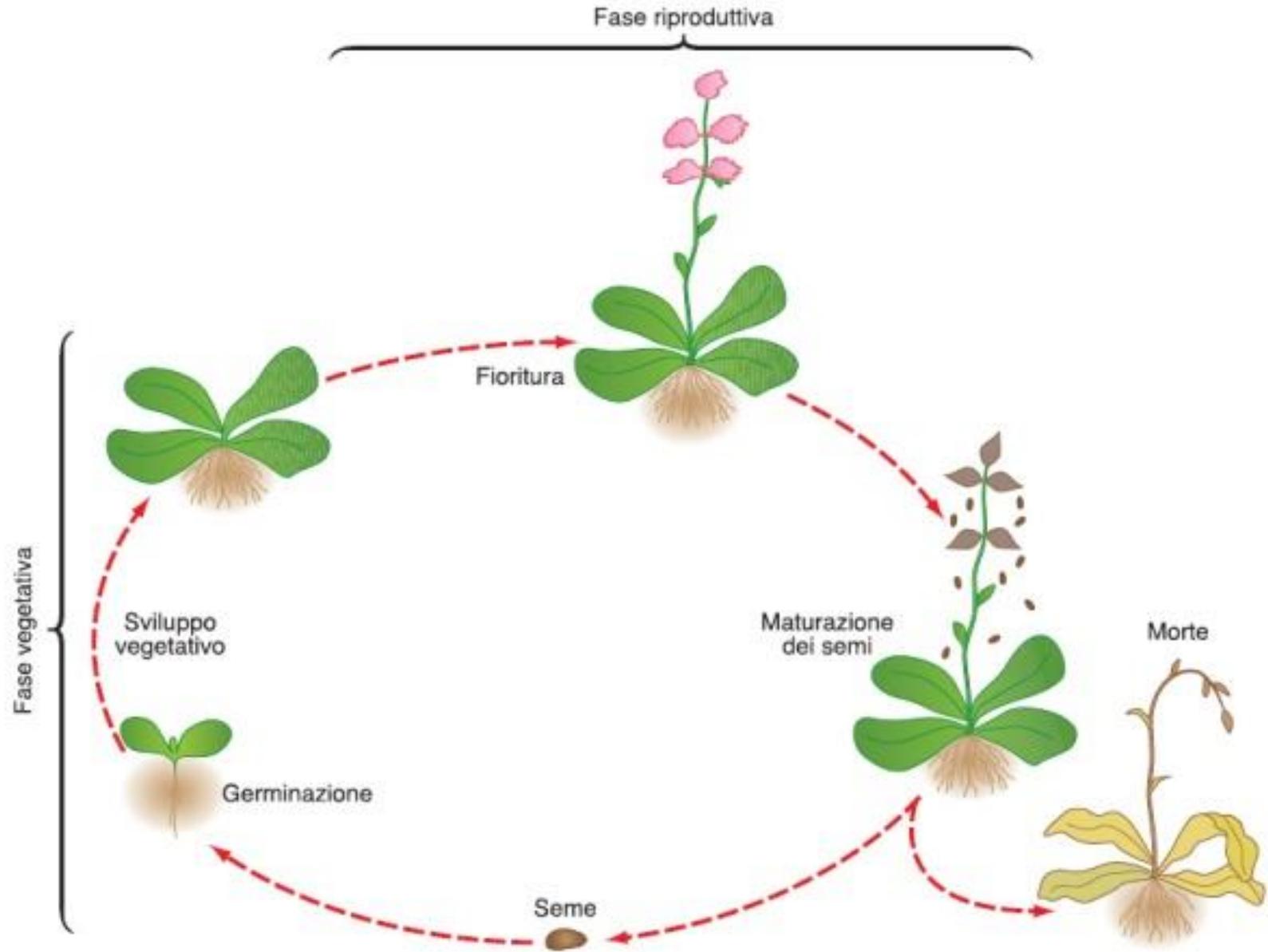


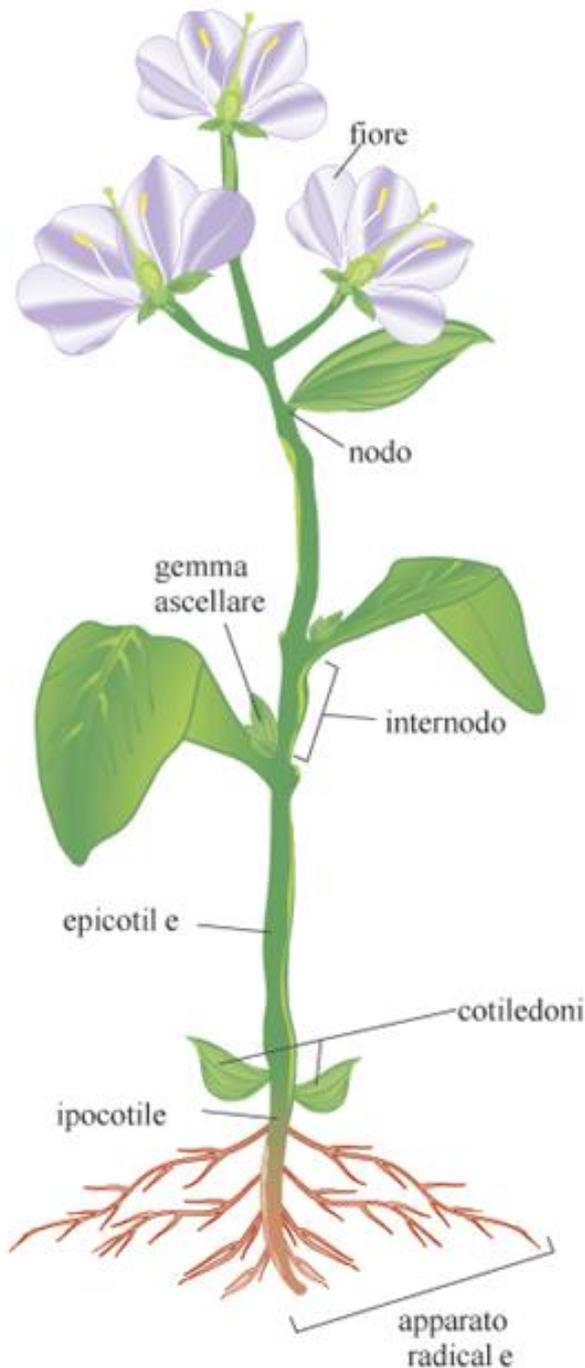


Il seme e la germinazione

Ciclo vitale di un angiosperma annuale



Organografia di un angiosperma dicotiledone

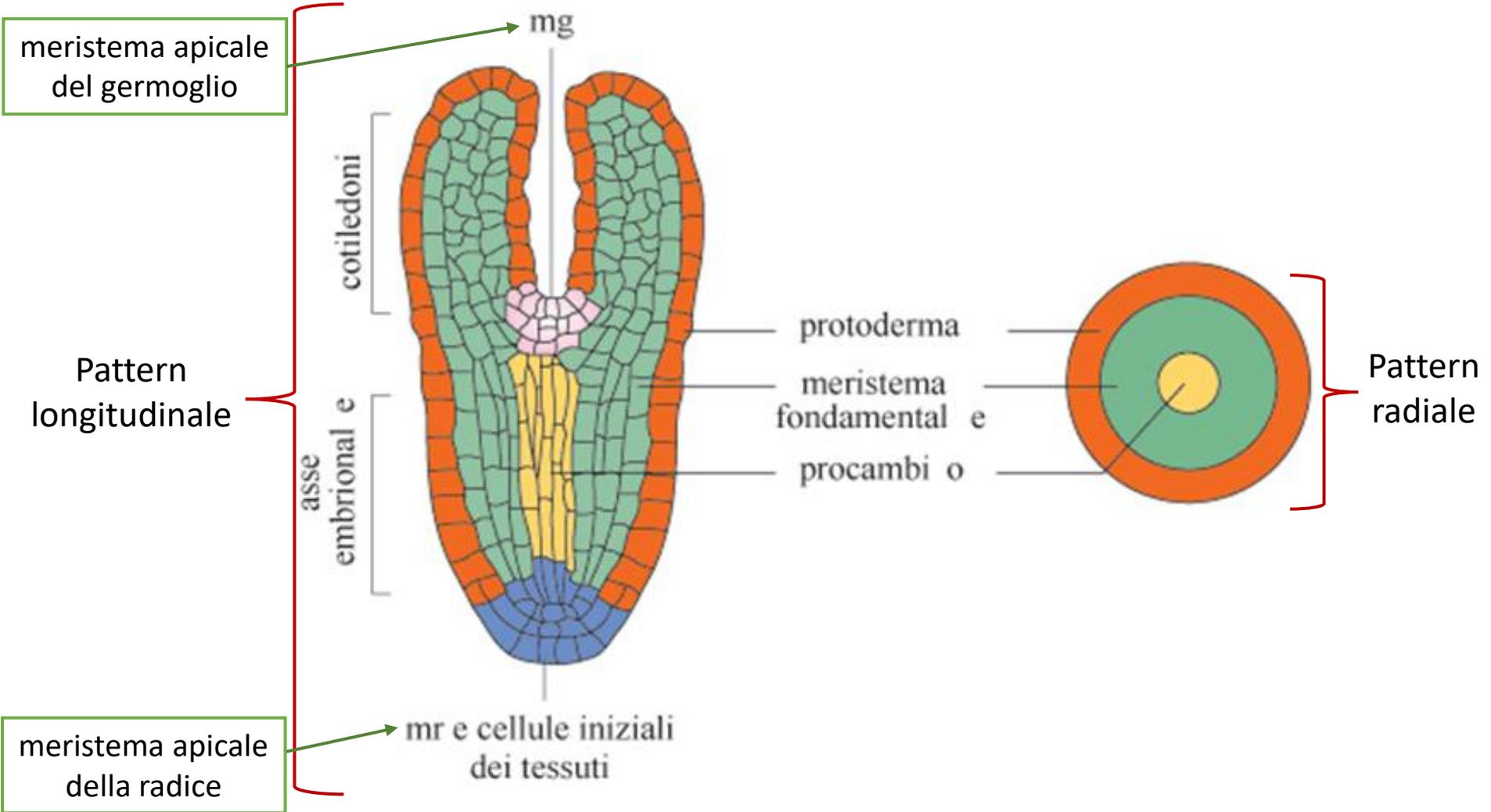


Origine delle parti fondamentali dello sporofito:

- *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

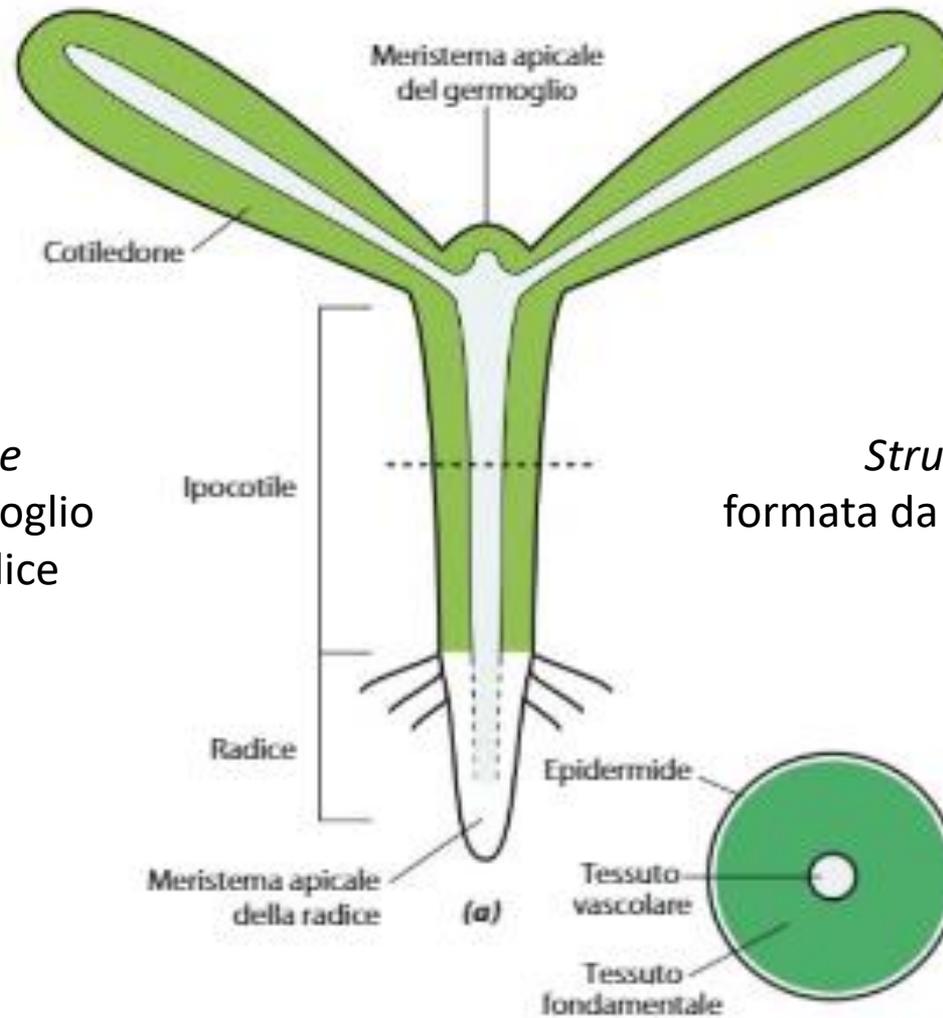
formazione dell'embrione e prima fase dello sviluppo del seme



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

Sistemi di tessuti organizzati
concentricamente

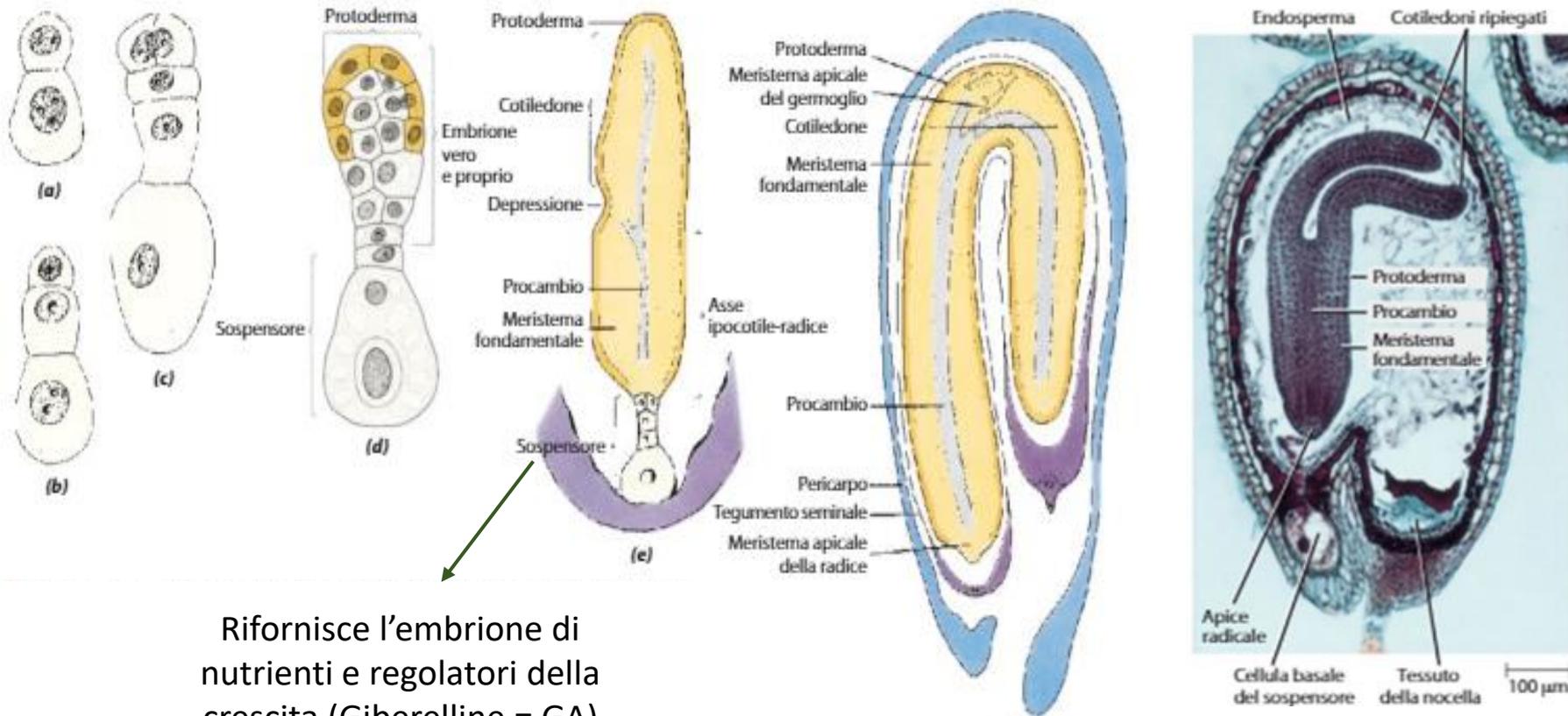
Plantula



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

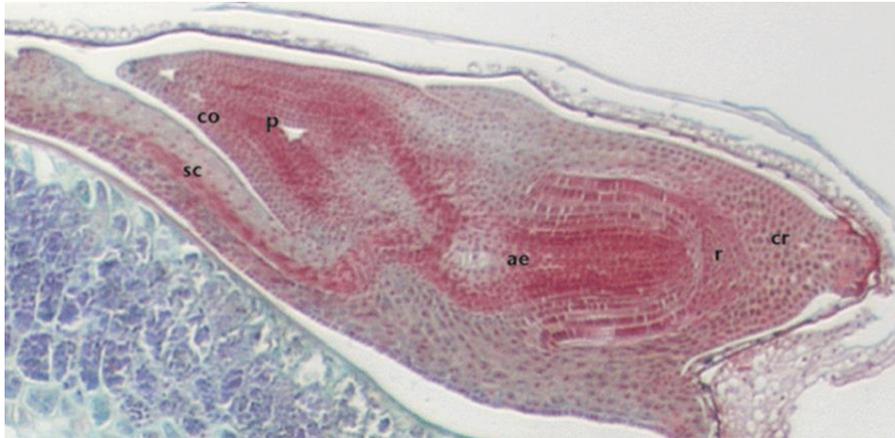
Divisione dello ZIGOTE



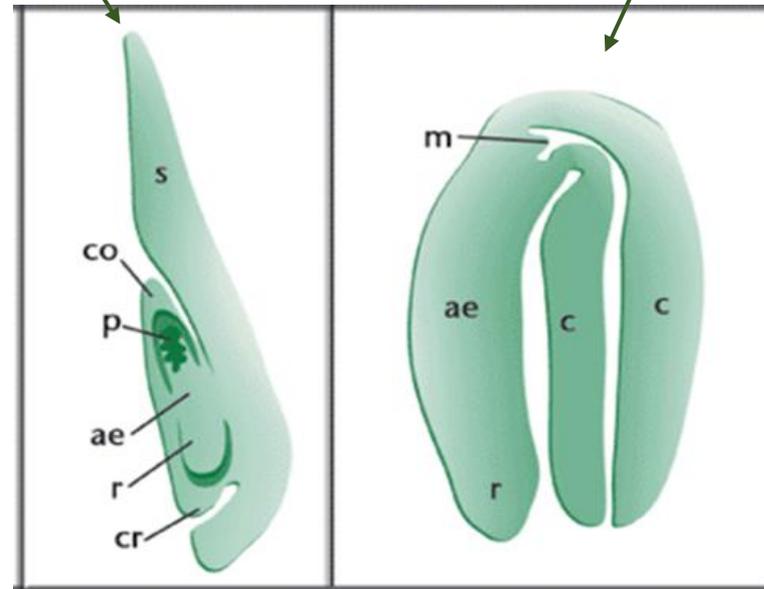
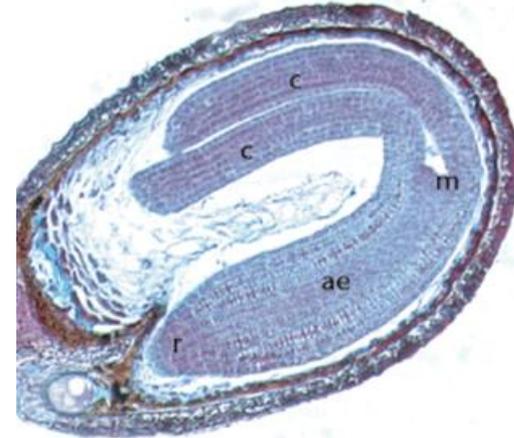
POLARITA'

polo superiore calazale: embrione maturo
polo inferiore micropilare: sospensore

MONOCOTILEDONI



DICOTILEDONI

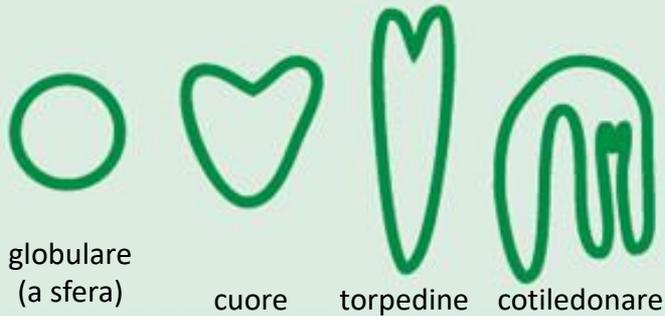


r: apice radicale protetto dalla coleorizza (**cr**)
ae: asse embrionale (ipocotile)
p: apice del germoglio (piumetta) con bozze fogliari
co: coleotile protegge l'apice (p)
s: scutello (cotiledone carnoso e massiccio)

L'apice radicale (**r**) continua con l'asse embrionale (**ae**) che termina con il meristema 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

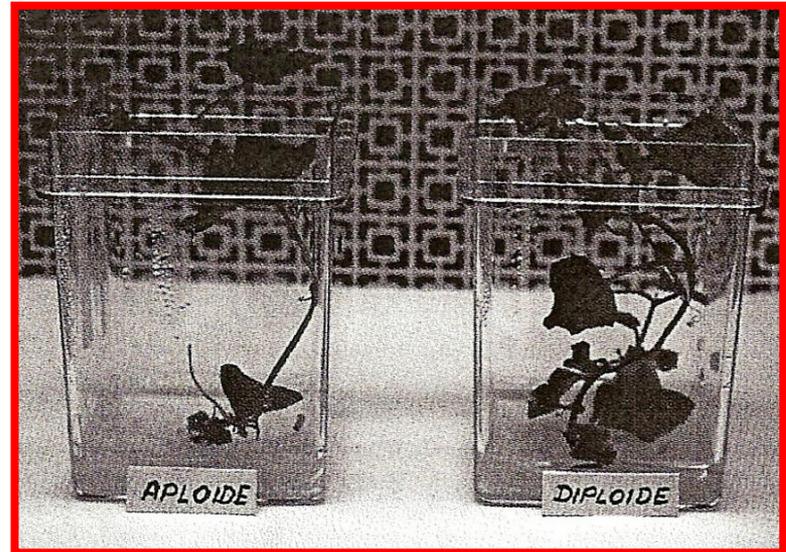
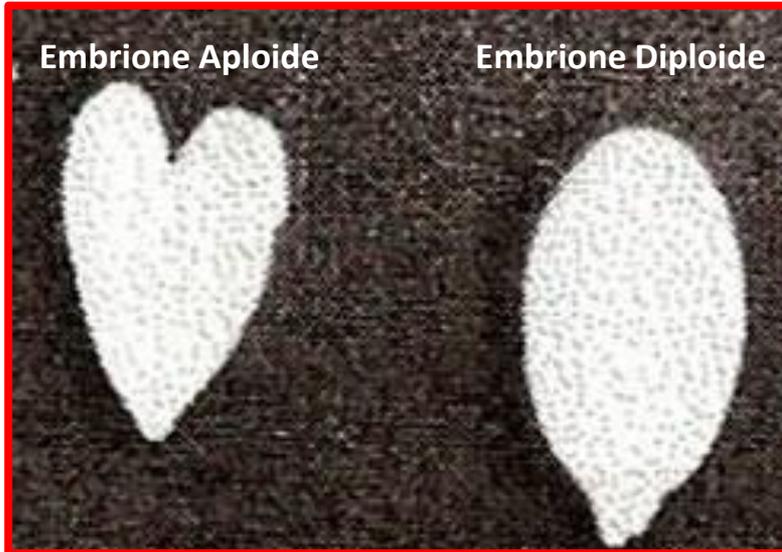
5

6

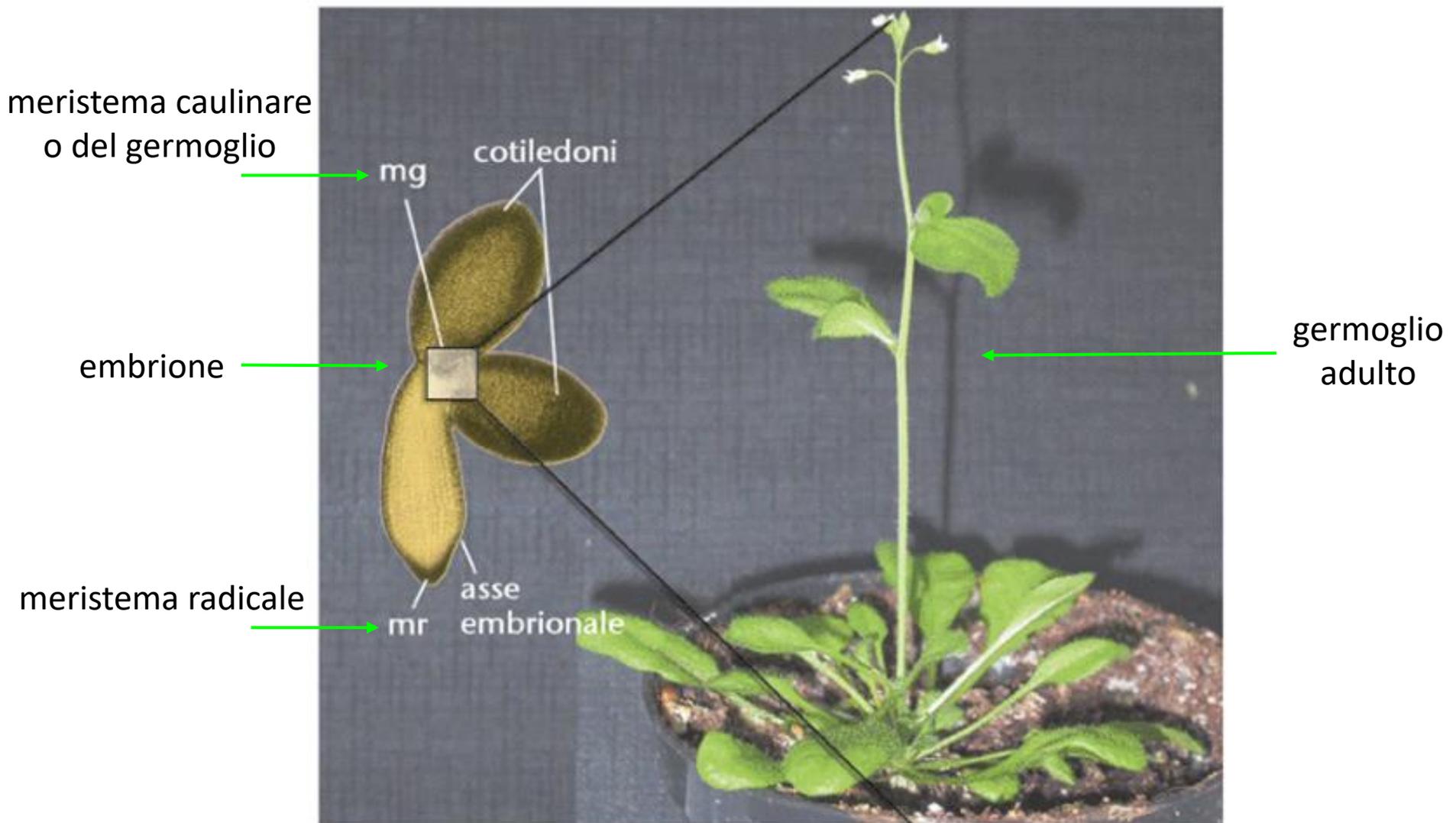
7

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 γ



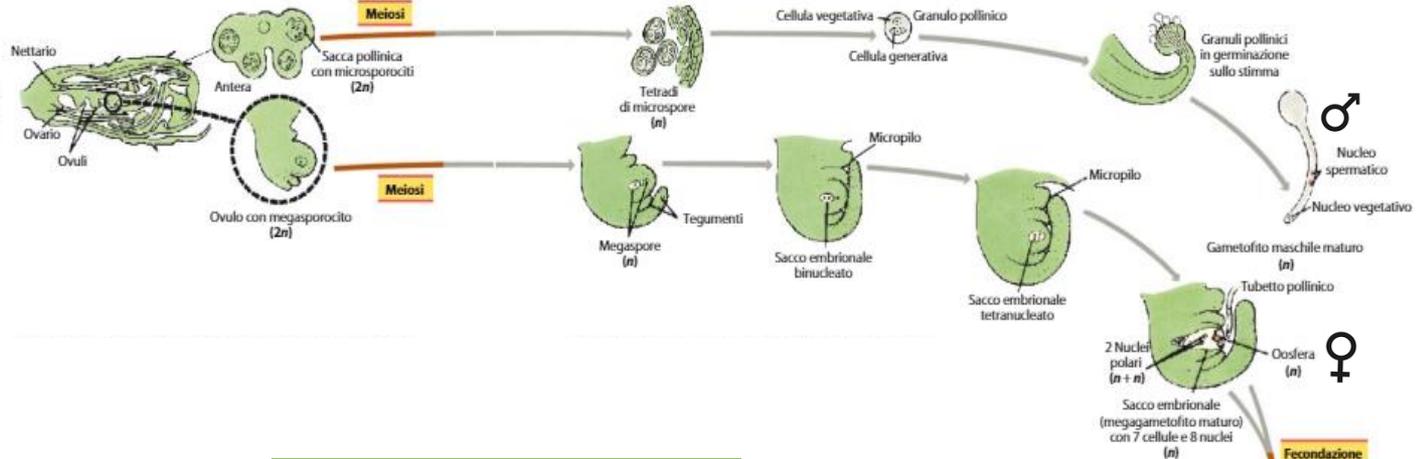
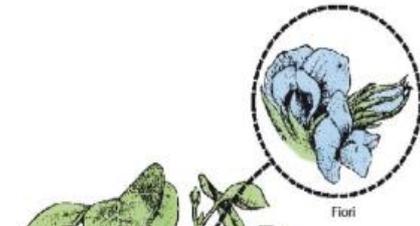
Ficcadenti *et al.* , 1995. Journal Genetics and Breeding. 49: 359-364
Ficcadenti *et al.*, 2002. Plant Disease 86(8):897-900



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

Ciclo riproduttivo angiosperma

Sporofito maturo



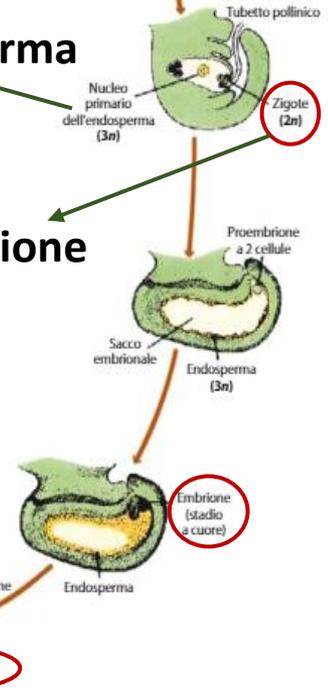
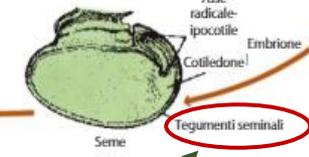
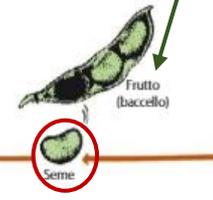
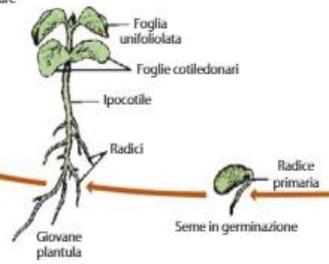
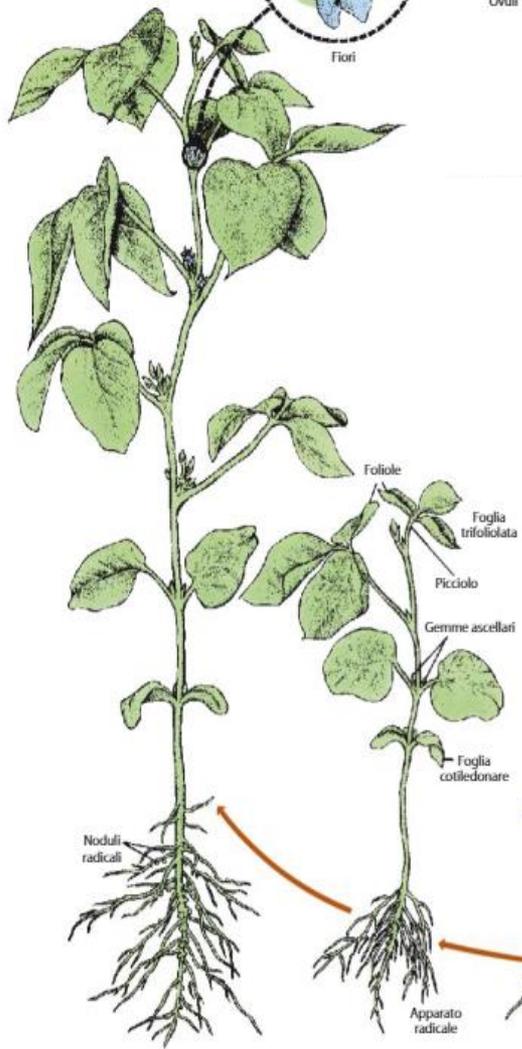
OVULO → SEME
 OVARIO → FRUTTO

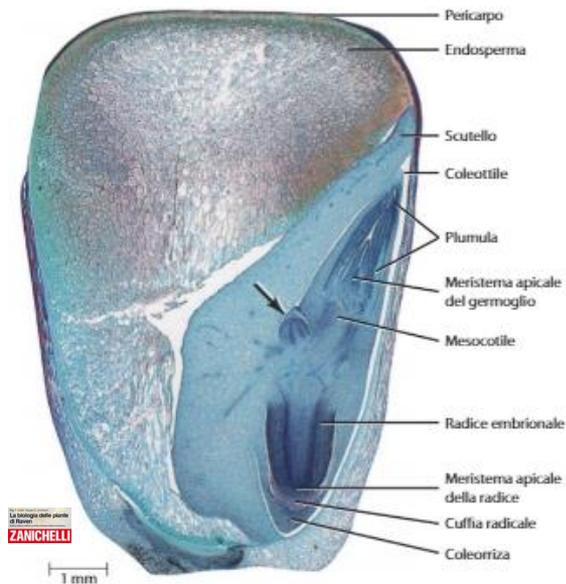
Endosperma

Embrione

Pareti dell'ovario (pericarpo)

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

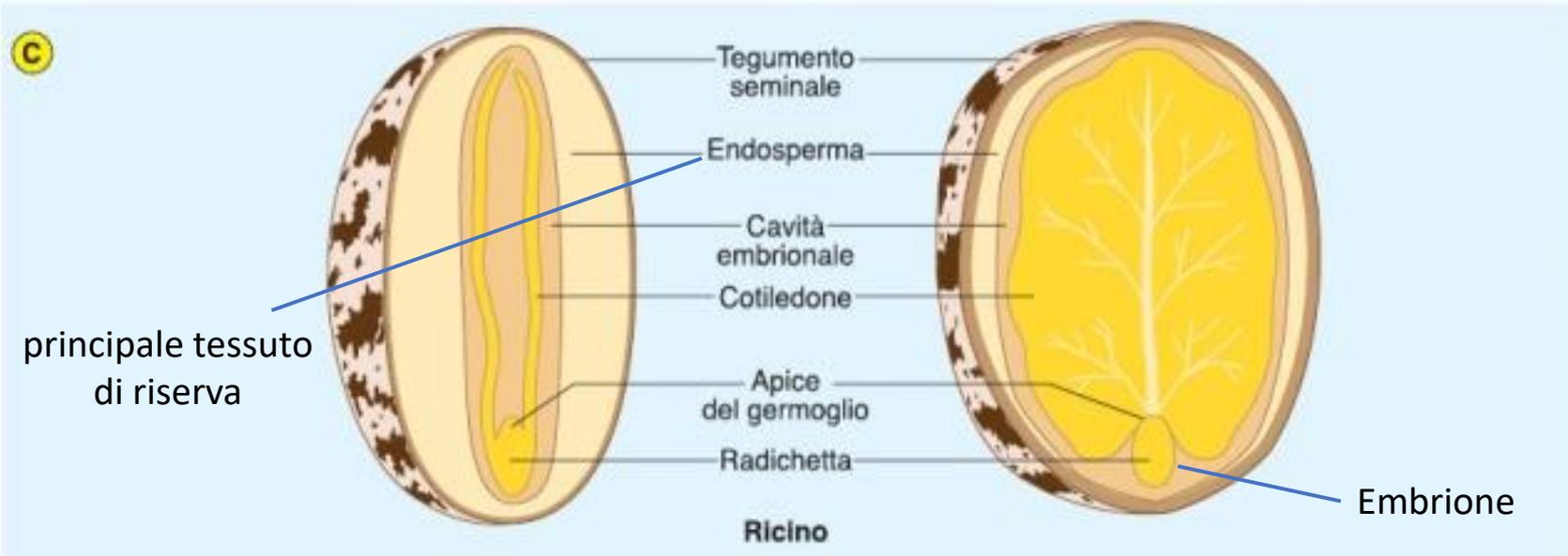
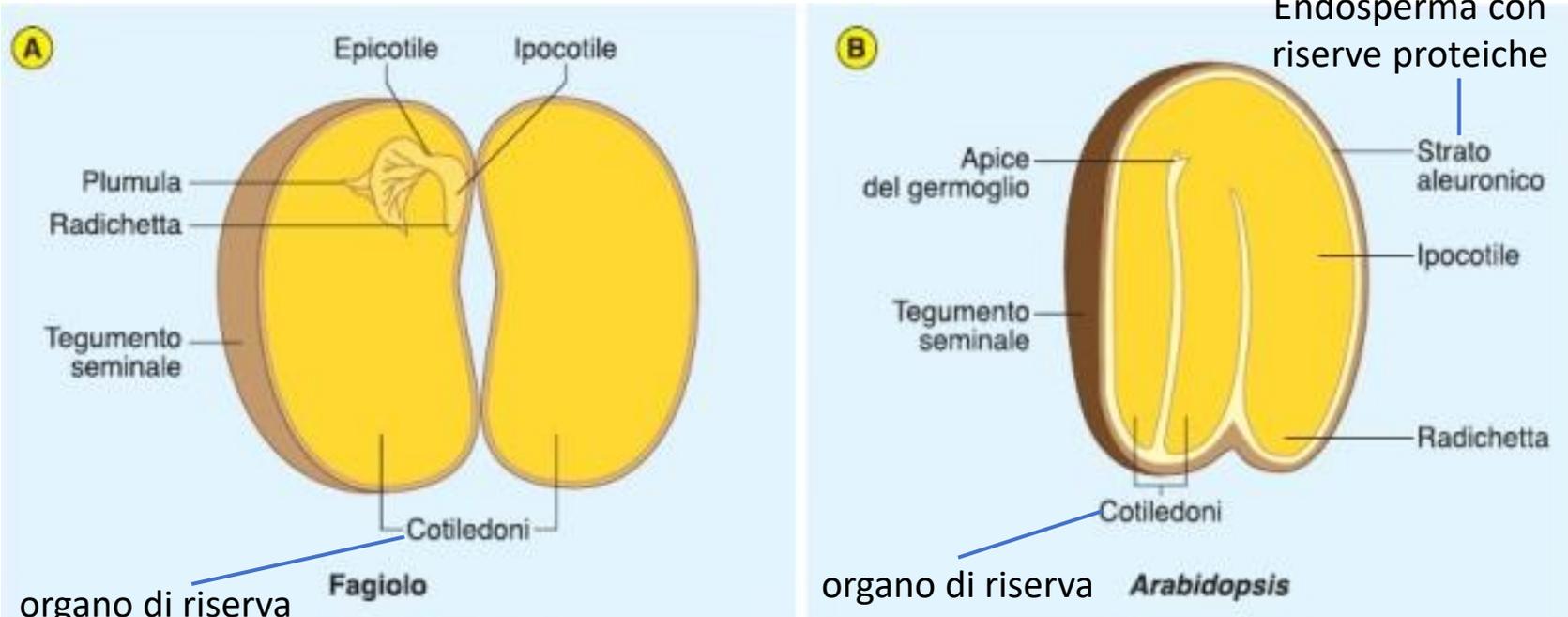
COMPONENTI PRINCIPALI DEL SEME

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

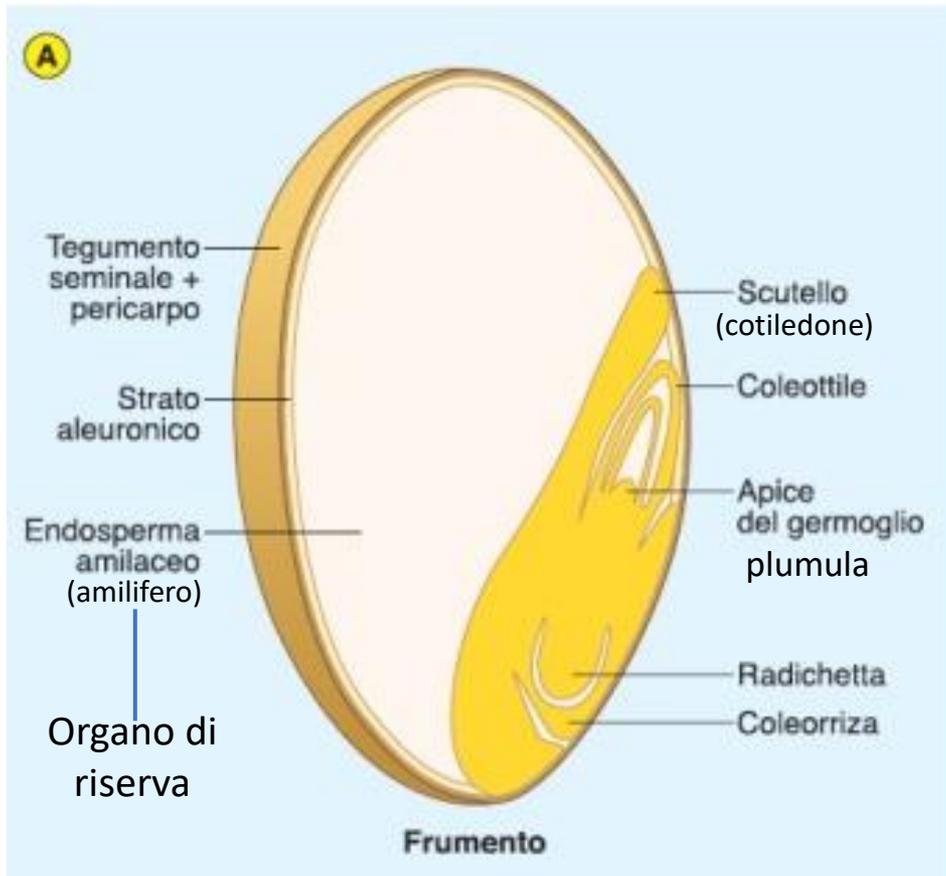
Endosperma ($3n$ nelle angiosperme; doppia fecondazione): è un tessuto di riserva (amido, proteine di riserva, oli) per l'embrione in via di sviluppo e per il seme in germinazione

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

Localizzazione delle riserve nelle dicotiledoni

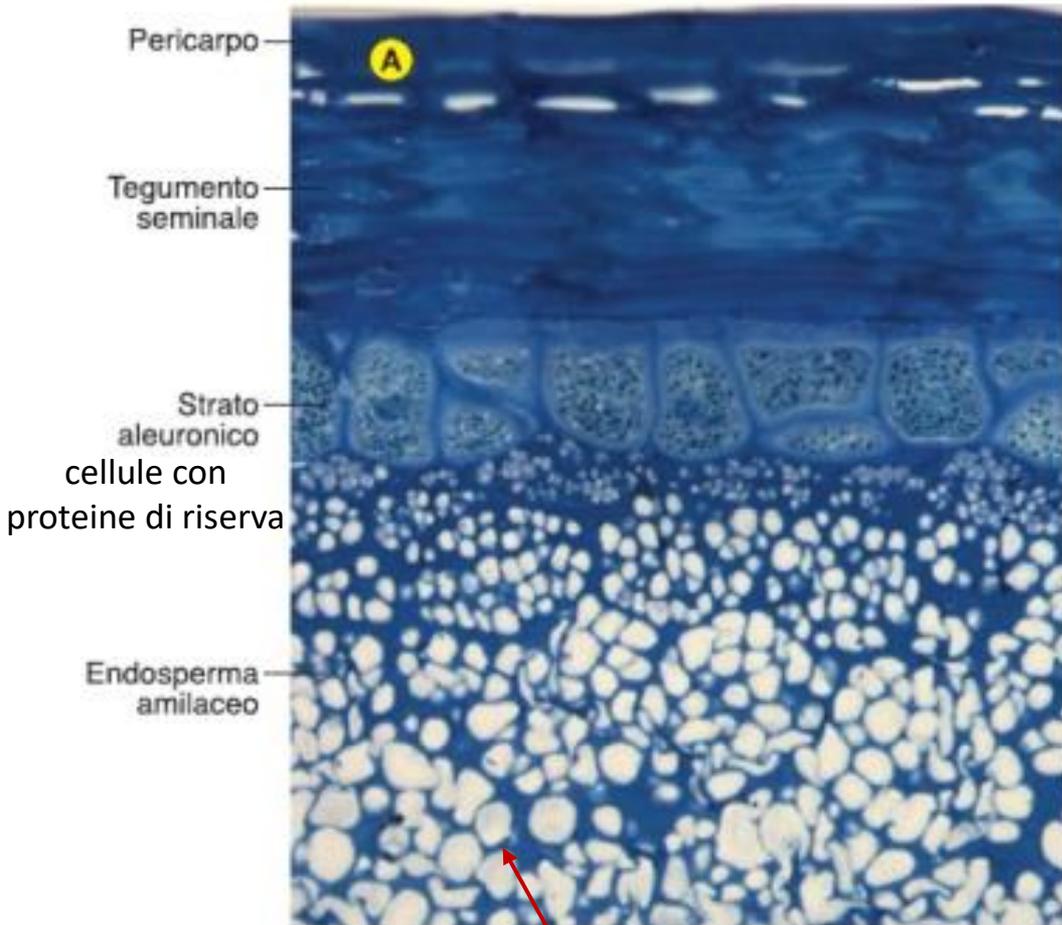


Localizzazione delle riserve nelle monocotiledoni



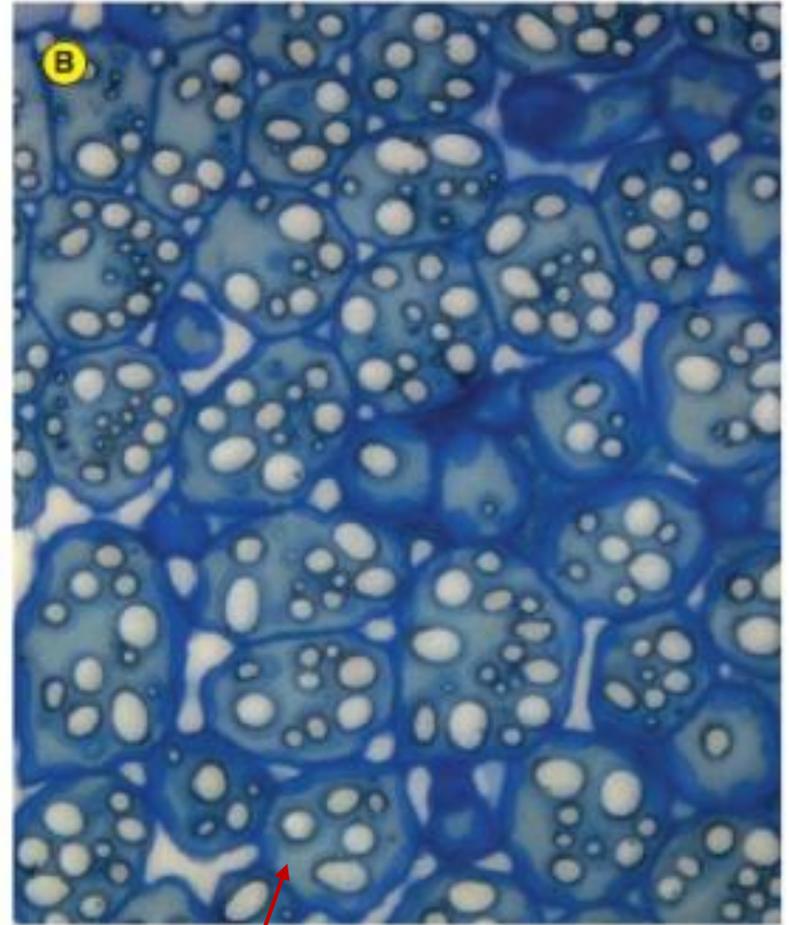
Nella maggior parte delle monocotiledoni le riserve si trovano nell'endosperma

Mais (*Zea mays*)



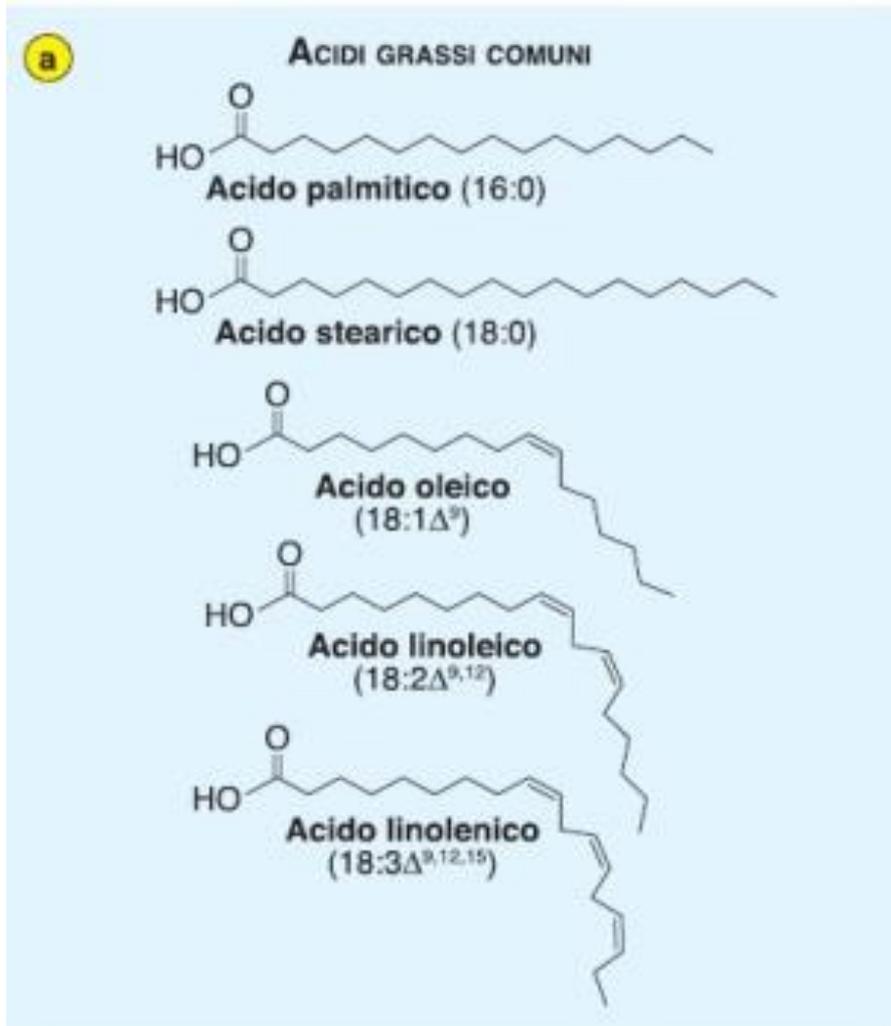
Cellule morte riempite di granuli di amido (non colorati)

Fagiolo (*Phaseolus vulgaris*)

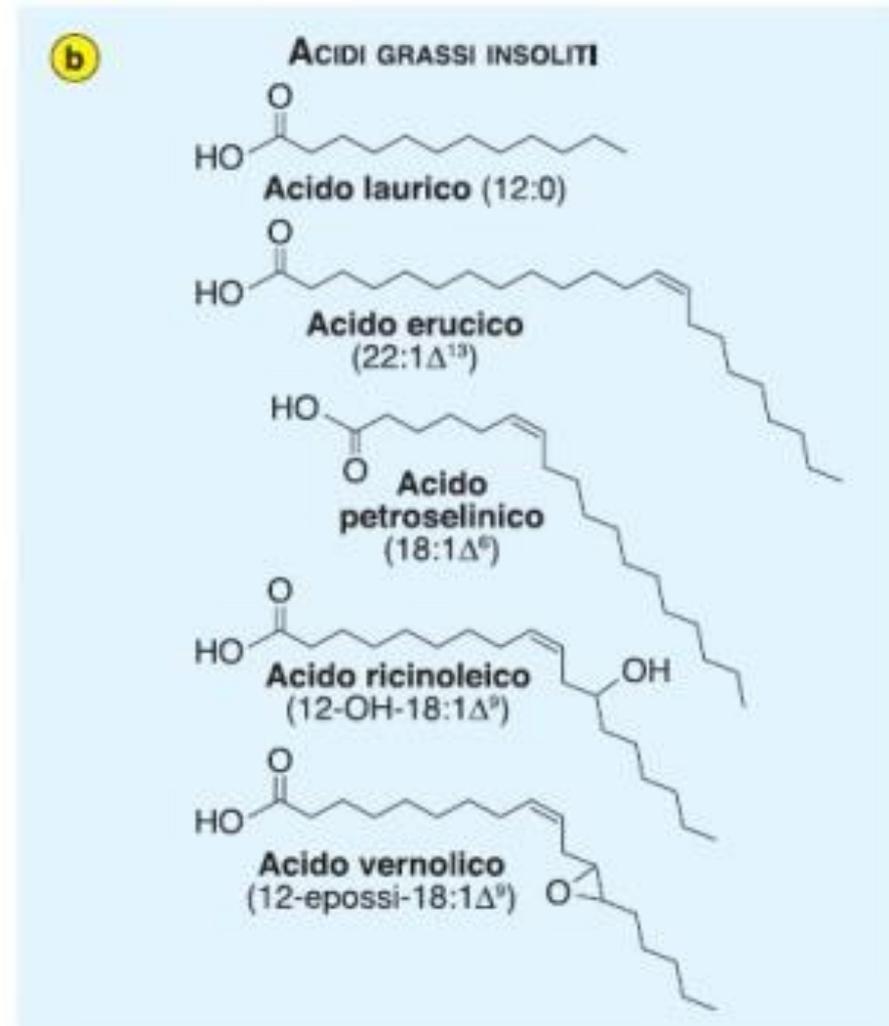


Cellule vive contenenti molti amiloplasti con grossi granuli di amido (non colorati)

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

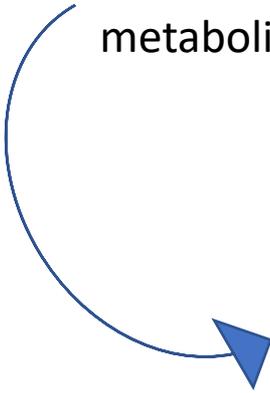
	Proteine	Lipidi	Carboidrati	Principale organo di riserva
Cereali				
Mais	10	5	80	Endosperma
Frumento	12	2	75	Endosperma
Avena	13	8	66	Endosperma
Legumi				
Soya	37	22	12	Cotiledoni
Arachide	31	48	12	Cotiledoni
Pisello	25	6	52	Cotiledoni
Specie oleaginose				
Ricino	18	64	Tracce	Endosperma
Palma da olio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

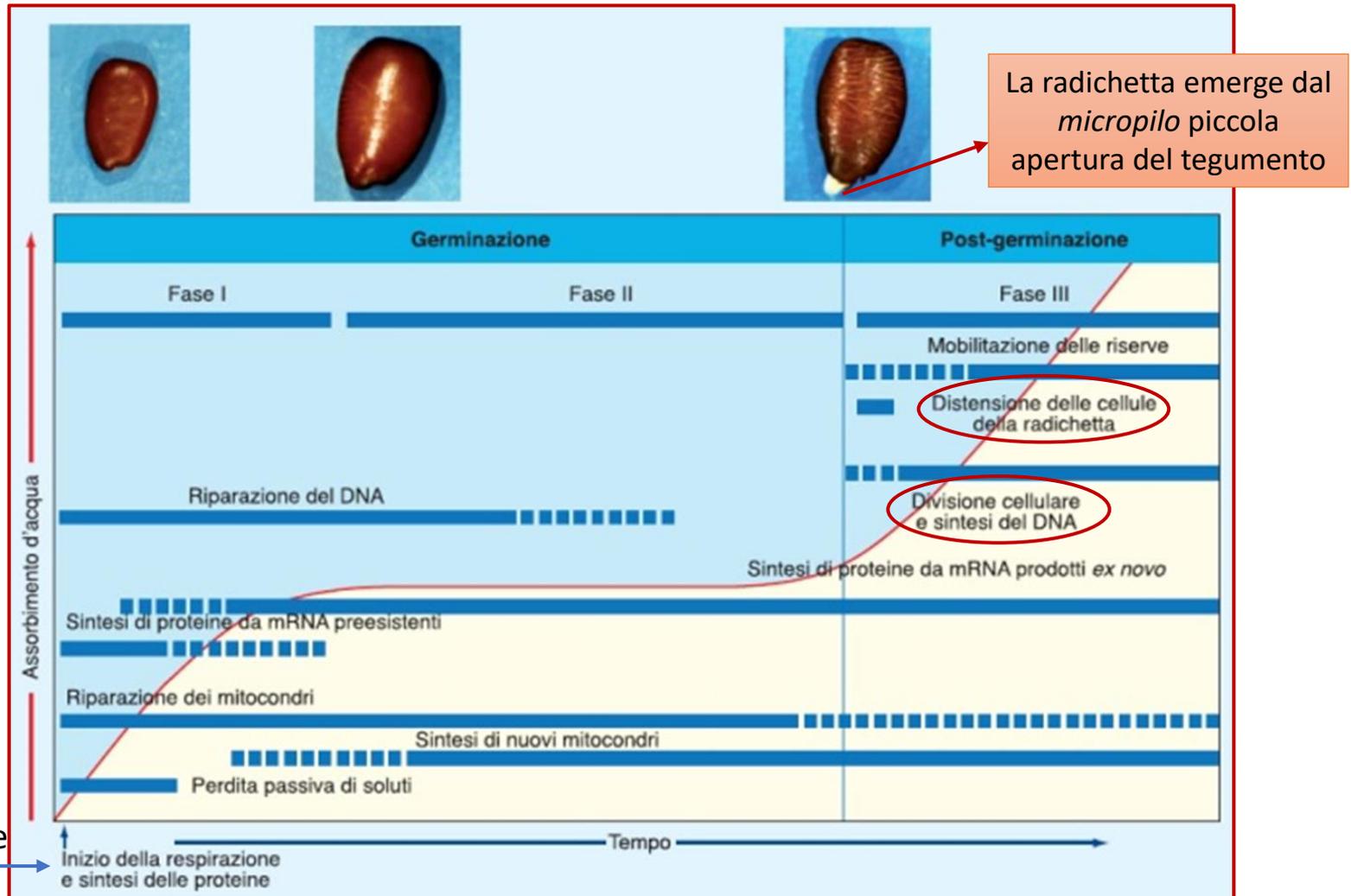
Variazione ormonale: rapporto GA - ABA

- 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

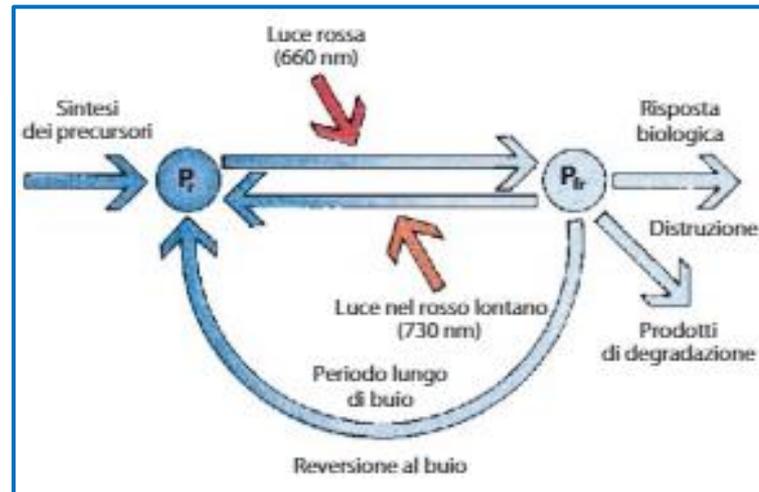


La *radichetta* (*radice embrionale*) permette al seme l'ancoraggio al suolo e l'assorbimento dell'acqua
La *radice primaria* (*fittone*) sviluppa le *radici laterali* (ramificazioni) che a loro volta ne originano altre
Le *radici avventizie* si originano dai nodi (monocotiledoni) e sviluppano radici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

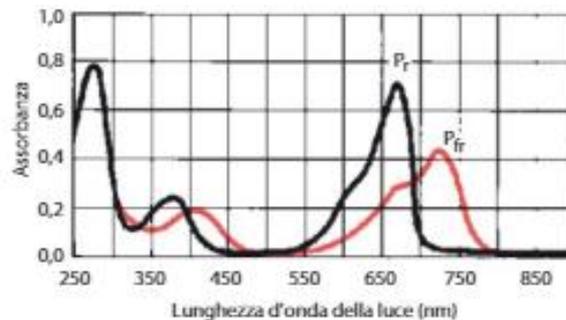
Effetto della luce sulla germinazione

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*

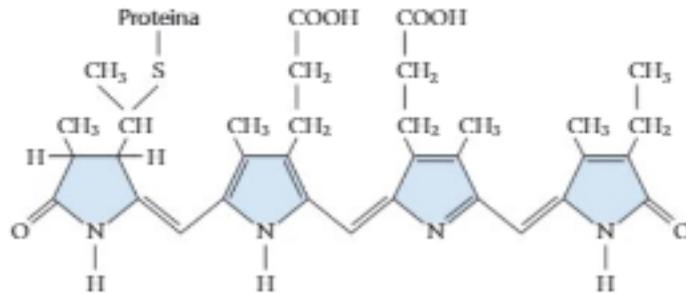


La luce nel rosso **STIMOLA** la germinazione
La luce nel rosso lontano **INIBISCE** la germinazione in modo più efficace del buio

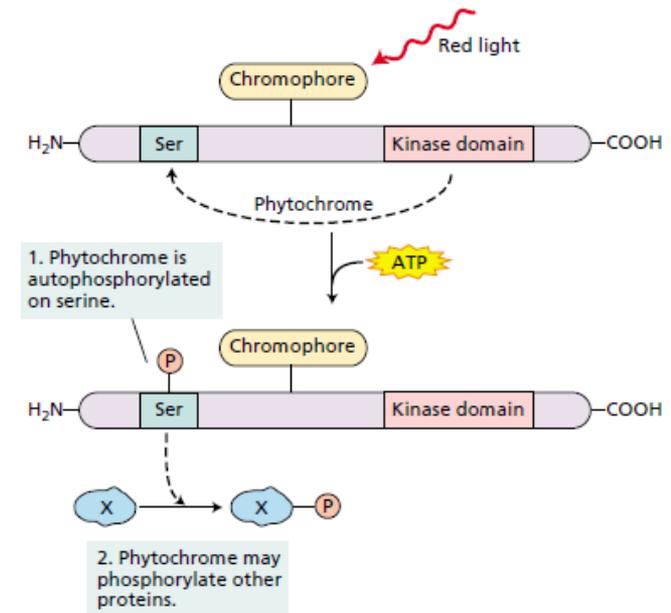
FITOCROMO

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) { *Cromoforo* (fitocromobilina): assorbe la luce (isomerizzazione *cis-trans* in C15)
Apoptroteina (PHY): da sola non è capace di assorbire la luce



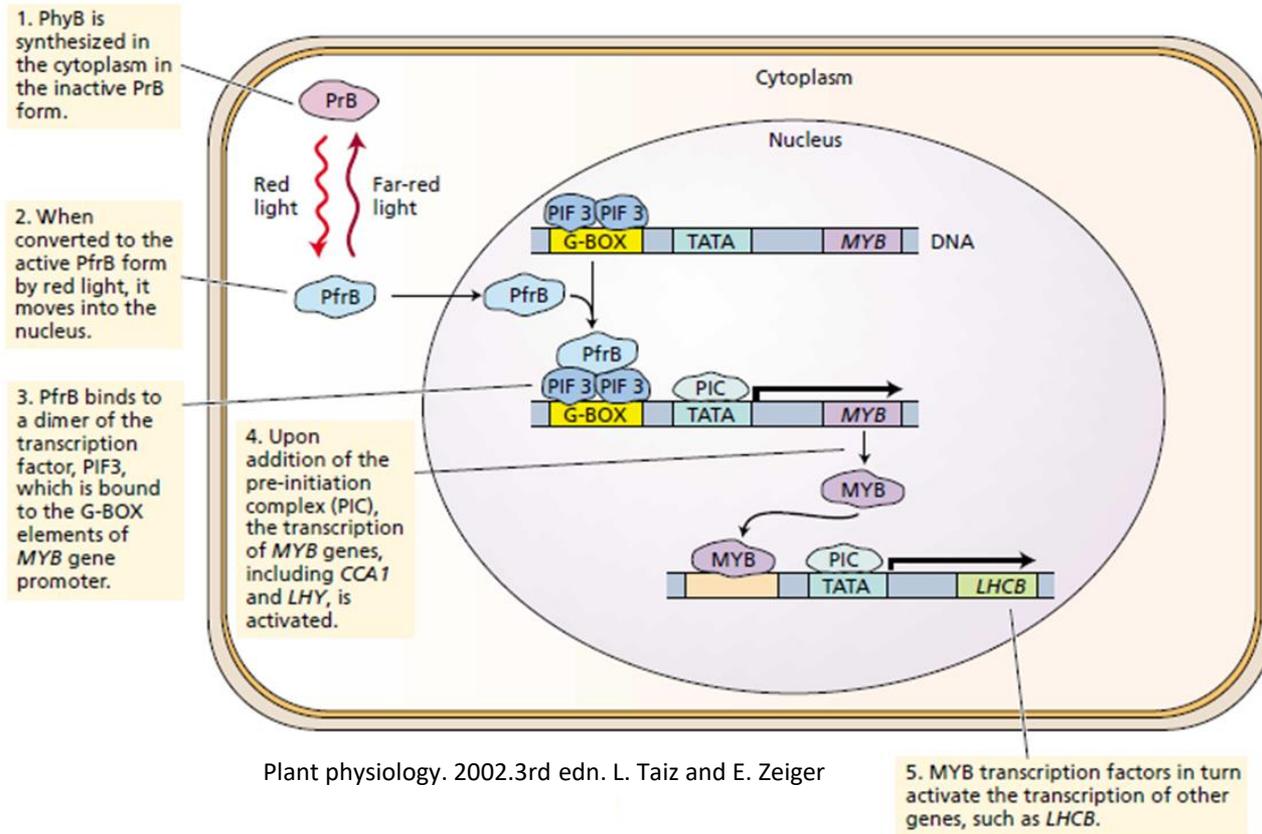
La biologia delle piante di Raven
ZANICHELLI



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

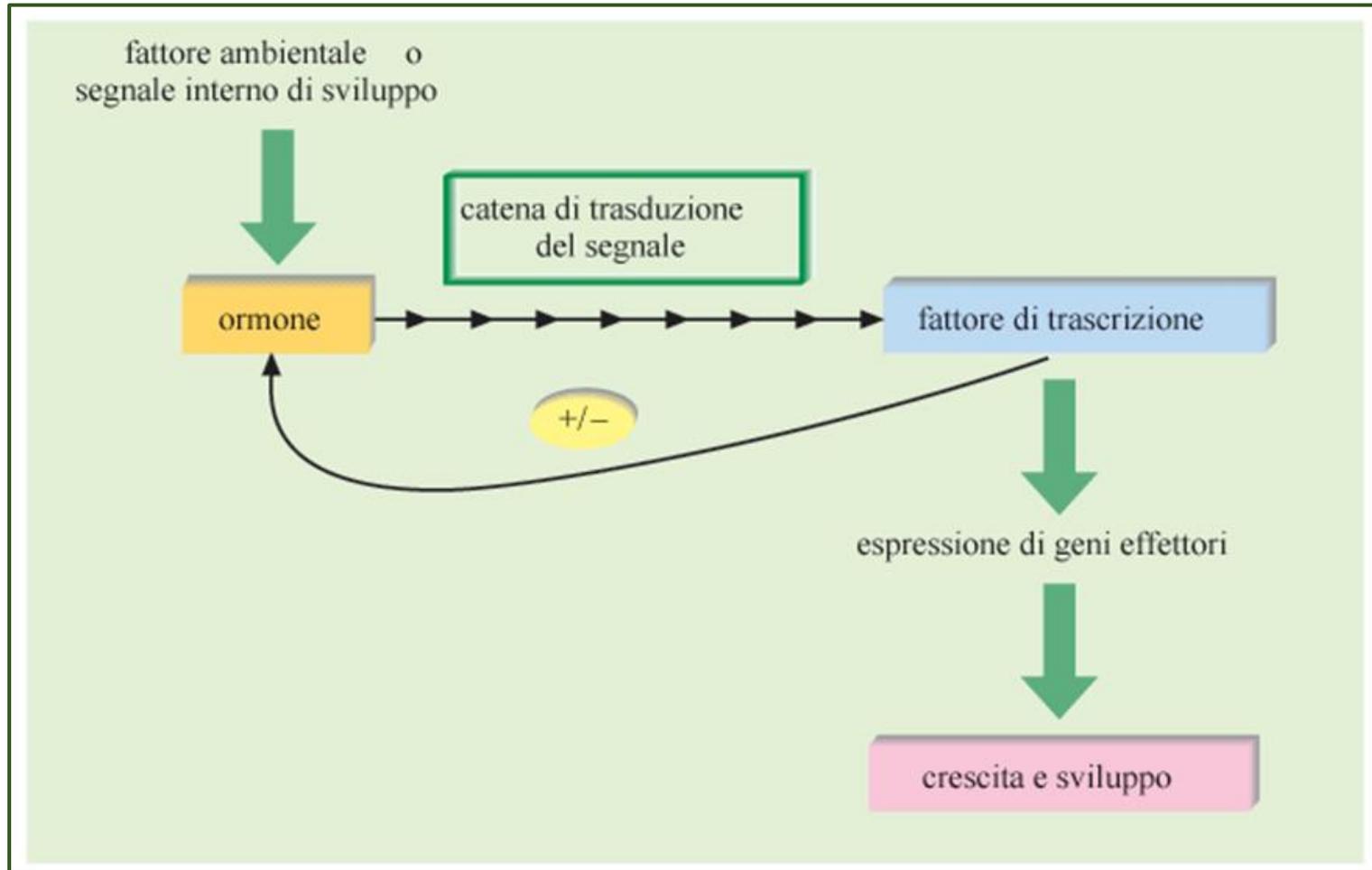
Brassinosteroidi: normale crescita dei tessuti

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



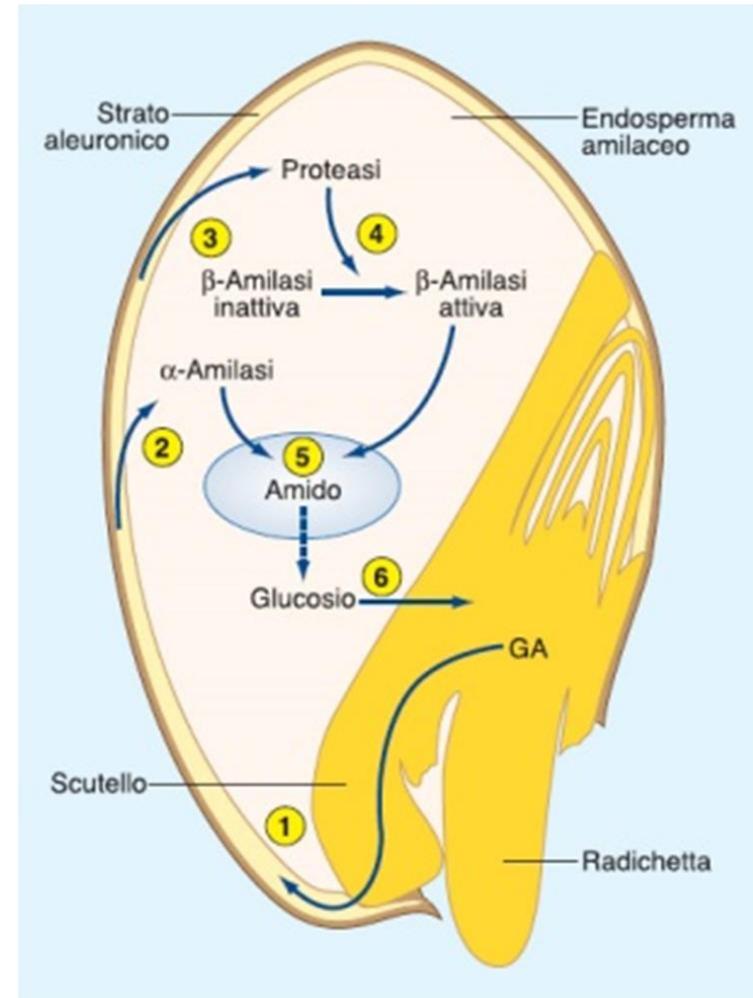
Variazione del rapporto tra acido abscissico (ABA) e gibberelline (GA)

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

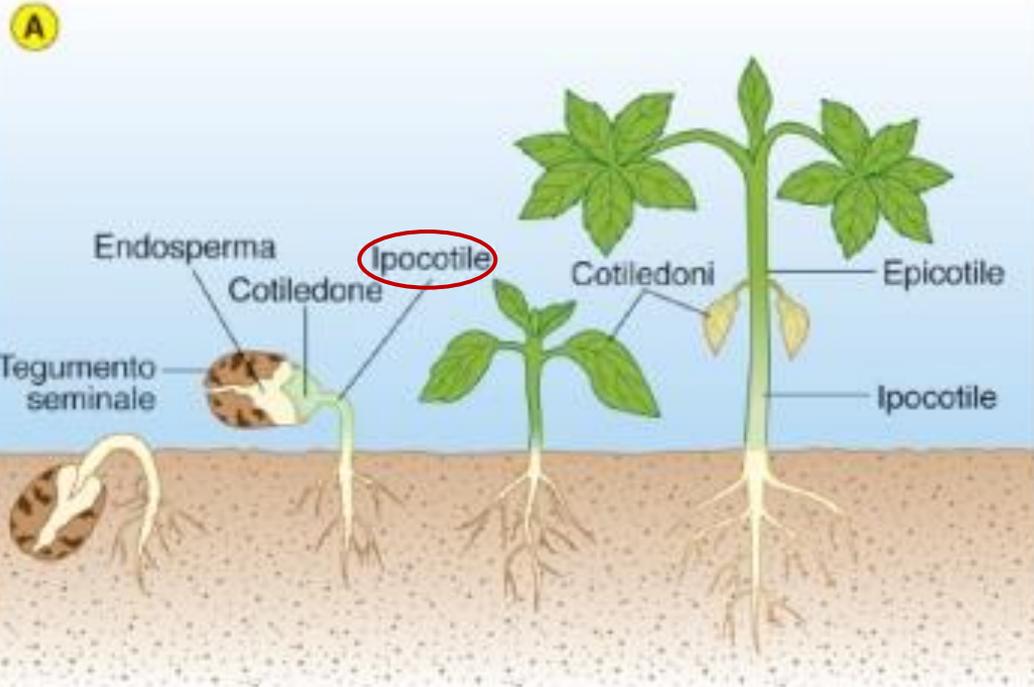
GA: stimolano la germinazione (inibiscono la dormienza) e influenzano molti processi cellulari (allungamento del fusto, divisione e distensione cellulare). Biosintesi stimolata dalla luce, temperatura e acqua. GA₃ (Acido Gibberellico)



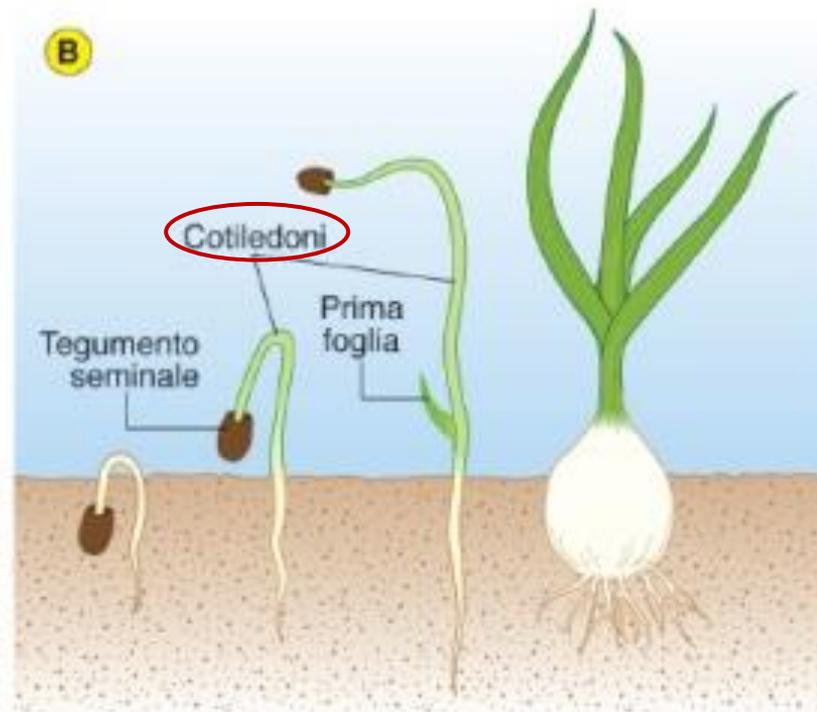
L'ABA inibisce la sintesi degli enzimi idrolitici (alfa-amilasi) necessari per degradare le riserve del seme



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



Ricino
dicotiledone

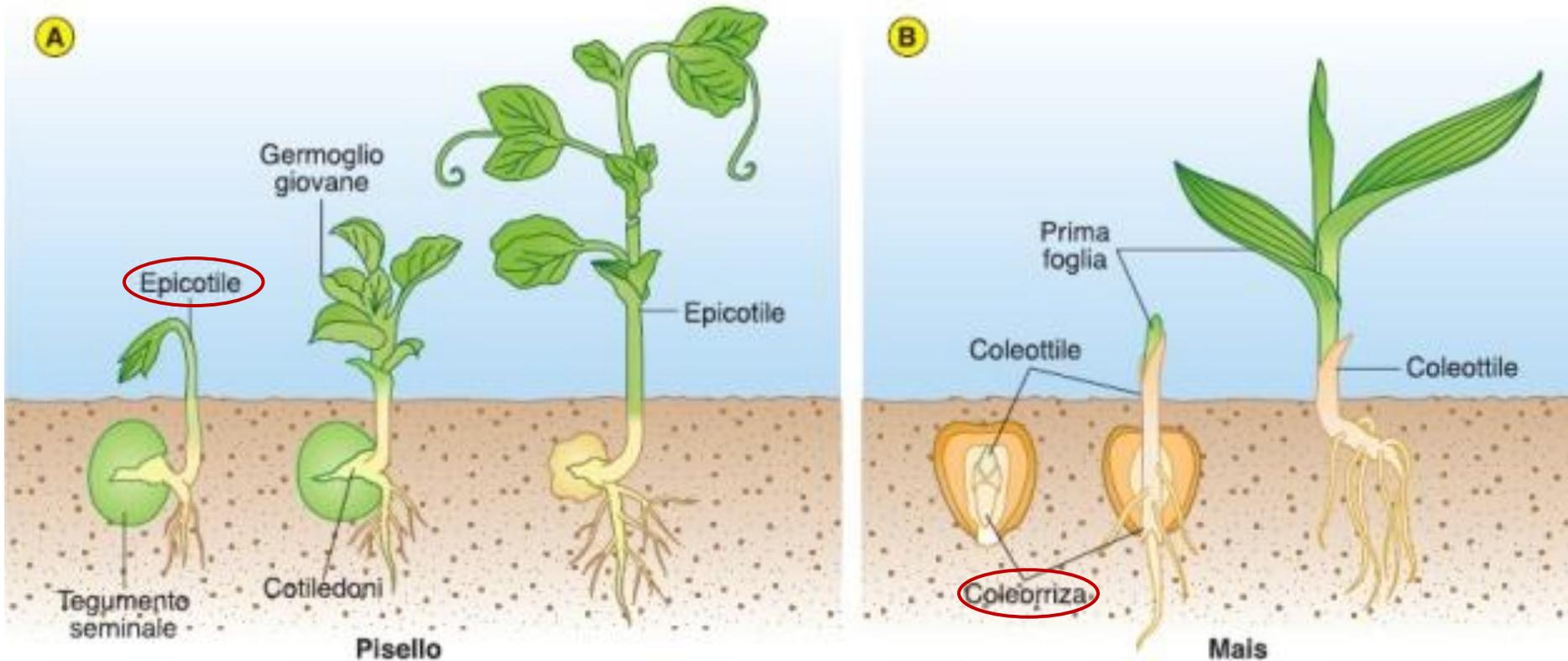


Cipolla
monocotiledone

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 mail 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

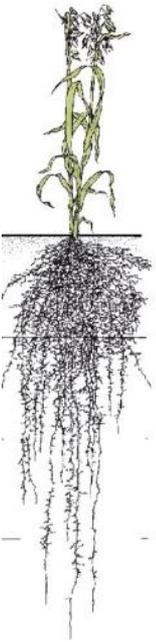
La prima struttura ad emergere dal seme (micropilo) è la radichetta (radice embrionale). Il processo è asincrono



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



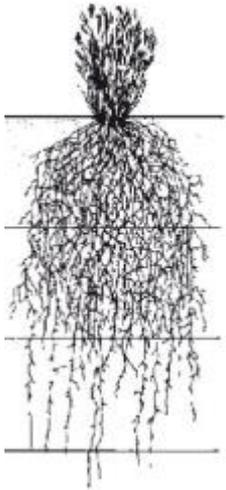
FASCICOLATA (monocotiledoni); *sistema più superficiale*

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 parenchimatice VIVE)
Protegge il meristema apicale e aiuta la radice a penetrare nel terreno

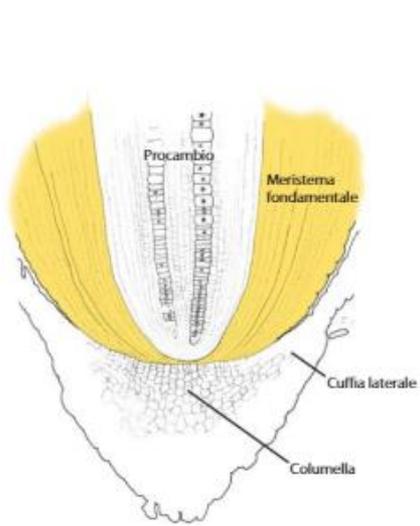


Rileva, elabora e trasmette i segnali al meristema e alla zona di allungamento (controllo della direzione di crescita)

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

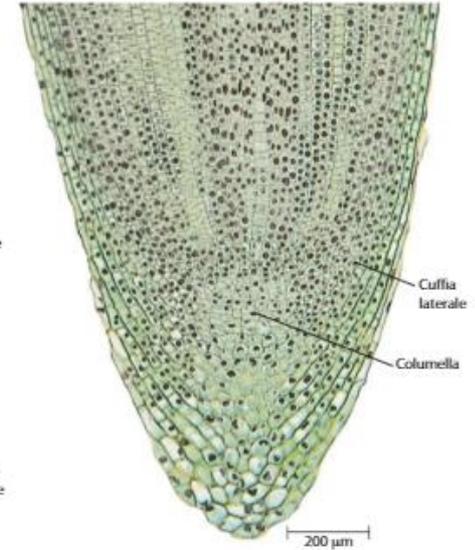
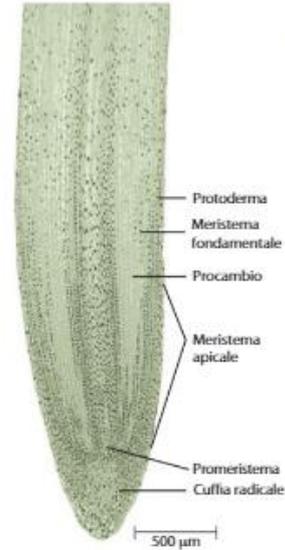
Le cellule periferiche (di frontiera) rilasciate nel terreno producono essudati ricchi di carbonio

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

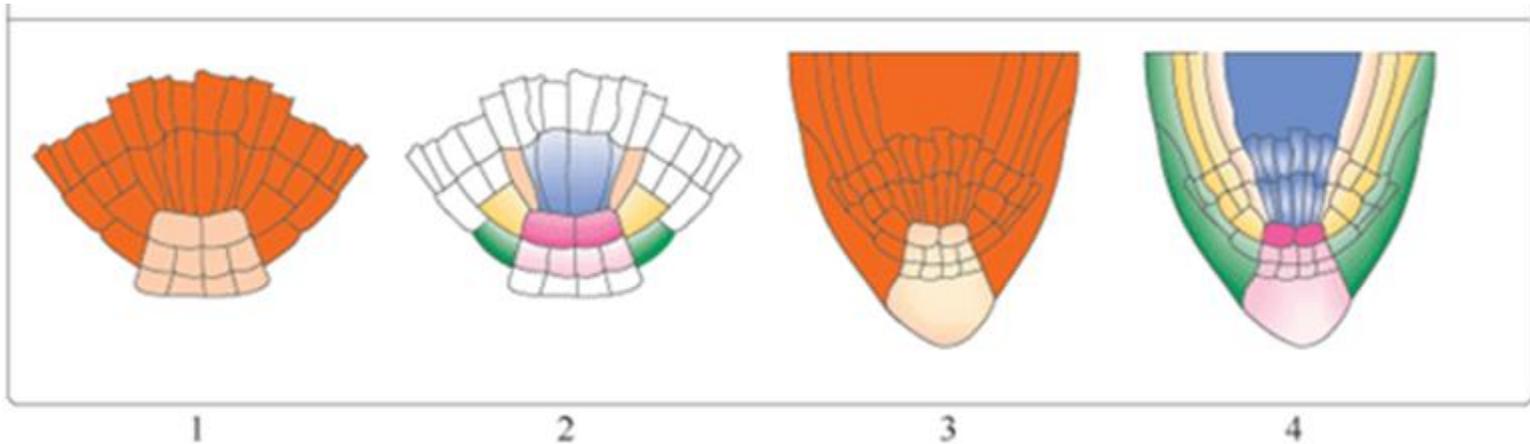
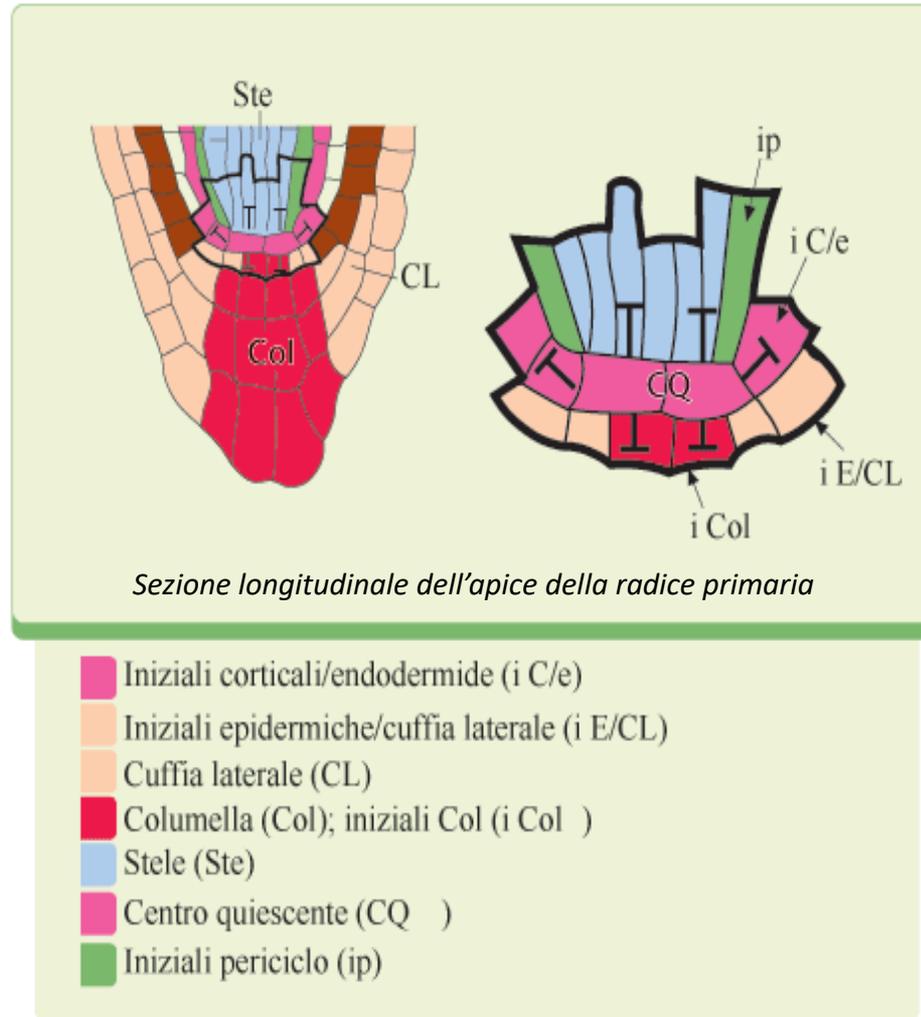


Fig. c2 (meristema apicale della radice)

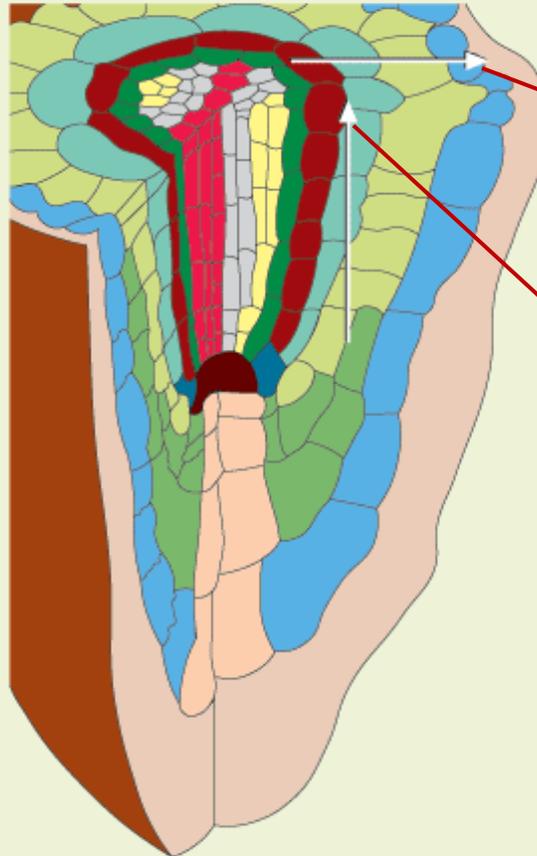
Fig. c4 (apice di una radice matura)

	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)

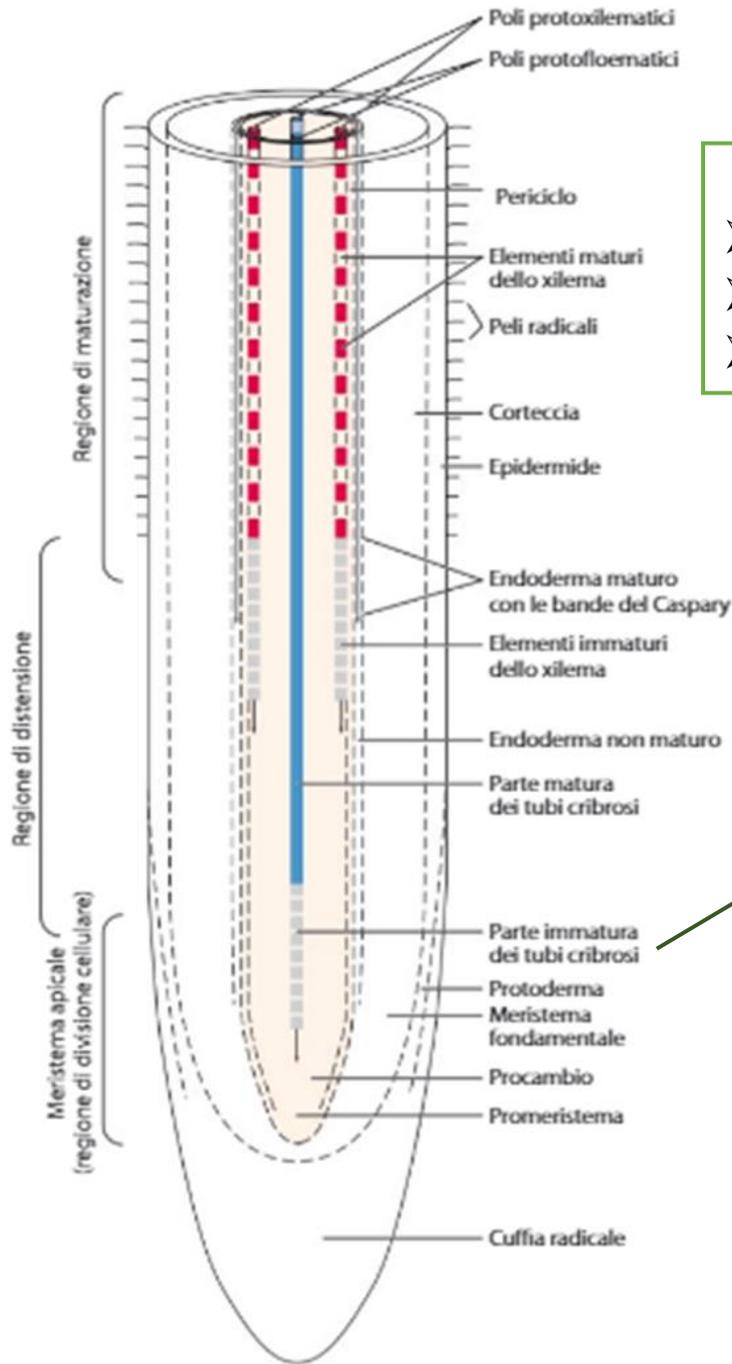
Differenziamento trasversale
(pattern radiale; lunghezza)

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

■ Xilema	■ Epidermide
■ Procambio	■ Iniziali endodermide/cortical
■ Floema	■ Centro quiescente
■ Periciclo	■ Columella/cuffia radicale
■ Endodermide	■ Iniziali epidermide/cuffia la
■ Corteccia	■ Cuffia radicale laterale

cellule dei tessuti
primari mature
(zona pilifera)

Incremento in
lunghezza (pochi mm)



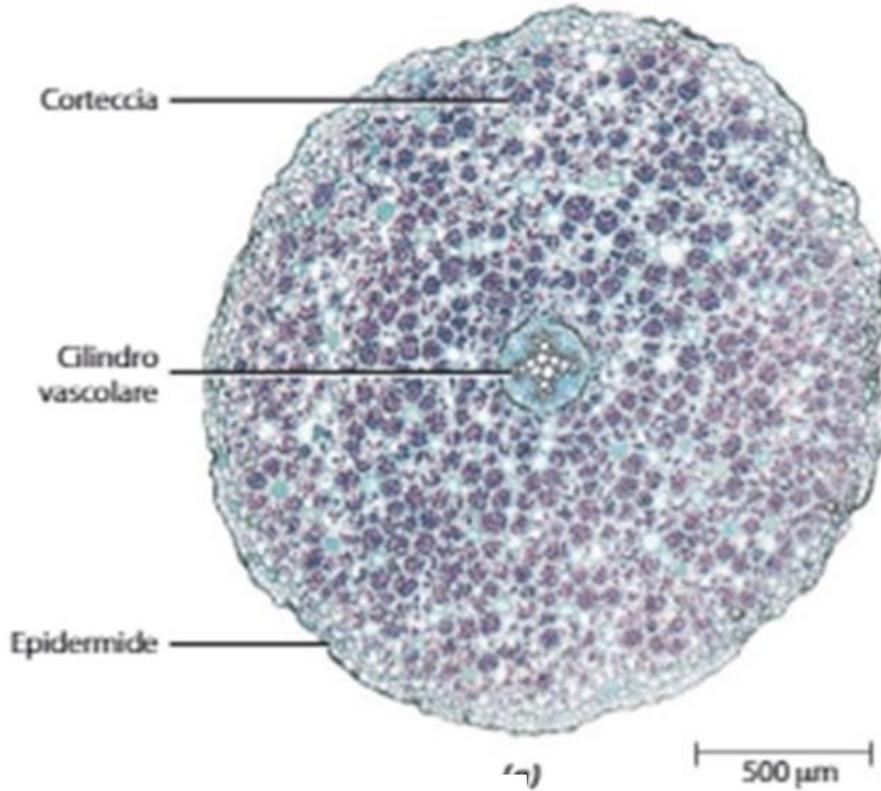
- Struttura primaria
- *Epidermide* (dermico)
 - *Corteccia* (fondamentale)
 - *Vascolare* (conduttore)

Gli elementi del floema
si forma per primi

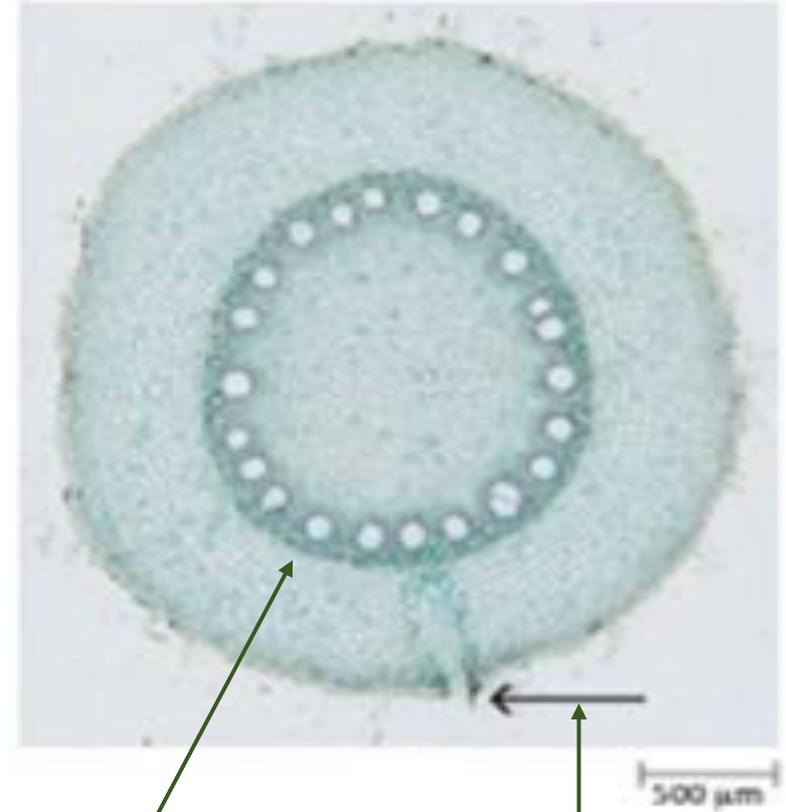
Trasporto di linfa elaborata
per la crescita delle radici

Struttura generale di una radice

Dicotiledone
Xilema e Floema centralizzati



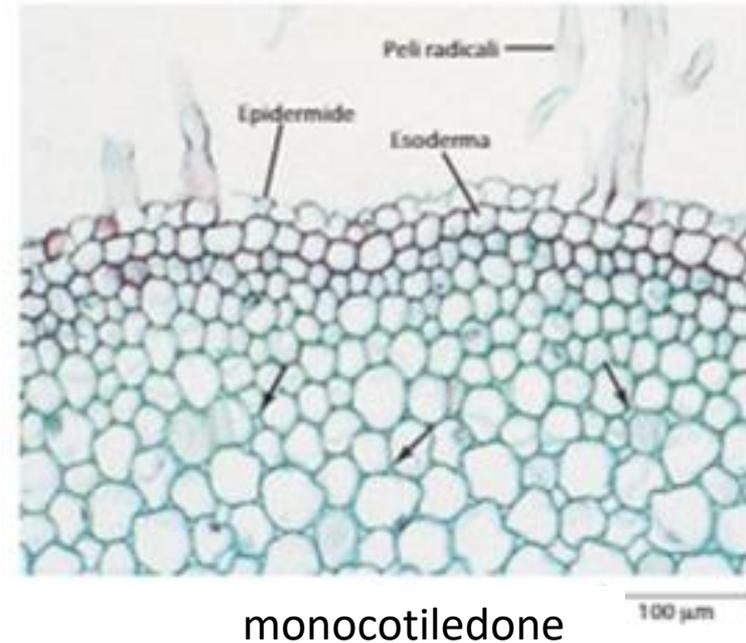
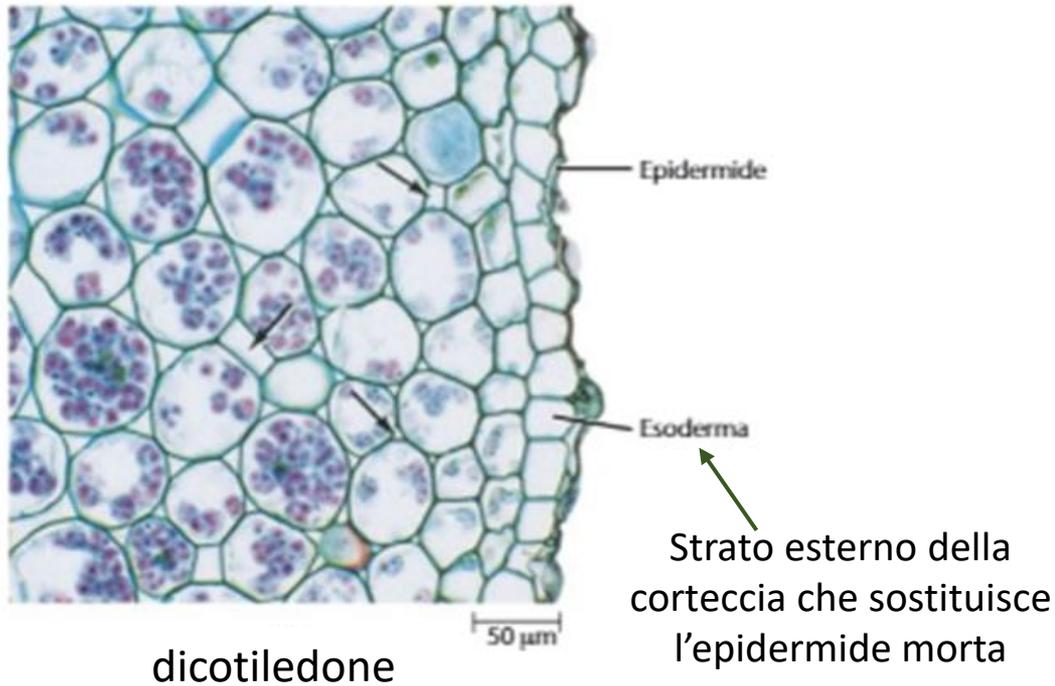
Monocotiledone
Parenchima circondato da
Xilema e Floema



Cilindro vascolare

parte di una
radice laterale

Epidermide *tessuto tegumentale*



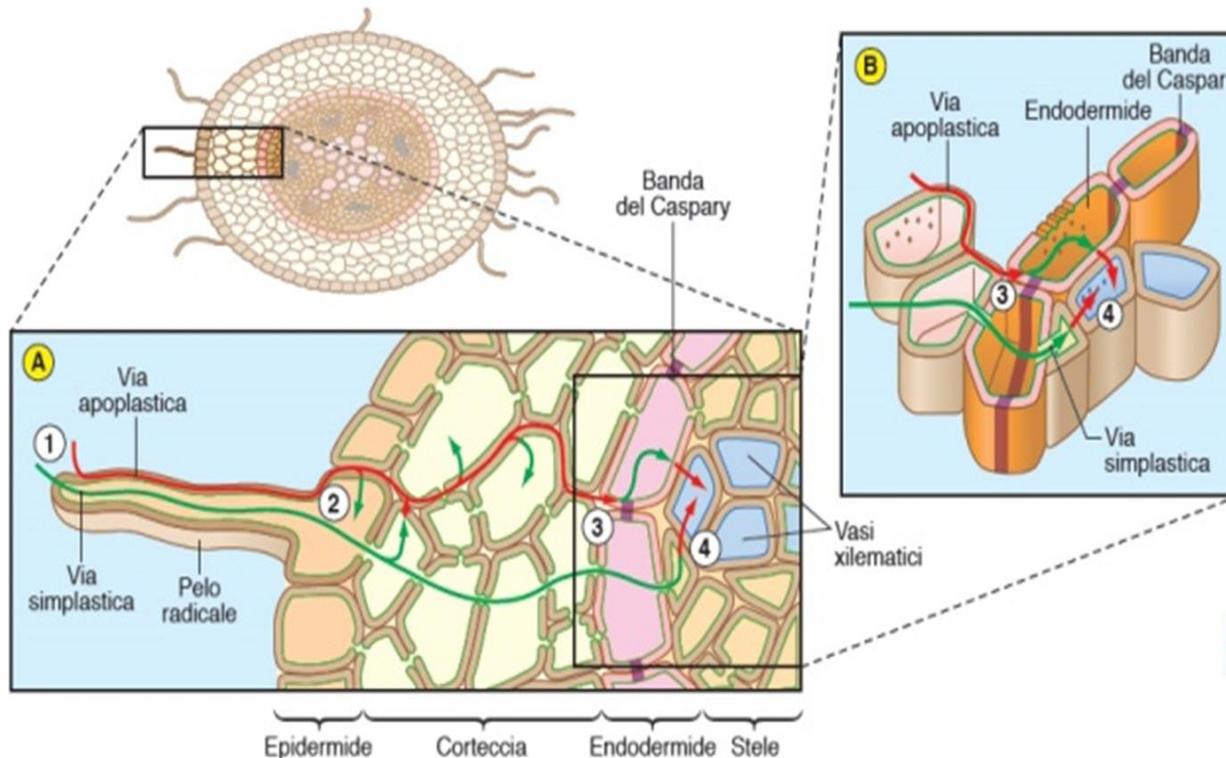
- Cellule allungate con pareti sottili e prive di cuticola
- Assorbimento di acqua e sali minerali (radici giovani e sottili)
- Presenza di peli radicali: estensioni delle cellule epidermiche che aumentano la superficie di assorbimento

Corteccia

tessuto fondamentale (parenchima, collenchima, sclerenchima)

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

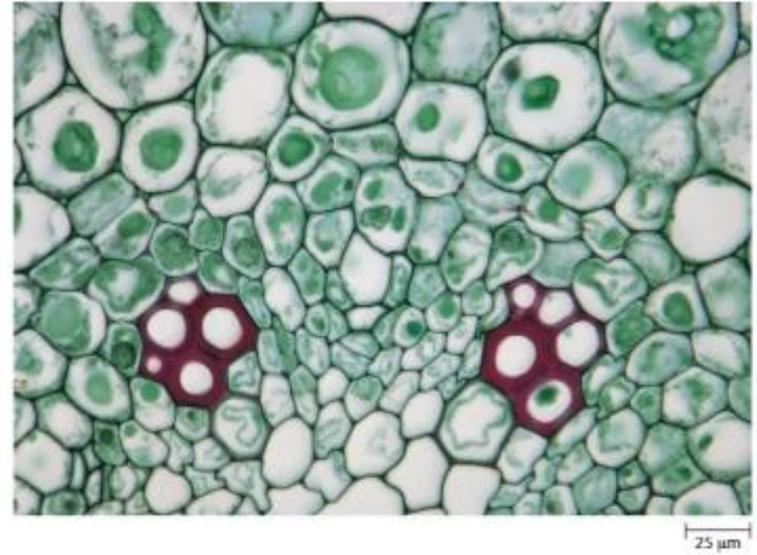
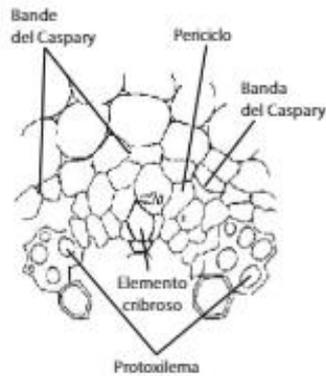
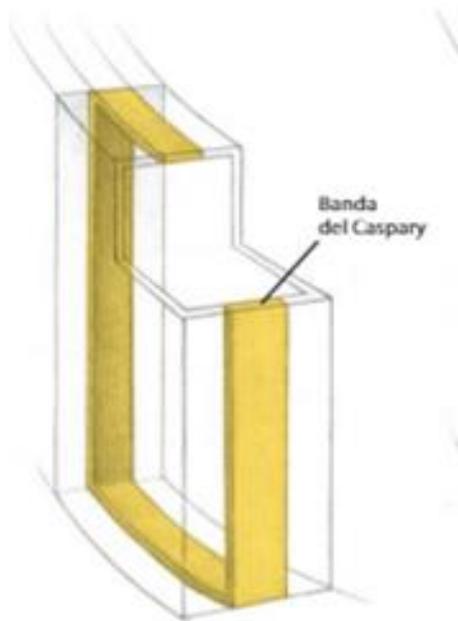
Endoderma: strato interno, compatto, formato da un cilindro di cellule le cui pareti radiali e trasversali presentano le bande del Caspary



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

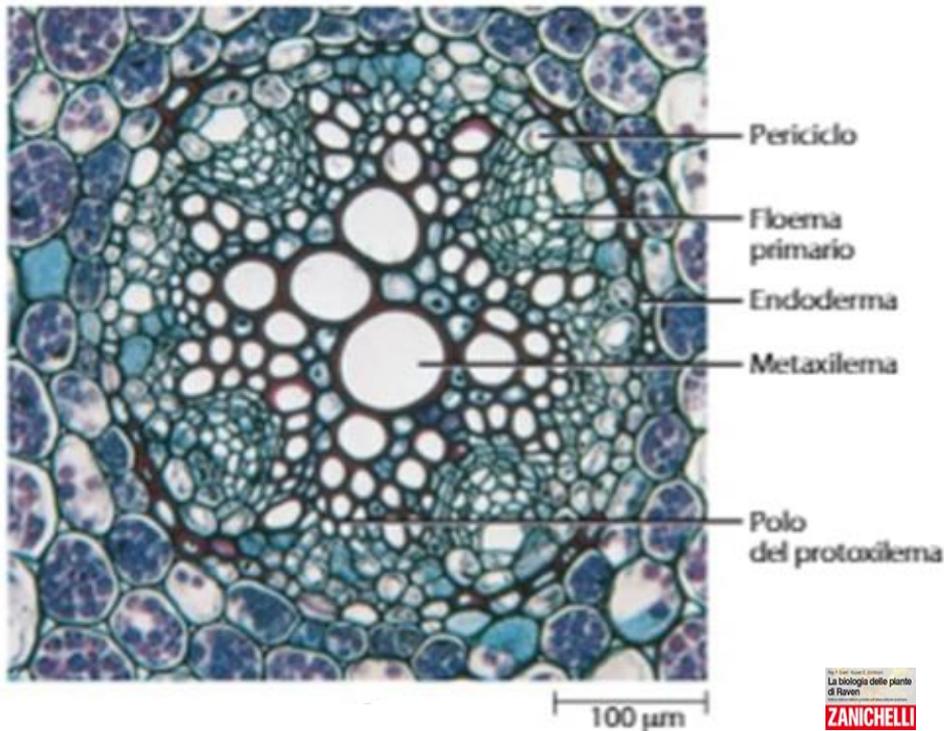
Esoderma: strato esterno della corteccia con cellule compatte e bande del caspary; le pareti suberificate impediscono le perdite di acqua e fungono da difesa per diversi patogeni

Cilindro vascolare o centrale

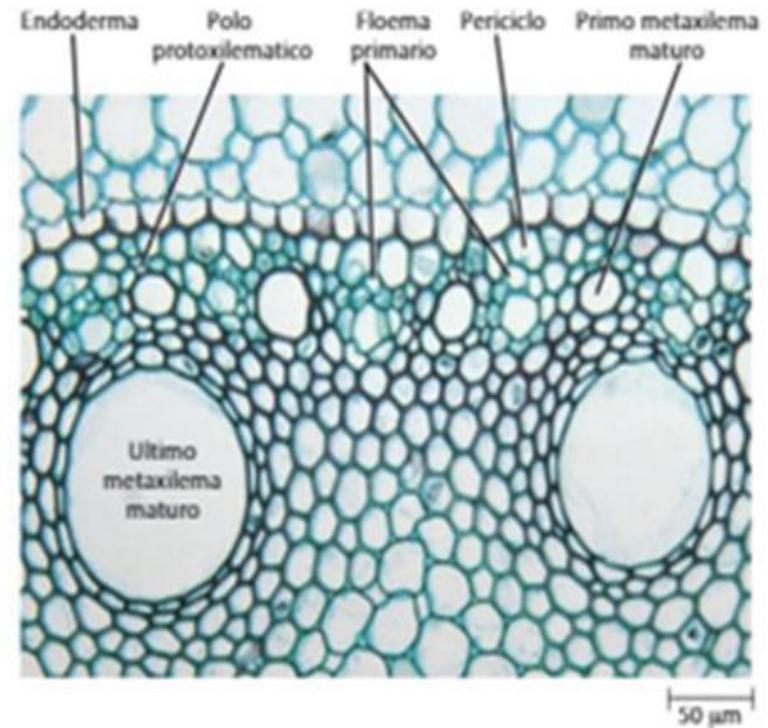
Periciclo: cellule non vascolari, origina le radici laterali, e contribuisce a formare il cambio cribro-vascolare e cambio subero-fellodermico

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

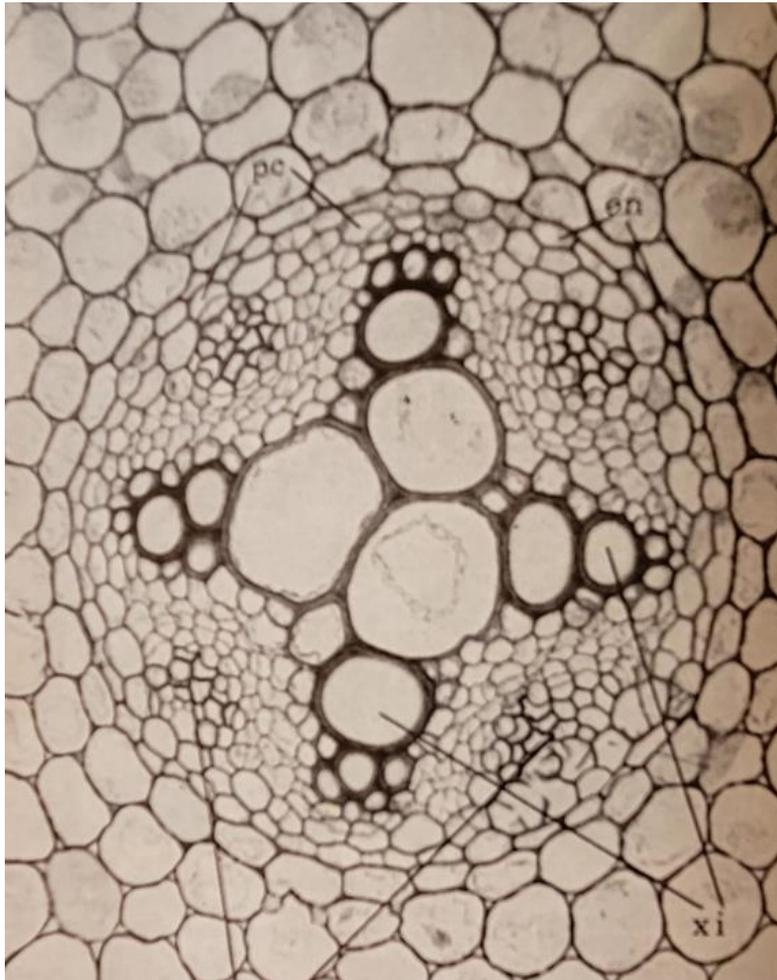
Dicotiledoni: Xilema e Floema centralizzati



Monocotiledoni: midollo (parenchima) circondato da Xilema e Floema

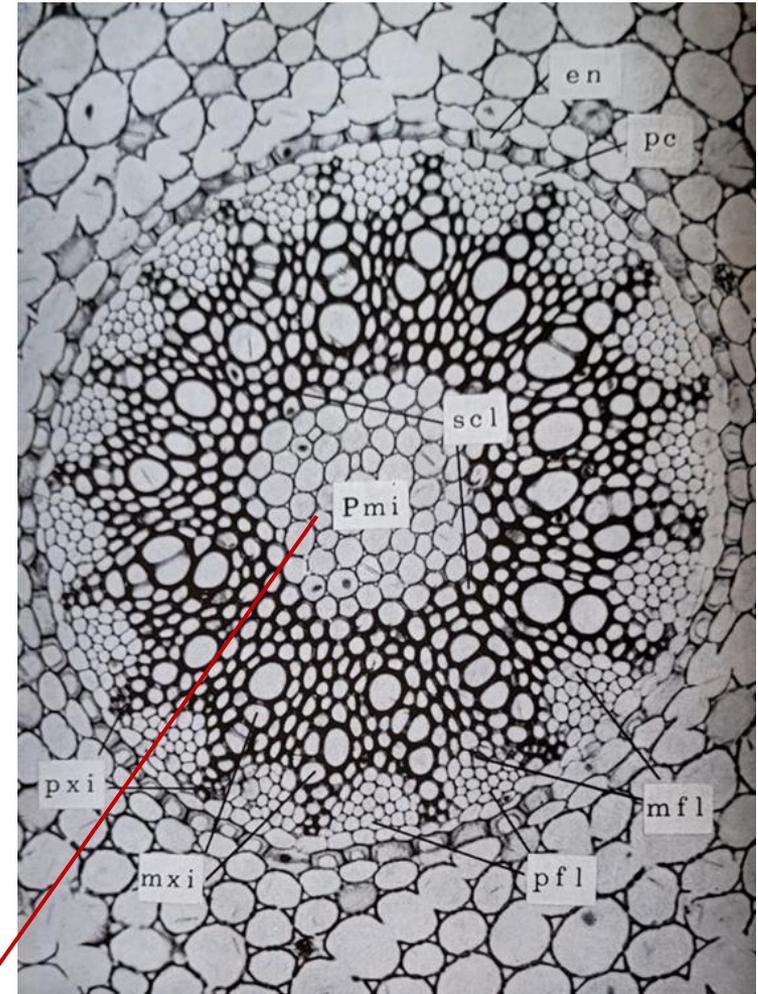


sezione trasversale di una struttura primaria di una radice di dicotiledone



fl, floema

sezione trasversale di una struttura primaria di una radice di monocotiledone

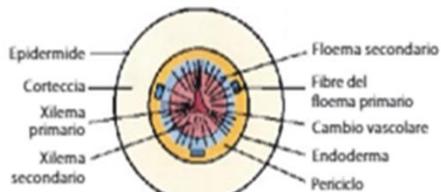


midollo

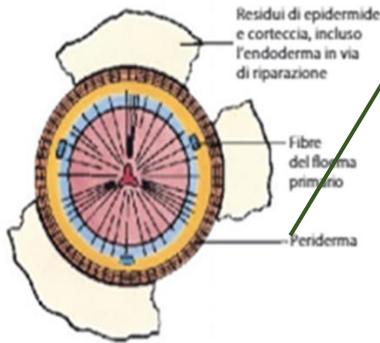
Crescita secondaria

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

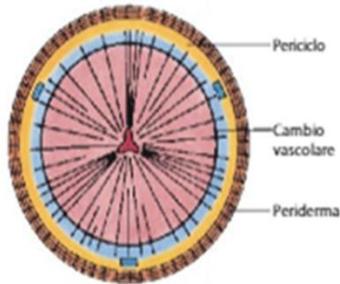
Sviluppo SECONDARIO



(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

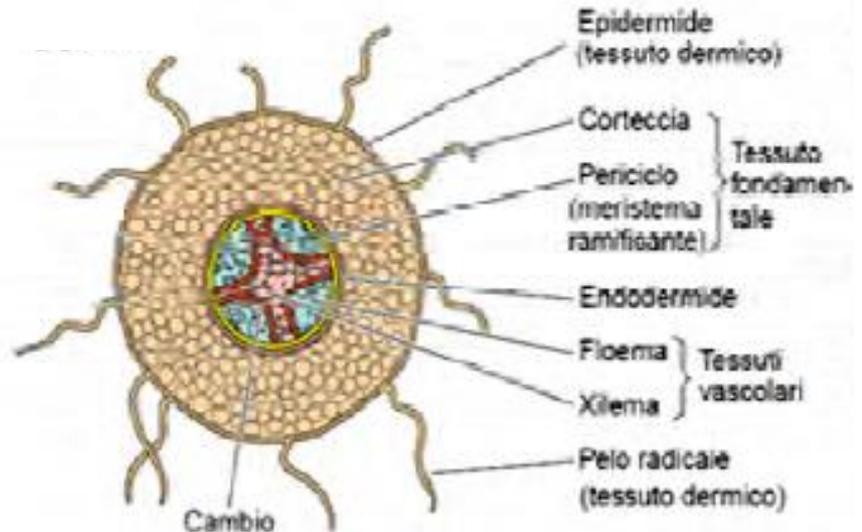
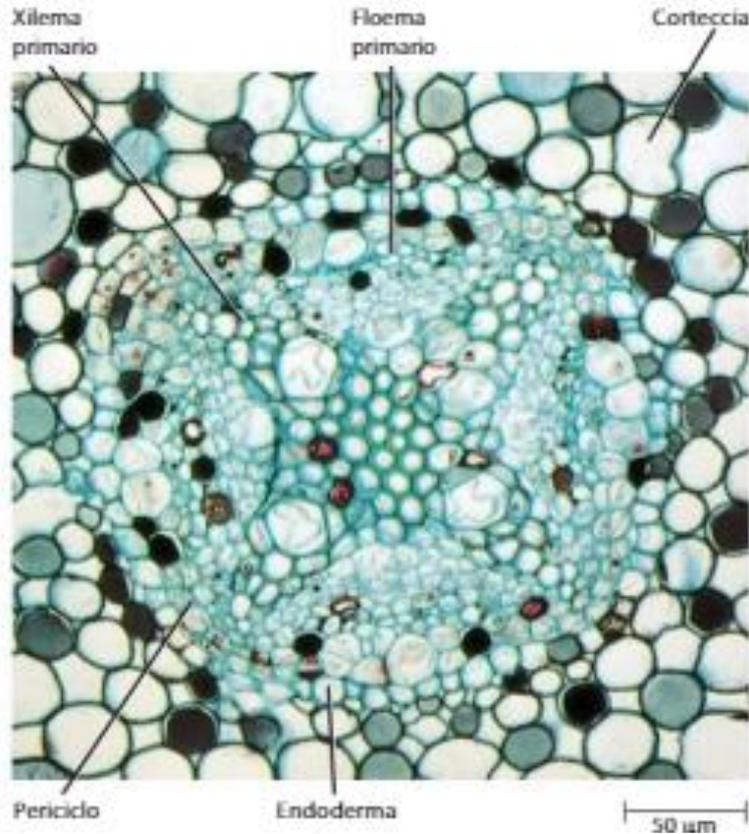
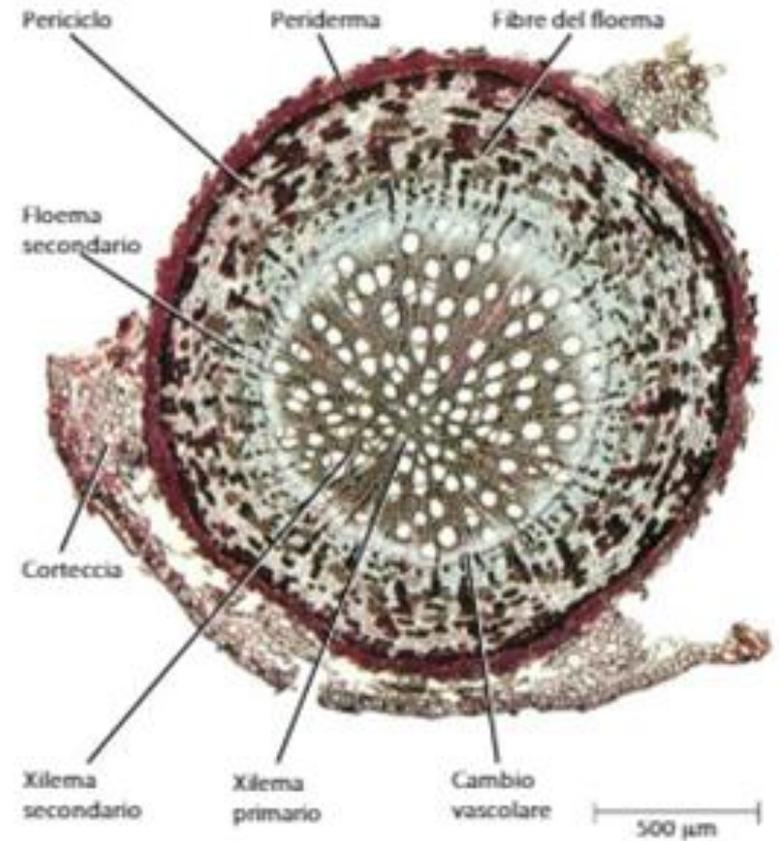


Foto dal Web

Crescita primaria e secondaria di una radice di dicotiledone



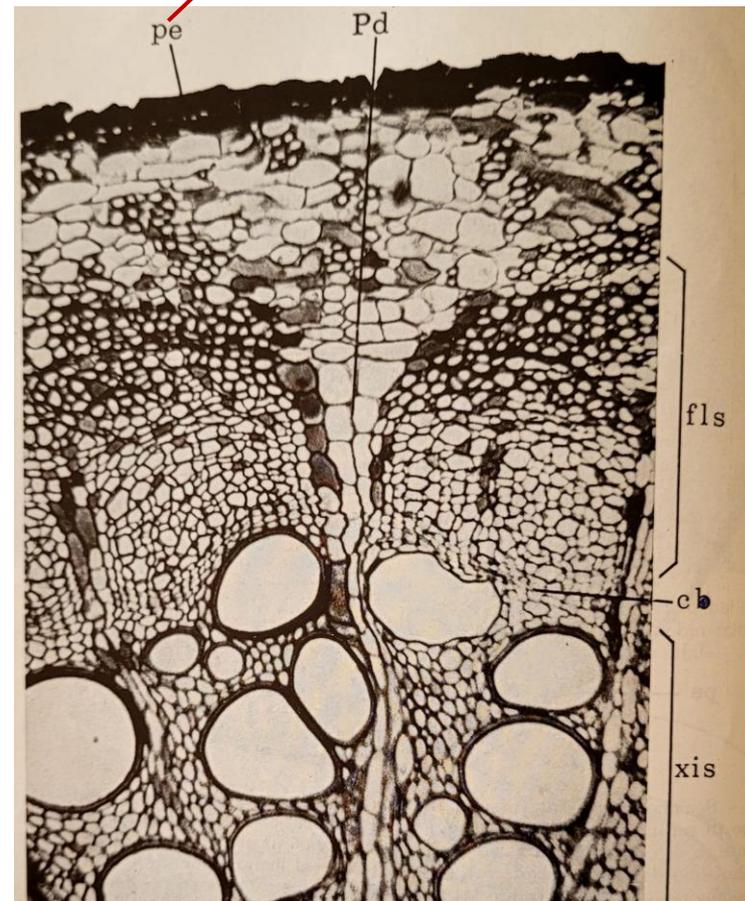
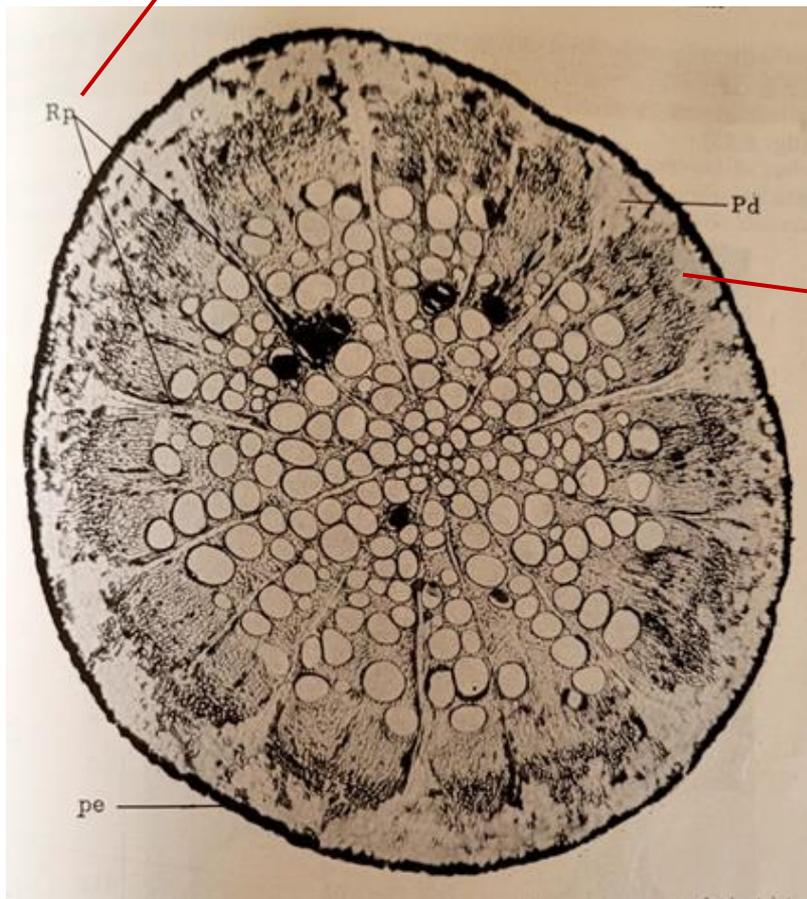
Cilindro vascolare primario
dopo il primo anno di sviluppo



Cilindro vascolare secondario

raggi parenchimatici

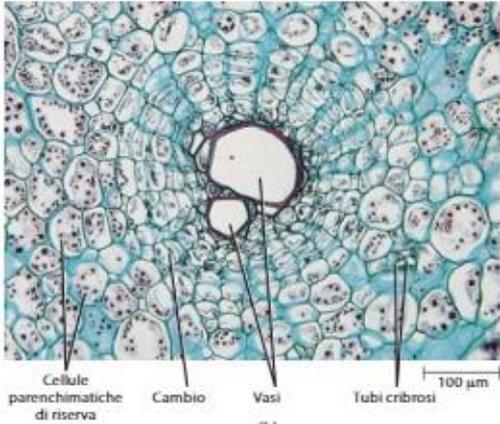
periderma



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)

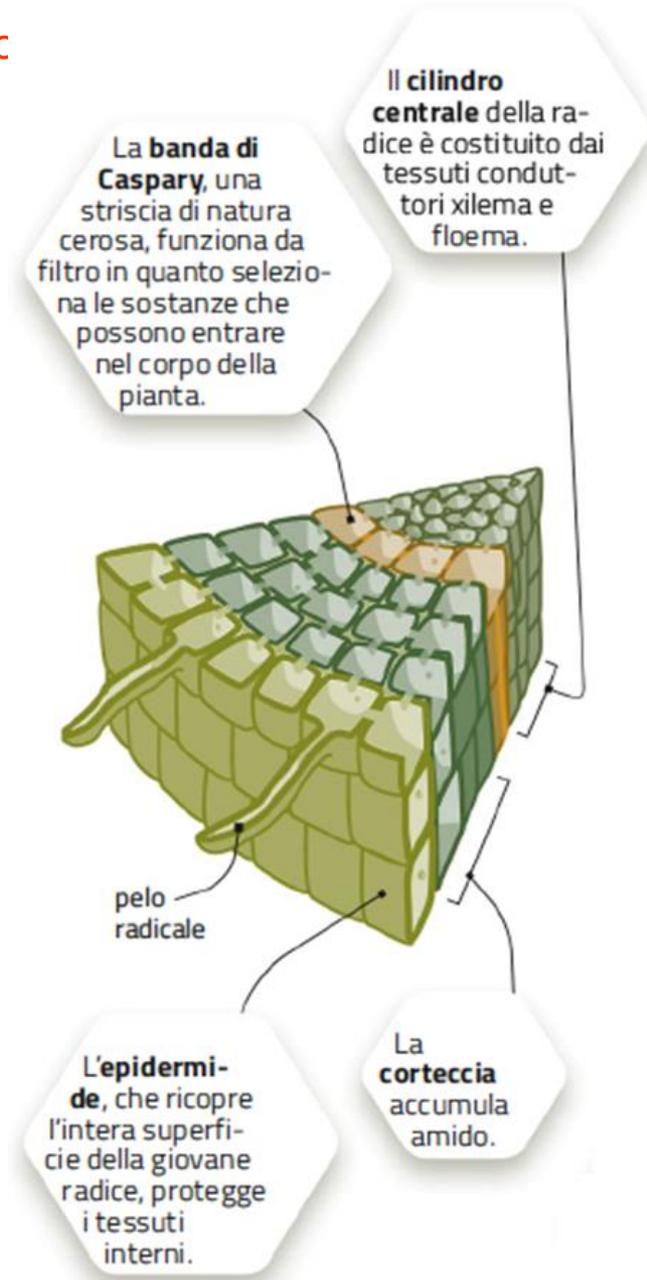
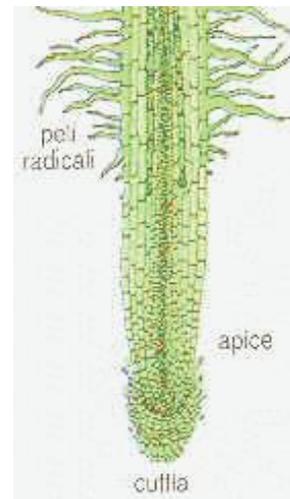


Organo sotterraneo con le seguenti funzic

- 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

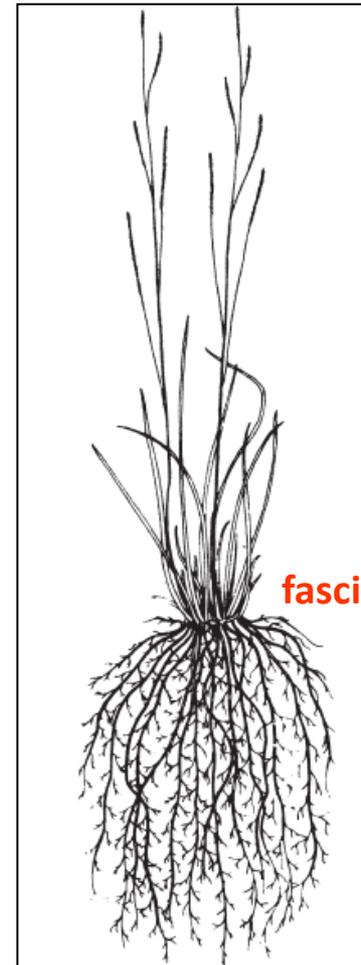
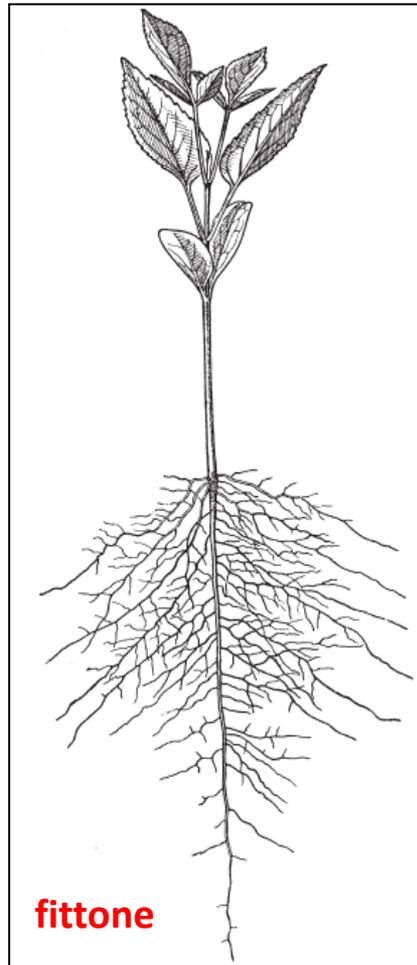
Sono presenti le gemme



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

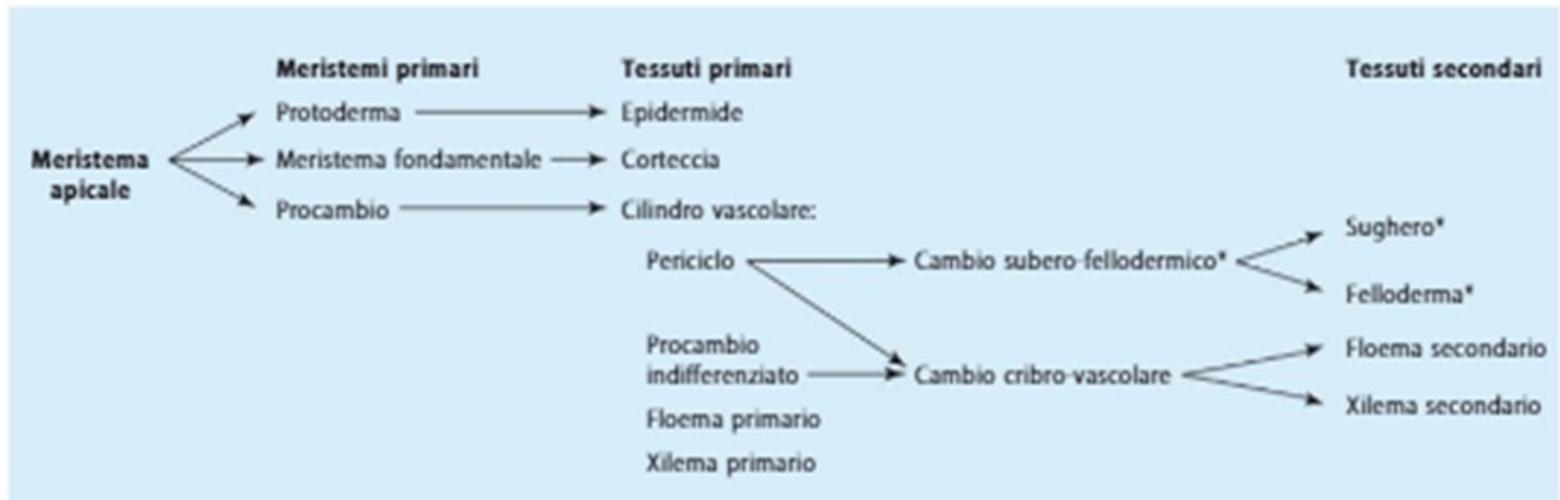
radici fascicolate: le radici secondarie raggiungono uguali dimensioni della radice principale e si dispongono in fascetti, sviluppa più in ampiezza che in profondità

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



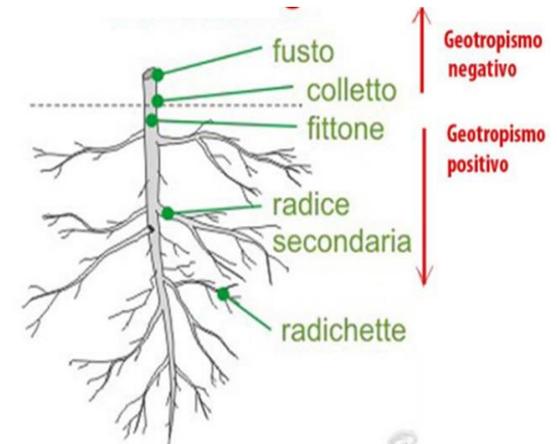
*Nel loro insieme costituiscono il periderma

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



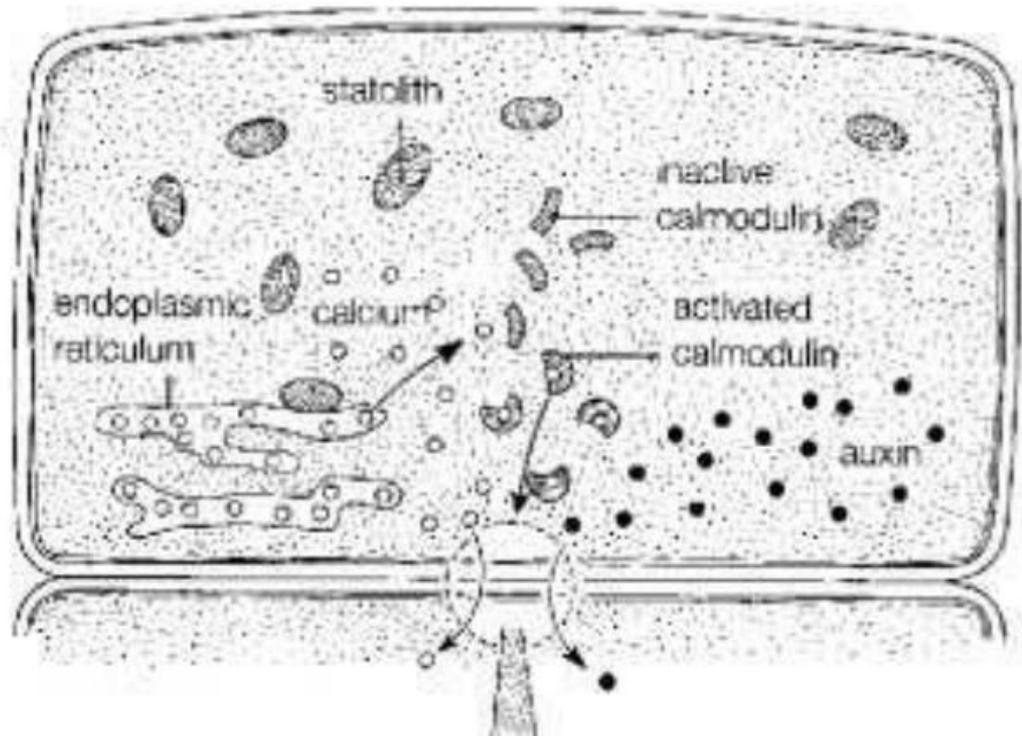
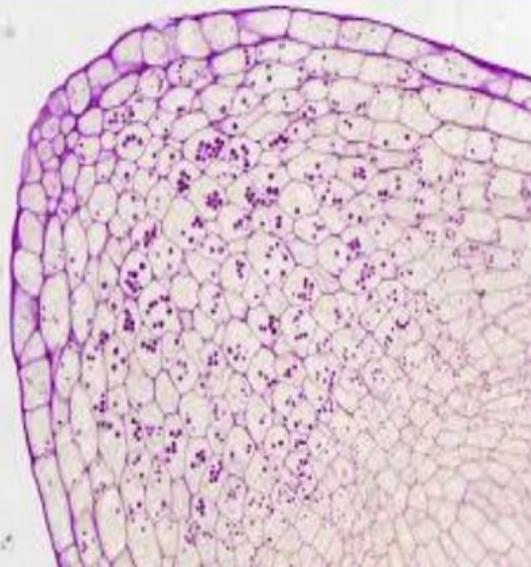
La radice, qualsiasi sia la posizione del seme, si piega verso il basso e cresce dirigendosi verso il centro della Terra, attratta dalla forza di gravità

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

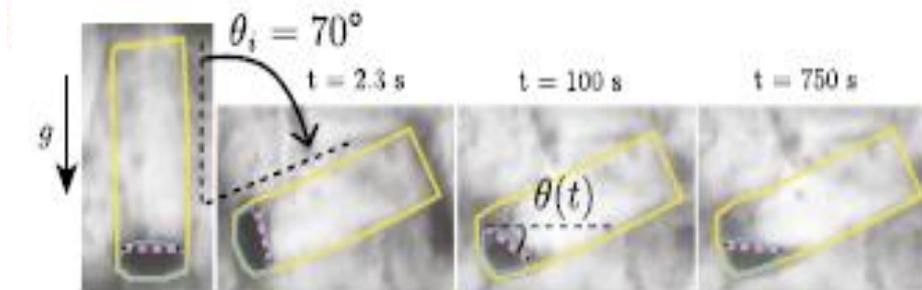
Ridistribuzione di AUXINA nella radice

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

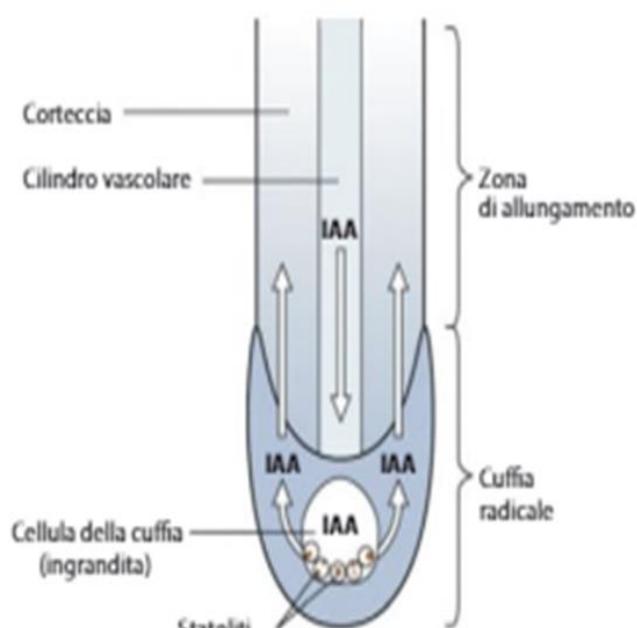
Nella radice l'accrescimento è guidato da un gradiente *decrescente di auxina*: nei tessuti non impegnati nell'incurvamento viene accumulata una quantità di auxina sovraottimale e autoinibente l'accrescimento

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

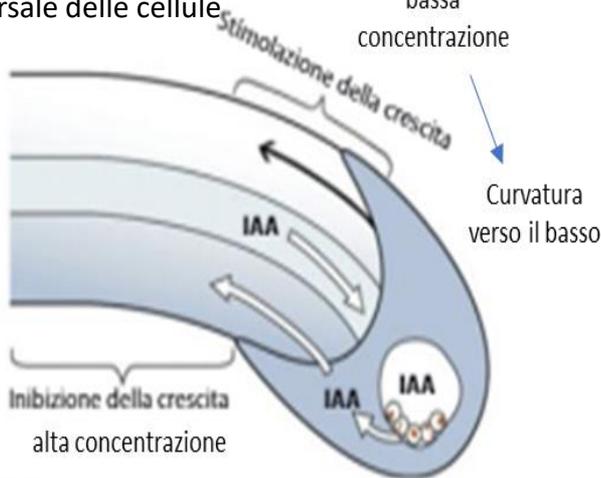


L'auxina inibisce la distensione cellulare nello strato più basso inducendo la curvatura della radice verso il basso perché le cellule del lato più alto si espandono più velocemente



sedimentano nella parete trasversale delle cellule

bassa concentrazione

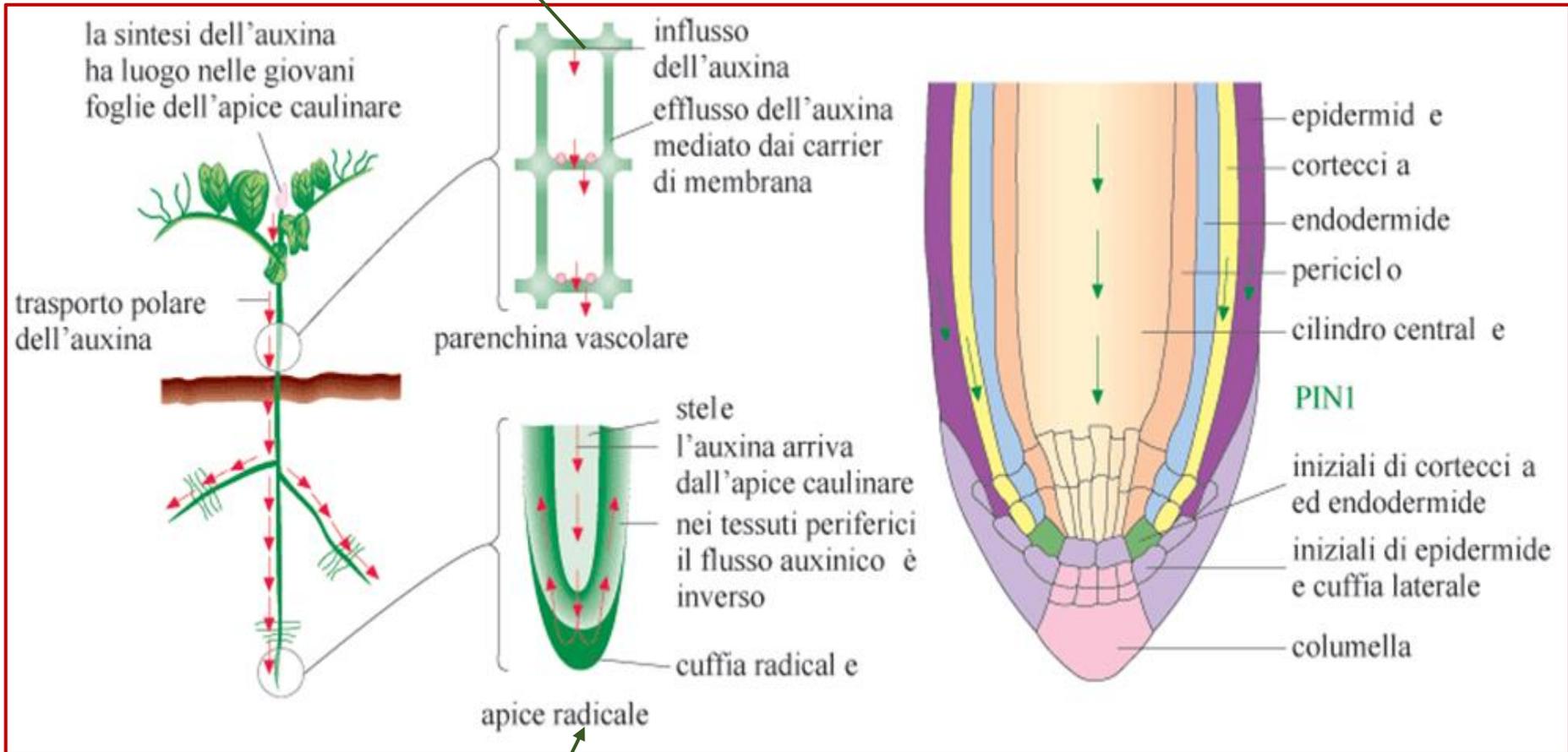


Gli statoliti scivolano verso il basso

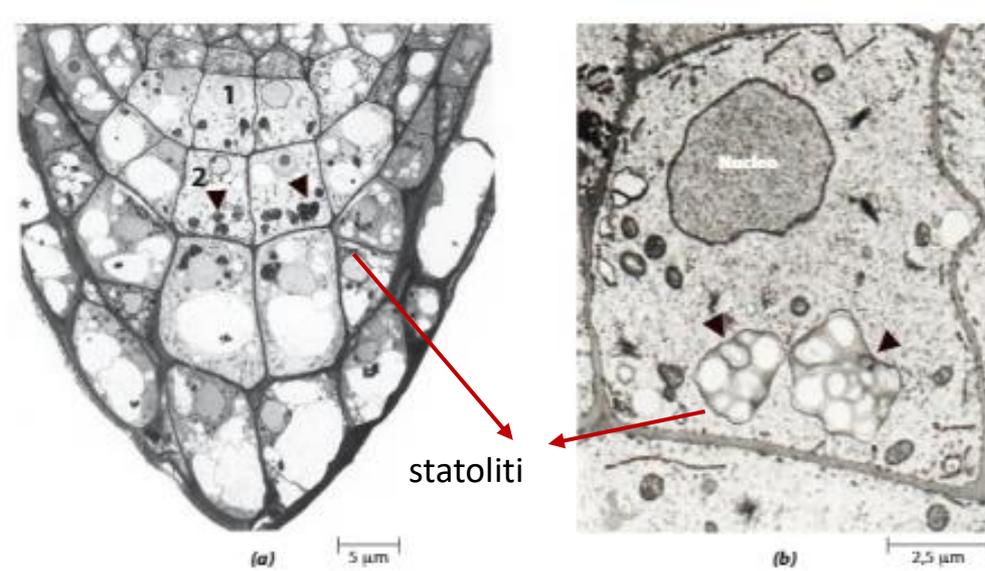
Il movimento degli statoliti determina la percezione della gravità da parte delle radici

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

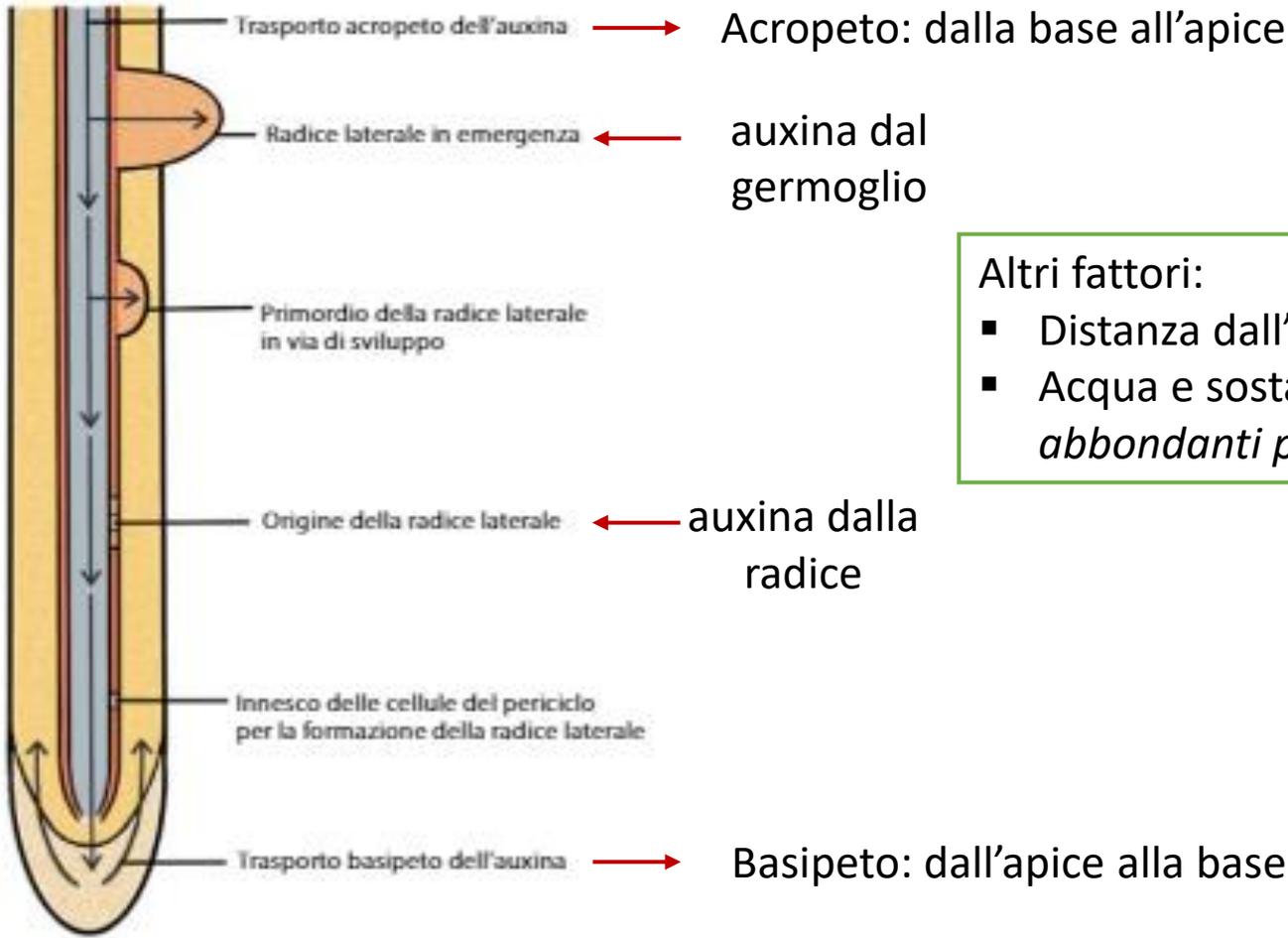
Tessuti diversi rispondono in modo diverso allo stesso segnale ormonale

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

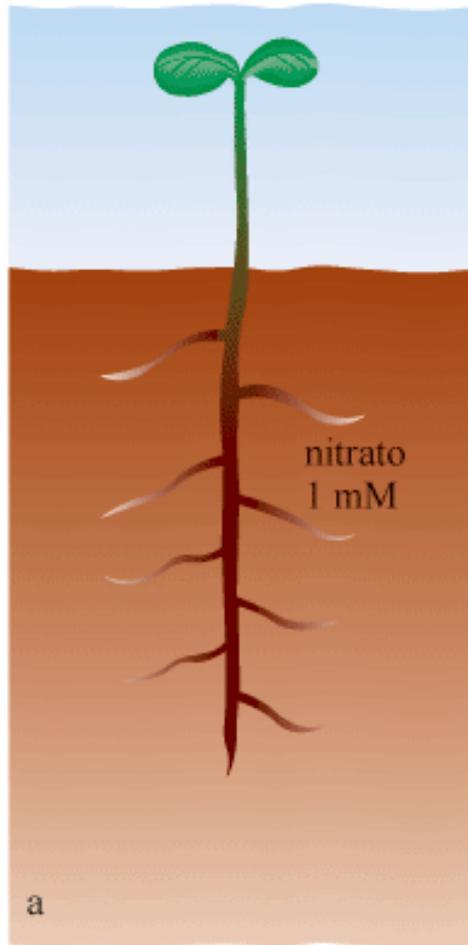


Altri fattori:

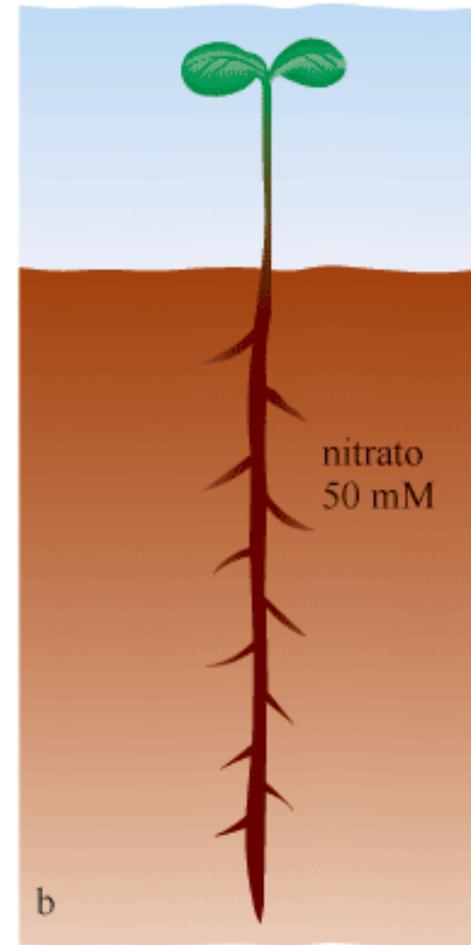
- Distanza dall'apice
- Acqua e sostanze nutritive nel terreno: *abbondanti più radici laterali*

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



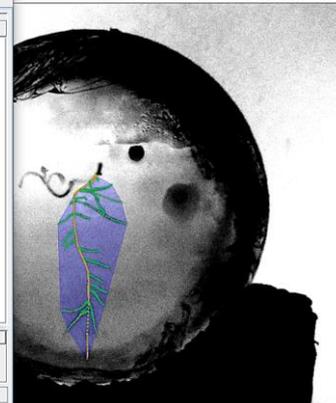
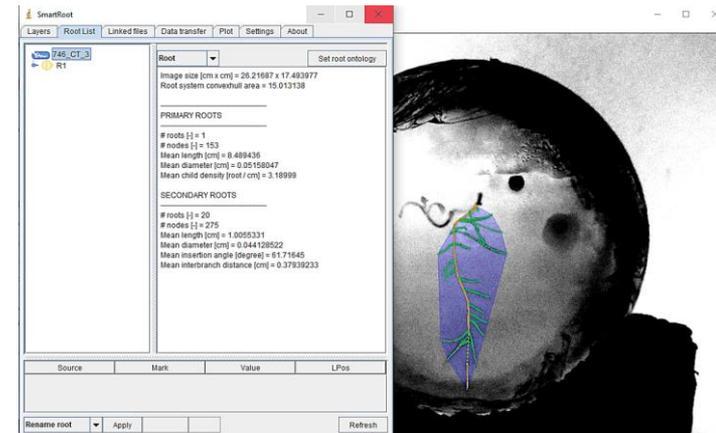
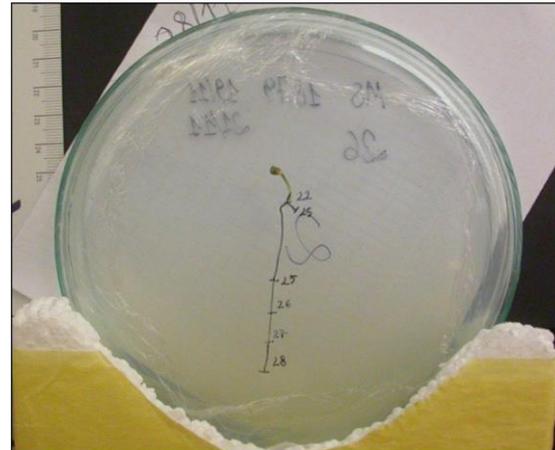
Le radici laterali restano corte mentre la radice primaria si allunga

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)