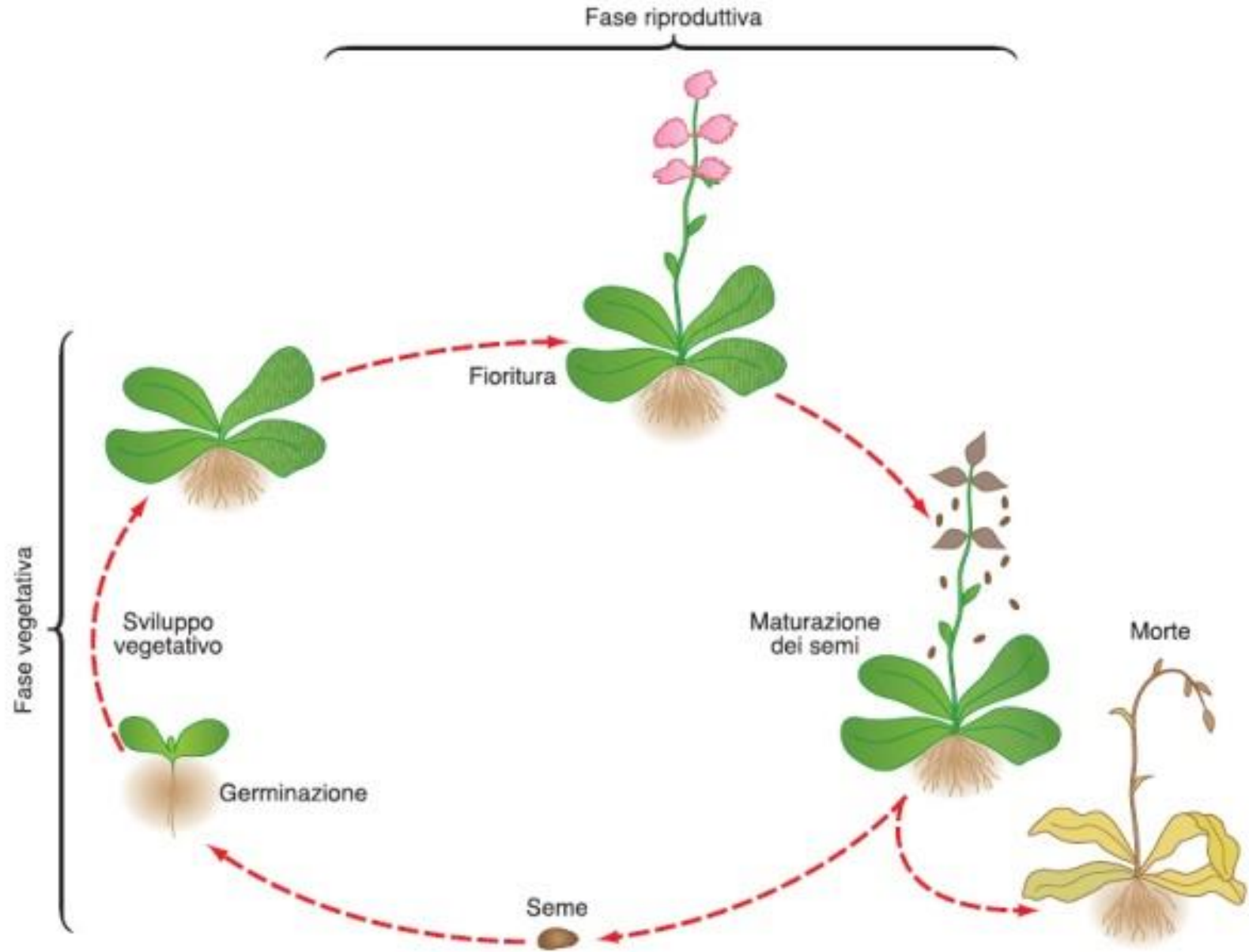


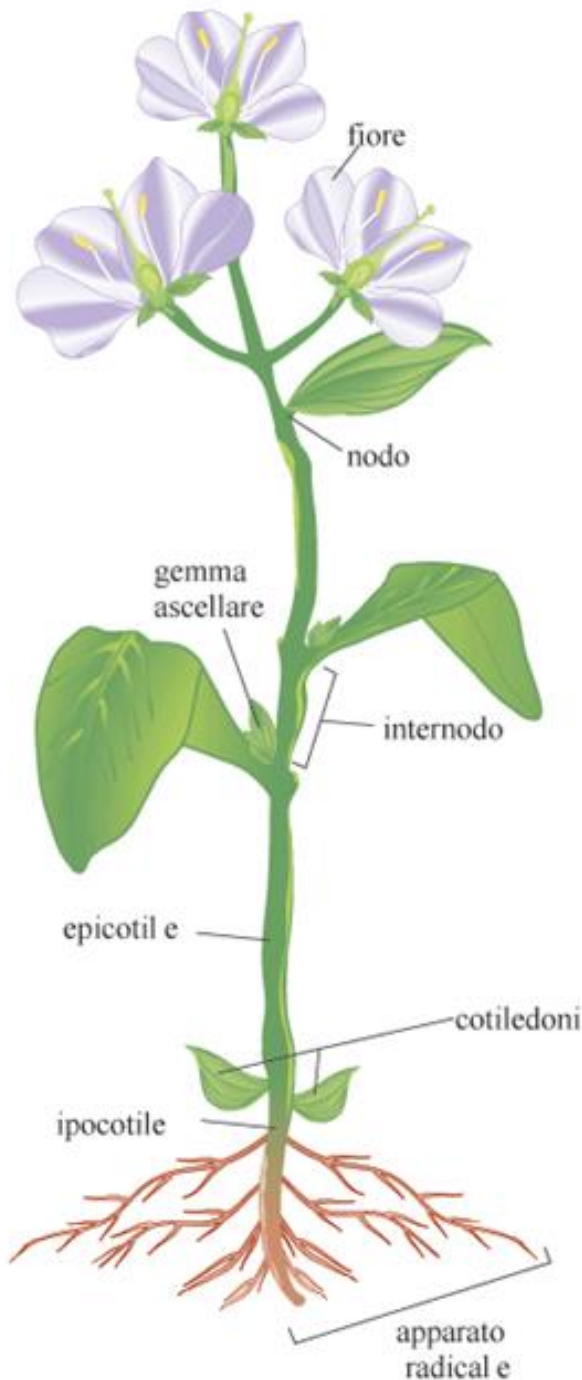


# Il seme e la germinazione

# Ciclo vitale di un angiosperma annuale



## Organografia di un angiosperma dicotiledone

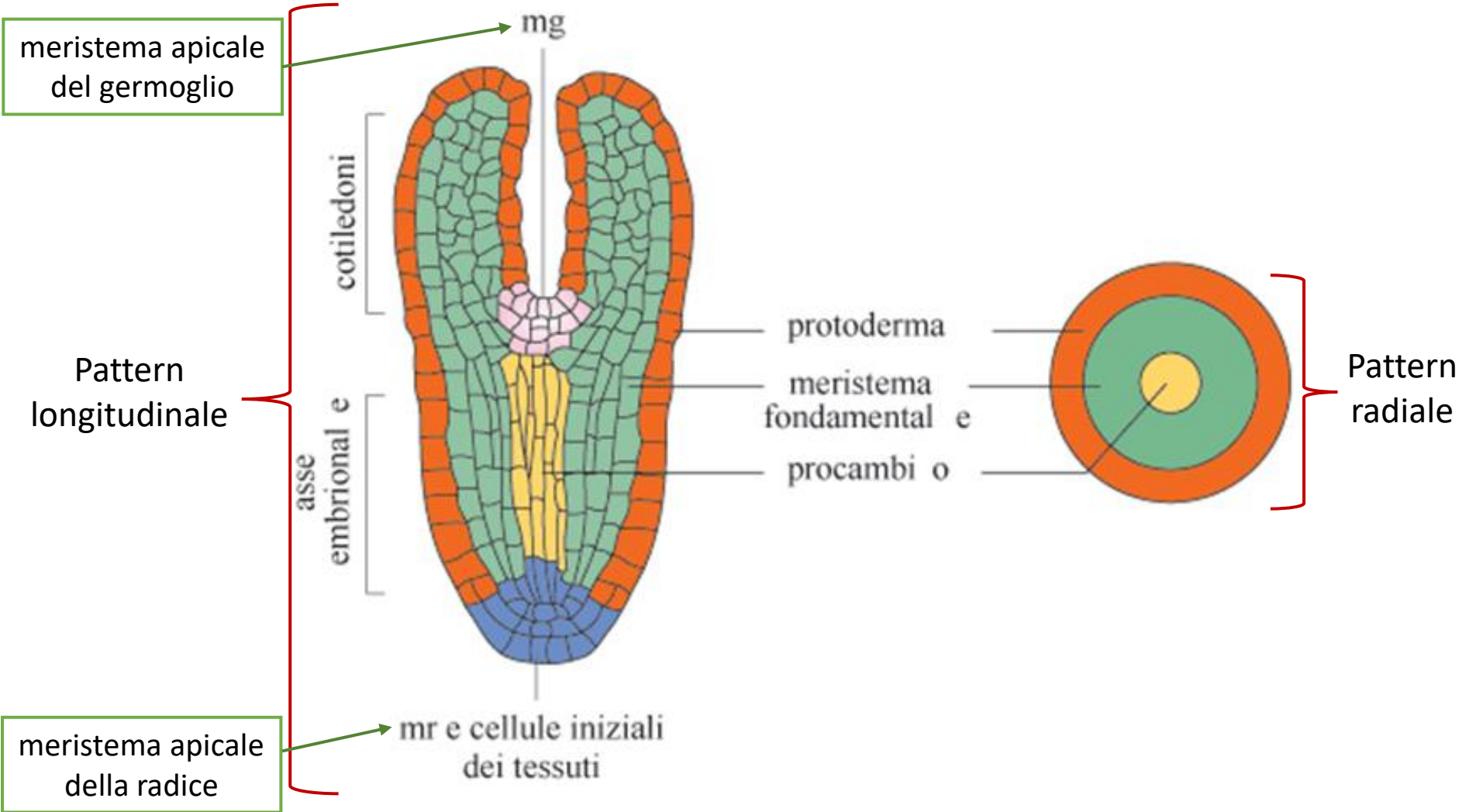


Origine delle parti fondamentali dello sporofito:

- *Cotiledoni*: durante l'embriogenesi dei meristemi primari
- *Epicotile, Ipocotile*: subito dopo la germinazione
- *Fusto, Foglie, Gemme ascellari, Radici*: durante la crescita vegetativa
- *Infiorescenza/Fiore*: dopo la transizione a fiore

# Embriogenesi

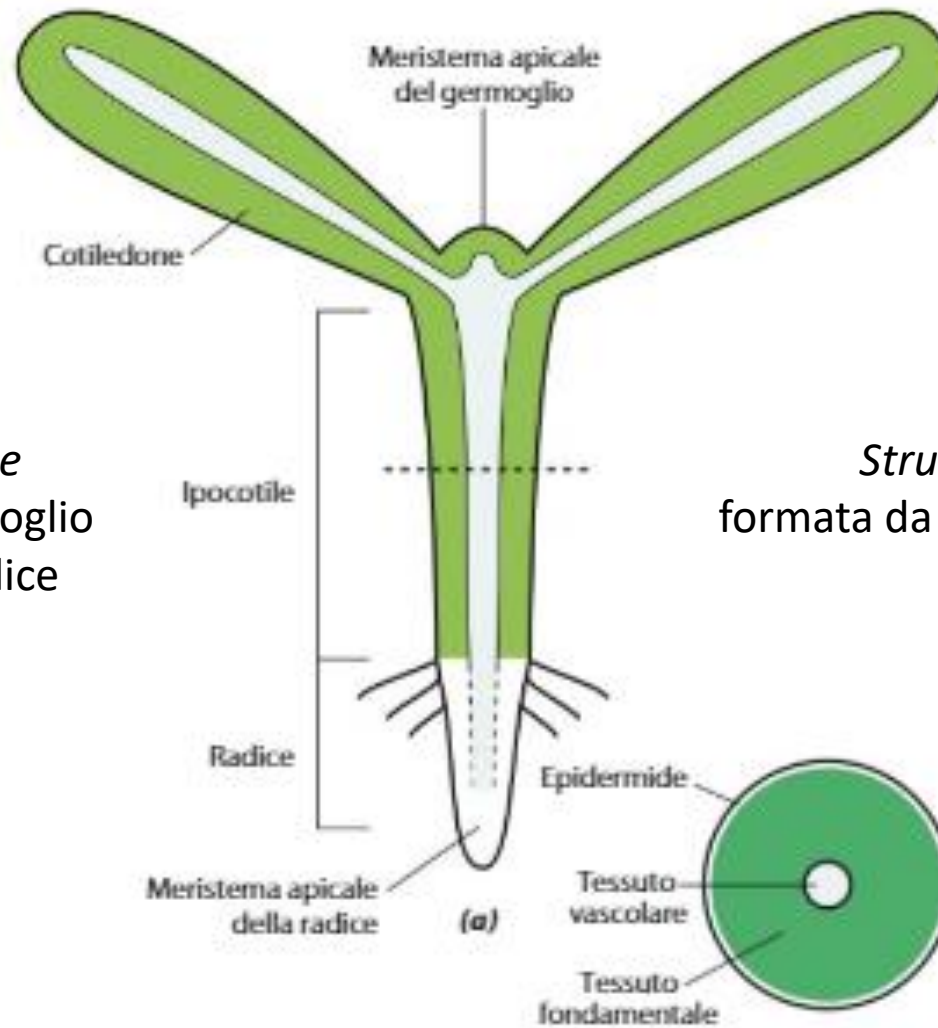
*formazione dell'embrione e prima fase dello sviluppo del seme*



Organizzazione apice-base:  
lungo l'asse maggiore della pianta

Sistemi di tessuti organizzati  
concentricamente

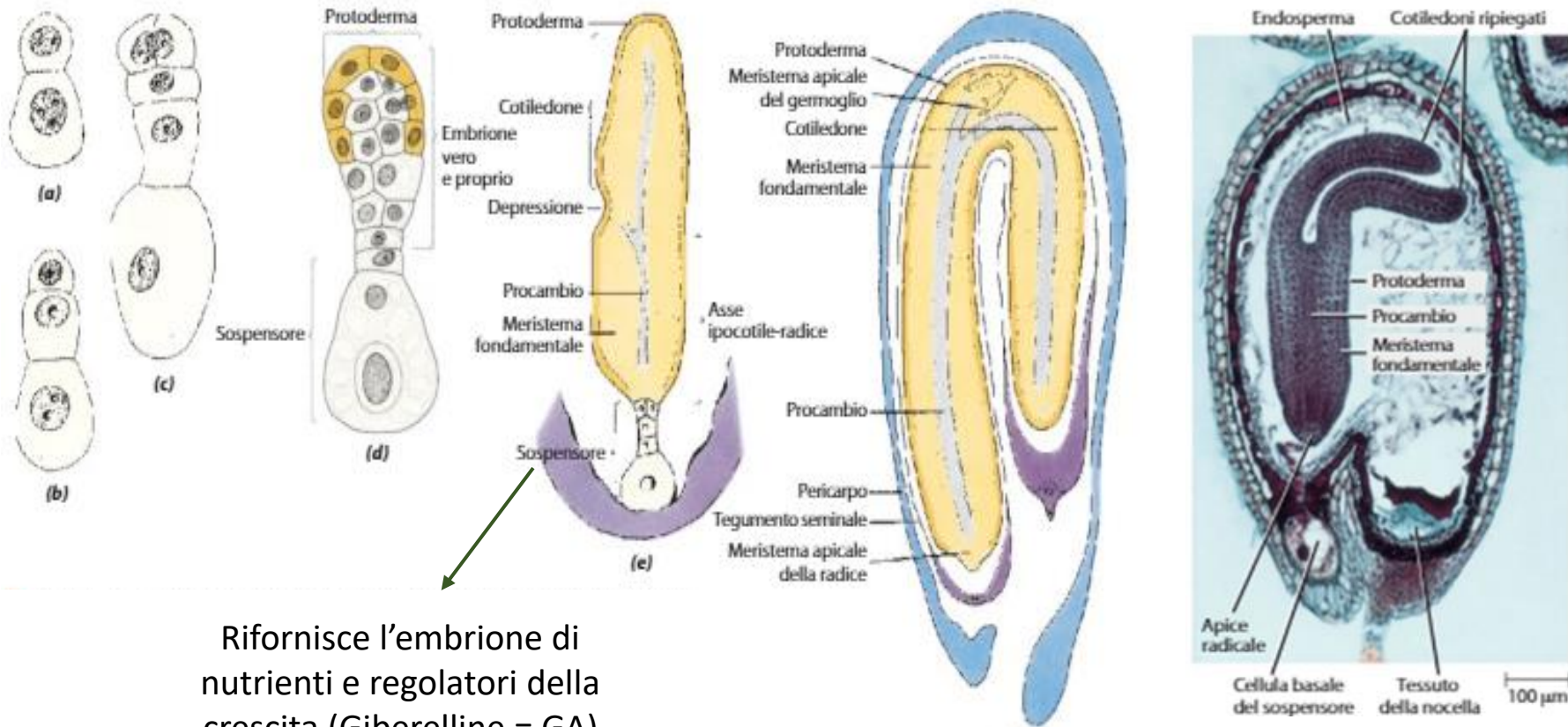
# Plantula



*asse embrionale*  
dall'apice del germoglio  
all'apice della radice

*Struttura radiale:*  
formata da tre sistemi di tessuti

# Formazione dell'embrione stadi precoci identici in tutte le angiosperme



Rifornisce l'embrione di nutrienti e regolatori della crescita (Giberelline = GA)

monocotiledone

dicotiledone

Divisione dello ZIGOTE

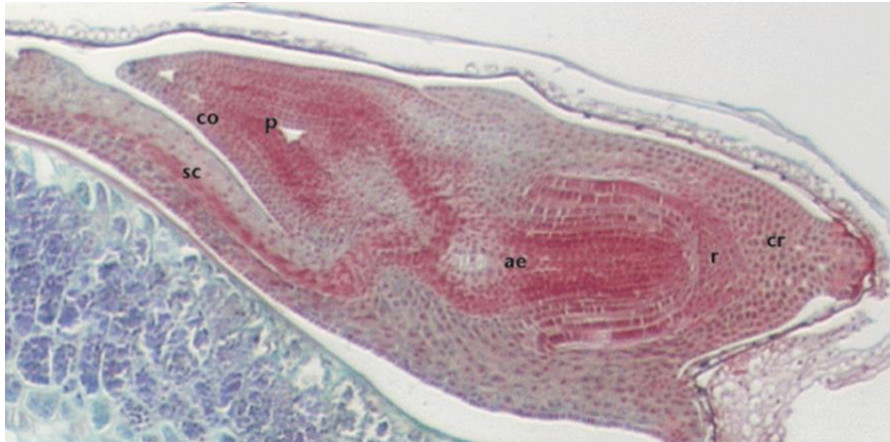


**POLARITA'**

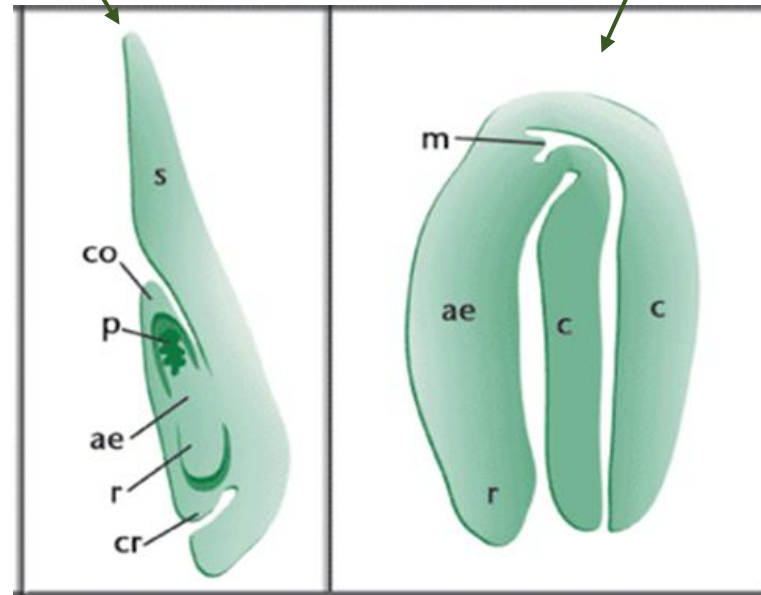
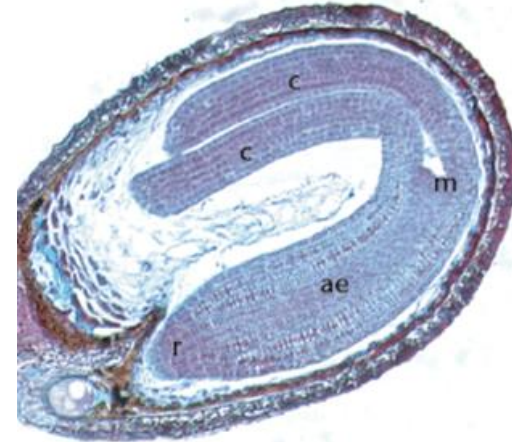
polo superiore calazale: embrione maturo  
polo inferiore micropilare: sospensore



## MONOCOTILEDONI



## DICOTILEDONI

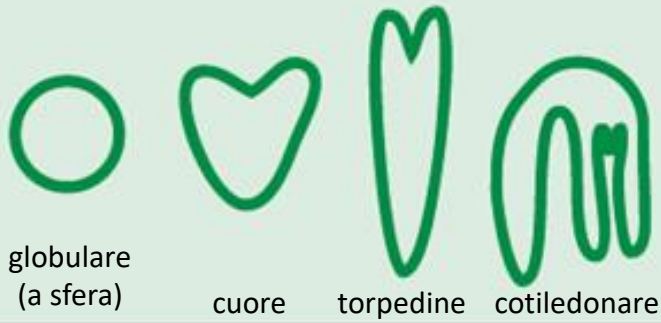


**r:** apice radicale protetto dalla coleorizza (**cr**)  
**ae:** asse embrionale (ipocotile)  
**p:** apice del germoglio (piumetta) con bozze fogliari  
**co:** coleotile protegge l'apice (p)  
**s:** scutello (cotiledone carnoso e massiccio)

L'apice radicale (**r**) continua con l'asse embrionale (**ae**) che termina con il meristemo del germoglio (**m**) posto tra due cotiledoni (**c**)

# Stadi morfologici di sviluppo dell'embrione

## dicotiledoni



## monocotiledoni

a

globulare  
(a sfera)

cuore

torpedine

cotiledonare

b

1

2

3

clava

4

5

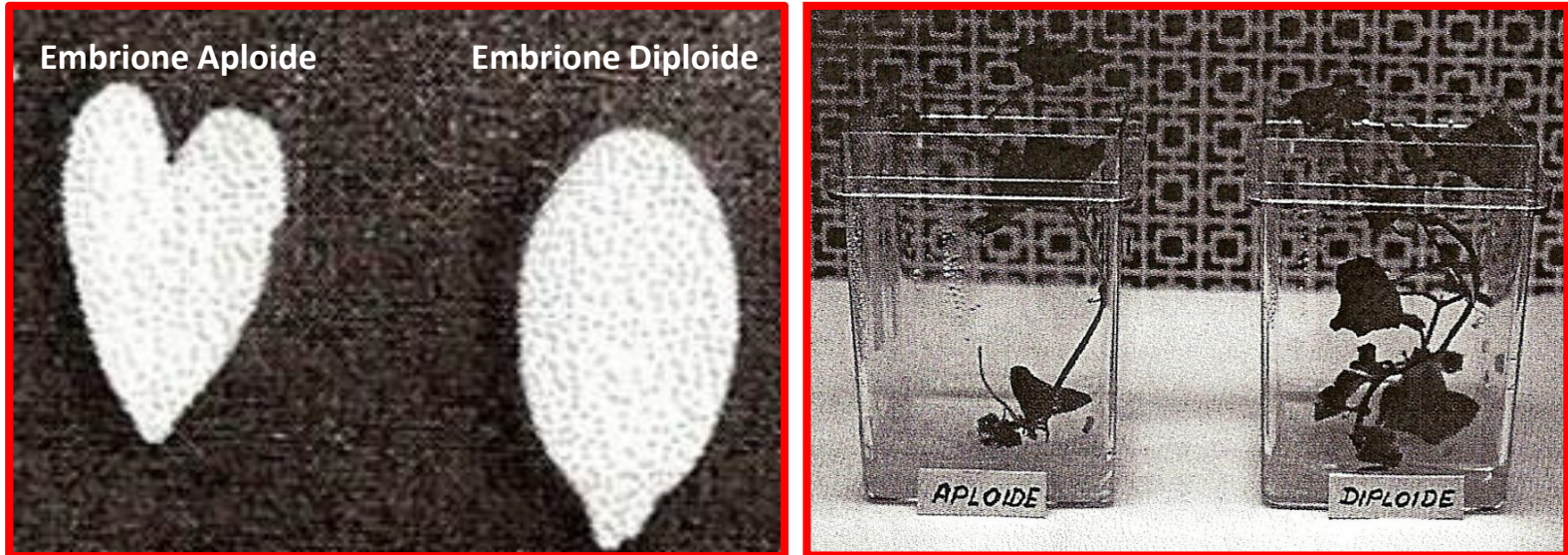
6

7

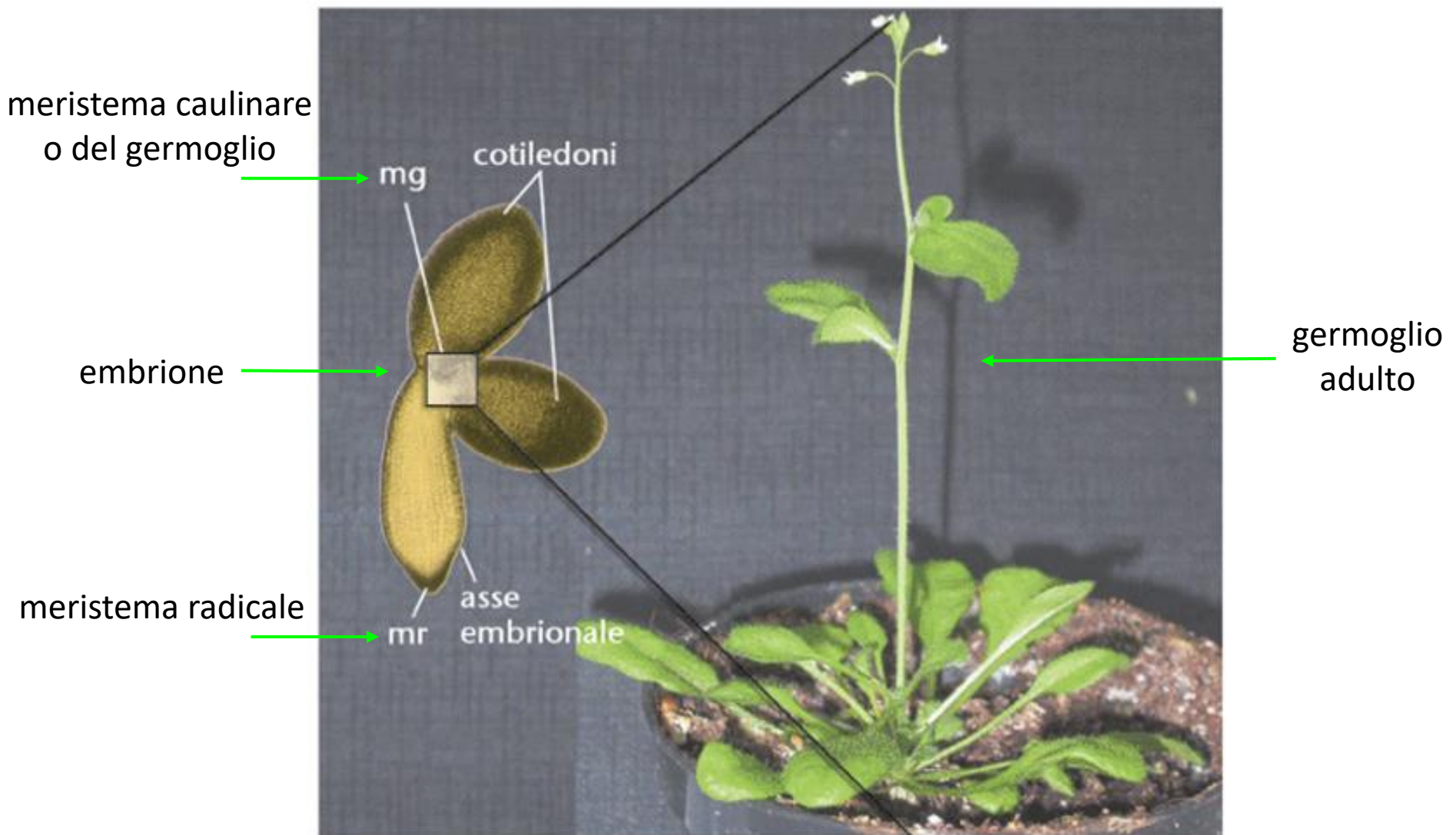
L'asse embrionale (ipocotile) è generato lateralmente nell'embrione:  
il meristema apicale del germoglio si origina su un fianco del cotiledone



*Ottenimento di piante di melone via Partenogenesi in situ*  
impiego di polline irraggiato con raggi  $\gamma$



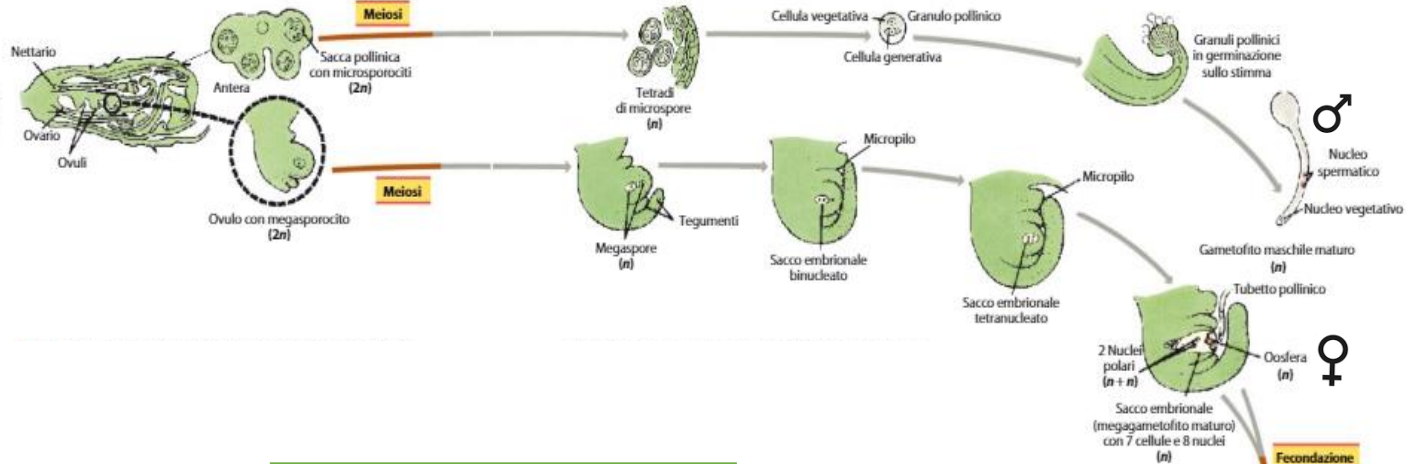
Ficcadenti *et al.* , 1995. Journal Genetics and Breeding. 49: 359-364  
Ficcadenti *et al.*, 2002. Plant Disease 86(8):897-900



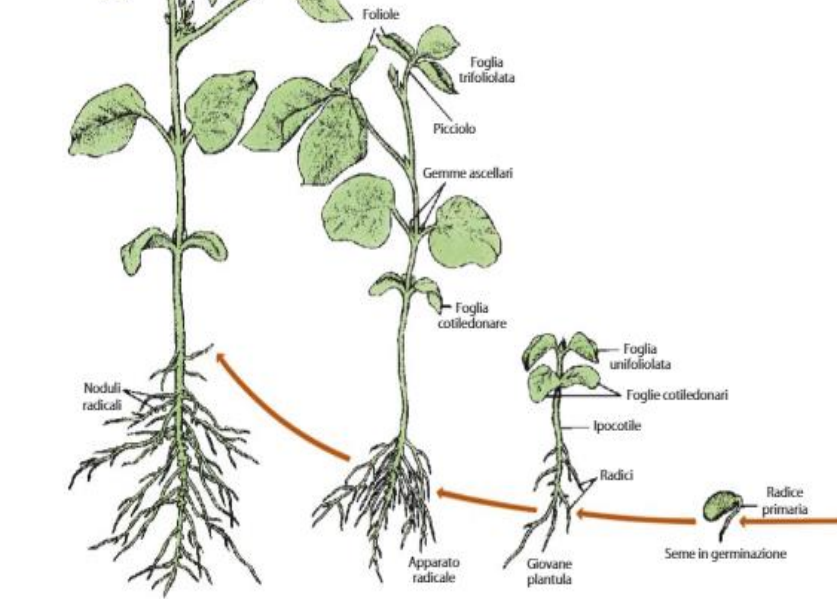
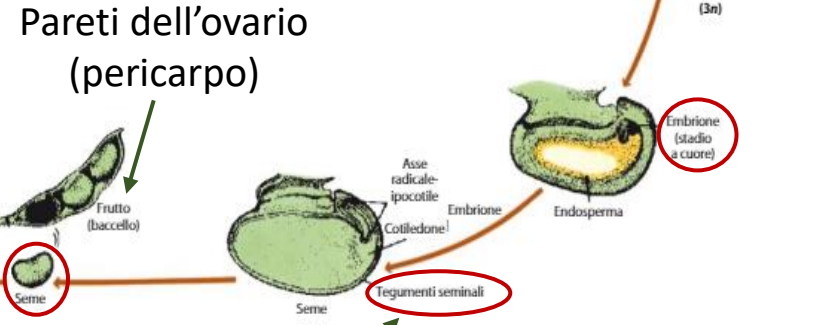
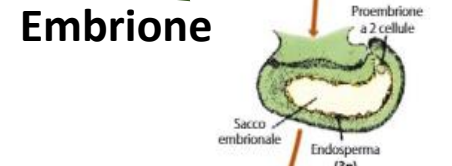
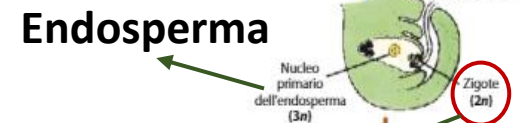
Il meristema caulinare è tra i due cotiledoni e darà origine alla maggior parte degli organi del germoglio adulto

# Ciclo riproduttivo angiosperma

Sporofito maturo

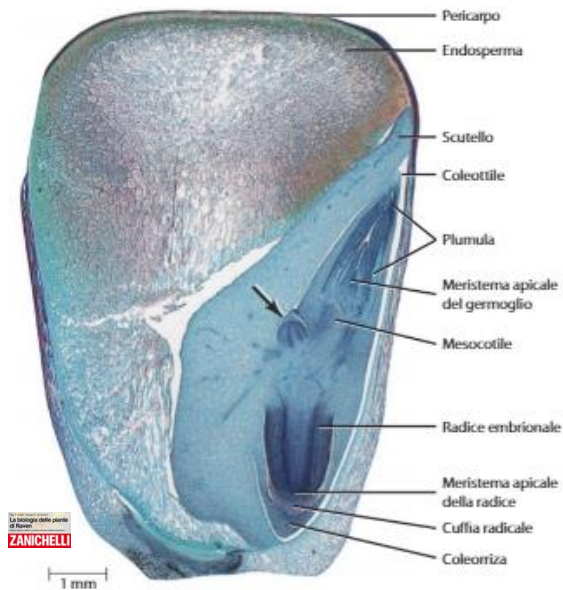


OVULO → SEME  
 OVARIO → FRUTTO



Tegumenti dell'ovulo





sezione del seme  
maturo di mais

*Seme contiene l'embrione maturo*



Vantaggio selettivo

- Assicura il superamento delle condizioni ambientali sfavorevoli
- Assicura la diffusione della specie

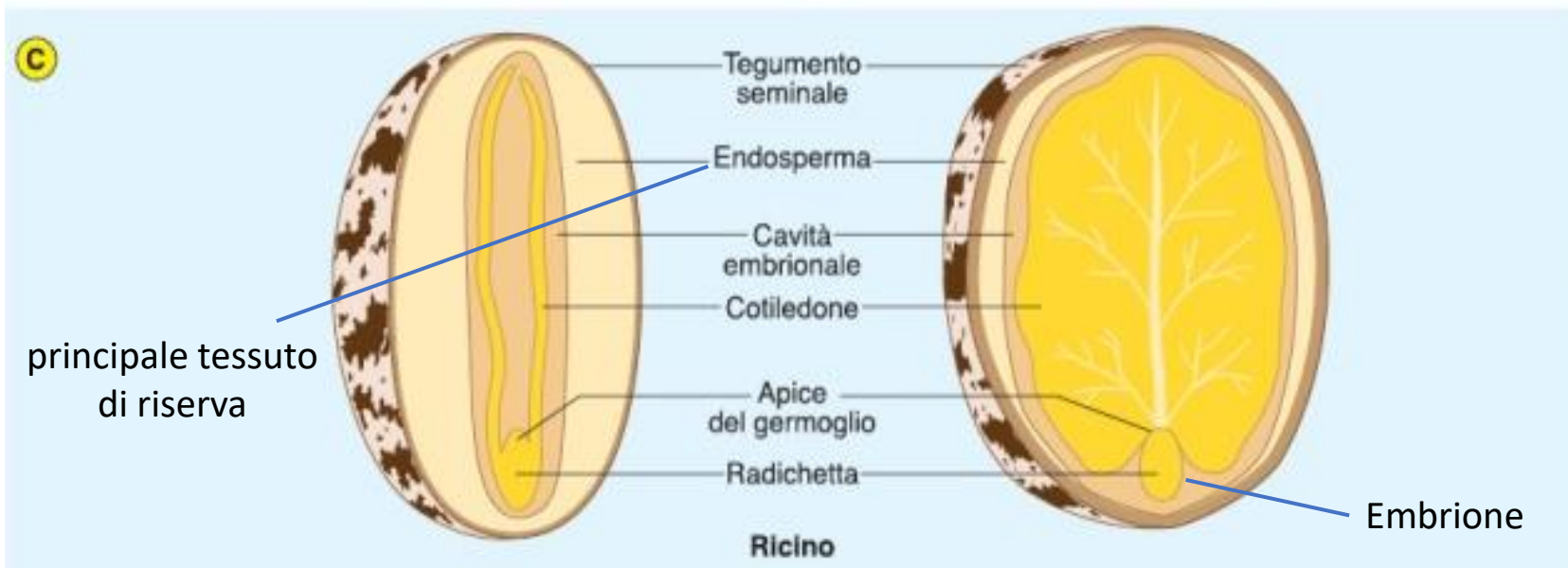
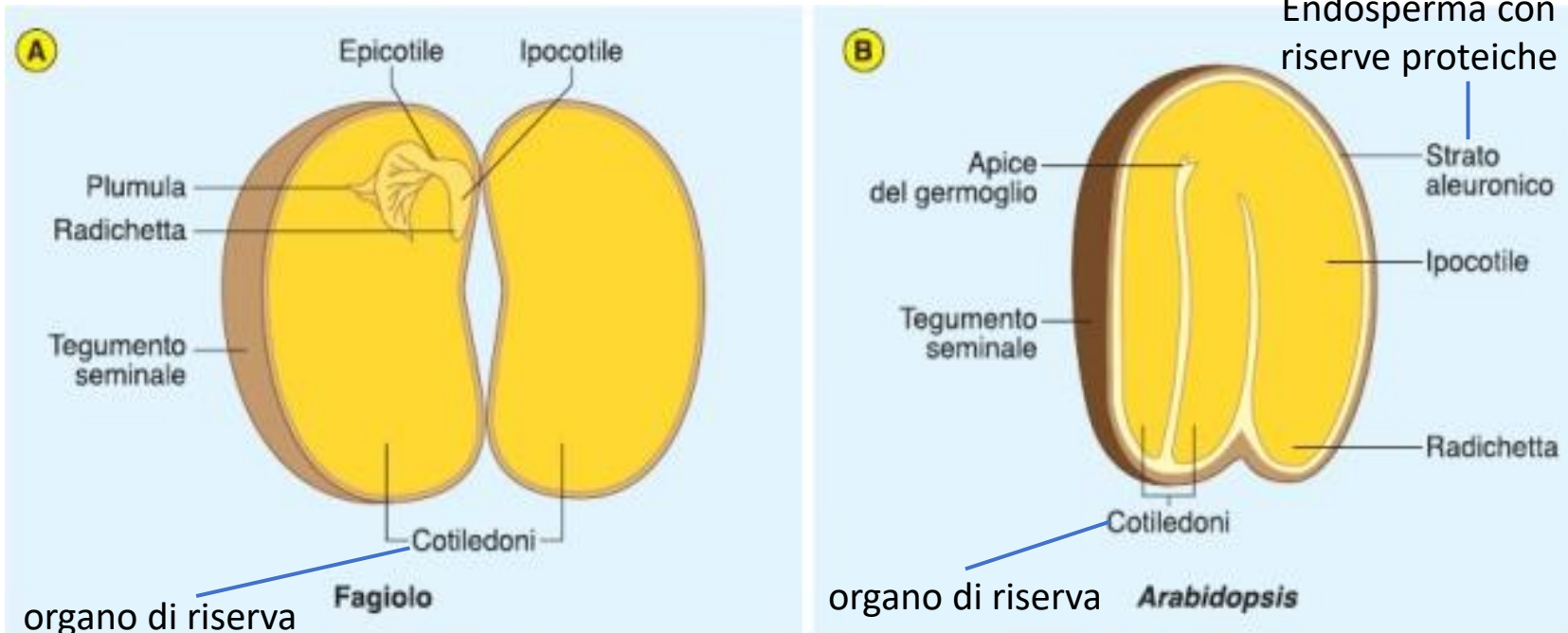
## COMPONENTI PRINCIPALI DEL SEME

**Embrione** ( $2n$ ): deriva dallo zigote (fecondazione)

**Endosperma** ( $3n$  nelle angiosperme; doppia fecondazione): è un tessuto di riserva (amido, proteine di riserva, oli) per l'embrione in via di sviluppo e per il seme in germinazione

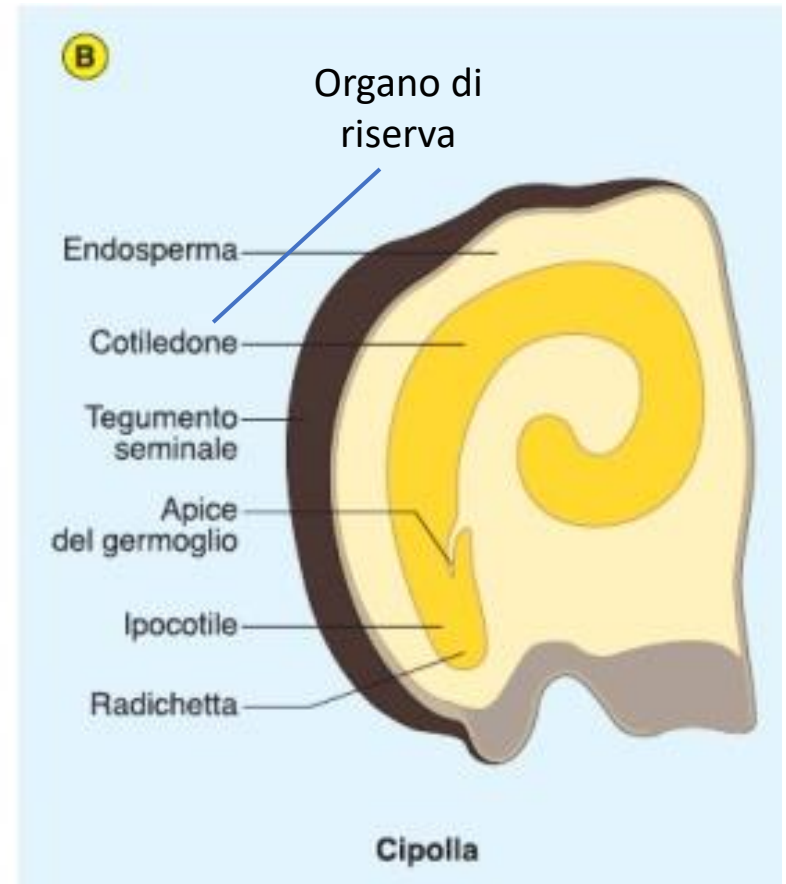
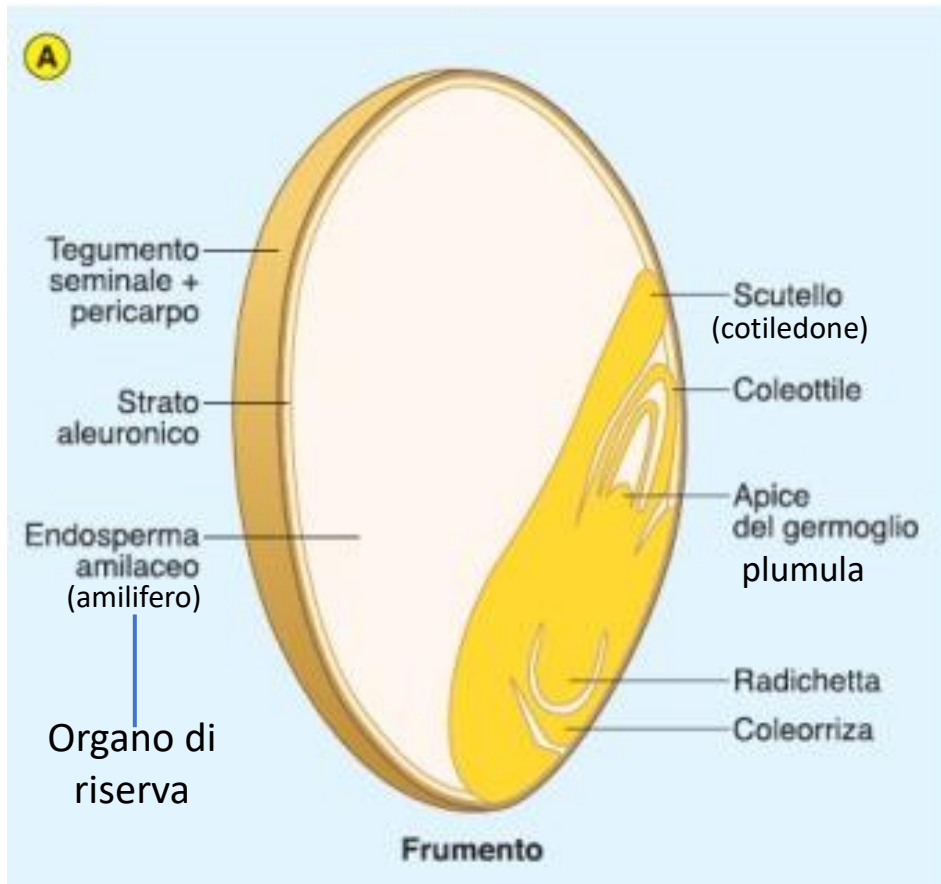
**Tegumento seminale (episperma)** ( $2n$ ): deriva dalle pareti dell'ovulo (gametofito femminile)

# Localizzazione delle riserve nelle dicotiledoni



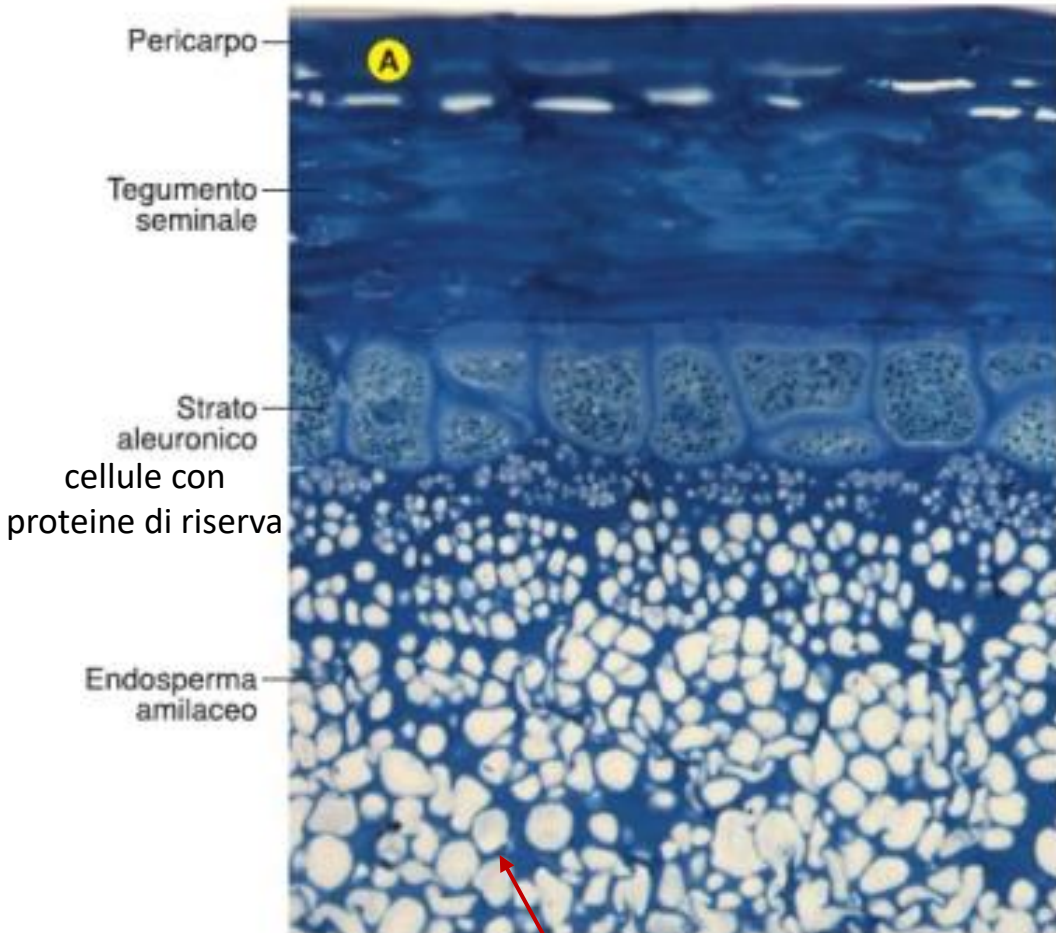


## Localizzazione delle riserve nelle monocotiledoni



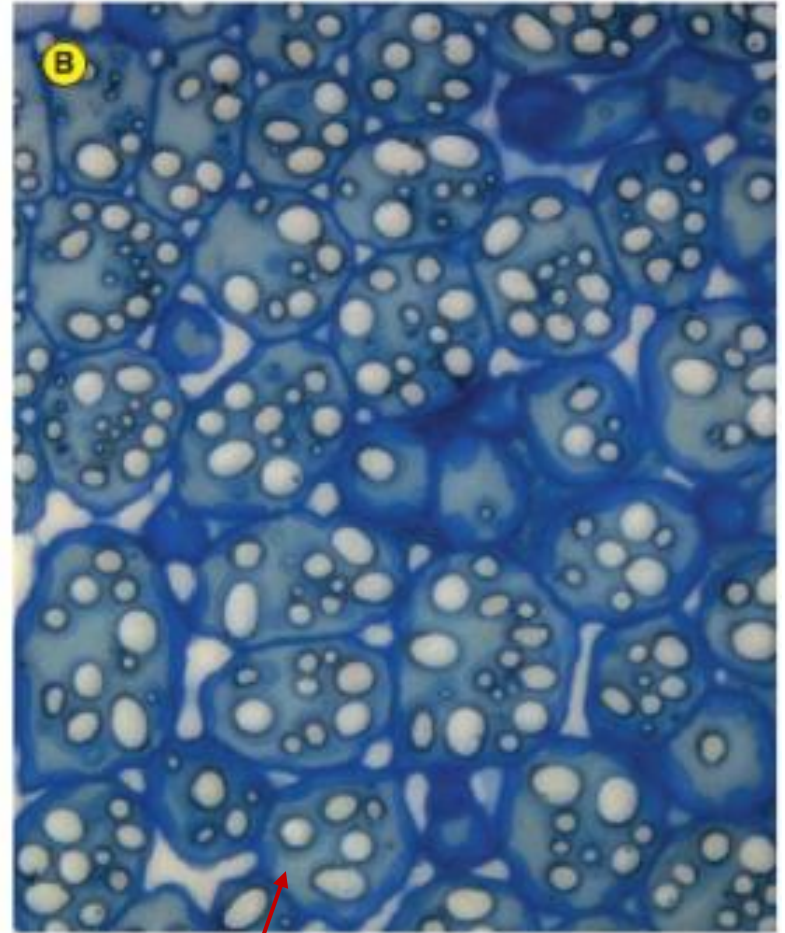
Nella maggior parte delle monocotiledoni le riserve si trovano nell'endosperma

## Mais (*Zea mays*)



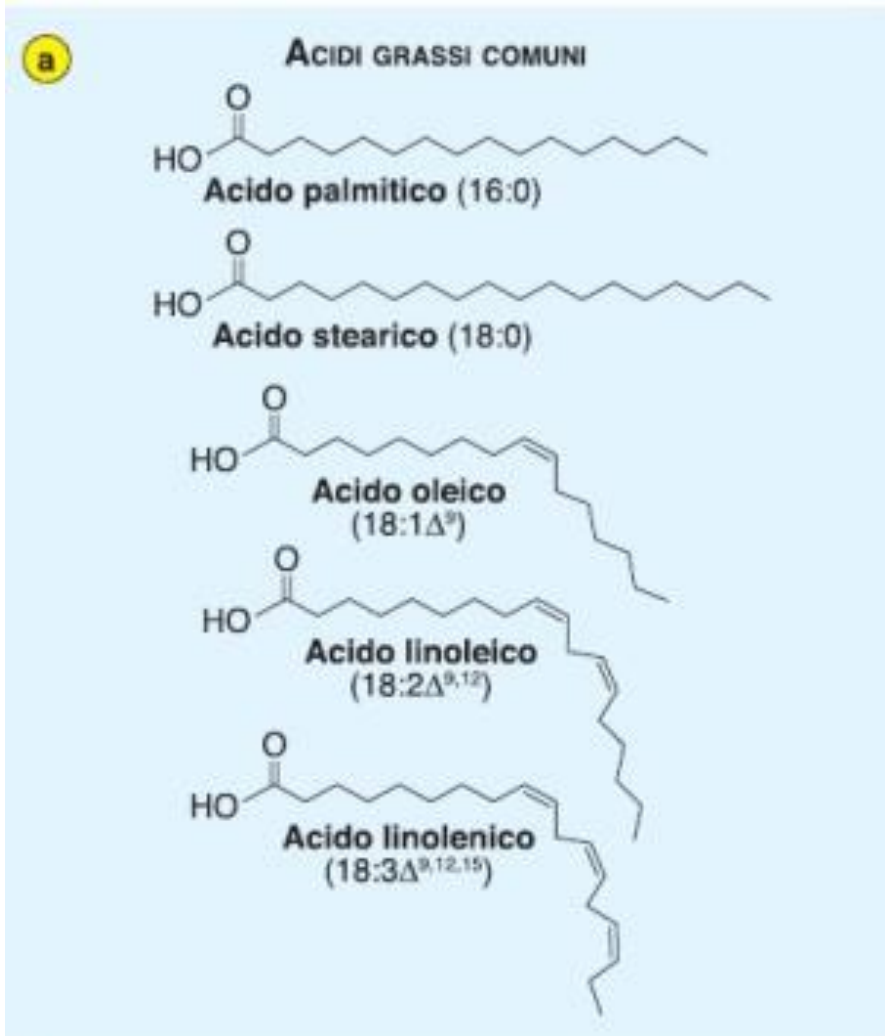
Cellule morte riempite di granuli di amido (non colorati)

## Fagiolo (*Phaseolus vulgaris*)

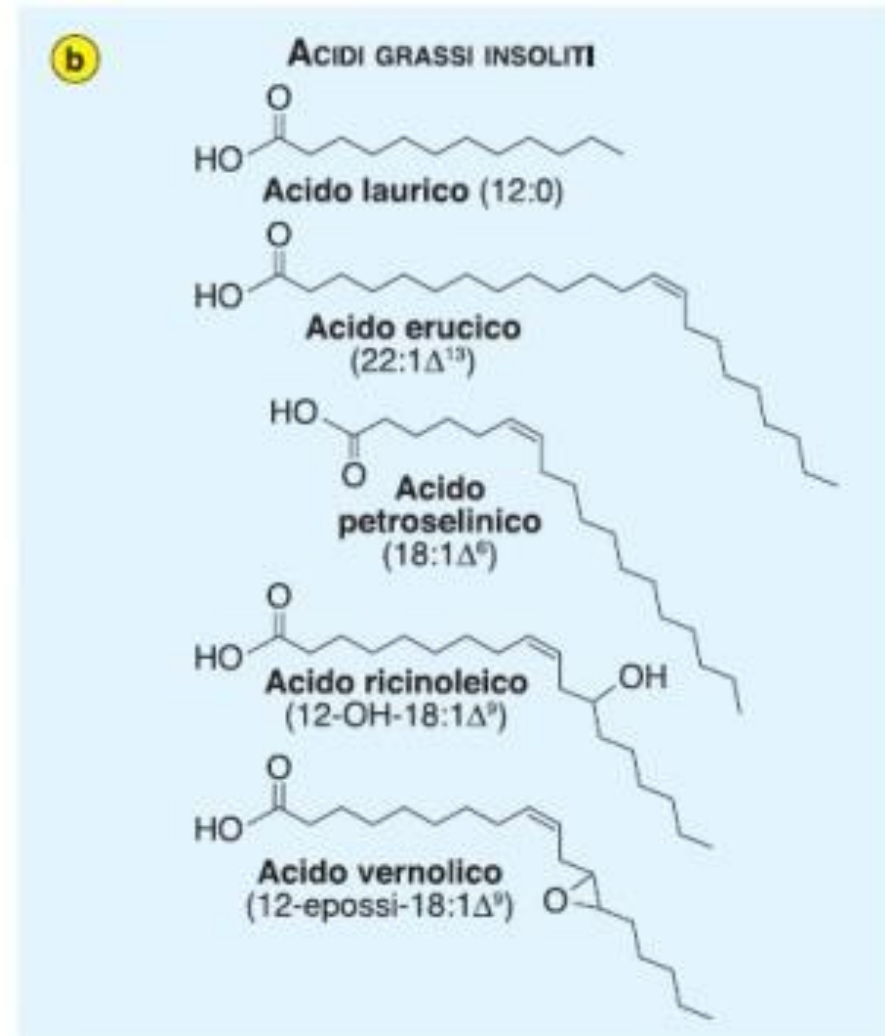


Cellule vive contenenti molti amiloplasti con grossi granuli di amido (non colorati)

Le principali sostanze nutritive accumulate nei semi sono carboidrati, proteine e lipidi



Presenti comunemente nei trigliceridi di riserva dei semi



Sintetizzati solo nei semi di certe piante

Composizione media percentuale delle riserve e loro localizzazione in alcune specie di interesse agronomico

	<b>Proteine</b>	<b>Lipidi</b>	<b>Carboidrati</b>	<b>Principale organo di riserva</b>
<b>Cereali</b>				
Mais	10	5	80	Endosperma
Frumento	12	2	75	Endosperma
Avena	13	8	66	Endosperma
<b>Legumi</b>				
Soya	37	22	12	Cotiledoni
Arachide	31	48	12	Cotiledoni
Pisello	25	6	52	Cotiledoni
<b>Specie oleaginose</b>				
Ricino	18	64	Tracce	Endosperma
Palma da olio	9	49	28	Endosperma
Colza	21	48	19	Cotiledoni

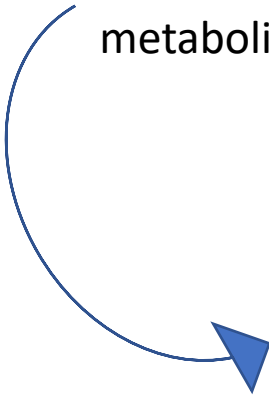


*Maturazione del seme*  
*alla fine dell'embriogenesi, seconda fase dello sviluppo del seme*

*Sintesi di sostanze di riserva* : amido, proteine di riserva e oli (endosperma e/o cotiledoni)

*Indurimento del tegumento seminale*: protezione dell'embrione e delle riserve nutritive

*Disseccamento*: perdita di acqua ( > 90%) con conseguente riduzione del metabolismo all'interno del seme (l'embrione resta vitale per molto tempo)



**QUIESCENZA e DORMIENZA**  
*arresto della crescita e del metabolismo per superare le condizioni ambientali non favorevoli*



**QUIESCENZA:** in condizioni ambientali favorevoli (reidratazione) i semi germinano

**DORMIENZA**

*Tegumento seminale:* impermeabilità all'acqua e all'ossigeno, rigidità, inibitori della crescita (es. conifere, molti cereali e nelle dicotiledoni)

*Embrione:* immaturità fisiologica, rapporto tra giberelline (stimola la germinazione) e acido abscissico (promuove la dormienza), (es. rosaceae, piante legnose e alcune graminacee)

Semi fisiologicamente immaturi



*Post-maturazione:* cambiamenti enzimatici e biochimici necessari prima di poter germinare (seme è vitale), innescati dalle basse temperature (per evitare che la plantula si sviluppi in condizioni avverse), attività metabolica bassa per preservare la vitalità

*Dormienza primaria:* acquisita durante la maturazione del seme

*Dormienza secondaria:* indotta da condizioni non favorevole alla germinazione

La dormienza assicura che le condizioni ambientali siano favorevoli alla crescita della plantula al momento della germinazione

## *Fattori essenziali per la germinazione dei semi*

- *ACQUA*: necessaria per la digestione e utilizzazione delle riserve (imbibizione)
- *OSSIGENO*: respirazione aerobia (fessurazione del tegumento seminale)
- *TEMPERATURA*: dipende dalla specie; ottimale 25-30°C
- *LUCE*: necessaria per piccoli semi (es. lattuga)



*Fattori di regolazione*

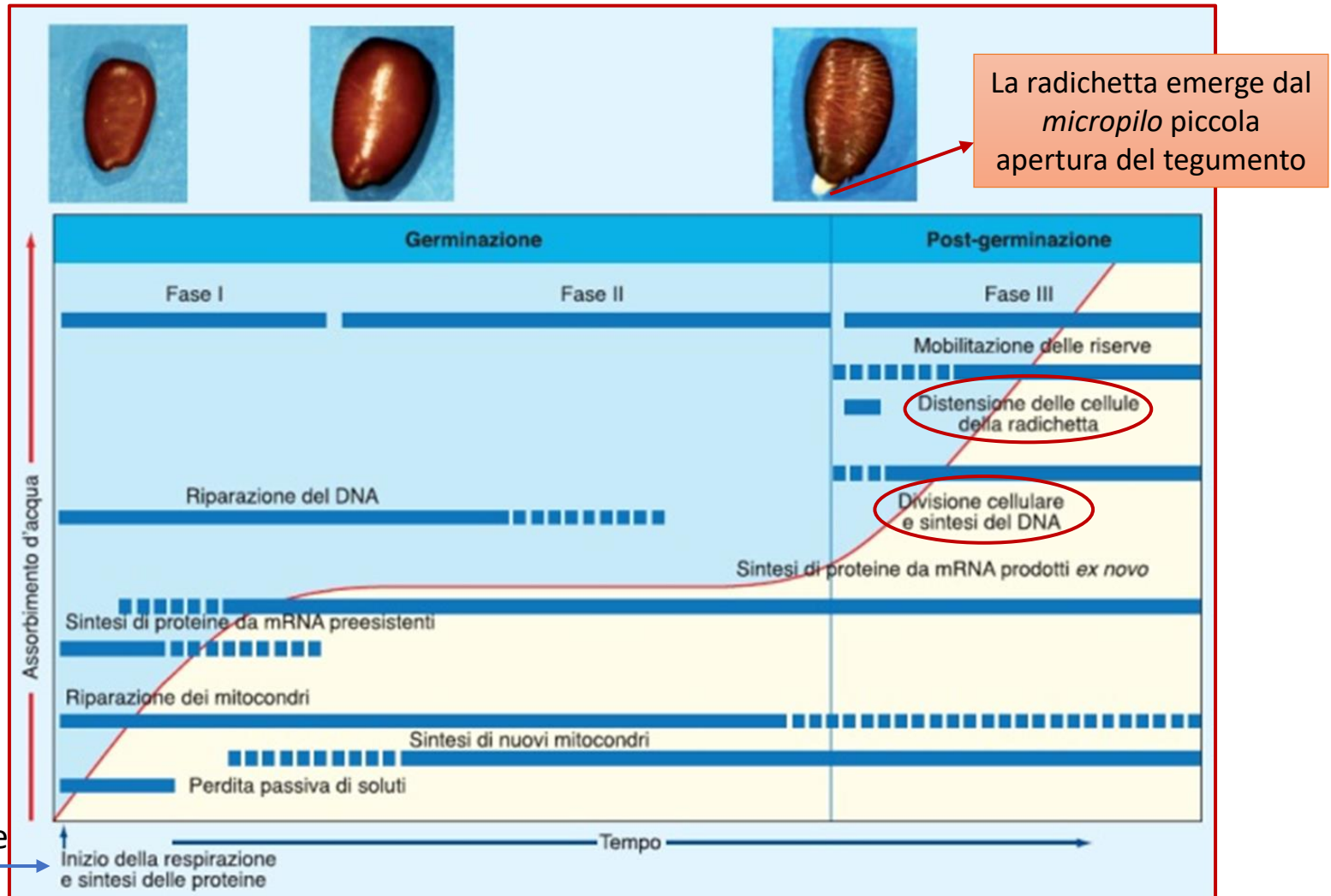
*Variazione ormonale: rapporto GA - ABA*

- Riduzione della concentrazione di acido abscissico (ABA)
- Aumento della concentrazione di acido gibberellico (GA)

*Impiego delle riserve dell'endosperma*  
amido, lipidi e proteine

# Assorbimento dell'acqua durante la germinazione

## Andamento temporale dei principali processi cellulari associati alla germinazione

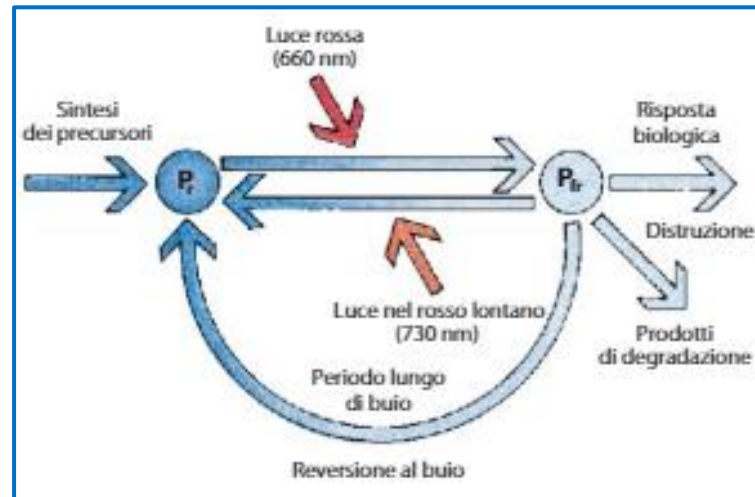


La *radichetta* (*radice embrionale*) permette al seme l'ancoraggio al suolo e l'assorbimento dell'acqua  
La *radice primaria* (*fittone*) sviluppa le *radici laterali* (ramificazioni) che a loro volta ne originano altre  
Le *radici avventizie* si originano dai nodi (monocotiledoni) e sviluppano radici laterali

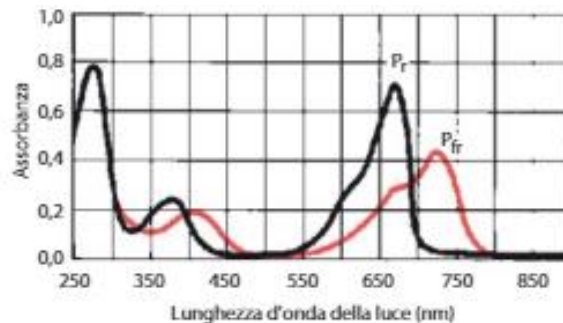
## Effetto della luce sulla germinazione

**Fitocromo** = fotorecettore della luce nel rosso (660 nm) e rosso lontano (730 nm); coinvolto nella germinazione, fioritura e nella morfologia dello sviluppo delle piante

Può assumere due forme interconvertibili ( $P_r$ ,  $P_{fr}$ ): *reazione di fotoconversione*



**Spettri d'azione:** range di lunghezza d'onda della luce per la risposta biologica (es. germinazione)



Luce nel rosso: 620 – 700 nm

Luce nel rosso lontano: 700 – 800 nm

I semi di lattuga devono germinare su terreni sciolti e a poca profondità: *necessitano di luce*



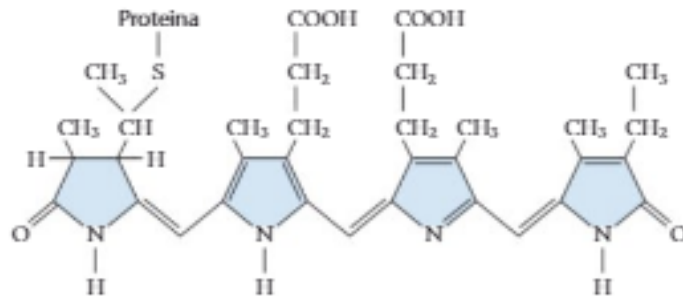
La luce nel rosso **STIMOLA** la germinazione  
La luce nel rosso lontano **INIBISCE** la germinazione in modo più efficace del buio



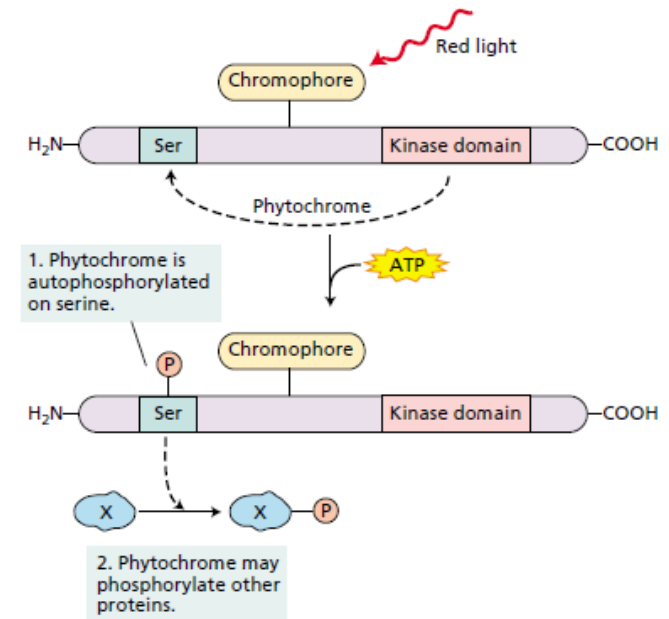
# FITOCROMO

Proteina serina/treonina chinasi, capace di autofosforilazione (trasferimento gruppi fosfato dall'ATP ad amminoacidi della stessa proteina o di altre), sintetizzata nel cloroplasto e costituita due parti:

Oloproteina (phy)  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Cromoforo (fitocromobilina): assorbe la luce (isomerizzazione } cis-trans \text{ in C15)} \\ \text{Apoptroteina (PHY): da sola non è capace di assorbire la luce} \end{array} \right.$



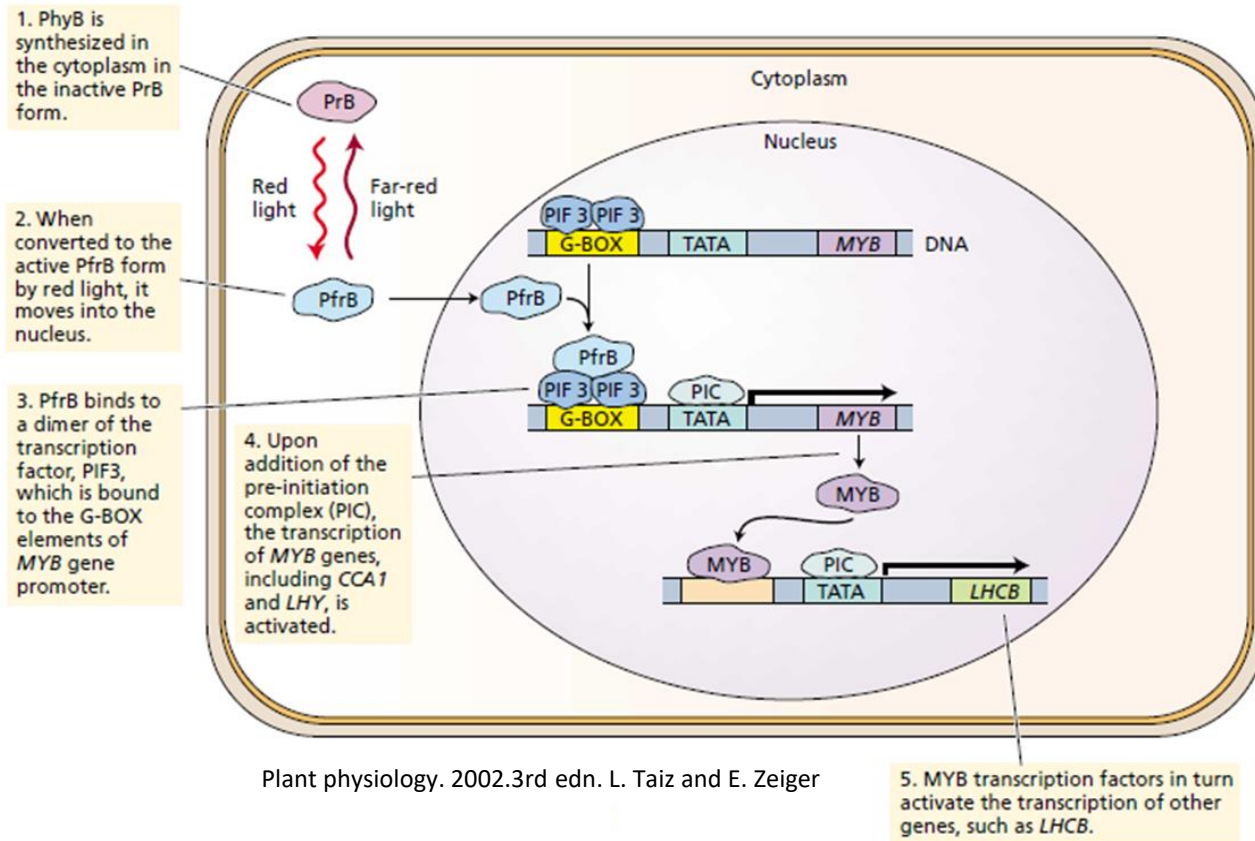
La biologia delle piante di Raven  
**ZANICHELLI**



Plant physiology. 2002.3rd edn. L. Taiz and E. Zeiger

interruttore biologico, indotto dalla luce, che causa cambiamenti globali nella trascrizione genica

I cambiamenti conformazionali nell'apoproteina espongono il segnale di localizzazione nucleare (NLS) che spostano il fitocromo dal citosol al nucleo



Interazione fisica del cromoforo con proteine nucleari **PIF** (*fattori interagenti col fitocromo*) che si degradano alterando l'espressione genica in risposta alle variazioni della luce

Sviluppo della pianta mediato da fotorecettori meccanici (**Fotomorfogenesi**)

## *Variazione del rapporto ABA e GA*

***Ormone vegetale (fitormone)***: segnale chimico che regola e coordina il metabolismo, la crescita e la morfogenesi della pianta. Sono sintetizzati nello stesso tessuto e poi trasportati in tessuti diversi oppure sintetizzati nello stesso tessuto in cui agiscono



*Auxine, citochinine, etilene, acido abscissico e gibberelline (acido gibberellico)*

### *Altri ormoni vegetali*

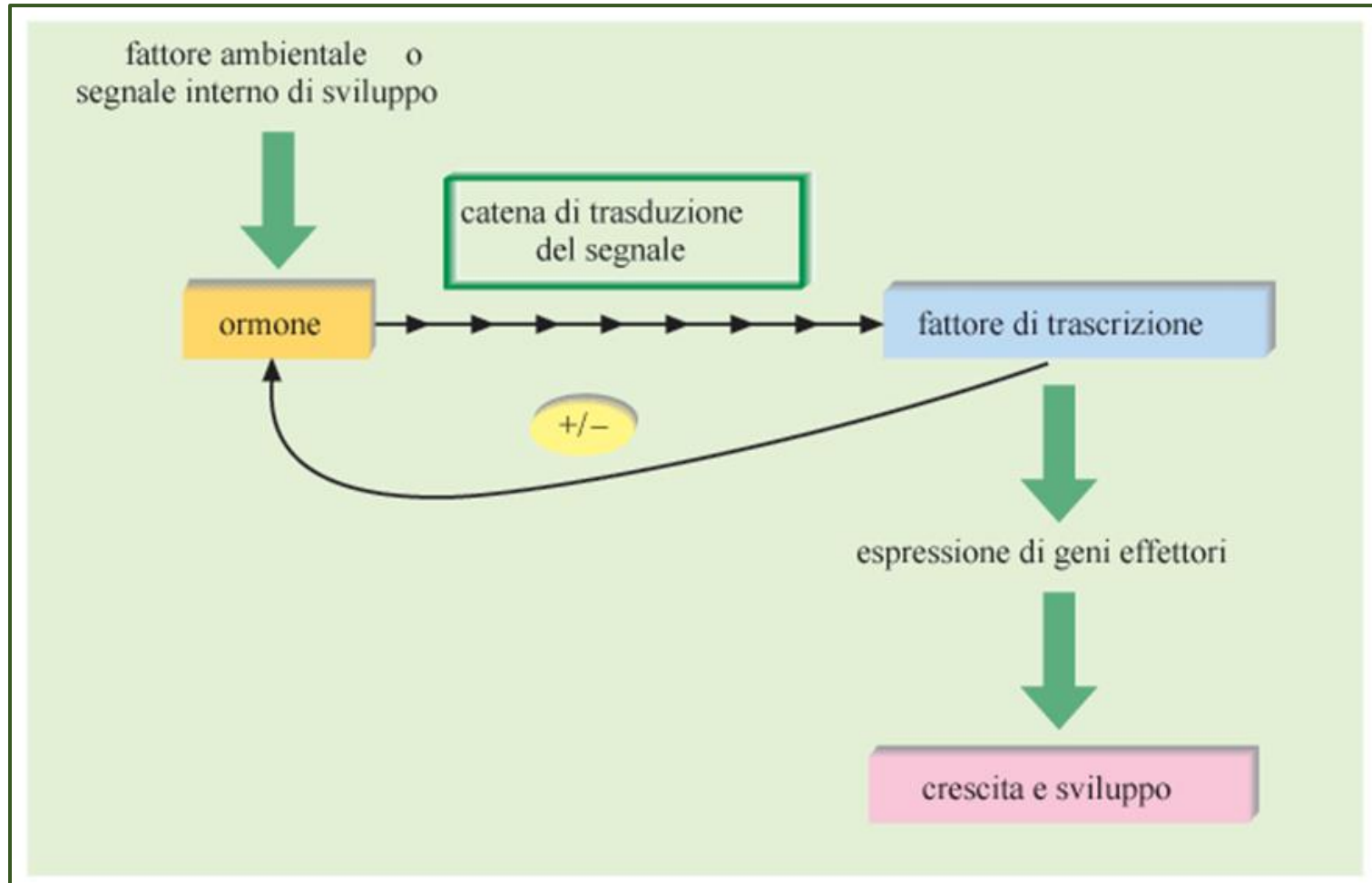
Brassinosteroidi: normale crescita dei tessuti

Florigeno: stimola la fioritura nel meristema apicale del germoglio

*Molecole segnale coinvolte nella resistenza a patogeni*  
acido salicilico, acido giasmonico (giasmonato), sistemina

L'azione dell'ormone dipende dalla sua concentrazione e dalla sensibilità del tessuto all'ormone stesso

# Interazioni tra ormoni vegetali, fattori di trascrizione e gli effetti sulla germinazione, crescita e sviluppo della pianta



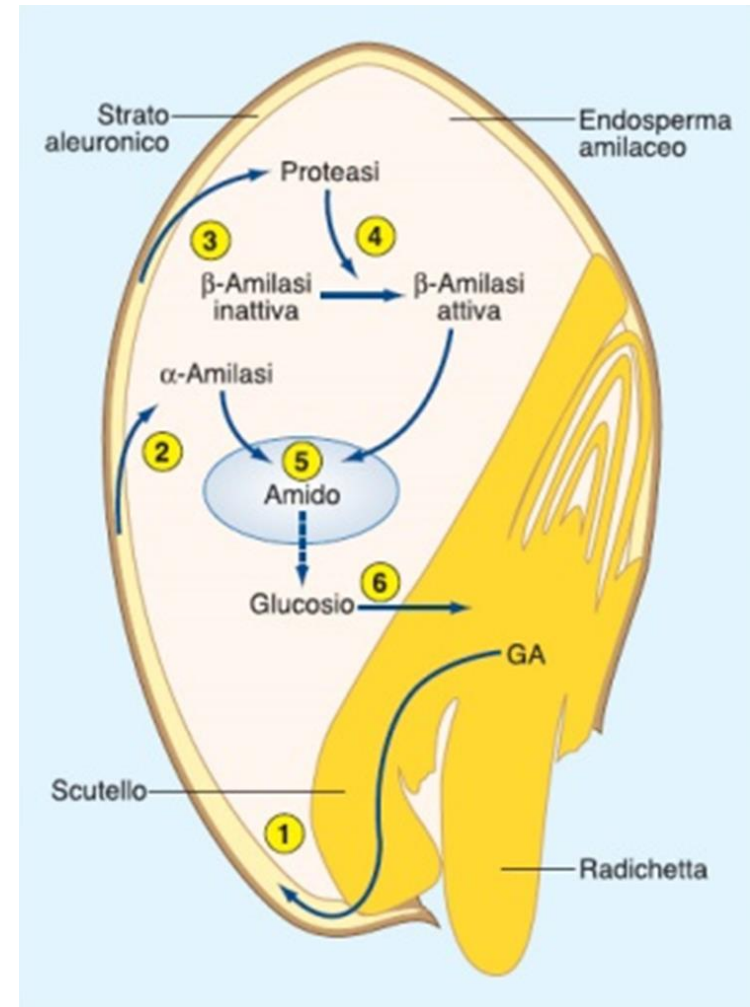
## Variazione del rapporto tra acido abscissico (ABA) e gibberelline (GA)

**ABA:** inibisce la germinazione dei semi (stimola la dormienza) ed è coinvolto nella risposta allo stress idrico. Biosintesi aumenta con l'embriogenesi

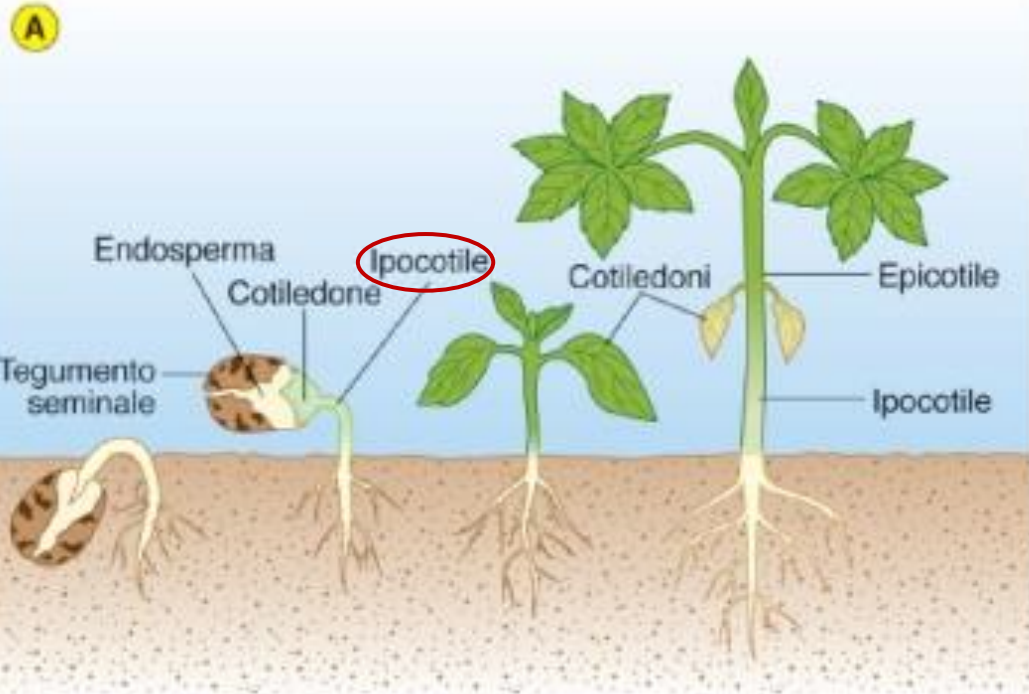
**GA:** stimolano la germinazione (inibiscono la dormienza) e influenzano molti processi cellulari (allungamento del fusto, divisione e distensione cellulare). Biosintesi stimolata dalla luce, temperatura e acqua. GA<sub>3</sub> (Acido Gibberellico)



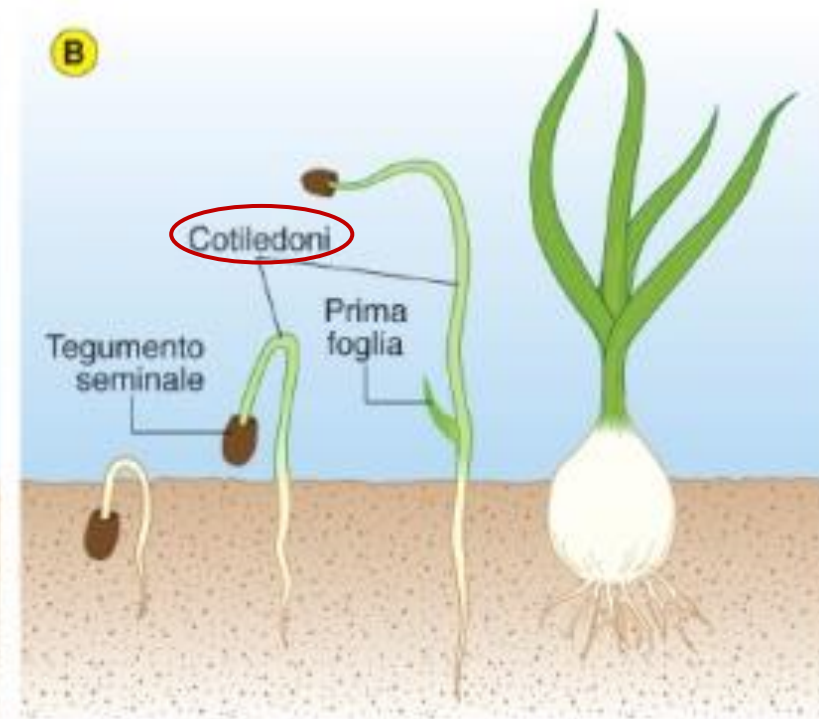
L'ABA inibisce la sintesi degli enzimi idrolitici (alfa-amilasi) necessari per degradare le riserve del seme



## Fasi dello sviluppo di plantule epigee *cotiledoni trasportati fuori dal suolo*



**Ricino**  
dicotiledone



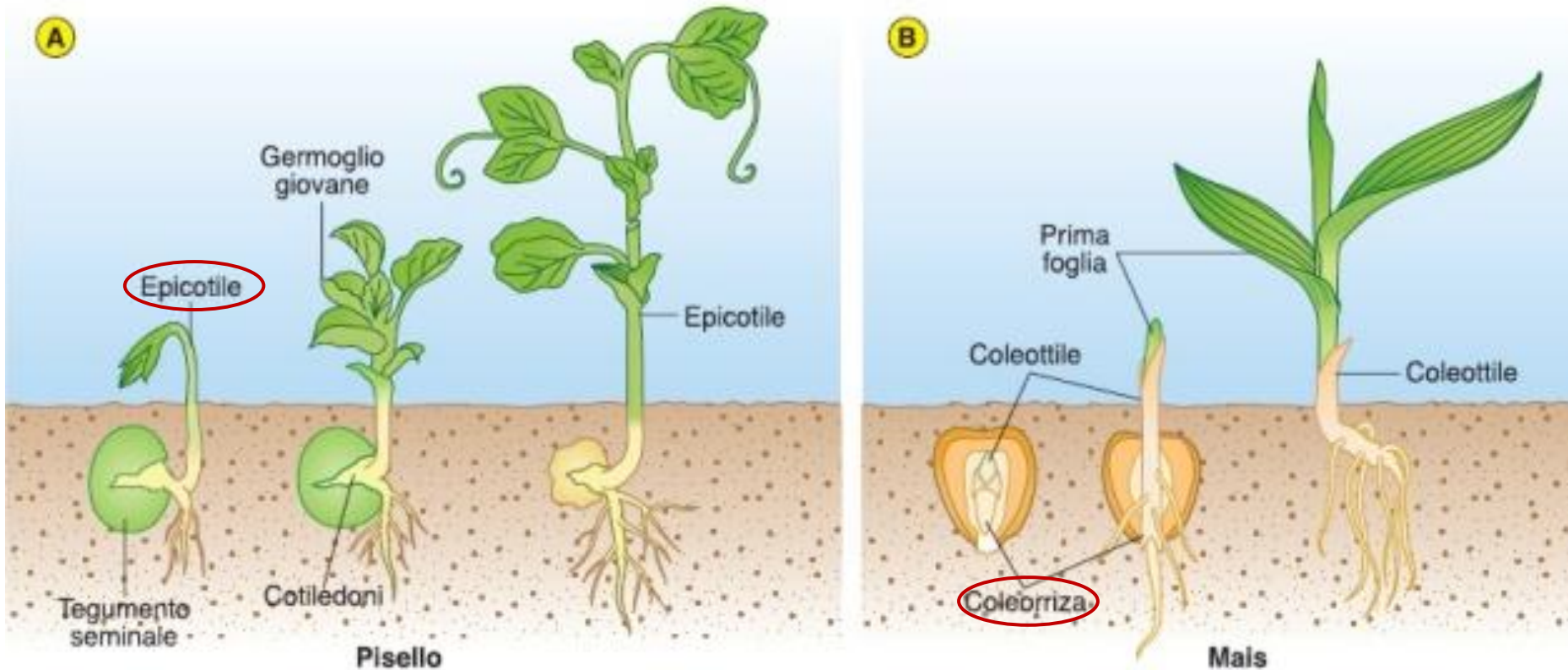
**Cipolla**  
monocotiledone

I cotiledoni diventano organi fotosintetizzanti più o meno importanti (dipende dalla specie)

Le riserve dei cotiledoni (es. fagiolo) o dell'endosperma (es. ricino) vengono digerite e trasportate a tutta la plantula che non dipende più dalle riserve del seme ma diventa organismo *autotrofo*



## Modelli di sviluppo ipogeo della plantula



dicotiledone

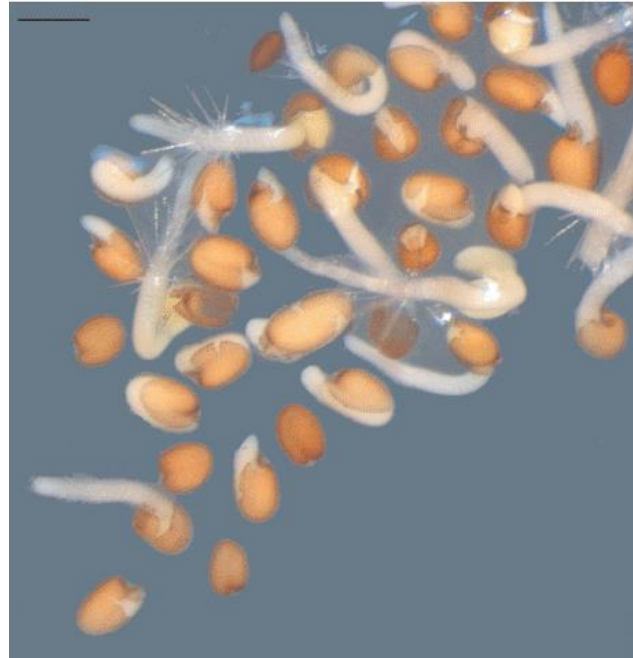
monocotiledone

L'epicotile si allunga e si piega a gomito (pisello). Nel mais l'embrione è altamente differenziato la radichetta primaria è la prima struttura che si accresce.

I cotiledoni restano nel terreno e si decompongono dopo che sono state utilizzate le riserve

# Struttura e sviluppo della radice

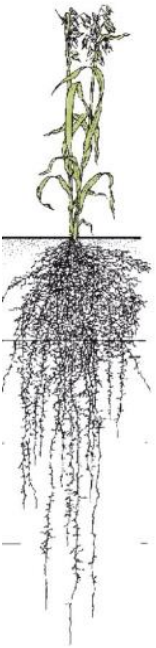
La prima struttura ad emergere dal seme (micropilo) è la radichetta (radice embrionale). Il processo è asincrono



### *Funzioni della radice*

- principali {
- **Ancoraggio** al suolo della piantina in via di sviluppo
  - **Assorbimento** dell'acqua
  - Riserva delle sostanze nutritive (piante biennali)
  - Conduzione delle sostanze nutritive, acqua, ioni inorganici e ormoni
  - Rigenerazione clonale (presenza di gemme)
  - Secrezione di essudati

## Sistemi di radici



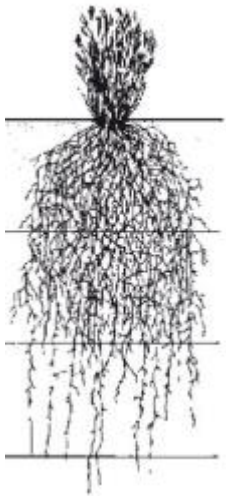
**FASCICOLATA** (monocotiledoni); *sistema più superficiale*

*Radice primaria*: vita breve

*Radici avventizie*: alla base del fusto sviluppano l'apparato radicale

*Radici laterali*: ramificazioni delle radici avventizie

Gravità, luce, gradienti di umidità,  
temperatura, nutrienti del suolo (N, P)



**FITTONE** (eudicotiledoni); *sistema più profondo*

*Radice primaria*: cresce verso il basso, si forma nell'embrione

*Radici laterali*: le vecchie vicine al colletto (zona di incontro radice-fusto),  
le giovani vicine all'apice della radice

Il rapporto radice/germoglio diminuisce con l'età della pianta



*Cuffia (cellule parenchimatiche VIVE)*  
Protegge il meristema apicale e aiuta la radice a penetrare nel terreno



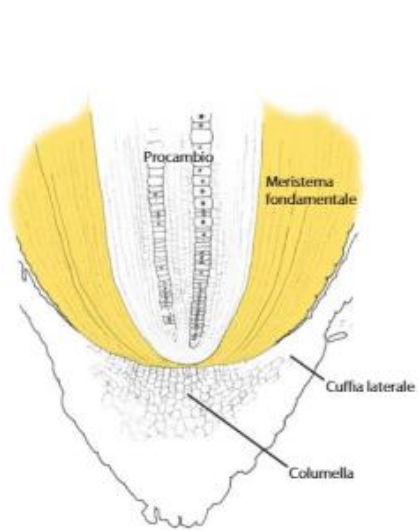
Rileva, elabora e trasmette i segnali al meristema e alla zona di allungamento (controllo della direzione di crescita)

→ (polisaccaride) che lubrifica la radice durante il passaggio nel terreno

Le cellule periferiche (di frontiera) rilasciate nel terreno producono essudati ricchi di carbonio

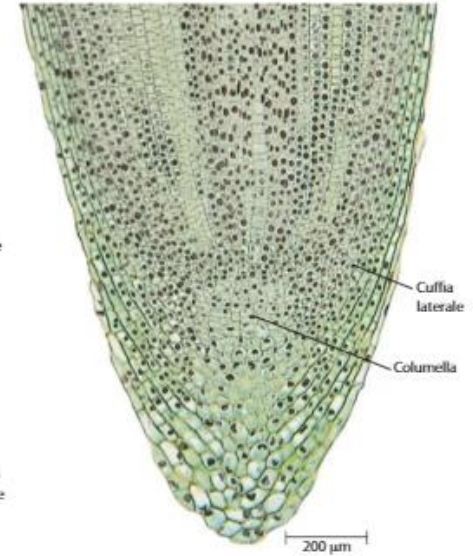
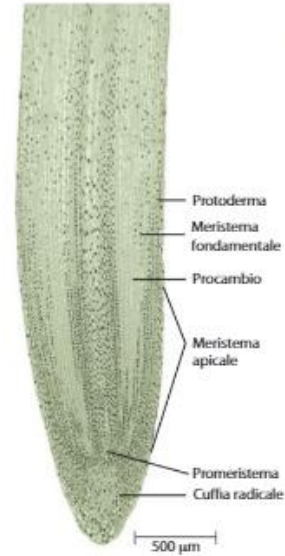


## Organizzazione dell'apice radicale



CHIUSO

*strati meristematici indipendenti*  
(monocotiledone)

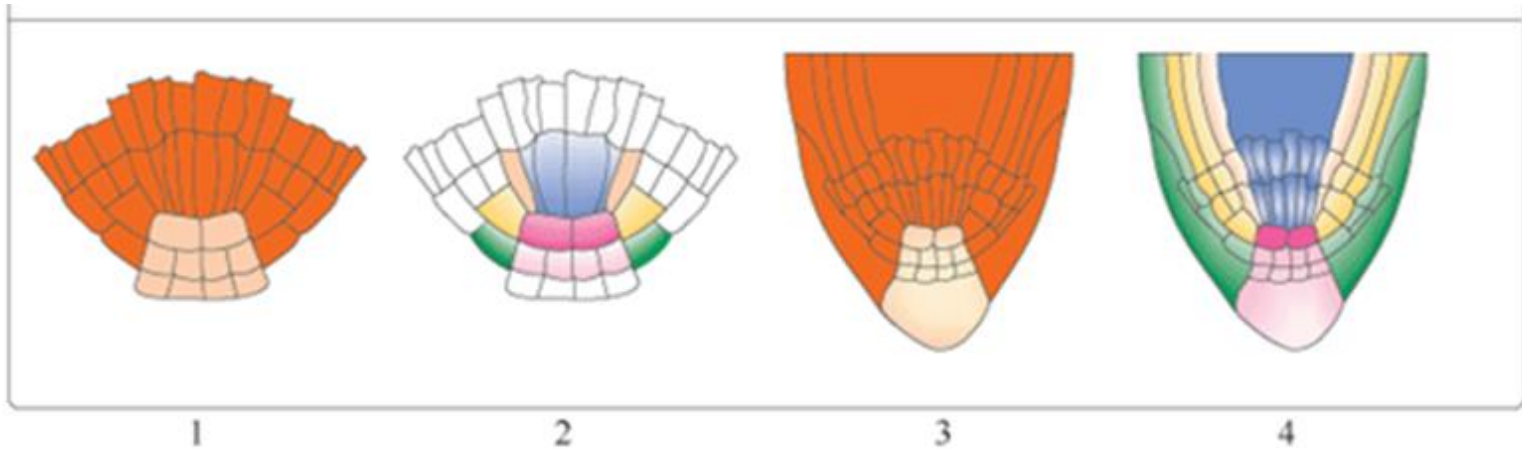


APERTO

*Gli strati hanno origine comune*  
(dicotiledone)

*Centro quiescente (promeristema):* regione relativamente inattiva del meristema apicale

## Origine embrionale del meristema apicale e della radice

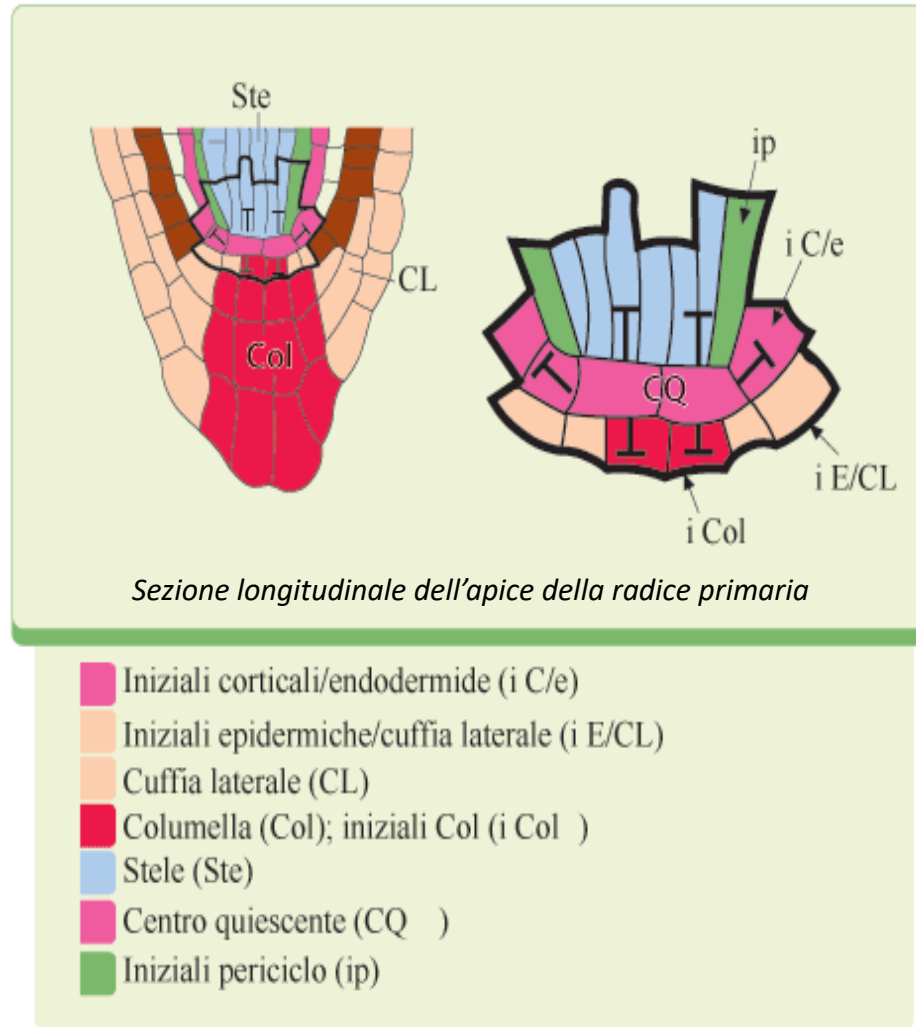


**Fig. c2 (meristema apicale della radice)**

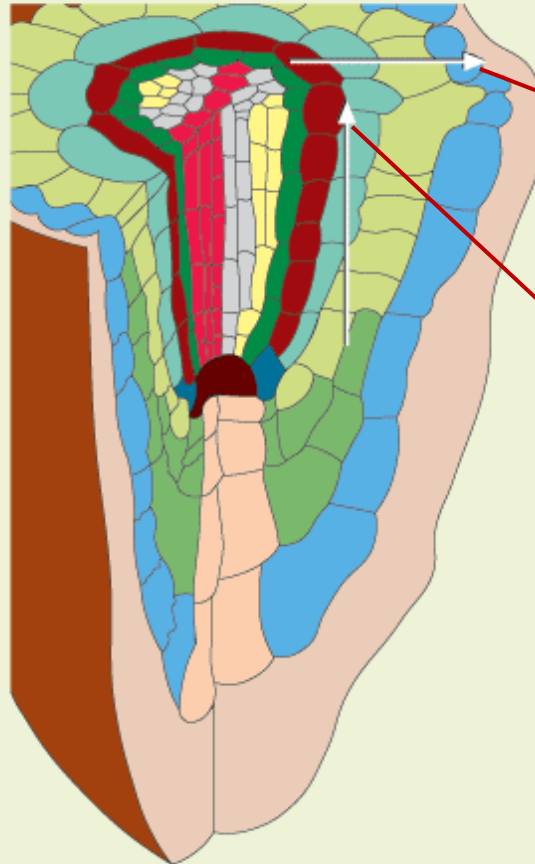
**Fig. c4 (apice di una radice matura)**

	Centro quiescente		Centro quiescente
	Iniziali della columella		Columella
	Iniziali di epidermid e cuffia lateral e		Epidermid e cuffia lateral e
	Iniziali di corteccia ed endodermide		Corteccia ed endodermid e
	Iniziali del periciclo		Periciclo
	Iniziali del tessuto vascolare		Procambi o

La posizione delle cellule e la loro direzione di divisione determinano il tipo di cellula che si svilupperà



Le cellule del centro quiescente circondate dalle iniziali meristematiche sono coinvolte nell'organizzazione del corpo primario della radice



Differenziamento longitudinale  
(pattern distale; spessore)

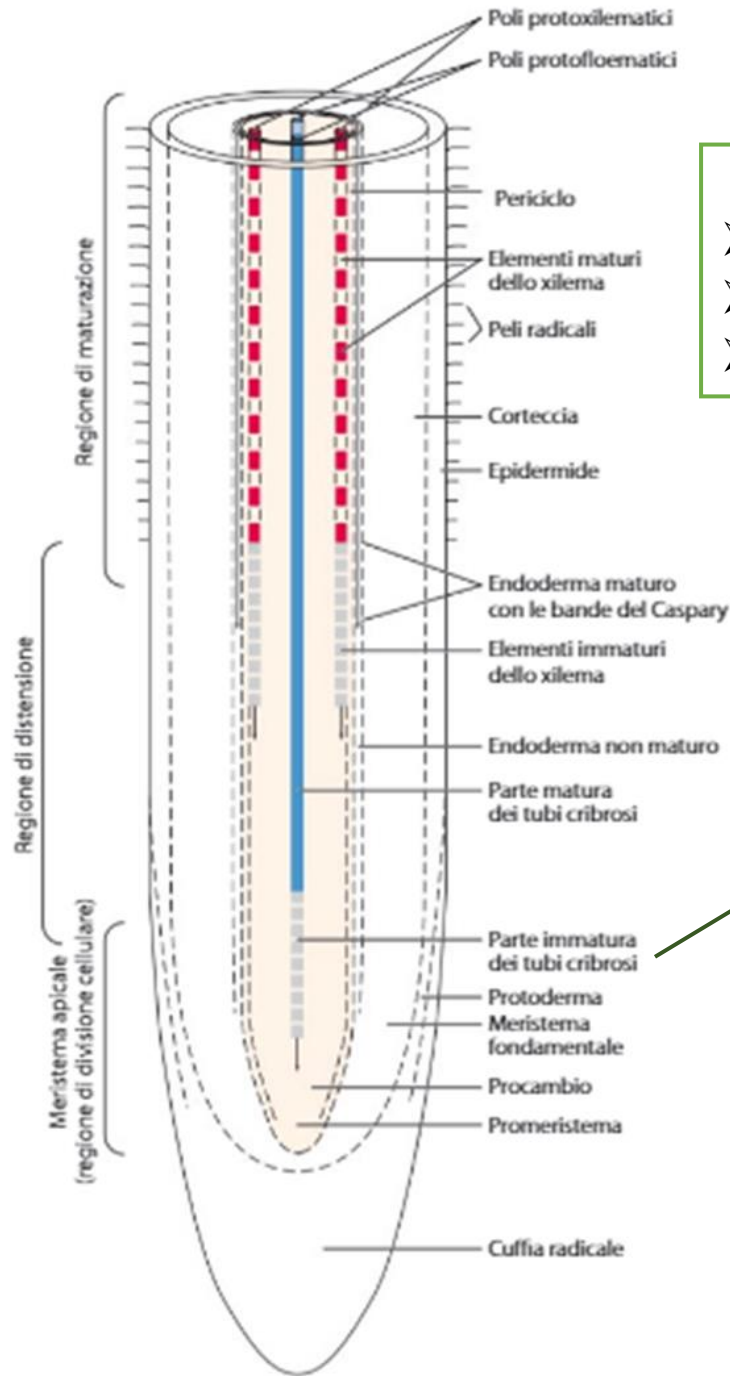
Differenziamento trasversale  
(pattern radiale; lunghezza)

*Organizzazione apicale e tissutale del corpo  
primario di una radice (Arabidopsis)*

<span style="color: red;">■</span> Xilema	<span style="color: lightgreen;">■</span> Epidermide
<span style="color: grey;">■</span> Procambio	<span style="color: blue;">■</span> Iniziali endodermide/cortical
<span style="color: yellow;">■</span> Floema	<span style="color: darkred;">■</span> Centro quiescente
<span style="color: green;">■</span> Periciclo	<span style="color: orange;">■</span> Columella/cuffia radicale
<span style="color: darkred;">■</span> Endodermide	<span style="color: lightgreen;">■</span> Iniziali epidermide/cuffia la
<span style="color: cyan;">■</span> Corteccia	<span style="color: blue;">■</span> Cuffia radicale laterale

cellule dei tessuti  
primari mature  
(zona pilifera)

Incremento in  
lunghezza (pochi mm)



- Struttura primaria
- *Epidermide* (dermico)
  - *Corteccia* (fondamentale)
  - *Vascolare* (conduttore)

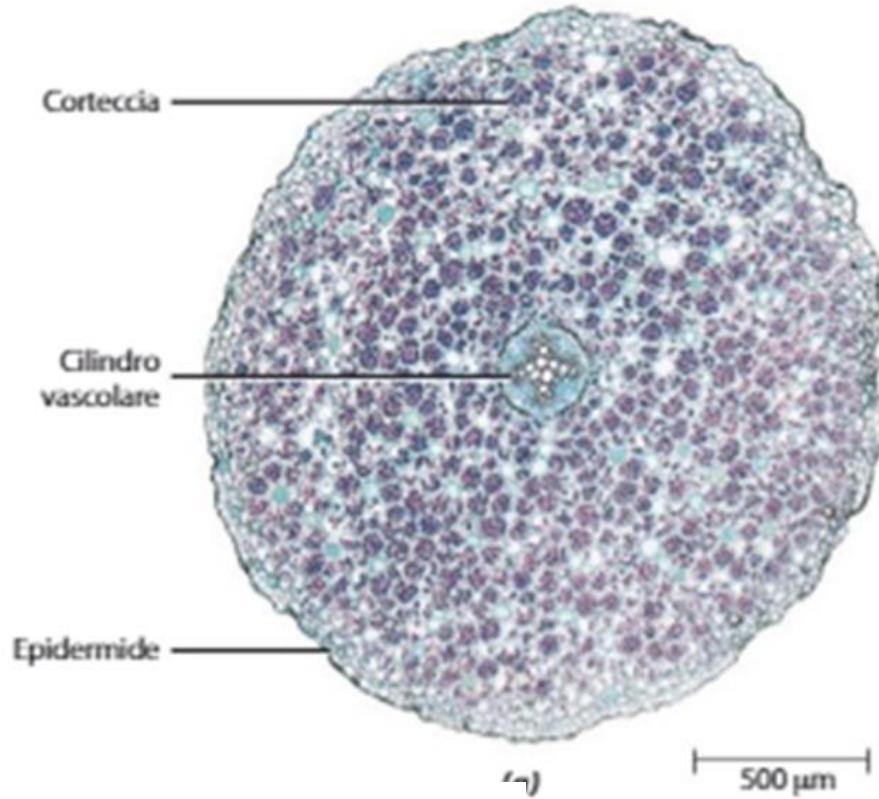
Gli elementi del floema  
si forma per primi

Trasporto di linfa elaborata  
per la crescita delle radici

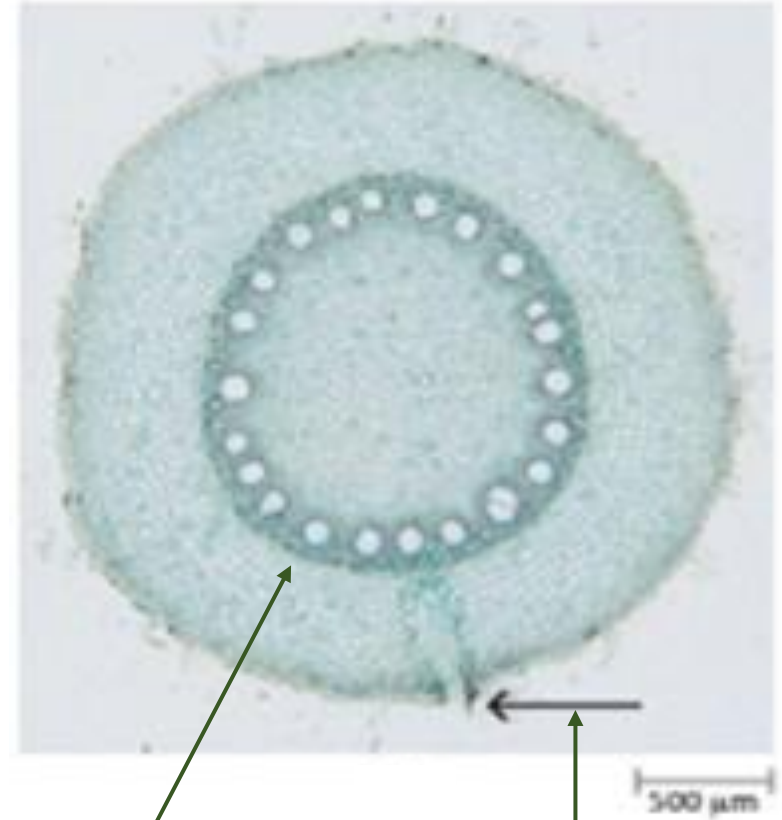


# Struttura generale di una radice

Dicotiledone  
Xilema e Floema centralizzati



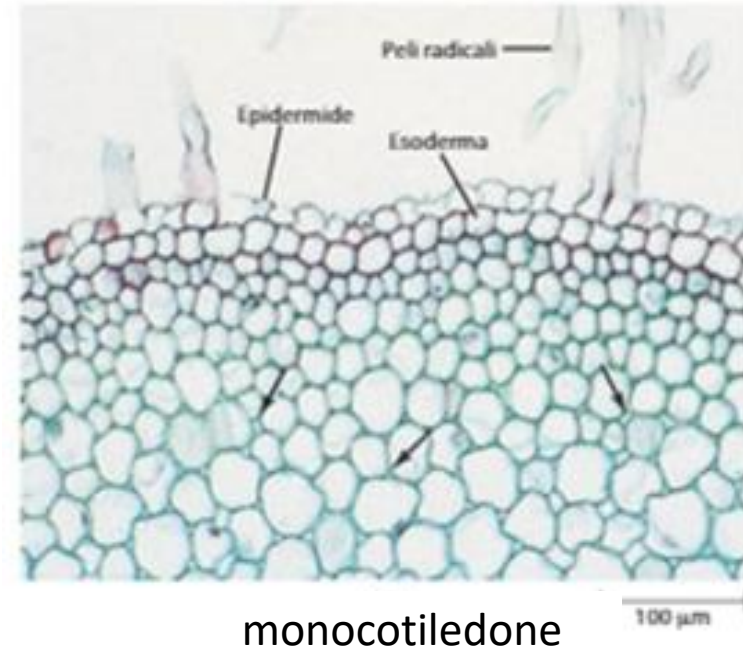
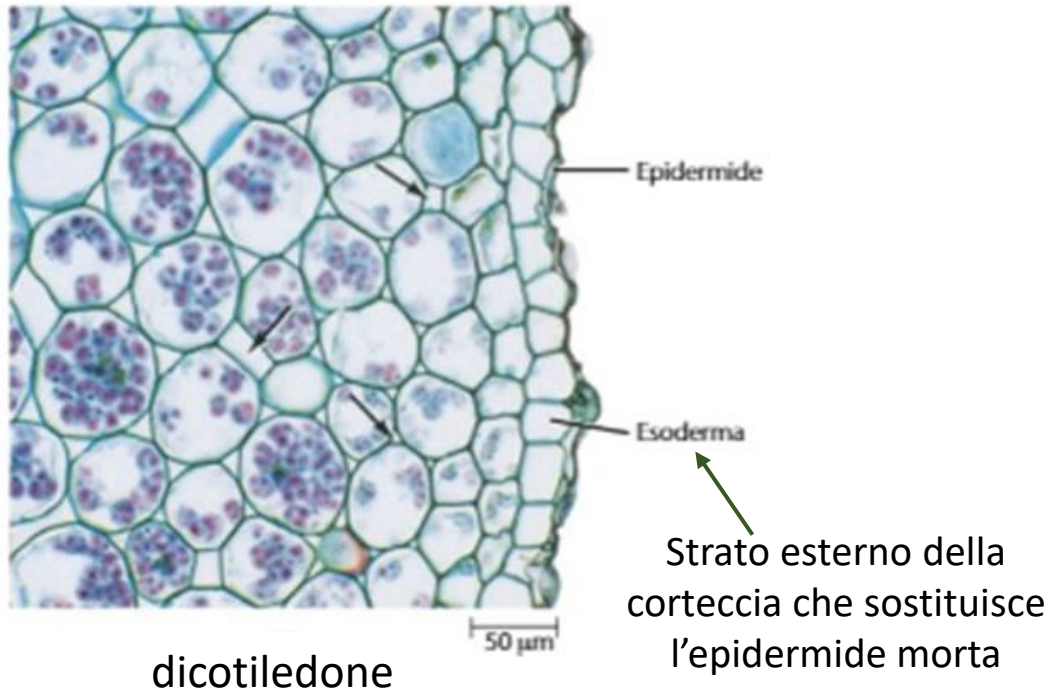
Monocotiledone  
Parenchima circondato da  
Xilema e Floema



Cilindro vascolare

parte di una  
radice laterale

## Epidermide *tessuto tegumentale*



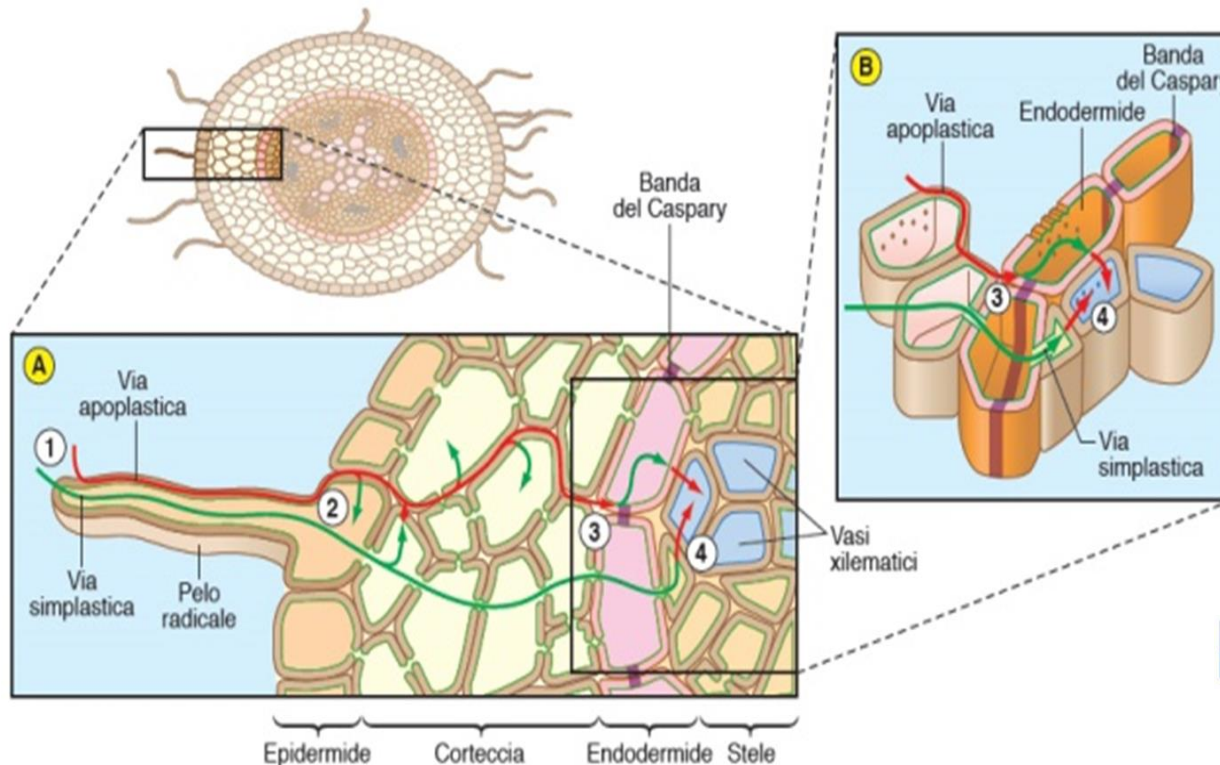
- Cellule allungate con pareti sottili e prive di cuticola
- Assorbimento di acqua e sali minerali (radici giovani e sottili)
- Presenza di peli radicali: estensioni delle cellule epidermiche che aumentano la superficie di assorbimento

## Corteccia

*tessuto fondamentale (parenchima, collenchima, sclerenchima)*

I plastidi accumulano amido e sono privi di clorofilla; le cellule formano ampi spazi intercellulari (**aerenchima**)

*Endoderma*: strato interno, compatto, formato da un cilindro di cellule le cui pareti radiali e trasversali presentano le bande del Caspary

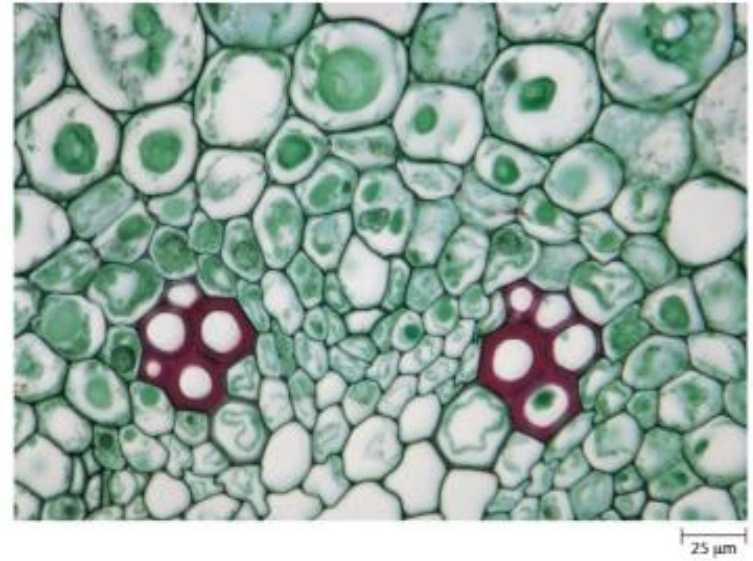
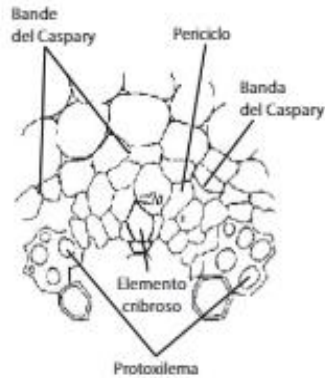
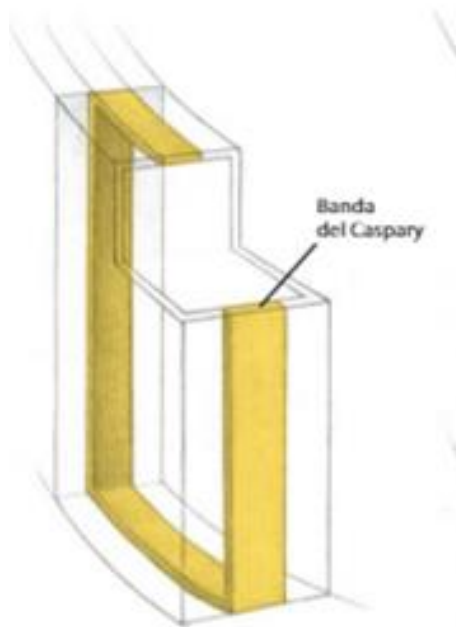


*Via simplastica*: attraverso i protoplasti mediante i plasmodesmi

*Via apoplastica*: attraverso gli spazi intercellulari e/o le pareti cellulari



**Banda di Caspary:** stretta banda (parete primaria e lamella mediana) impregnata di suberina e a volte di lignina, che conferisce proprietà idrofobe e funge da barriera al movimento intercellulare di acqua, ioni e soluti verso le cellule vascolari



Il trasporto apoplastico di acqua e soluti attraverso l'endoderma è bloccato  
Le sostanze passano attraverso il trasporto simplastico dell'endoderma

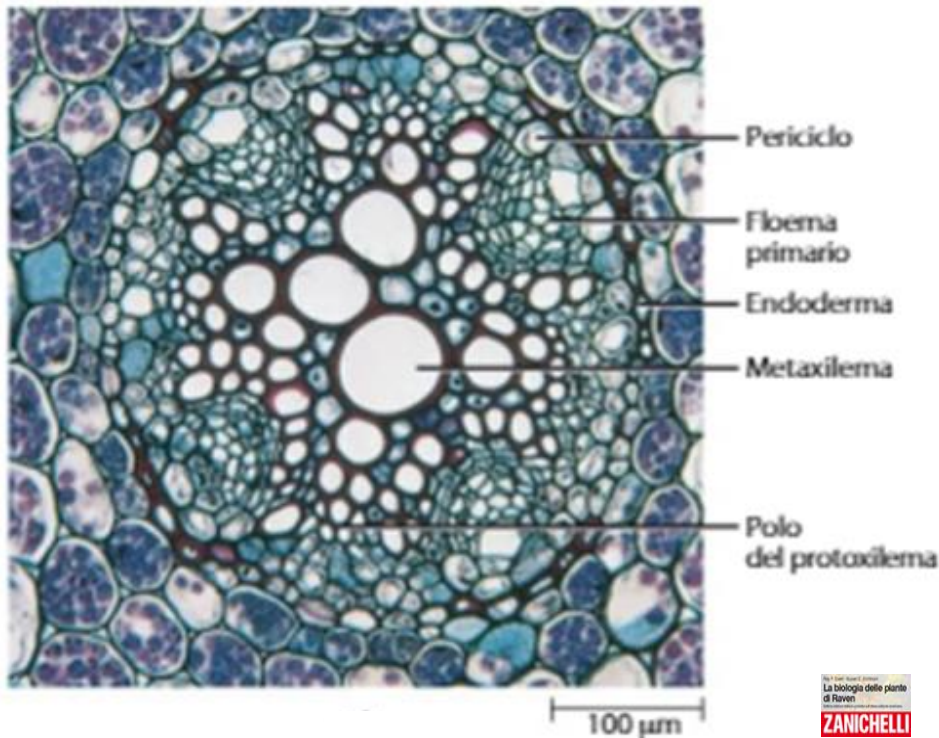
*Esoderma:* strato esterno della corteccia con cellule compatte e bande del caspary; le pareti suberificate impediscono le perdite di acqua e fungono da difesa per diversi patogeni

## Cilindro vascolare o centrale

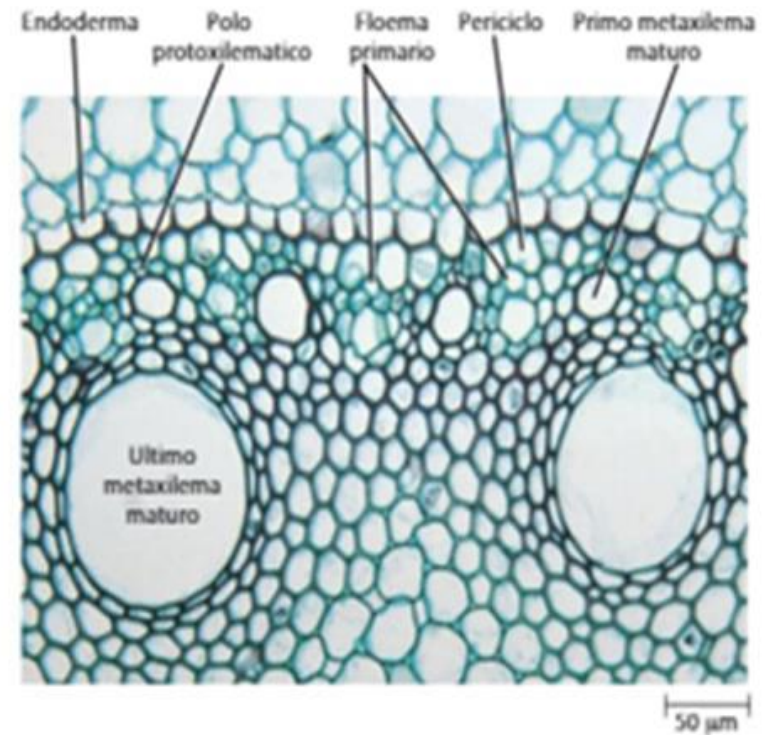
*Periciclo*: cellule non vascolari, origina le radici laterali, e contribuisce a formare il cambio cribro-vascolare e cambio subero-fellodermico

*Tessuto vascolare*: parte centrale costituita da fasci (arche) di xilema primario tra le quali si trovano i fasci di floema primario (ACTINOSTELE)

Dicotiledoni: Xilema e  
Floema centralizzati

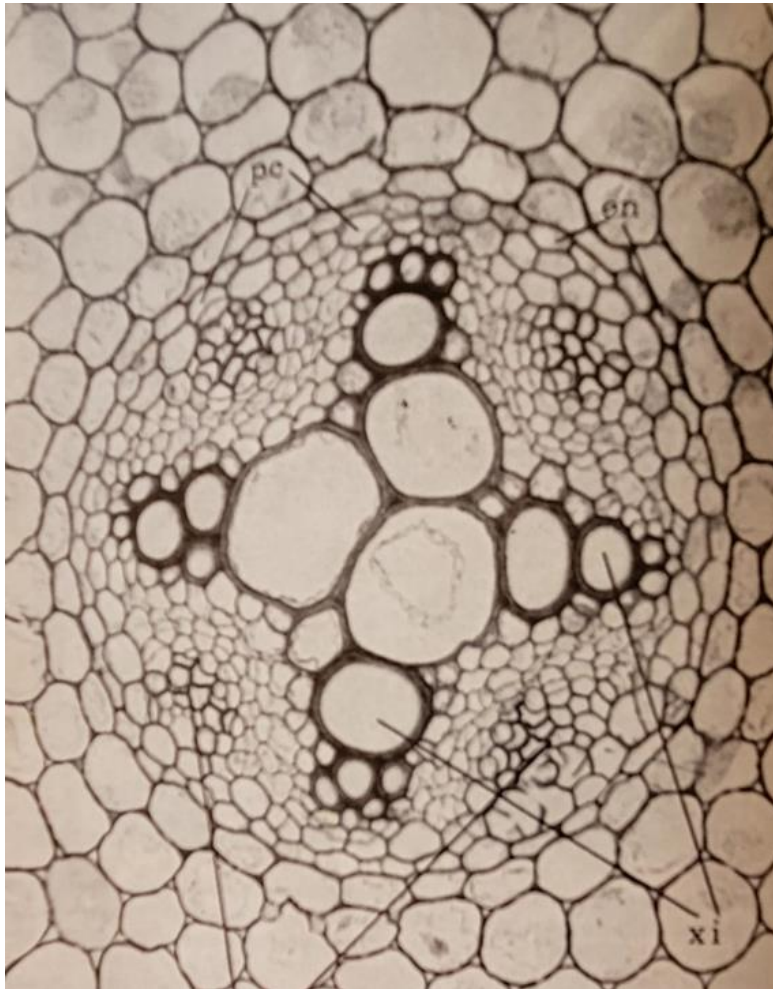


Monocotiledoni: midollo (parenchima)  
circondato da Xilema e Floema



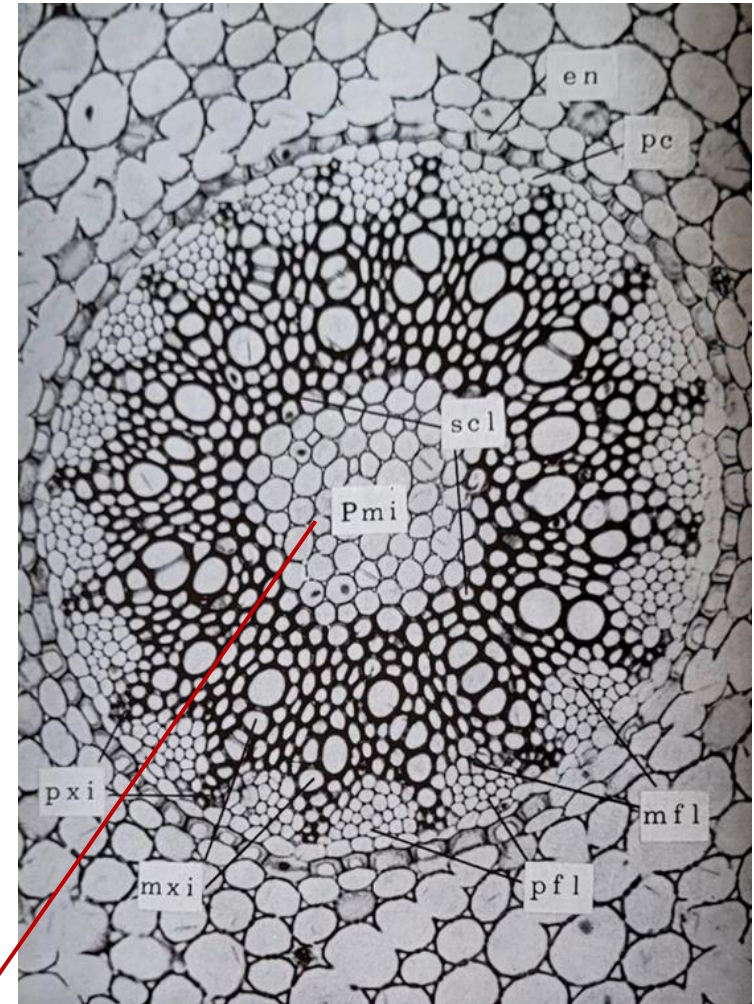


sezione trasversale di una struttura primaria di una radice di dicotiledone



fl, floema

sezione trasversale di una struttura primaria di una radice di monocotiledone

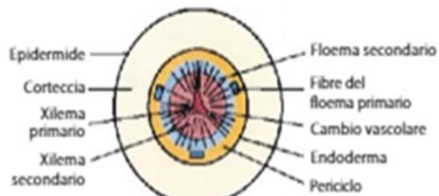


midollo

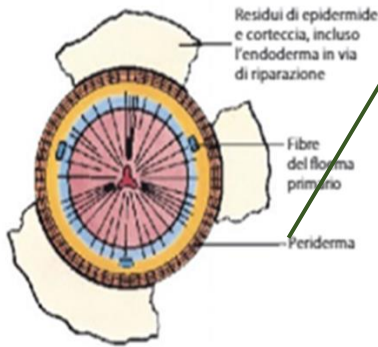
## Crescita secondaria

- *Floema e Xilema*: tessuti vascolari secondari originati dal Cambio cribro-vascolare
- *Periderma*: strato protettivo (sughero) originato dal cambio subero-fellodermico

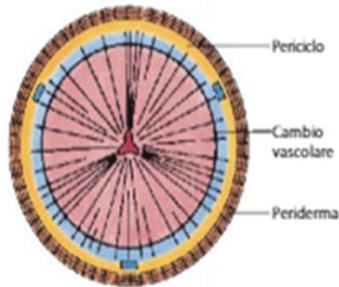
### Sviluppo SECONDARIO



(d)



(e)



(f)

Sughero: verso l'ESTERNO  
Cambio subero-fellodermico (cilindro)  
Felloderma: verso l'INTERNO

Le monocotiledoni non hanno crescita secondaria;  
sono costituite solo da tessuti primari

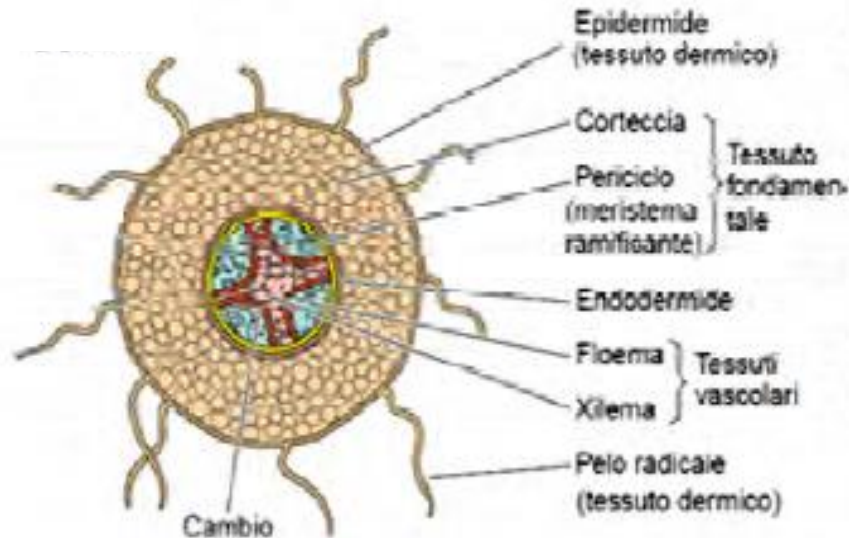
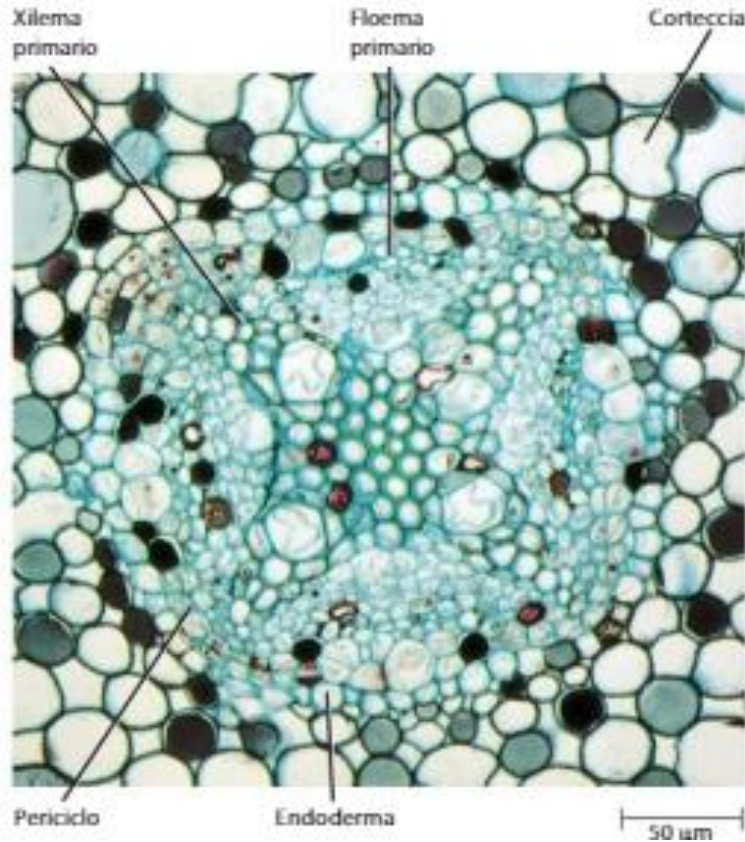


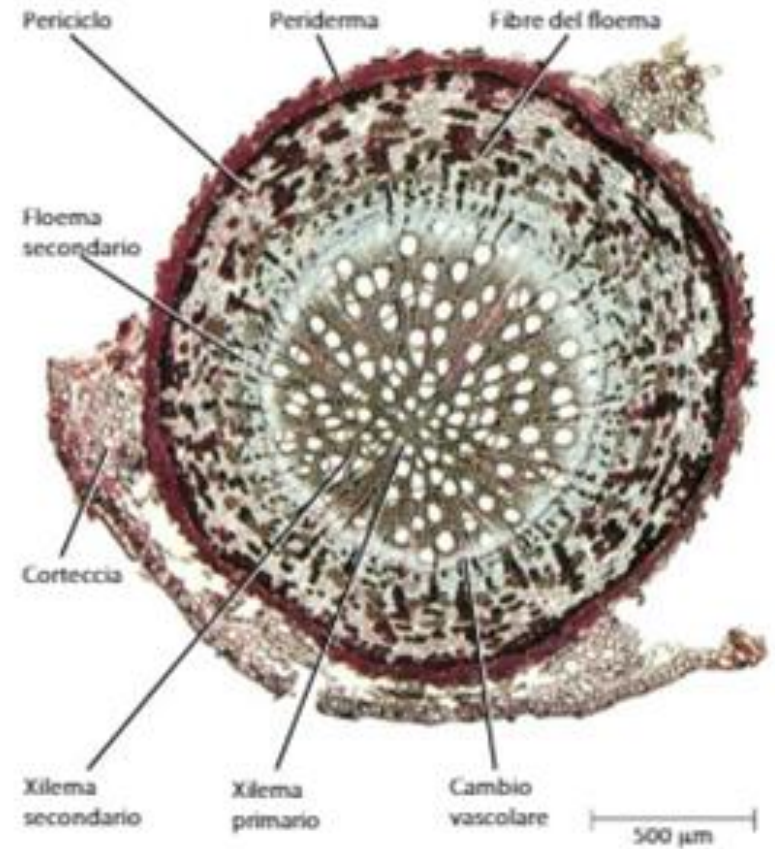
Foto dal Web



## Crescita primaria e secondaria di una radice di dicotiledone



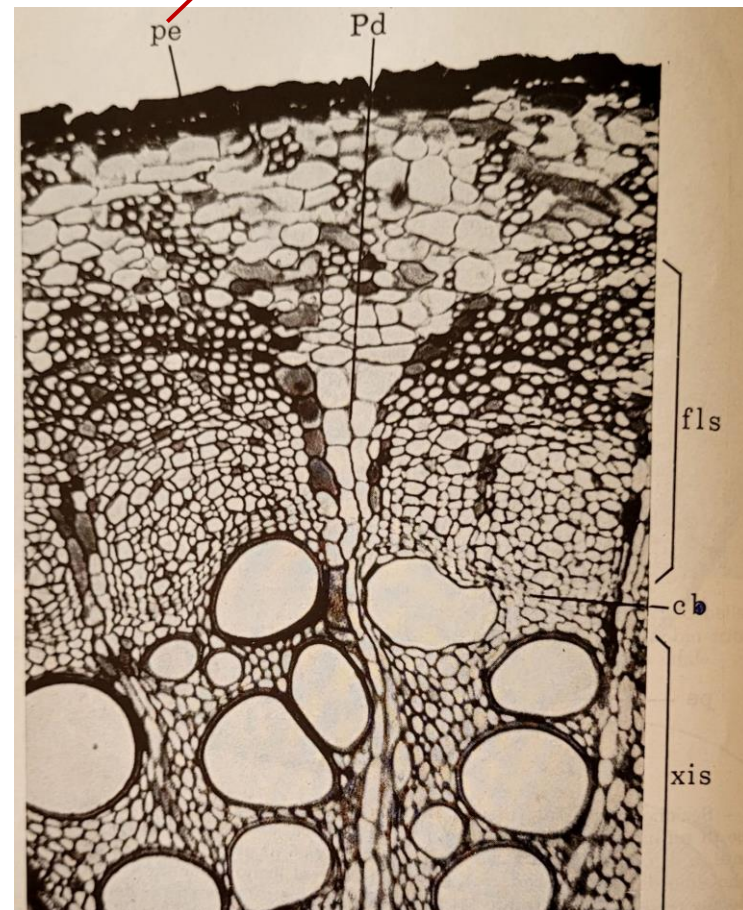
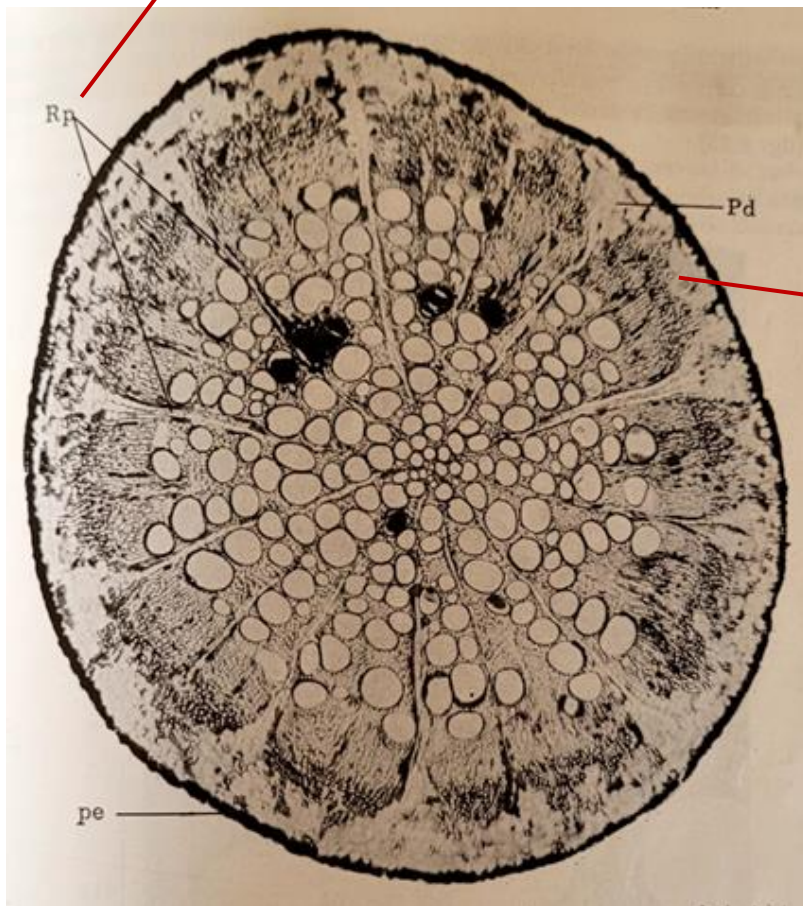
Cilindro vascolare primario  
*dopo il primo anno di sviluppo*



Cilindro vascolare secondario

raggi parenchimatici

periderma

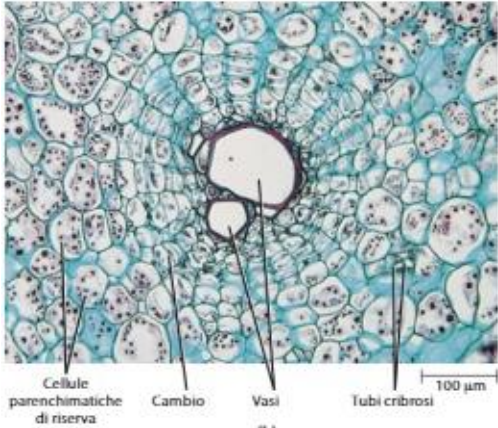


Struttura secondaria di una radice di dicotiledone



## Adattamenti morfologici

*Radici succulente*: abbondante parenchima con funzione di riserva (es. patata dolce)



*Radici di sostegno*: prodotte da strutture epigee (fusto) per il sostegno (es. mais)



*Radici aeree*: si sviluppano verso l'alto per fornire aria alle radici (ambienti paludosi)



*velamen*: epidermide pluristratificata; sostegno, assorbimento dell'acqua e prevenzione della disidratazione (orchidee)



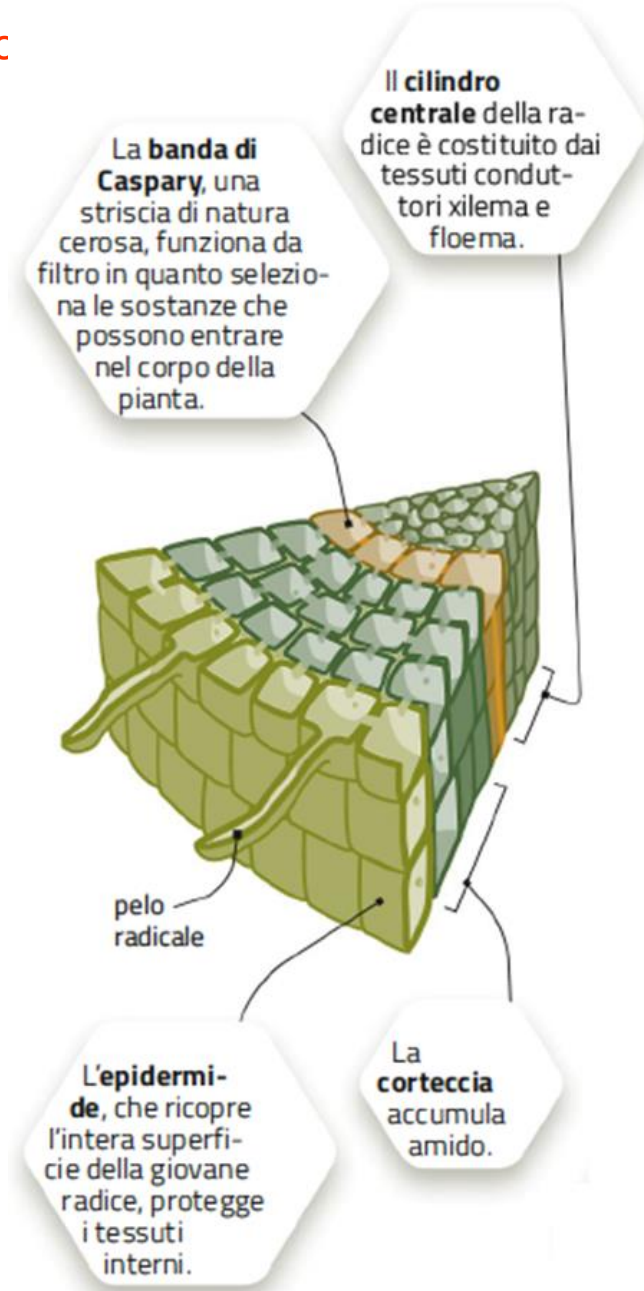
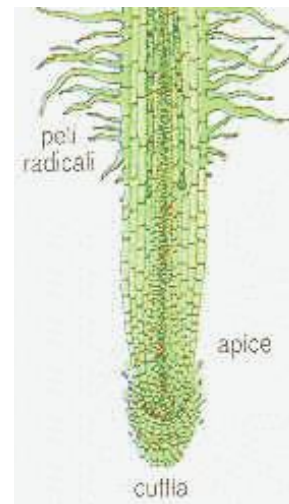


## Organo sotterraneo con le seguenti funzic

- Ancorare e sostenere la pianta al suolo
- Assorbire acqua e sali minerali essenziali per la pianta
- Funzionare da organo di riserva delle sostanze prodotte dalla fotosintesi in quanto è formata soprattutto da parenchima di riserva
- Produrre ormoni diffusi verso le altre zone della pianta
- Secernere essudati che inibiscono l'accrescimento di radici secondarie ed ostacolano lo sviluppo di piante vicine
- Favorire la respirazione (pneumatofori)
- Imbrigliare il terreno ed evitare smottamenti e frane

Non sono presenti nodi ed internodi

Sono presenti le gemme

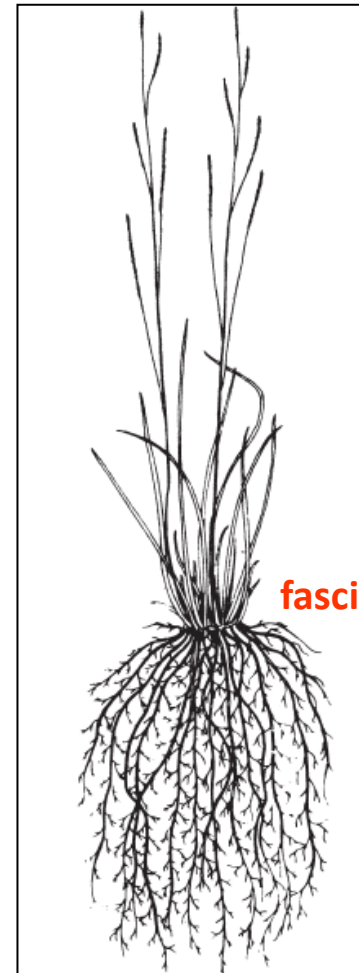
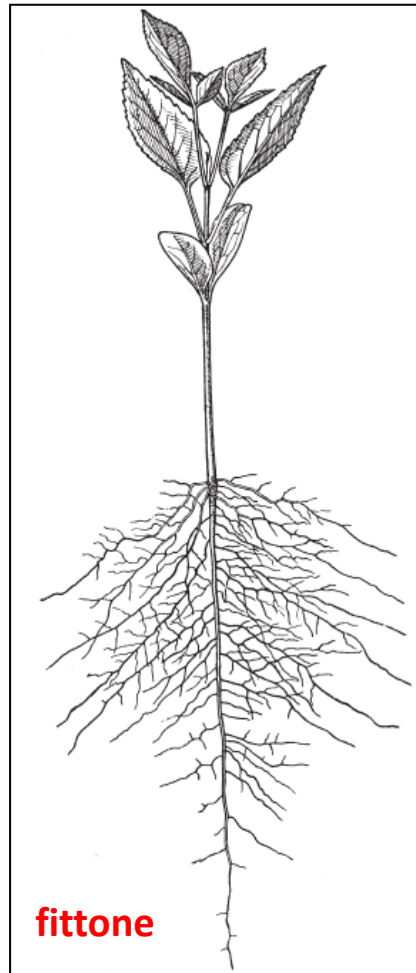




**radici a fittone:** la radice principale cresce in continuazione (*accrescimento secondario*) penetra in profondità e raggiunge fino a 10 volte la misura della parte epigea. Ha dimensioni maggiori delle radici secondarie

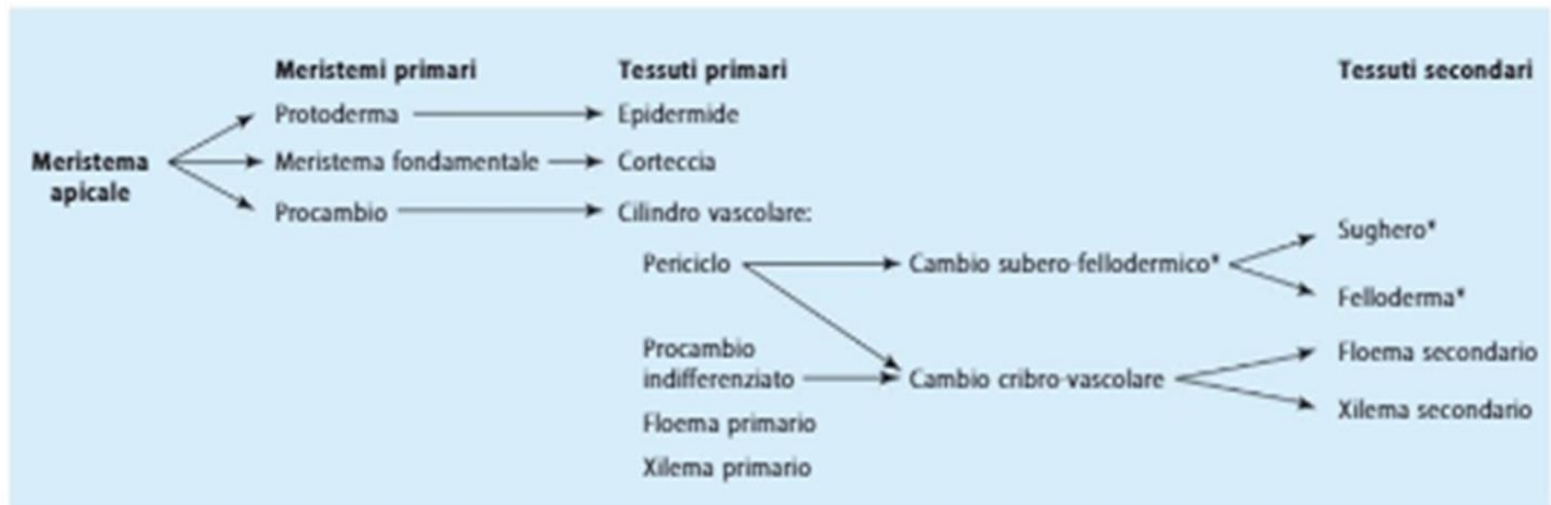
**radici fascicolate:** le radici secondarie raggiungono uguali dimensioni della radice principale e si dispongono in fascetti, sviluppa più in ampiezza che in profondità

10 metri di profondità per ogni metro di parte epigea)



Pochi metri di profondità, grande superficie assorbente, presenza di radici avventizie

## Riepilogo dello sviluppo di una radice



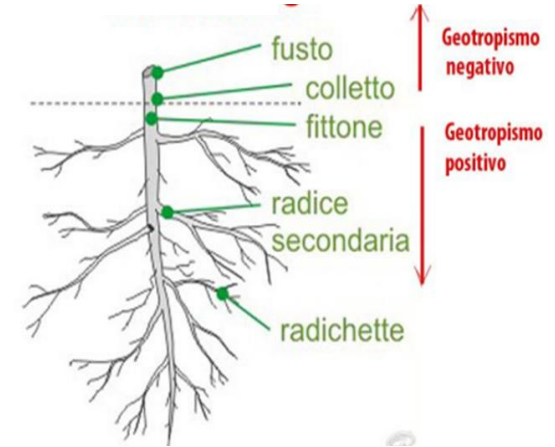
\*Nel loro insieme costituiscono il periderma

## **Gravitropismo: crescita della pianta in risposta alla gravità**

**POSITIVO:** crescita verso lo stimolo (radice)

**NEGATIVO:** crescita lontano dallo stimolo (fusto e germogli)

La percezione della gravità è correlata con la sedimentazione degli amiloplasti presenti in cellule specializzate che indicano alla pianta la direzione del vettore di gravità



La radice, qualsiasi sia la posizione del seme, si piega verso il basso e cresce dirigendosi verso il centro della Terra, attratta dalla forza di gravità

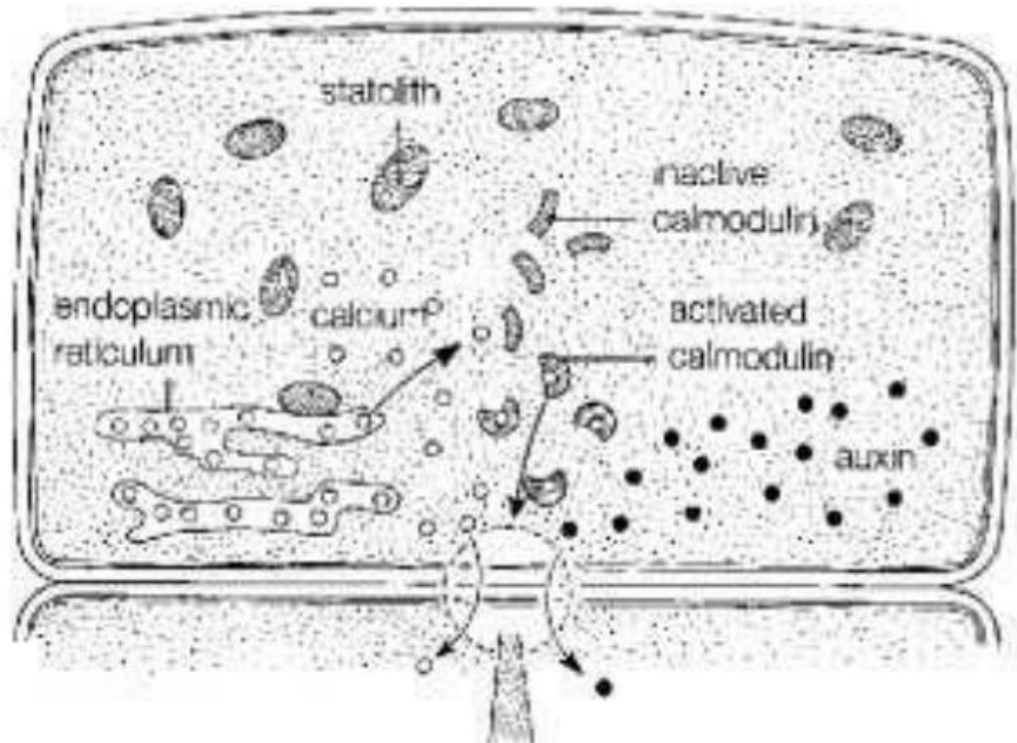
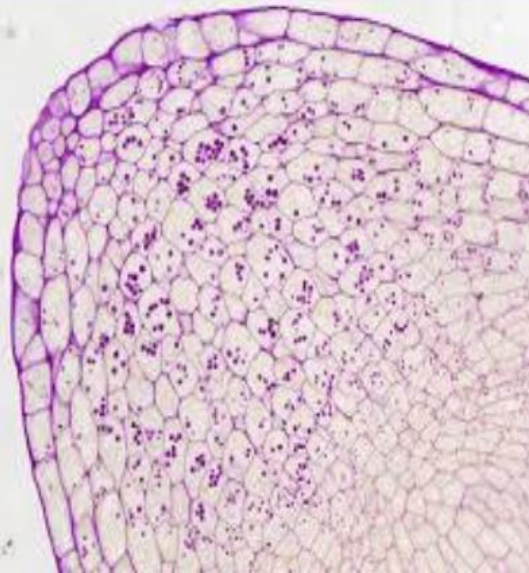
**STATOLITI:** sensori della gravità, granuli di amido che si depositano in basso nella cellula

**STATOCITI:** cellule sensibili alla gravità contenenti gli statoliti. Sono presenti nella cuffia della radice (columella) e nella guaina amilifera (strato più esterno della corteccia che circonda i vasi conduttori) del germoglio



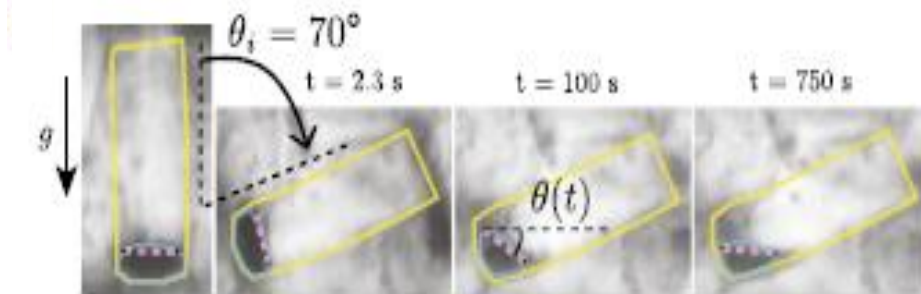
## Ridistribuzione di AUXINA nella radice

Il movimento degli statoliti innesca il trasporto di auxina; dalle cellule dello strato più in alto a quelle dello strato più in basso della radice



## Ipotesi amido-statolite

Nonostante la loro natura granulare, gli statoliti si muovono e rispondono all'angolo più debole; le fluttuazioni attive degli statoliti hanno un ruolo chiave nella notevole sensibilità delle piante all'inclinazione



(Béruta *et al.*, 2018. Gravisensors in plant cells behave like an active granular liquid. PNAS 115, 20:5123–5128)

La pianta percepisce lo stimolo gravitropico attraverso la *sedimentazione degli statoliti* presenti negli statociti, che indica alla pianta la direzione del vettore di gravità

Quando gli statoliti rilevano che l'asse della radice o quello del fusto sono fuori allineamento rispetto alla gravità, si attiva una reazione di trasduzione del segnale che porta all'accrescimento differenziale dei tessuti mediato dall'azione dell'auxina

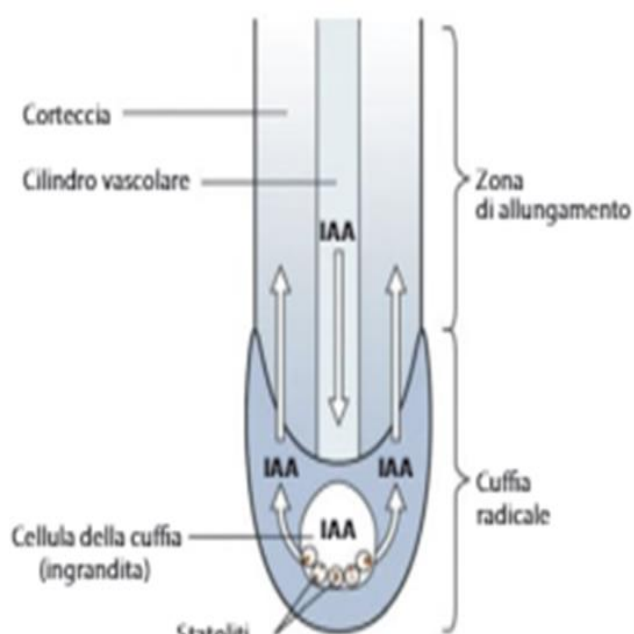
Nella radice l'accrescimento è guidato da un gradiente *decrescente di auxina*: nei tessuti non impegnati nell'incurvamento viene accumulata una quantità di auxina sovraottimale e autoinibente l'accrescimento

La zona di curvatura inizia nella zona molto vicino all'estremità della radice

- Arrivo dell'auxina (IAA) dal germoglio all'apice radicale (cilindro vascolare)
- Accumulo nel centro quiescente (columella)
- Trasporto in direzione acropeta alla zona di allungamento cellulare (epidermide)
- Regolazione del processo di distensione cellulare

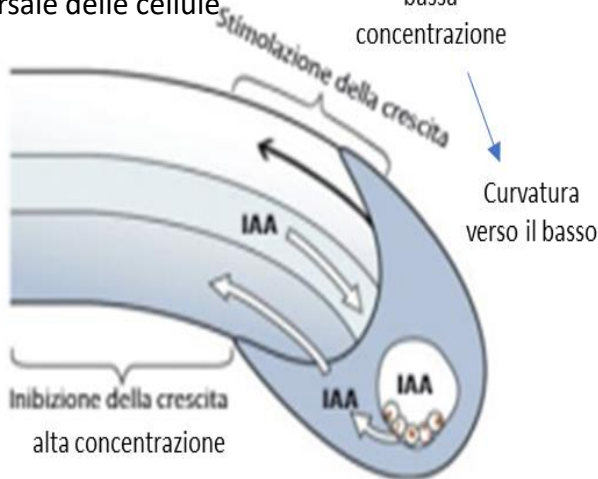


L'auxina inibisce la distensione cellulare nello strato più basso inducendo la curvatura della radice verso il basso perché le cellule del lato più alto si espandono più velocemente



sedimentano nella parete trasversale delle cellule

bassa concentrazione

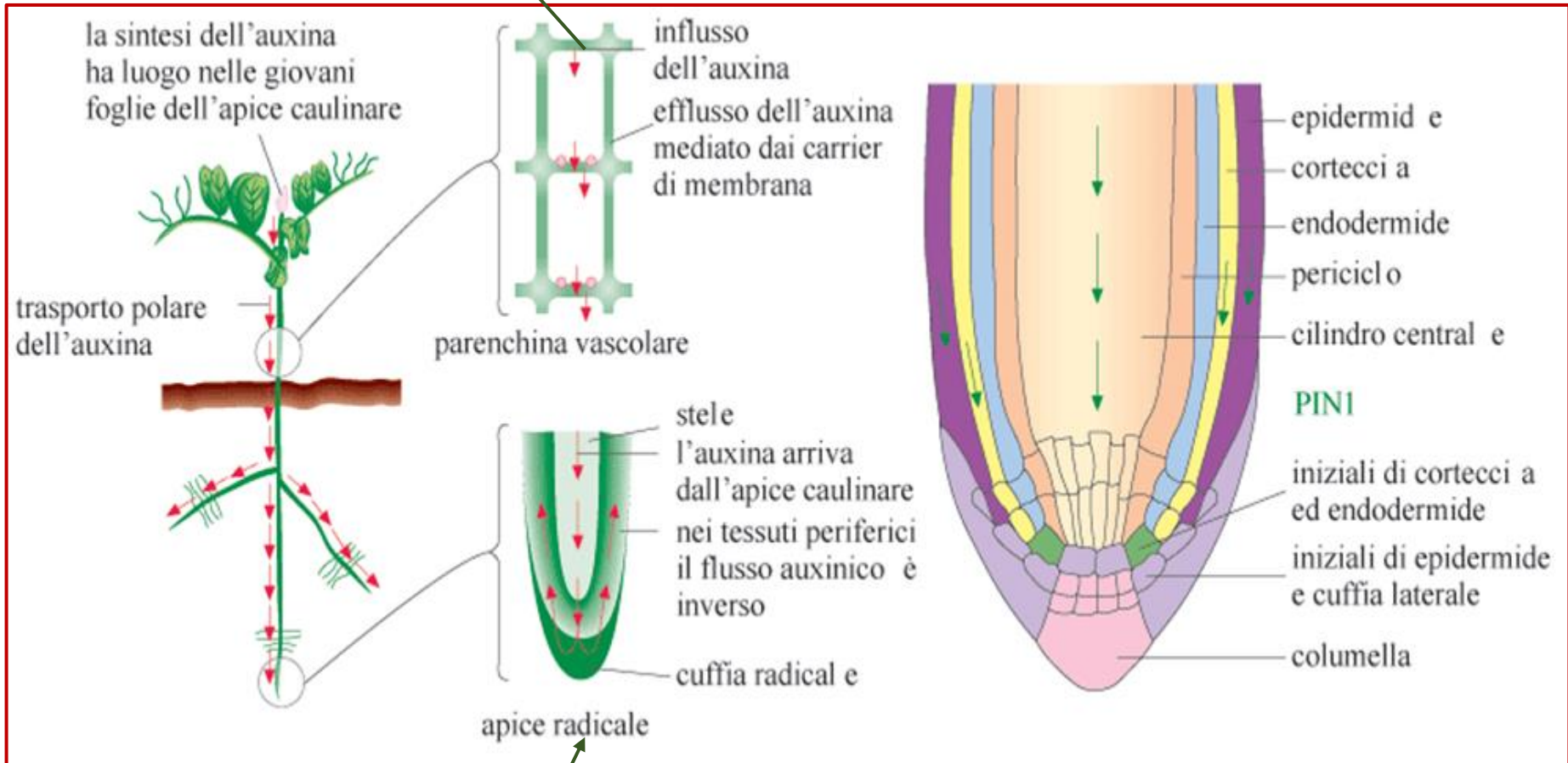


Gli statoliti scivolano verso il basso

Il movimento degli statoliti determina la percezione della gravità da parte delle radici

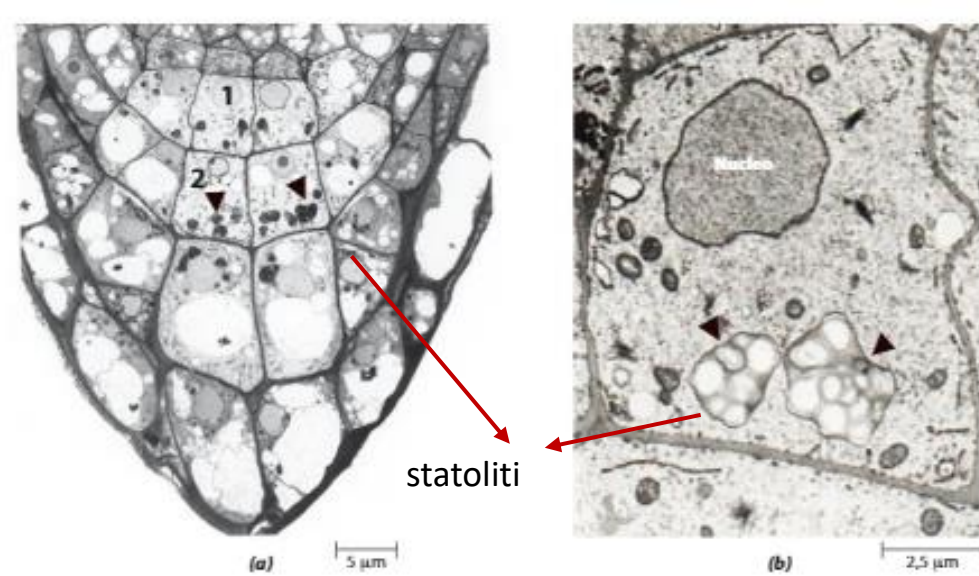
# Il trasporto polare dell'auxina è mediato da trasportatori di afflusso (AUX1) e di efflusso (PIN) che determina il trasporto di auxina dal cilindro vascolare verso l'estremità della radice

presenza di "trasportatori" più numerosi dove c'è lo stimolo di gravità



raggiunto l'apice l'auxina viene ridistribuita e trasportata in direzione acropeta (cambio nello stimolo di gravità)





Nella radice gli *statociti* contenenti *statoliti* si trovano nella *columella* della cuffia radicale. Gli statoliti si sedimentano lungo la parete trasversale delle cellule

La radice è più sensibile all'auxina del germoglio dove agisce stimolando l'espansione cellulare e la curvatura del fusto verso l'alto

Tessuti diversi rispondono in modo diverso allo stesso segnale ormonale

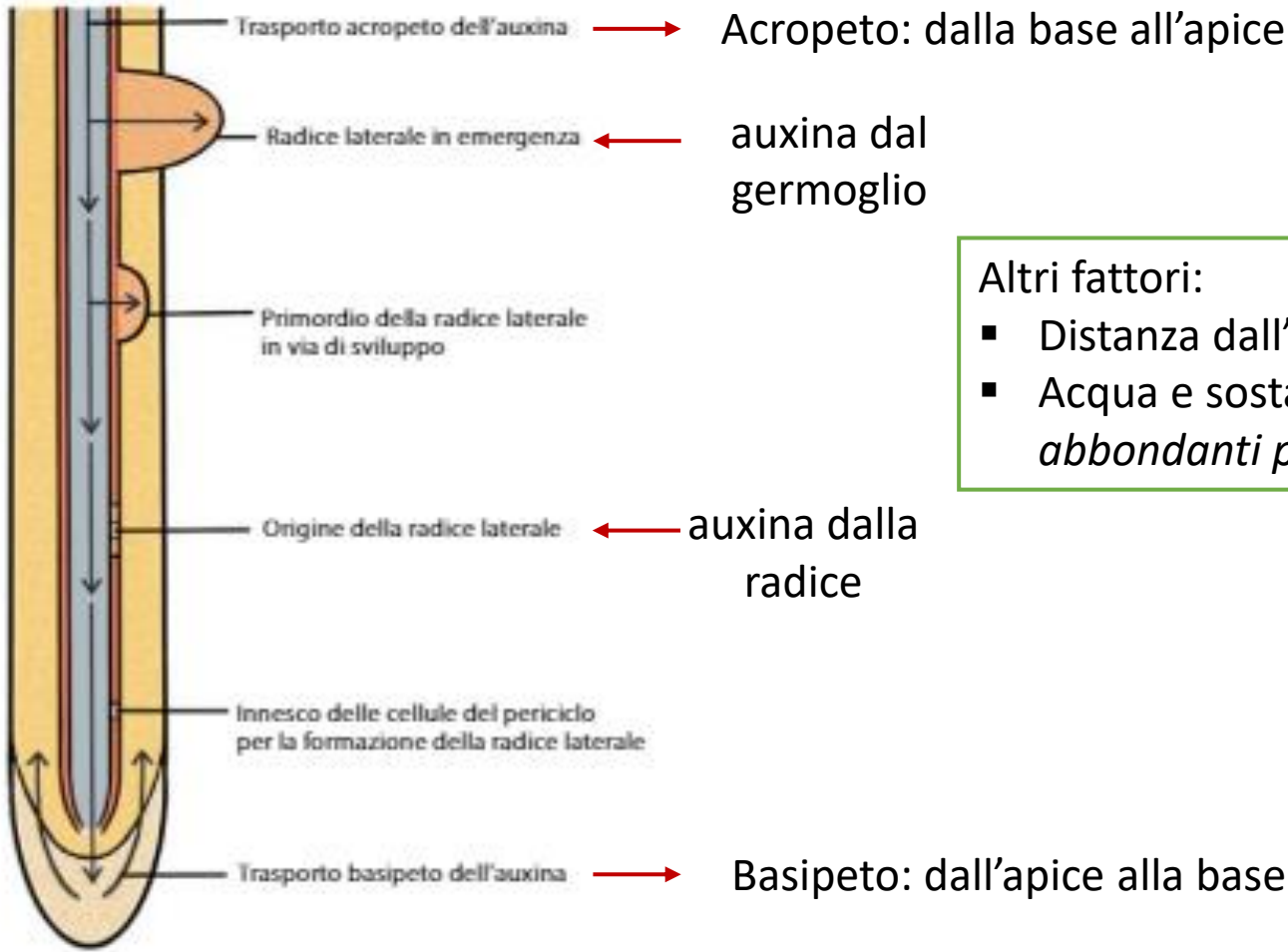
Attivazione trascrizionale dei geni per l'auxina nel lato del fusto che si accresce; aumento della concentrazione di auxina o aumento della sensibilità dei tessuti all'auxina già presente?

Altri ormoni coinvolti: acido abscissico, brassinosteroidi, etilene, ossido nitrico, citochinine

**Ipotesi della pressione idrostatica:** la percezione della gravità è data dalla pressione esercitata dal citoplasma che induce l'attivazione dei canali  $Ca^{2+}$  (secondo messaggero) e l'avvio di una reazione a cascata di segnali tra gli statociti



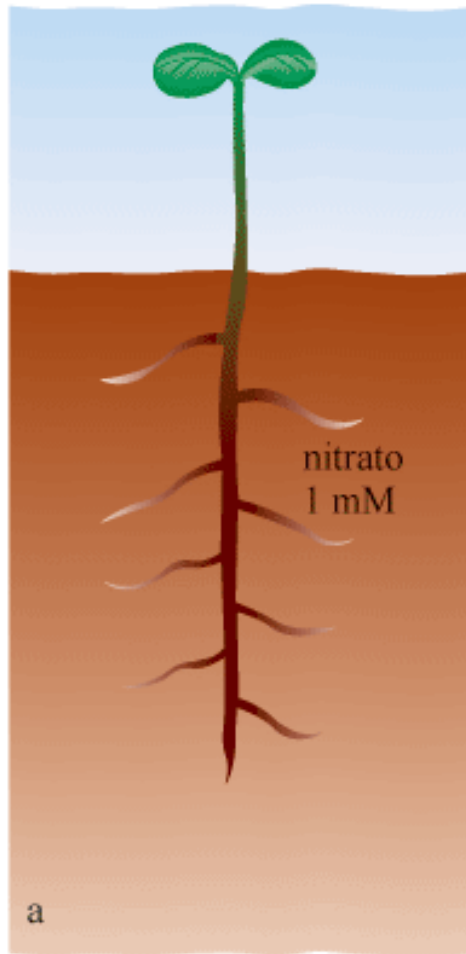
*Auxina*: stimola lo sviluppo delle radici laterali; distensione cellulare



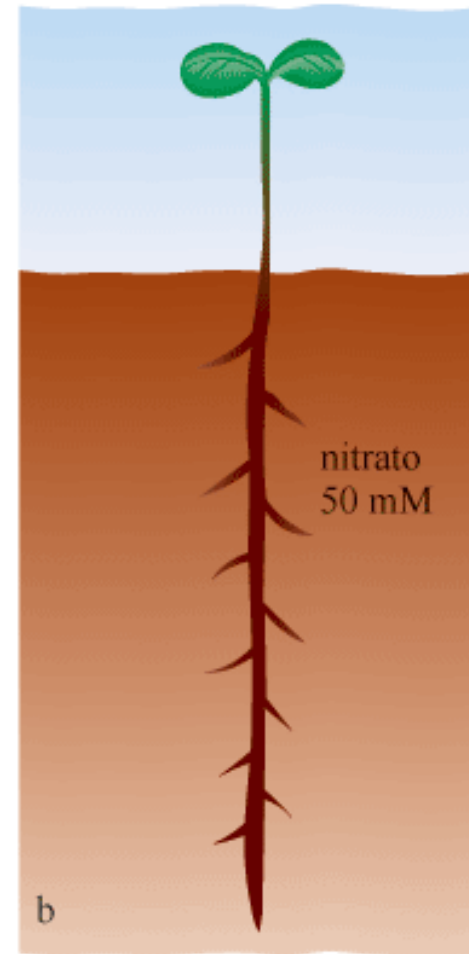
- Altri fattori:
- Distanza dall'apice
  - Acqua e sostanze nutritive nel terreno: *abbondanti più radici laterali*

Impiego dell'auxina esogena per stimolare la produzione di radici avventizie nelle talee

## *Influenza di nitrati sullo sviluppo delle radici laterali*



Le radici laterali crescono in modo uniforme e cospicuo



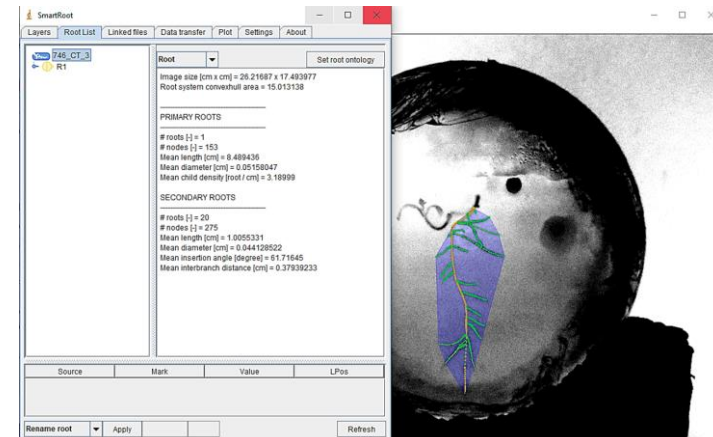
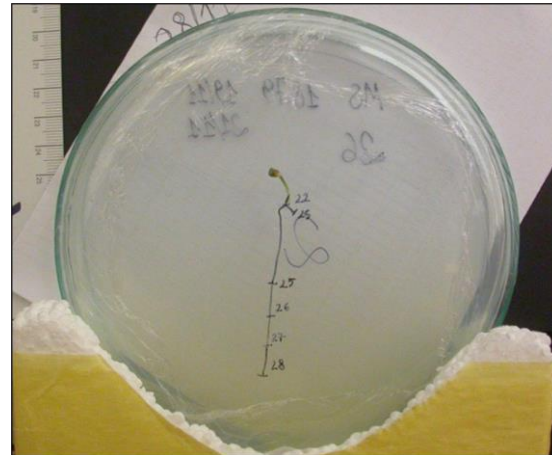
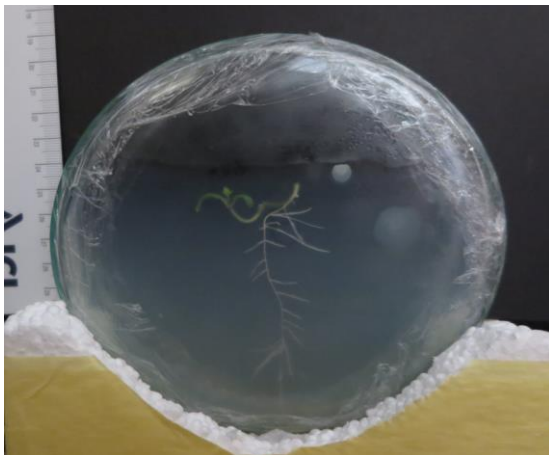
Le radici laterali restano corte mentre la radice primaria si allunga

# Studio dell'influenza dell'azoto sullo sviluppo radicale: studio dell'architettura radiale

## Tesi di laurea Alma mater studiorum di Bologna e CREA-OF

I semi sono stati allevati in piastre Petri in condizione di sterilità con terreno MS modificato con 3 diverse concentrazioni di **AZOTO**

*3 genotipi, 3 dosi di azoto, 3 repliche*



# Auxine

- IAA (acido 3-indolacetico)
- IBA (acido 3-indolbutirrico)
- NAA (acido naftalenacetico)
- 2,4-D (acido 2,4-diclorofenossiacetico)

Alta



Formazione radici

Induzione callo nelle monocotiledoni

Induzione embriogenesi

Radici avventizie da callo

Induzione callo nelle dicotiledoni

Germogli avventizi

Proliferazione gemme ascellari

Bassa



- Zeatina**
- 2iP (N-2isopentenil adenina)
- Kinetina** (6-furfulaminopurina)
- BA o BAP** (6-benzilamminopurina)
- TDZ** (thidiazuron)

# Citochinine

Bassa



Alta

*Citochinine*: intervengono nella divisione cellulare (citodieresi); si trovano nei tessuti in **continua divisione** dei semi fiori, frutti, apice radicale

*Divisione cellulare*: la cellula resta meristemica

*Distensione cellulare*: la cellula si differenzia nel tipo cellulare



Citochinine e Auxina agiscono in modo **ANTAGONISTA** sul mantenimento del meristema dell'apice radicale che si deve dividere e distendere in uguale misura (stessa velocità)

Azione antagonista delle citochinine

- Contrastano l'influenza dell'auxina sulla divisione cellulare (controllo della velocità di divisione e distensione cellulare)
- Contrastano la distribuzione dell'auxina durante lo sviluppo delle radici laterali (regolatore negativo sulle cellule del periciclo)