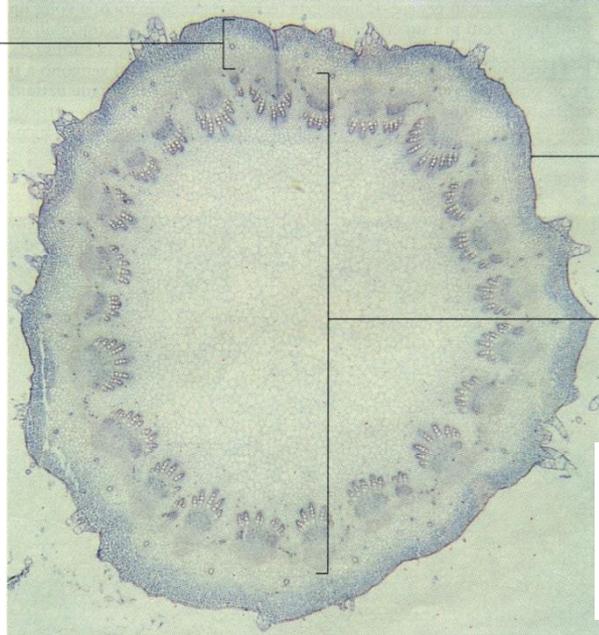


# Anatomia del fusto in struttura primaria

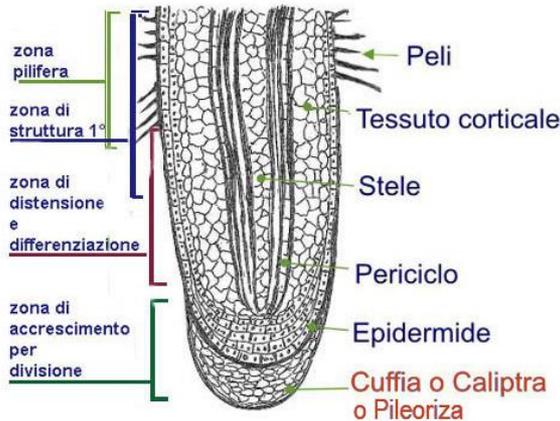
## Caule



## Zona corticale

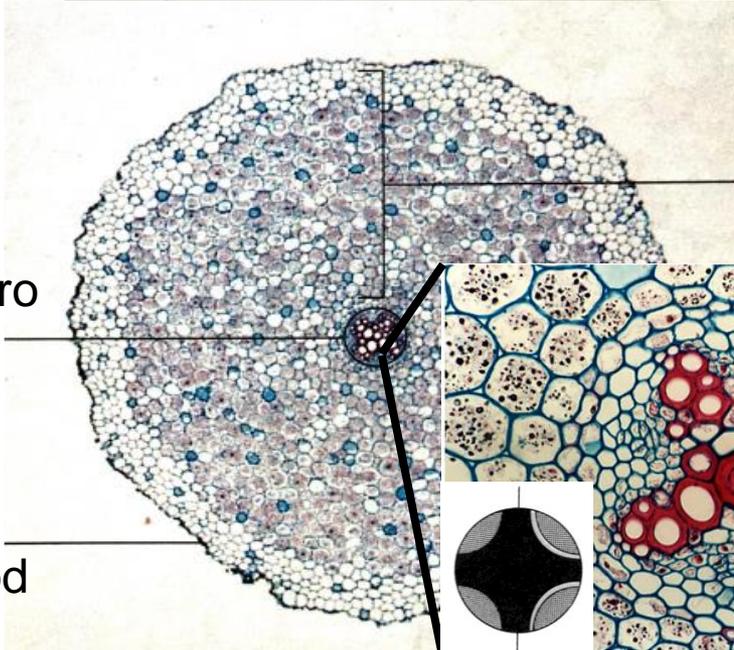


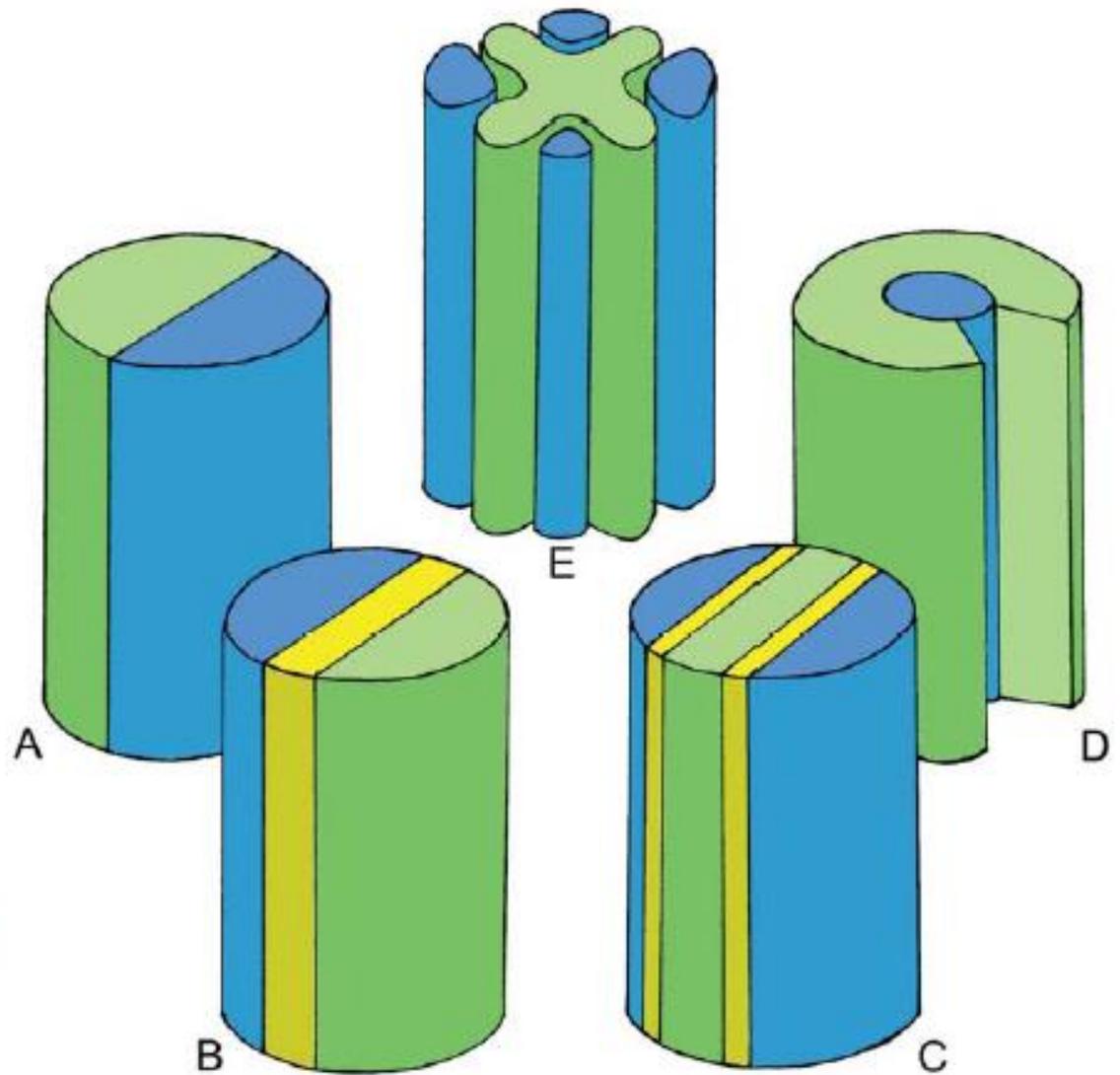
## Radice



## Stele (o cilindro centrale)

## Zona tegumentale (Rizoderma/esoderma)



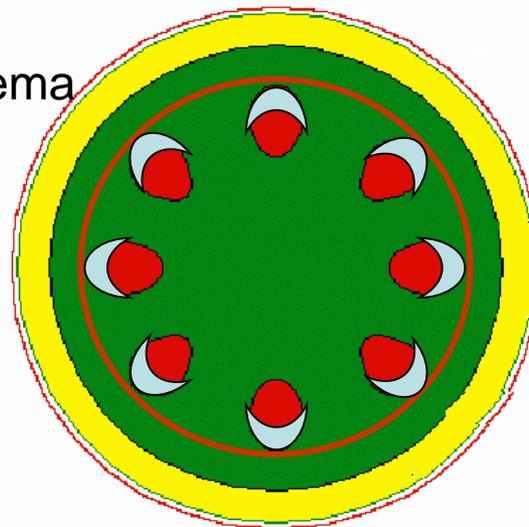
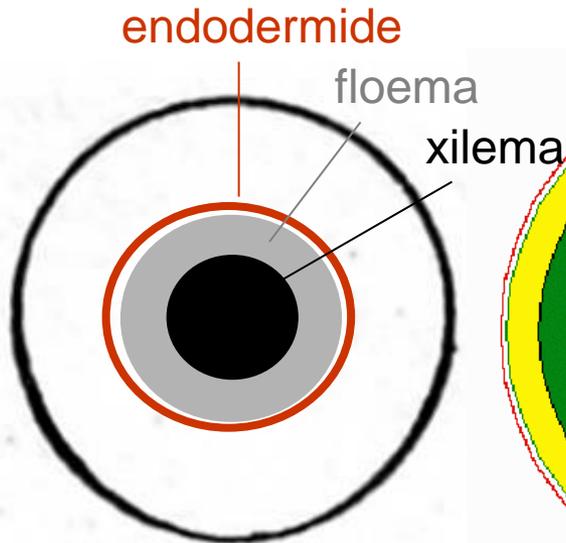


**Figura 8.29**

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).

# La teoria della STELE

- Esistono relazioni evolutive tra i diversi tipi di fascio?
- E' possibile far derivare dal fascio perfloematico (piante primitive) gli altri tipi di fascio, spiegando anche la loro disposizione all'interno dell'organo caulinare o radicale?

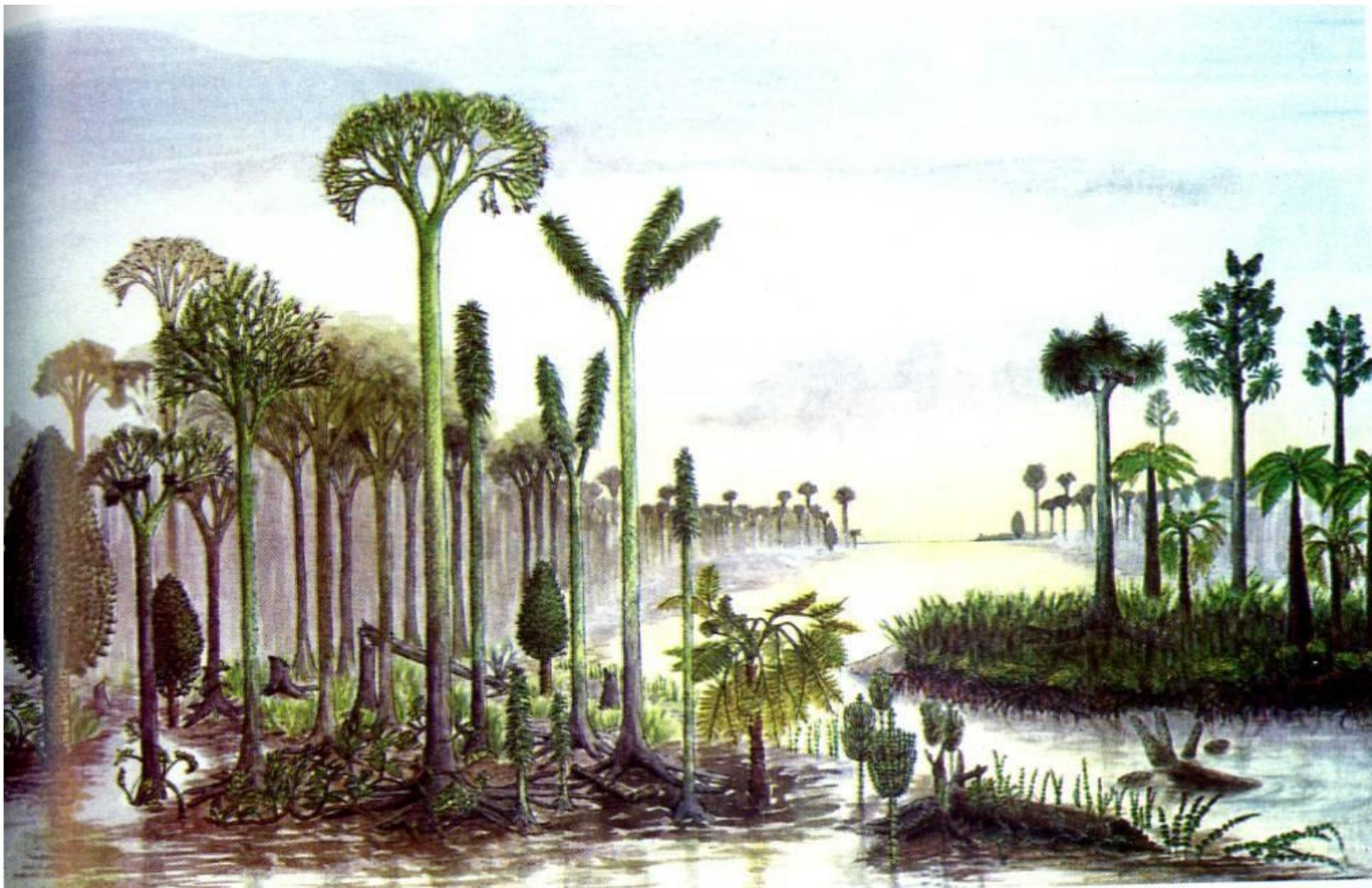


# La teoria della STELE

«**stele**» (=colonna, in greco antico): insieme dei fasci degli organi assiali uniti ad endoderma, periciclo e midollo (se presenti).

## **STELE:**

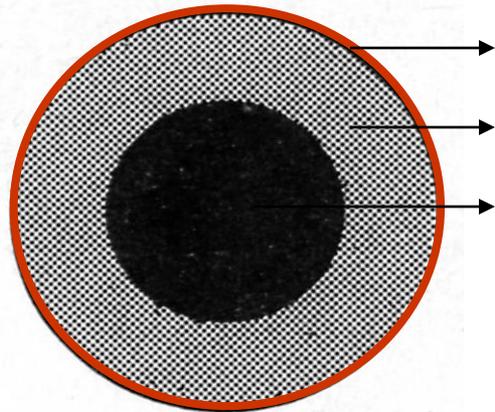
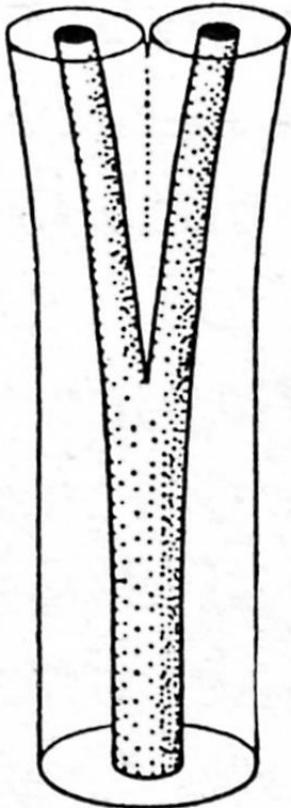
- formata in maniera molto diversa nei vari gruppi di Cormofite
- origine filogenetica probabilmente comune («teoria della stele») → soluzione al problema: “*come aumentare le dimensioni dell’organo, senza che la distanza tra gli elementi dei due tessuti di trasporto fondamentali – floema e xilema – diventi eccessiva?*”
- Tipi di stele disposti in sequenza evolutiva .....



*Ricostruzione di una foresta paludosa del Carbonifero superiore dominata da pteridofite arboree (Lepidodendron, Sigillaria; Calamites e felci arboree)*

**PROTOSTELE** – un fascio conduttore centrale, concentrico, spesso (ma non sempre) con xilema all'interno

- particolarmente antica, presente nelle piante terrestri più primitive
- oggi negli stadi giovanili di molte felci
- singolo fascio «peri-» (per es. perifloematico).

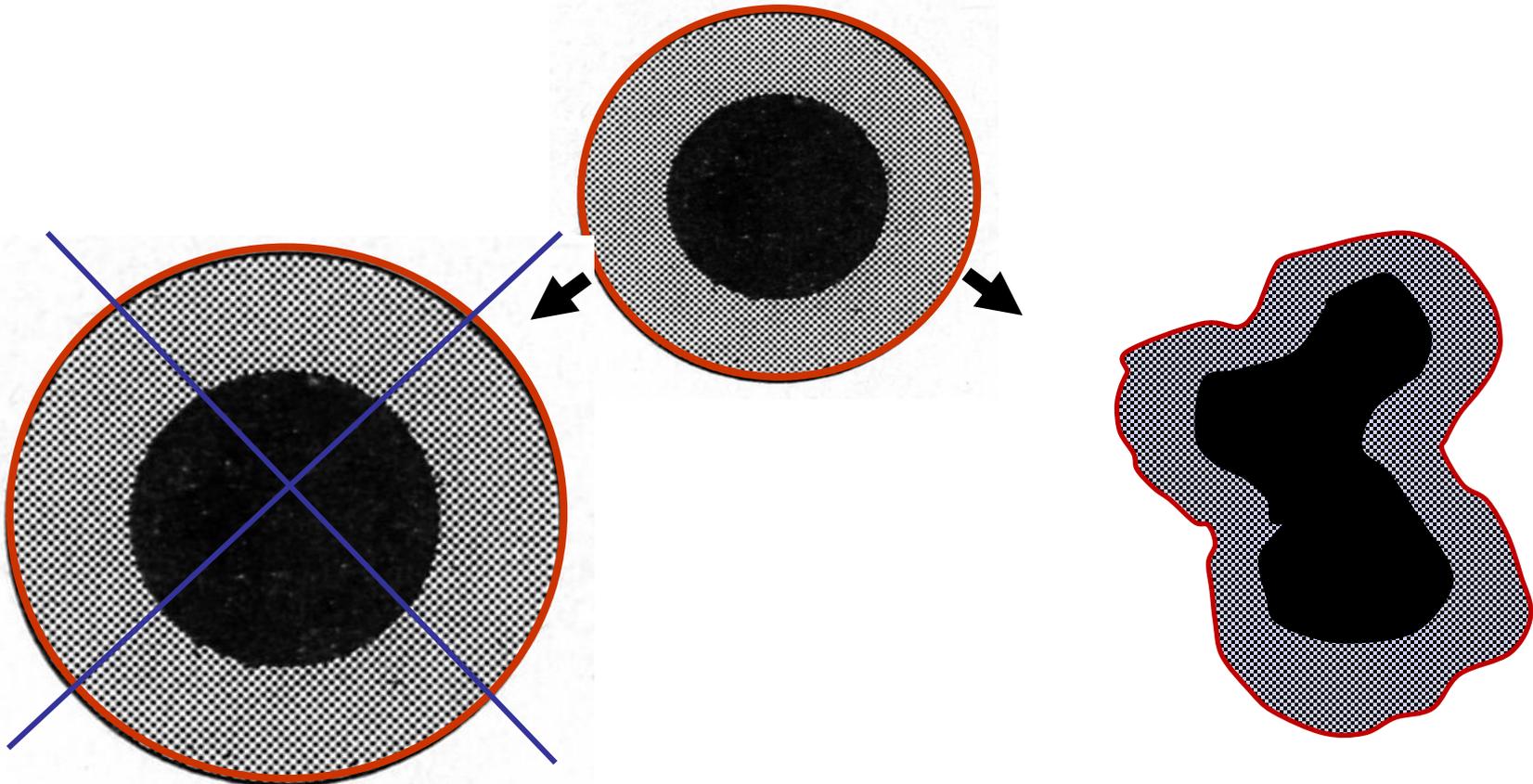


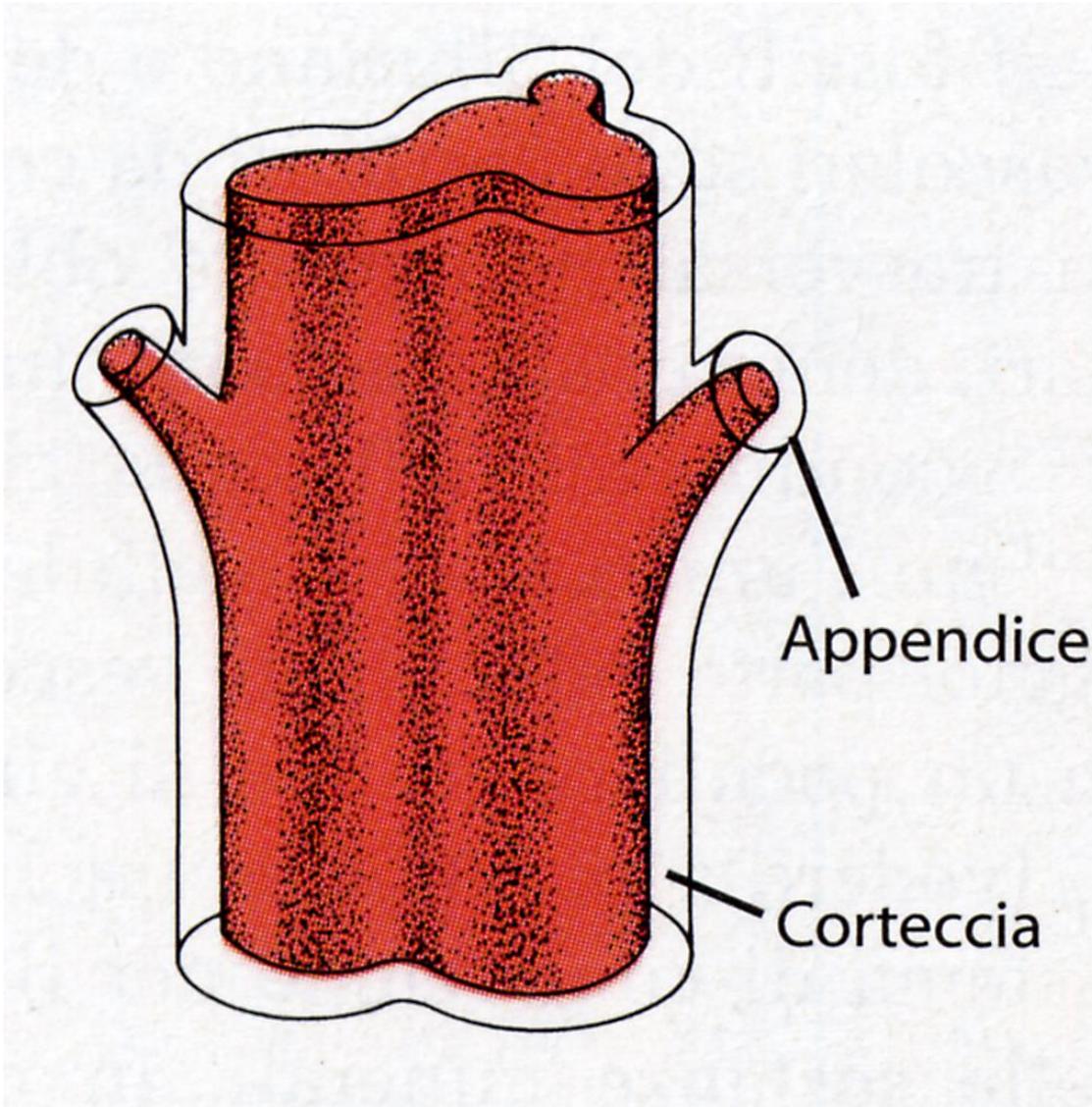
endoderme  
floema  
xilema



Aumento delle dimensioni della struttura → problema! = aumento delle distanze tra gli elementi più distali dei due tessuti di trasporto.

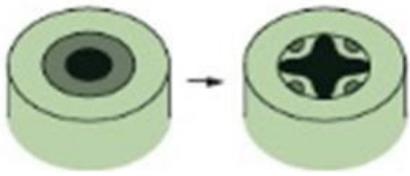
Soluzione: deviazione dalla forma circolare → aumento della zona di contatto tra floema e xilema.





“Soluzione 1” →  
deviazione dalla  
regolarità della forma  
circolare: in sezione  
trasversale il fascio  
perifloematico  
diventa chiaramente  
lobato →

**PROTOSTELE  
IRREGOLARMENTE  
LOBATA**



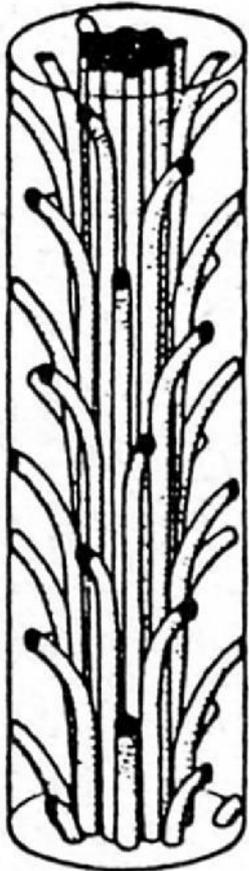
**ACTINOSTELE** – deriva dalla protostele.

Un unico fascio molto sviluppato, disposto centralmente in cui xilema (nella parte più interna) appare a forma di stella in sezione trasversale tra i cui raggi si trova il floema (dal greco antico «*actinotos*», circondato da raggi), che viene suddiviso in vari cordoni.

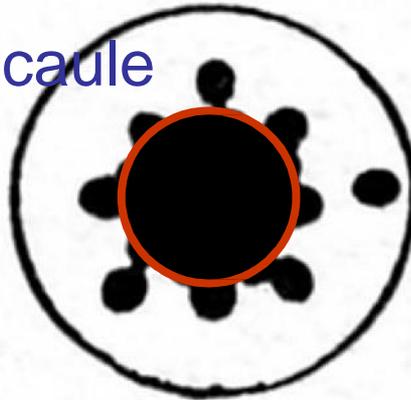
Anche l'actinostele è già presente in felci primitive ed è oggi particolarmente diffusa nei licopodi.

Il cilindro centrale delle radici corrisponde a questo modello di stele, soltanto che ovviamente in esso non si inseriscono i fasci delle tracce fogliari.

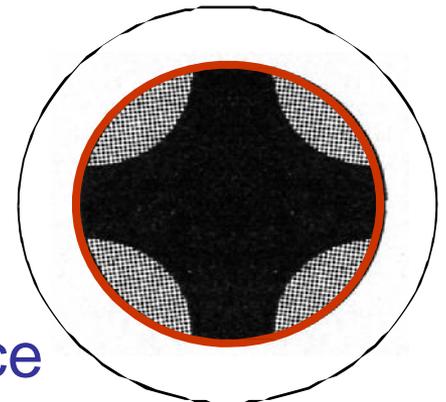
In entrambi i casi la porzione centrale non viene mai occupata da midollo.



nel caule



nella radice



Actinostele (fusto) con fasci delle tracce fogliari che si ramificano lateralmente



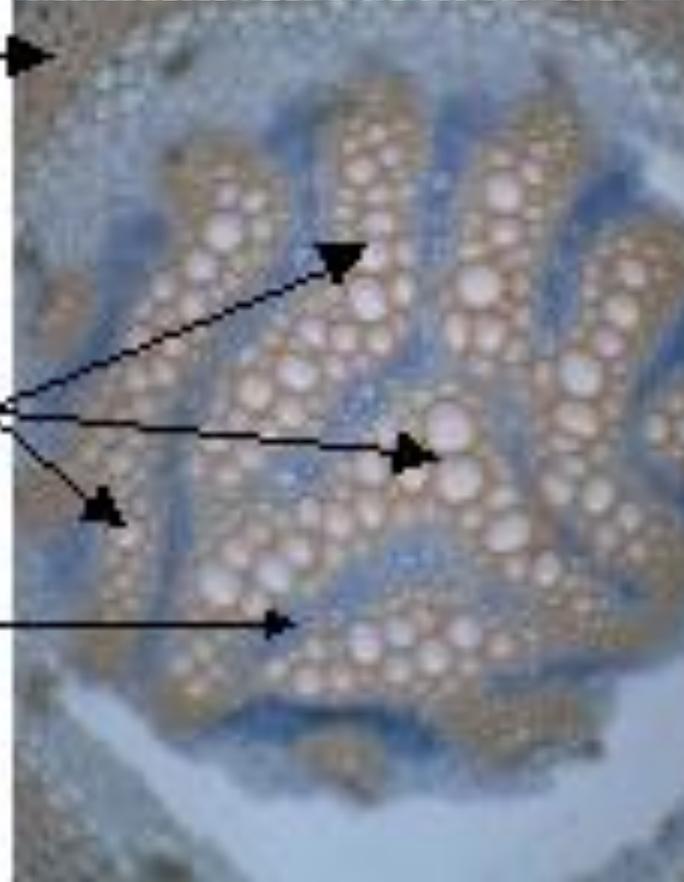
Plectostele in *Lycopodium*



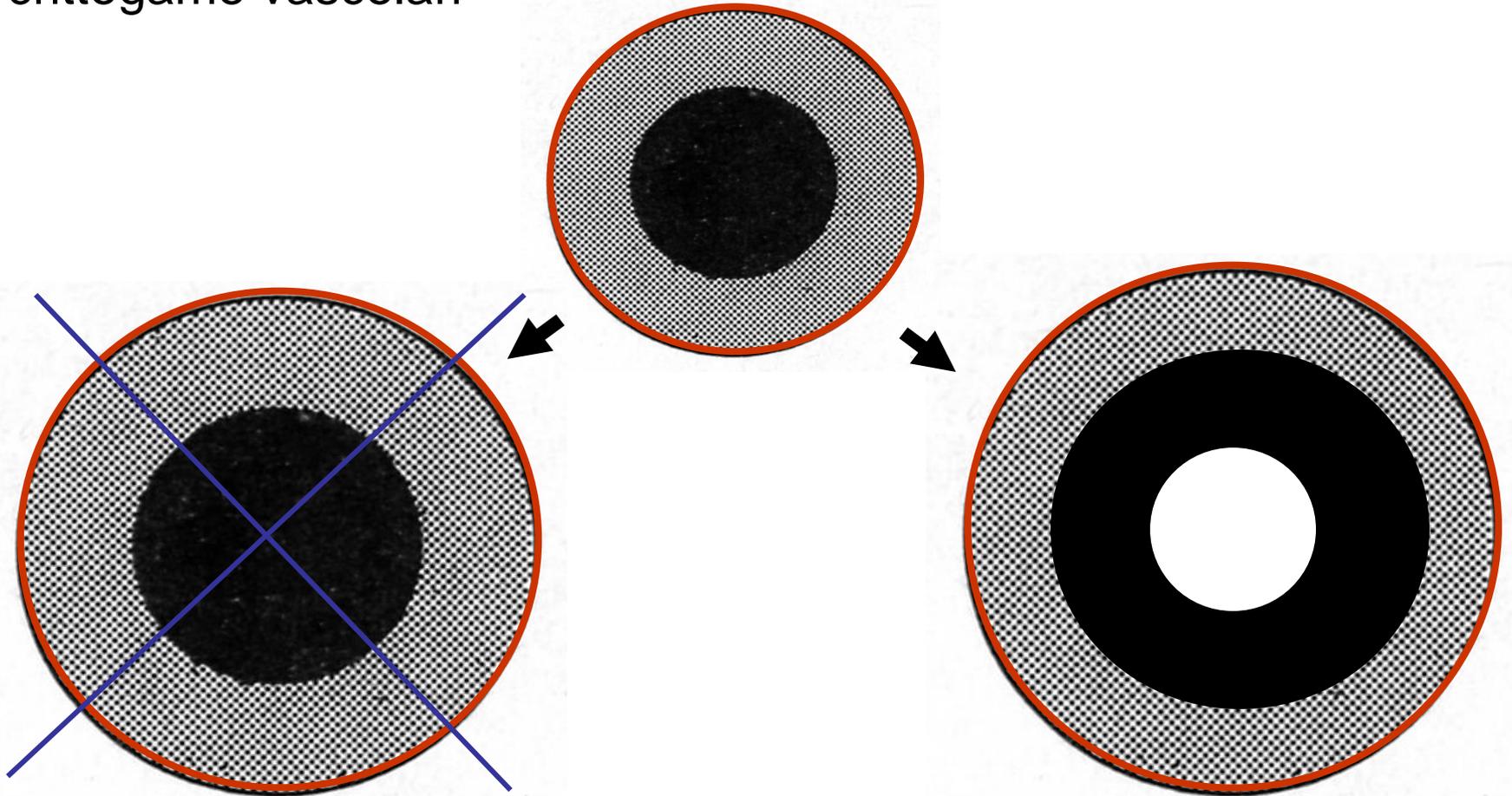
Córtex →

xilema →

floema →

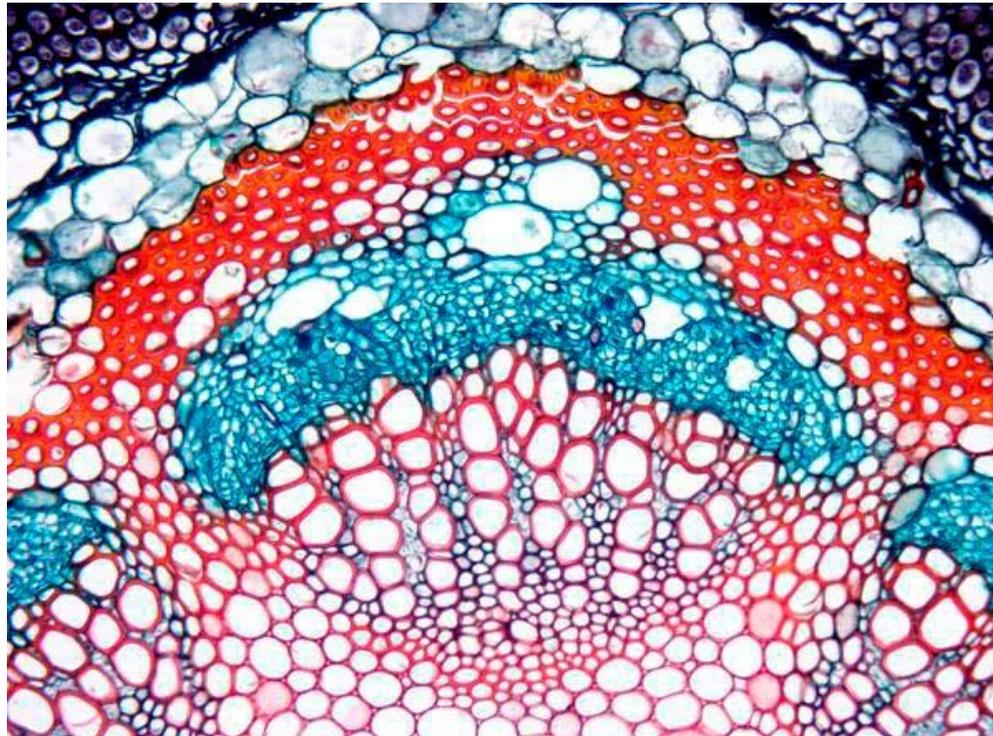


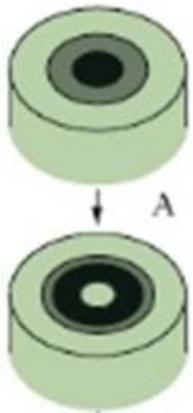
Sol. 2 - Al contrario di quanto visto finora, in tutte le altre forme derivate dalla protosteale il centro degli organi assili non è più occupato da tessuti conduttori, ma compare una zona midollare: vari tipi di sifonosteale, presenti nei fusti della maggior parte delle crittogame vascolari



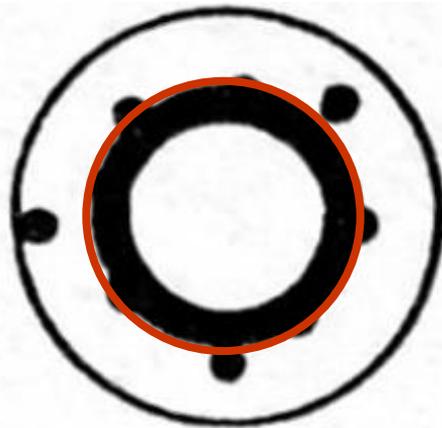
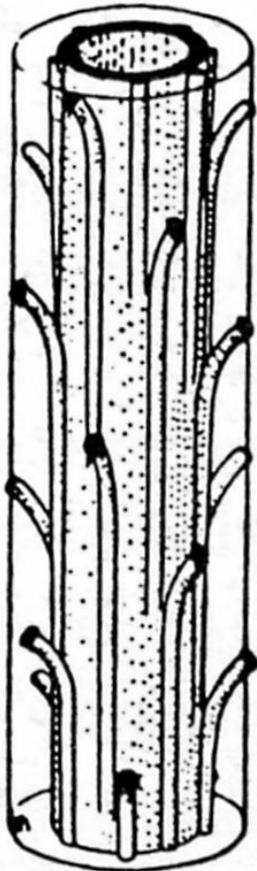
Cavitazione della parte centrale → mantenimento della distanza ottimale tra gli elementi più distali dei due tessuti di trasporto.

→ miglioramento delle prestazioni meccaniche: elementi meccanici (fibre sclerenchimatiche, fibrotracheidi) del fusto presenti nei tessuti di trasporto vengono a trovarsi perifericamente → aumenta la resistenza dell'organo agli sforzi laterali.





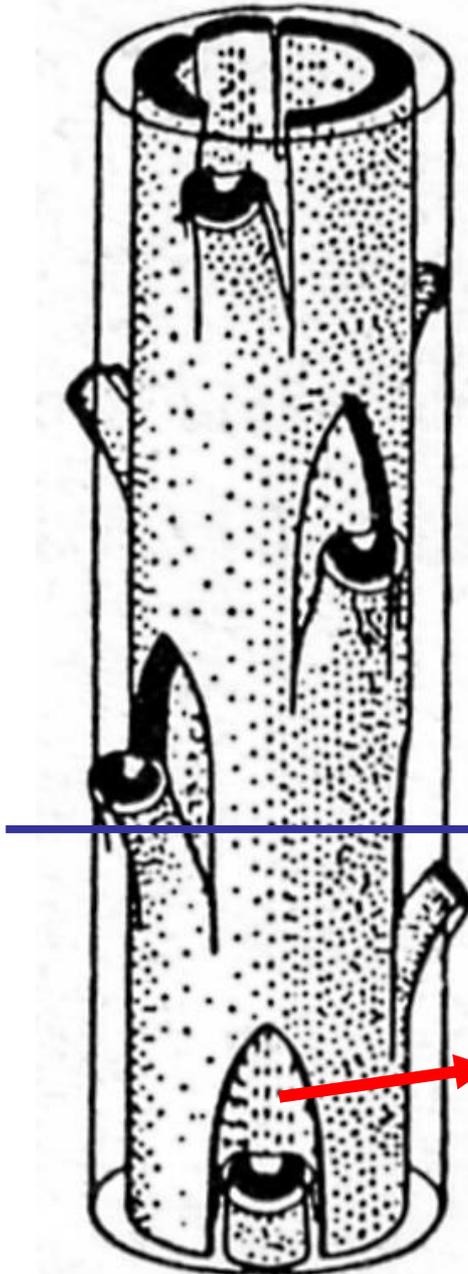
**SIFONOSTELE** – fascio conduttore unico, di forma tubulare, con al centro midollo; si presenta in alcune famiglie di felci (Schizeaceae, Gleicheniaceae). Dal greco antico «*siphon*», tubo.



*Gleichenia dicarpa*

Se si introduce una lacuna ad ogni emersione fogliare si crea una...

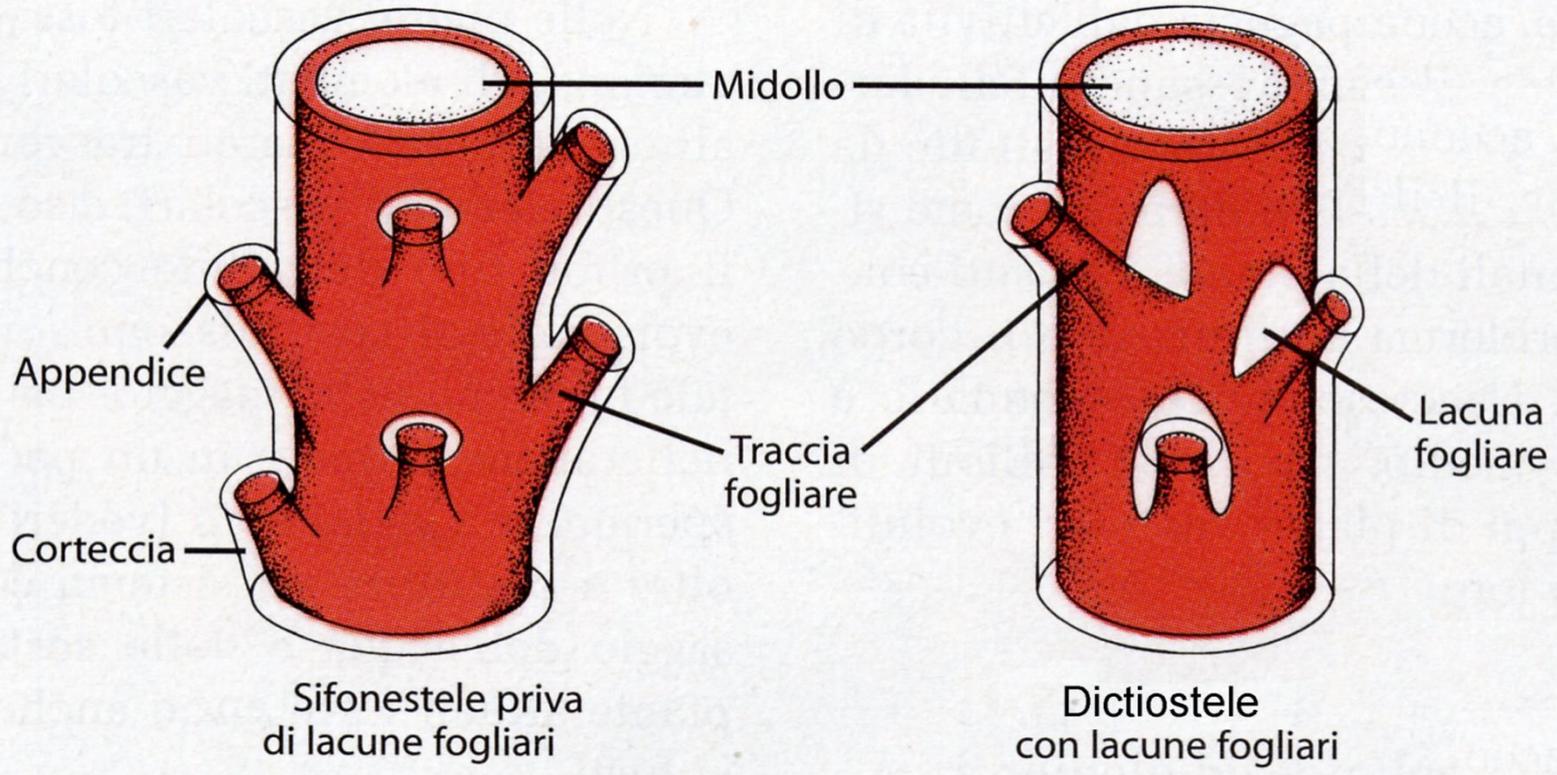
**DICTIOSTELE** –tipico «tubo vascolare bucato» della **maggioranza delle Felci**, formato da un fascio che appare reticolato (dal greco antico «diktion», rete) per la presenza delle tracce fogliari = un fascio conduttore concentrico perixilematico, con una guaina di tessuto avvolgente derivante dall'endoderma.



Sezione di taglio

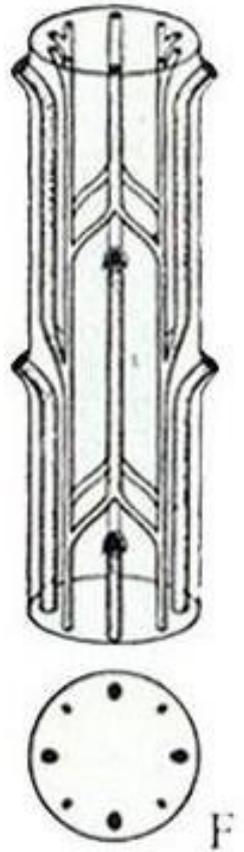


Al di sopra delle tracce fogliari piegate lateralmente all'infuori vi sono ampie lacune fogliari riempite da parenchima, che in sezione formano i raggi midollari. Il midollo centrale visto in sezione non è completamente racchiuso.



**Sifonostele** e **dictiostele** si differenziano soltanto per la **presenza della lacuna fogliare** in corrispondenza dell'emergenza della nervatura della fronda fogliare.

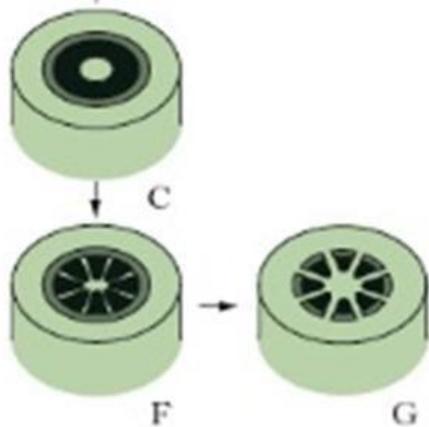
Progressivo aumento dell'ampiezza delle lacune, conseguente riduzione dei tessuti di conduzione (più elementi tracheali efficienti nel trasporto di  $H_2O$ ), formazione dei raggi midollari → **EUSTELE**.



**EUSTELE** – è il tipo di stele di tutte le Gimnosperme e Dicotiledoni.

Floema e xilema sono frammentati in cordoni distinti, disposti lungo un anello e divisi chiaramente dal midollo.

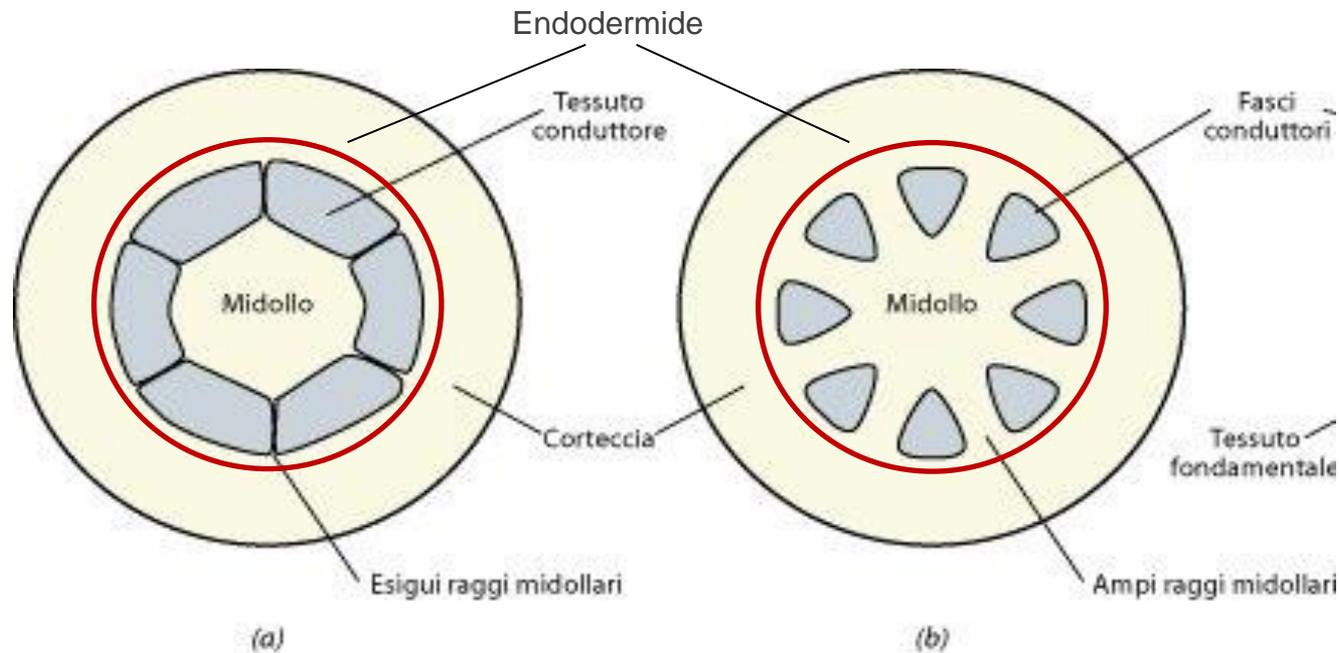
**L'eustele deriva dalla sifonostele:** corrisponde ad un originario fascio conduttore concentrico con midollo al centro, che è stato frammentato in più fasci distinti dai raggi midollari. Ogni fascio conduttore non è più concentrico ma collaterale. Il midollo è presente nella parte centrale ed è ben sviluppato.



L'intera stele continua ad essere circondata da una sola endoderme comune (spesso difficilmente osservabile).

**EUSTELE** – in tutte le Gimnosperme e Angiosperme Dicotiledoni.

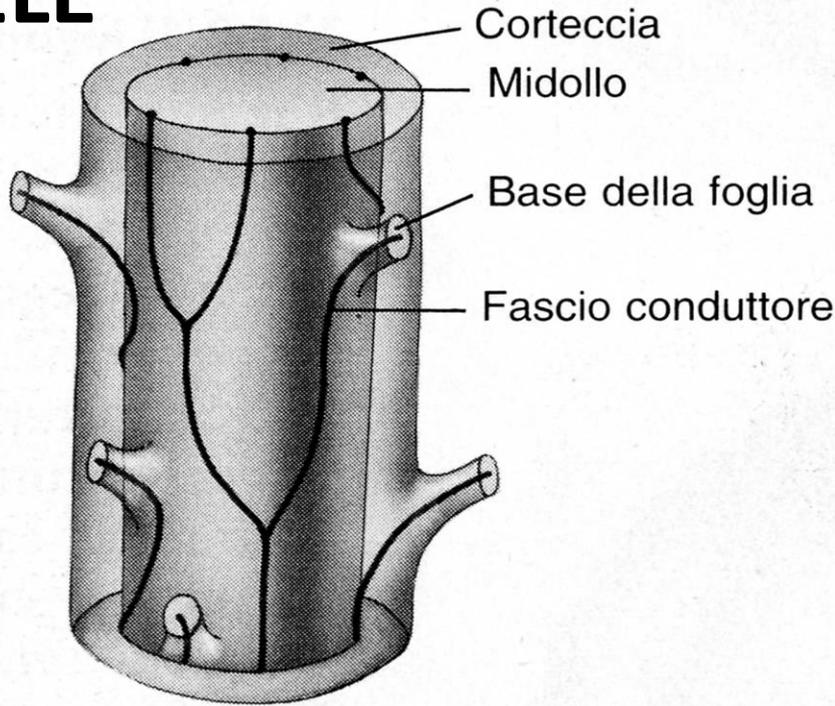
- tessuti conduttori chiaramente divisi da **raggi midollari** in più fasci conduttori indipendenti
- **fasci collaterali** (Non concentrico!)
- Endoderme comune (difficilmente osservabile) circonda la stele
- In accrescimento secondario: anello concentrico di floema e xilema con midollo racchiuso nella parte centrale.



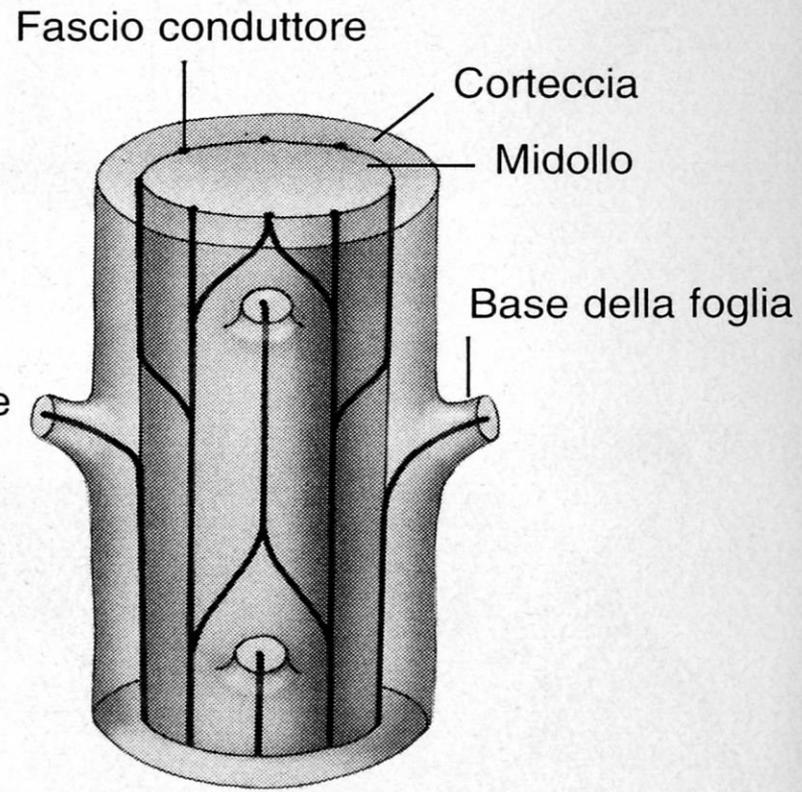
(a)  
Eustele - pianta legnosa  
(eudicotiledone, gimnosperme)

(b)  
Eustele - pianta erbacea  
(eudicotiledone)

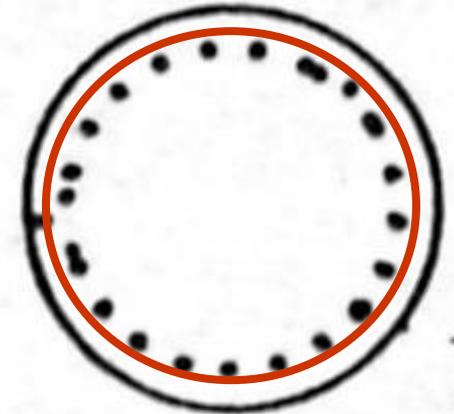
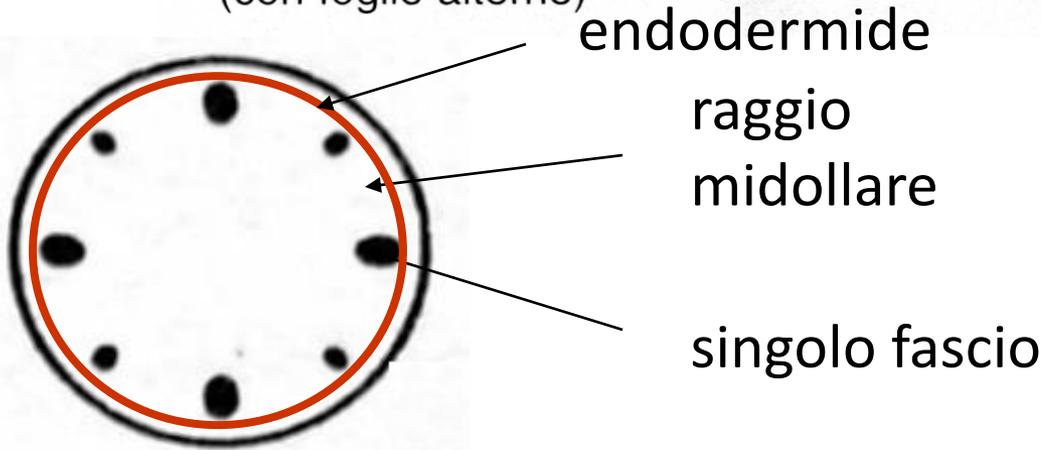
# EUSTELE



Fusto di **dicotiledone**  
(con foglie alterne)



Fusto di **dicotiledone**  
(con foglie opposte)



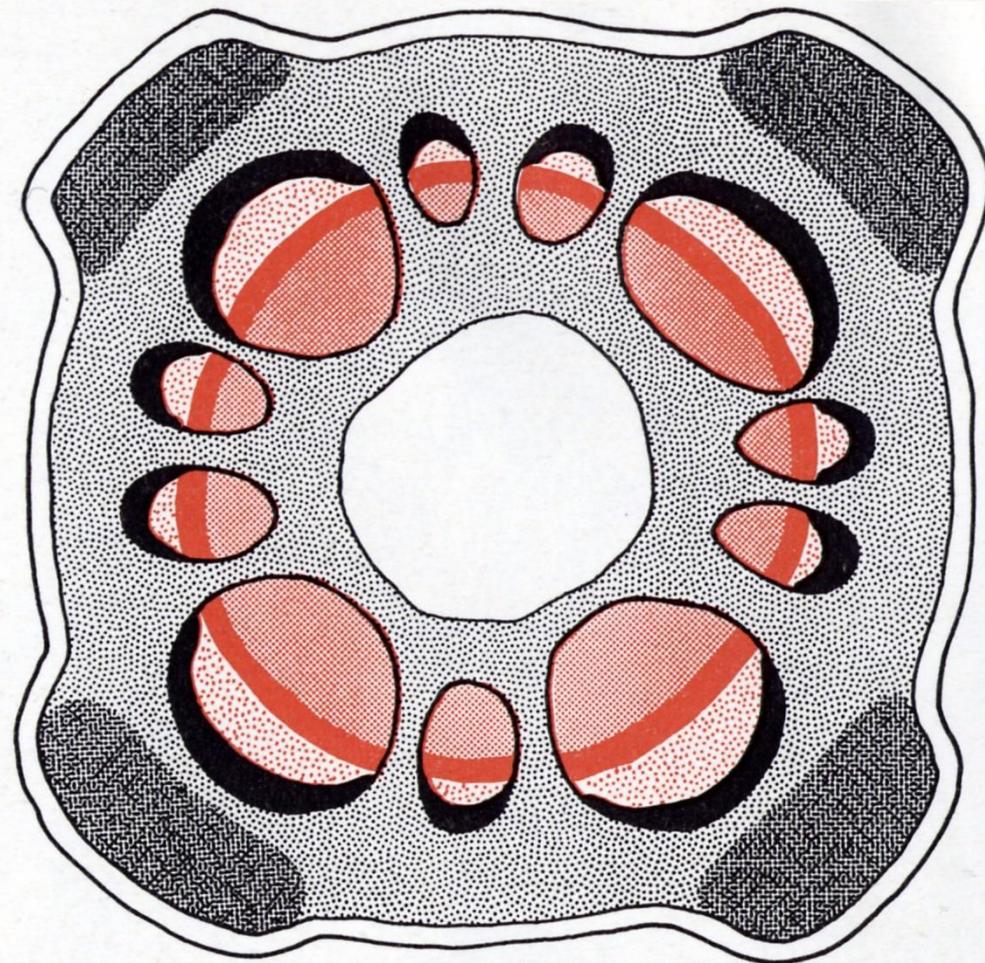
endodermide

raggio  
midollare

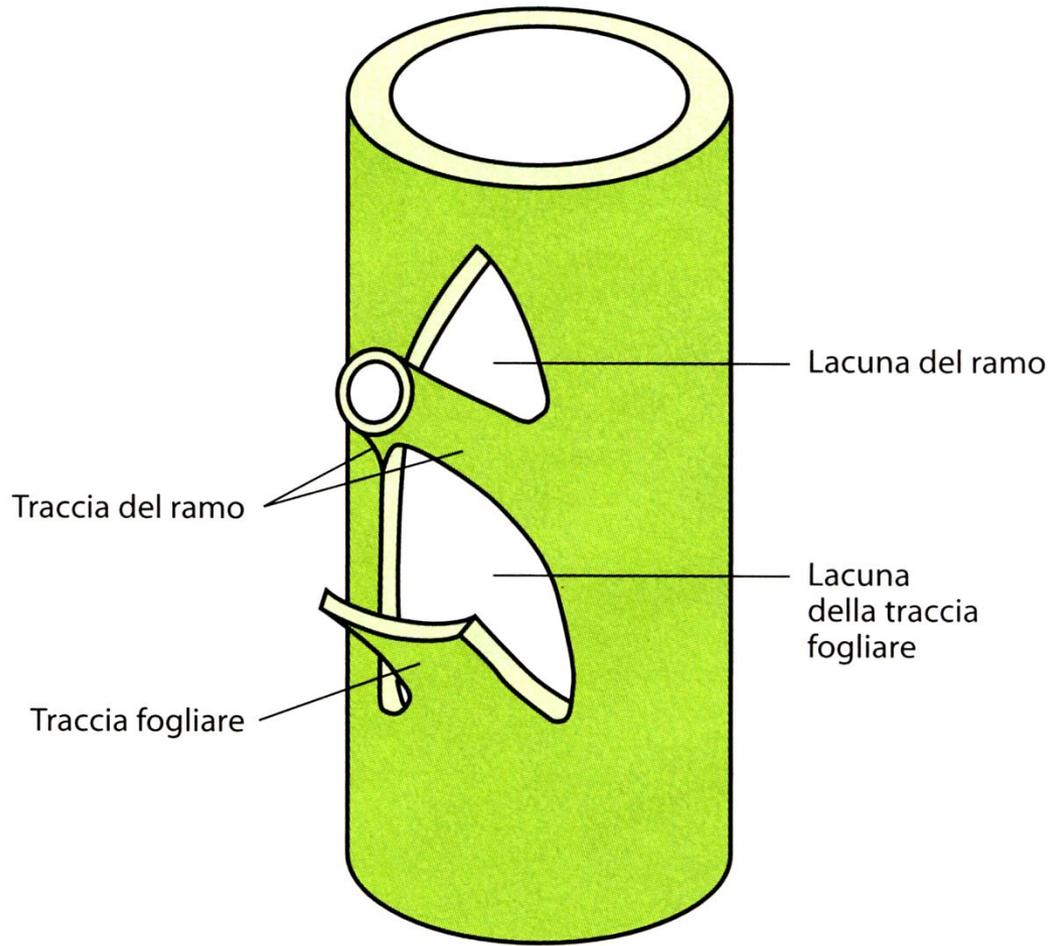
singolo fascio



*Ocimum basilicum*



Fusto quadrangolare di una Dicotiledone erbacea, sezione trasversale schematica. Parenchima grigio chiaro; collenchima grigio scuro, sclerenchima nero; fasci collaterali aperti rossi: floema punteggiato, xilema a punti fitti, cambio rosso continuo. All'interno dell'anello dei fasci conduttori il midollo, che al centro si dissolve formando una cavità midollare. Tra i fasci conduttori raggi midollari parenchimatrici, all'esterno dei fasci conduttori corteccia parenchimatrica, delimitata da epidermide monostratificata fornita di cuticola (Originale).

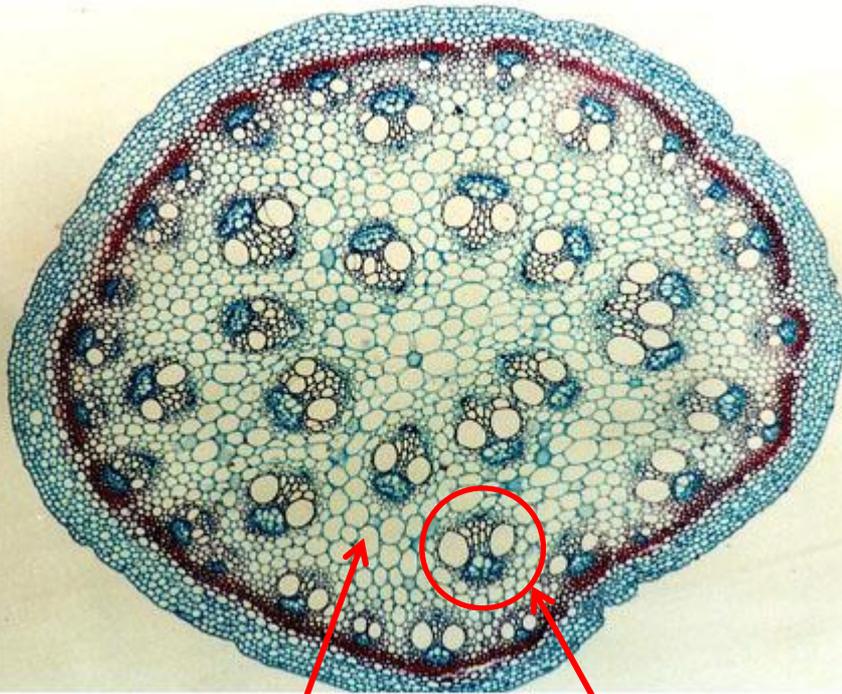


In dicotiledoni arboree (più primitive delle piante erbacee) lo smembramento dell'originale fascio conduttore in porzioni più o meno numerose di singoli fasci collaterali non è molto pronunciato → struttura di aspetto molto più massiccio che nelle dicotiledoni erbacee con f(x) di sostegno.

La connessione tra le tracce dei rami e quelle fogliari con il sistema conduttore del fusto principale. In realtà, le tracce del ramo altro non sono che tracce fogliari, cioè le tracce fogliari delle prime foglie della gemma o del ramo laterale. Nelle magnoliidi e nelle eudicotiledoni vi sono, di solito, due tracce del ramo per gemma.

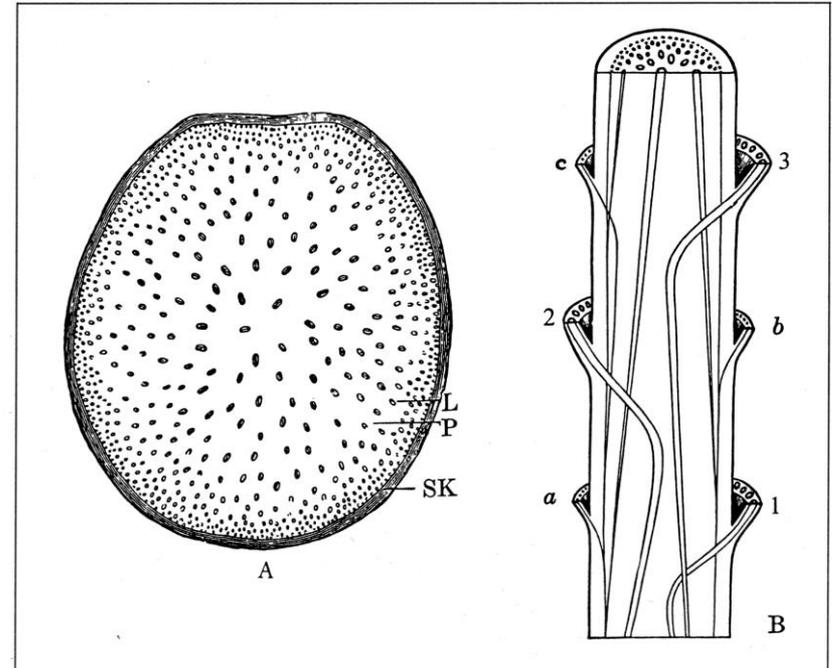
# ATACTOSTELE – nelle Monocotiledoni.

- “ataktos” (greco) = disordinato
- Singoli fasci collaterali chiusi (il procambio genera interamente xilema e floema)



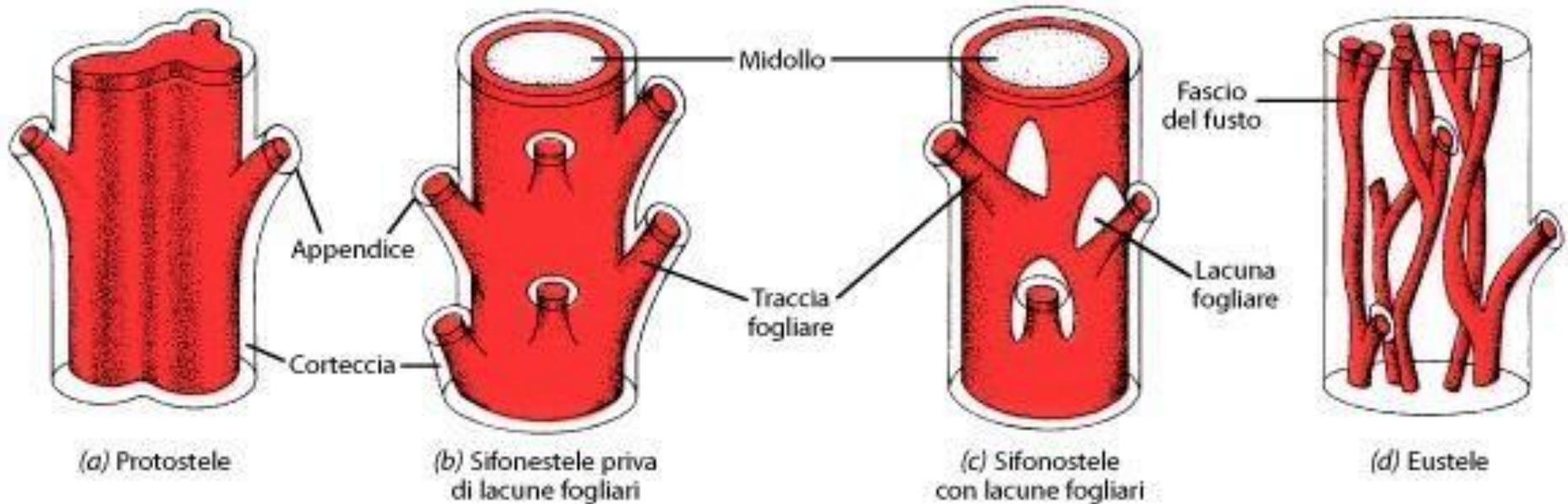
Tessuto  
fondamentale  
(parenchima)

Fascio  
conduttore



L'atactostele delle monocotiledoni è una struttura che sembra essere derivata dalla eustele.

Anche l'atactostele può comunque essere alla fine ricondotta ad un originario fascio conduttore concentrico che è stato frammentato.



I vari tipi di stele.

a) *Prostele* con tracce divergenti delle appendici che rappresentano i precursori delle foglie.

b) *Sifonosteles* priva di lacune fogliari; le tracce fogliari, che si dirigono alle foglie, divergono semplicemente dal cilindro che rimane compatto. Questo tipo di sifonosteles, tra le altre piante, si ritrova in *Selaginella* (Pteridofite).

c) *Dictiosteles*: tipo di sifonosteles con lacune fogliari, comunemente presente nella maggior parte delle Felci (Pteridofite).

d) *Eusteles*, presente nelle Gimnosperme e nelle Dicotiledoni.

Da ricordare:

1) nelle piante **con accrescimento secondario** in spessore, i **fasci sono APERTI**, cioè ci sono cellule meristematiche residue derivanti dal cordone procambiale (“CAMBIO INTRAFASCICOLARE”).

Nelle **piante senza accrescimento secondario** in spessore i **fasci sono CHIUSI**.

2) nel primo caso è molto frequente osservare che i fasci sono “impacchettati” molto strettamente uno accanto all’altro: i raggi midollari sono in genere ridotti a poche file di cellule (addirittura una sola nelle gimnosperme legnose).

Del resto le piante legnose sono considerate più primitive di quelle erbacee (le seconde sarebbero derivate dalle prime), per cui viene conservata come carattere primitivo una stele quasi completa.