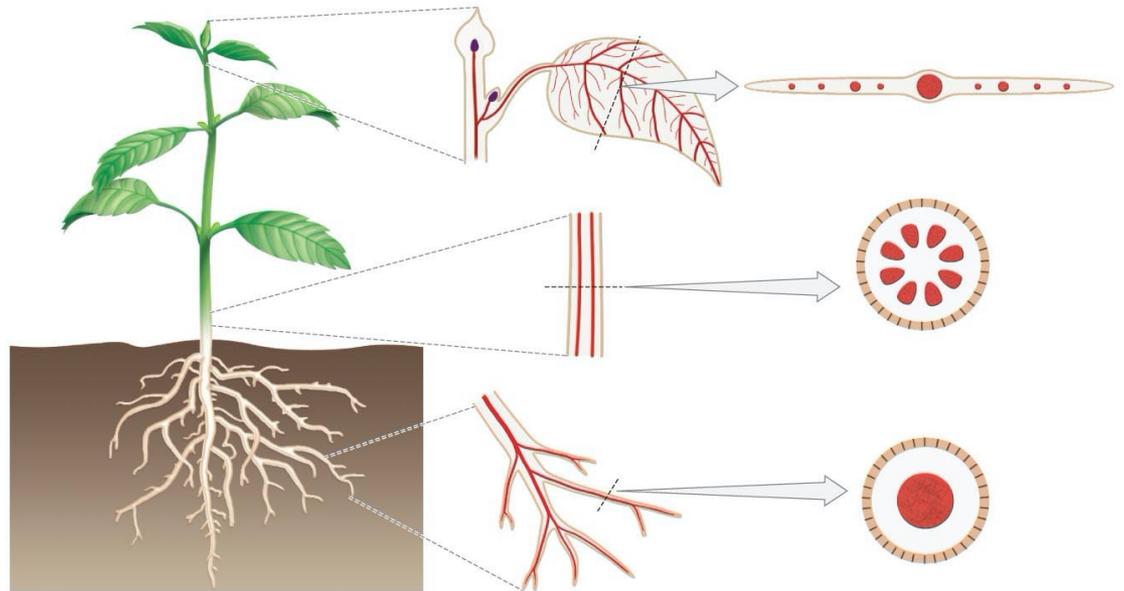


# Germinazione dei semi - Anatomia sviluppo degli organi

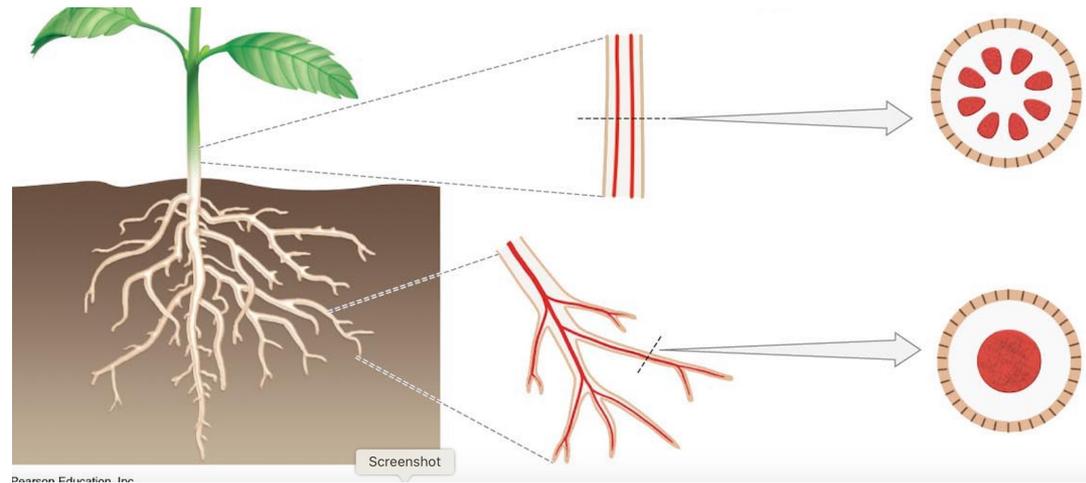
1. Semi delle dicotiledoni e delle monocotiledoni
2. Germinazione dei semi e sviluppo del germoglio
  - a) Mantenimento e rimozione della dormienza dei semi
  - b) Esempi di stimoli presenti in natura (fisici, chimici)

3. La radice – anatomia e sviluppo

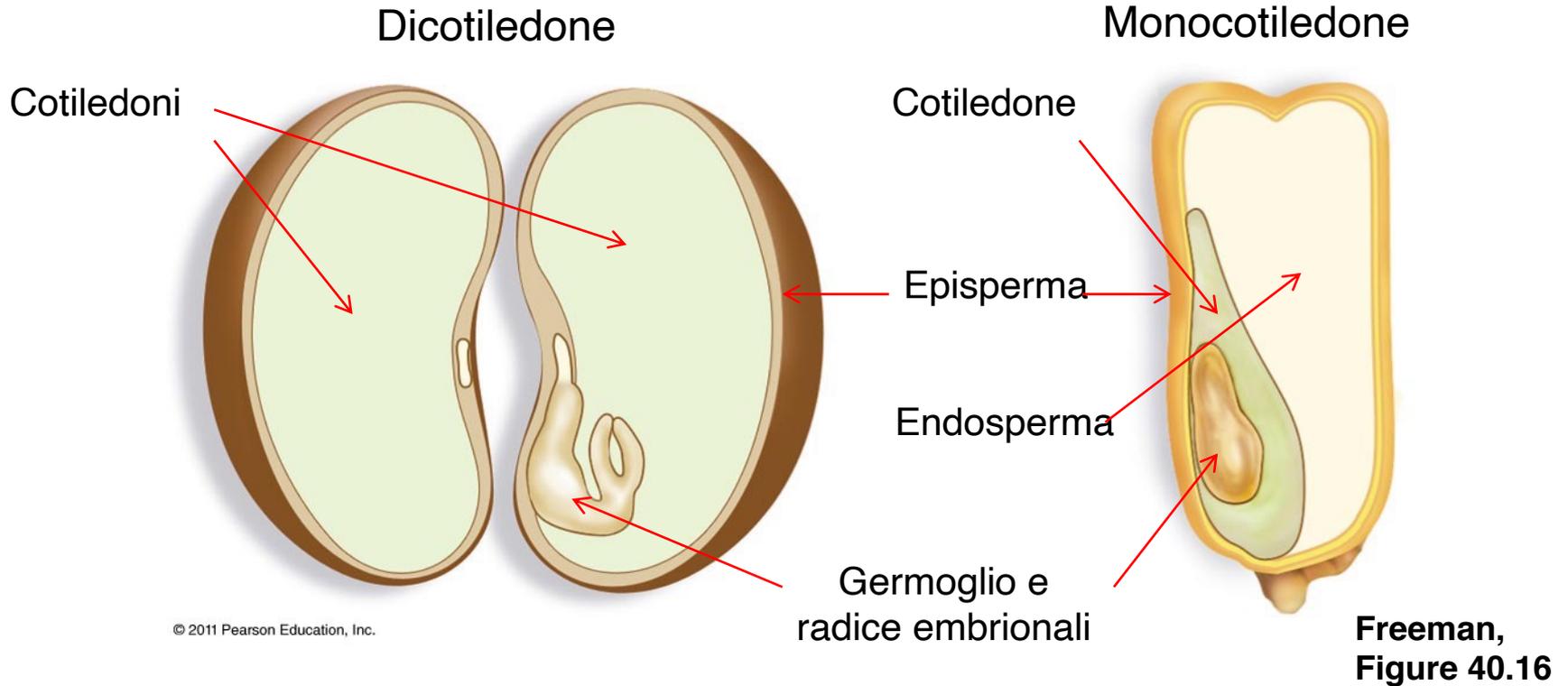


# Alla fine di questa lezione, dovrete essere capaci di:

- Descrivere l'anatomia generale di un seme e identificare le differenze fra monocotiledoni e dicotiledoni;
- Spiegare il meccanismo generale della germinazione dei semi, includendo i fattori che la inibiscono e la stimolano ;
- Disegnare la **sezione trasversale di una radice** tipica e indicare tutti i tessuti e le cellule presente



# Cos'è un seme? Struttura riproduttiva delle piante con semi, i gimnosperme ed gli angiosperme

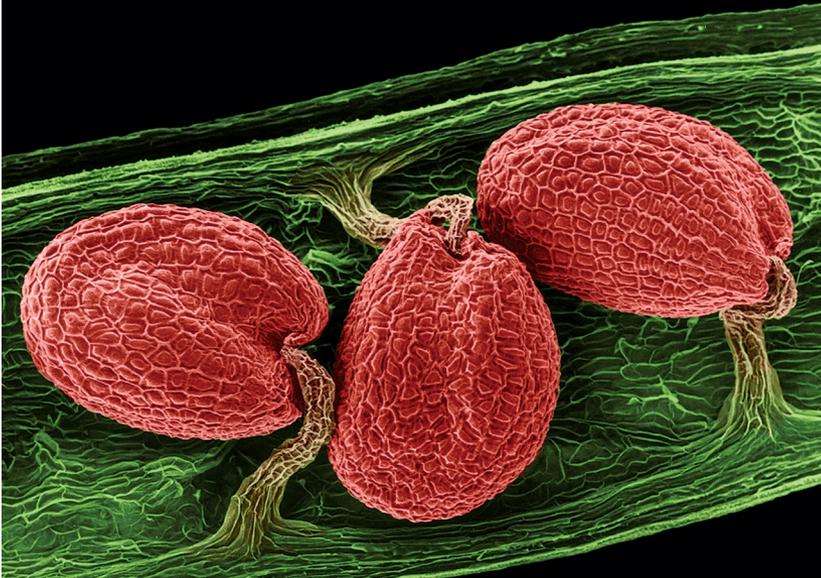


Nei semi si riconoscono le seguenti componenti principali:

1. Embrione (2N) (diploide)
2. Endosperma (3N doppia fecondazione) (tessuto di riserva)
3. Il tessuto tegumentale – l'episperma (2N; dallo sporofito materno)

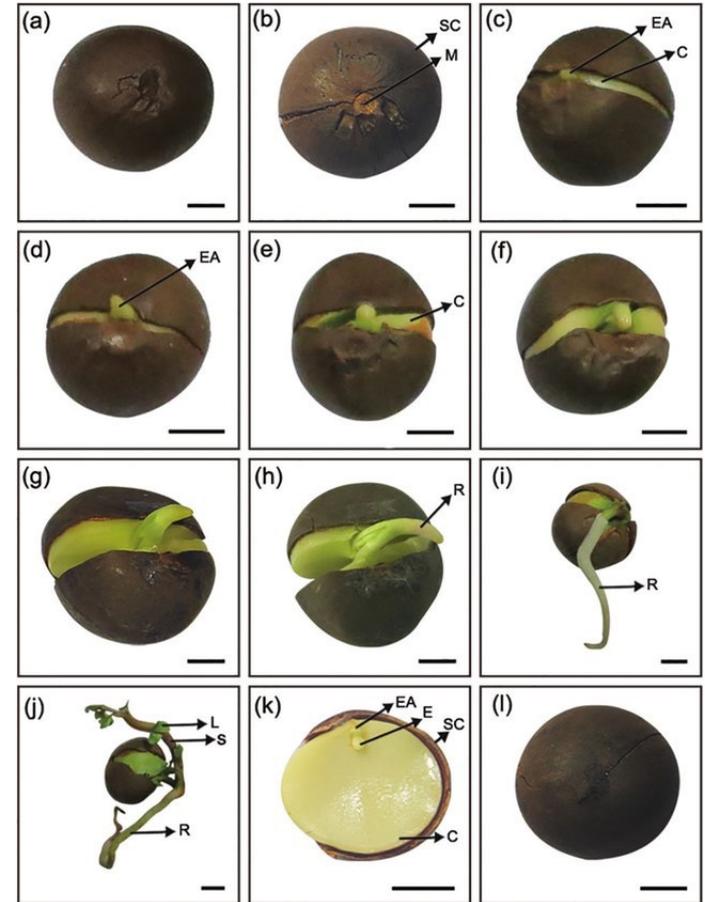
## Nel ciclo vitale di un seme esistono due fase generale:

**Dormienza:** condizione di arresto della crescita e del metabolismo



Credit: Dennis Kunkel microscopy/science source

**Germinazione:** inizio/ripresa della crescita da parte di un seme



# Quiescenza e dormienza dei semi

## Quando comincia?

Prima della dormienza, lo zigote contenuto nel seme subisce tre fasi dell'embriogenesi e preparazione:

- 1) un periodo di divisione cellulare e differenziazione dei tessuti embrionali (**embriogenesi**); proliferazione del tessuto dell'endosperma;
- 2) le divisioni cellulari cessano e le riserve di stoccaggio si accumulano;
- 3) i semi si disidratano, il metabolismo si ferma e il seme entra in una fase di quiescenza

## Qual è la differenza fra i semi quiescenti e dormienti?

I semi quiescenti germinano con acqua; i semi dormienti hanno bisogno acqua + altro(i) stimolo(i)

## Cosa succede durante dormienza? C'è qualche aspetto attivo?

Spesso, alte concentrazioni di acido abscissico mantengono la dormienza dei semi; una forma di dormienza embrionica (endogena)

Ci sono due diversi tipi di dormienza:

- 1) **Esogena**: legata a fattori **esterni** all'embrione (permeabilità dell'episperma a gas e acqua, o la resistenza dell'episperma nei confronti della pressione determinata dalla crescita dell'embrione).
- 2) **Endogena**: legata a fattori **interni** all'embrione (un cambiamento **chimico** è necessario per riattivare la crescita dell'embrione; l'embrione è ancora immaturo).

# **Cos'è la germinazione? L'inizio della crescita o la ripresa della crescita**

Fattori che determinano l'uscita del seme dalla dormienza:

**Acqua** – I semi devono assorbire acqua!

**Luce** – spesso richiesta per le piante con semi piccoli; ciò coinvolge i sensori di luce rossa (620-700 nm) e rosso-lontana (700-800 nm) presenti (fitocromi)

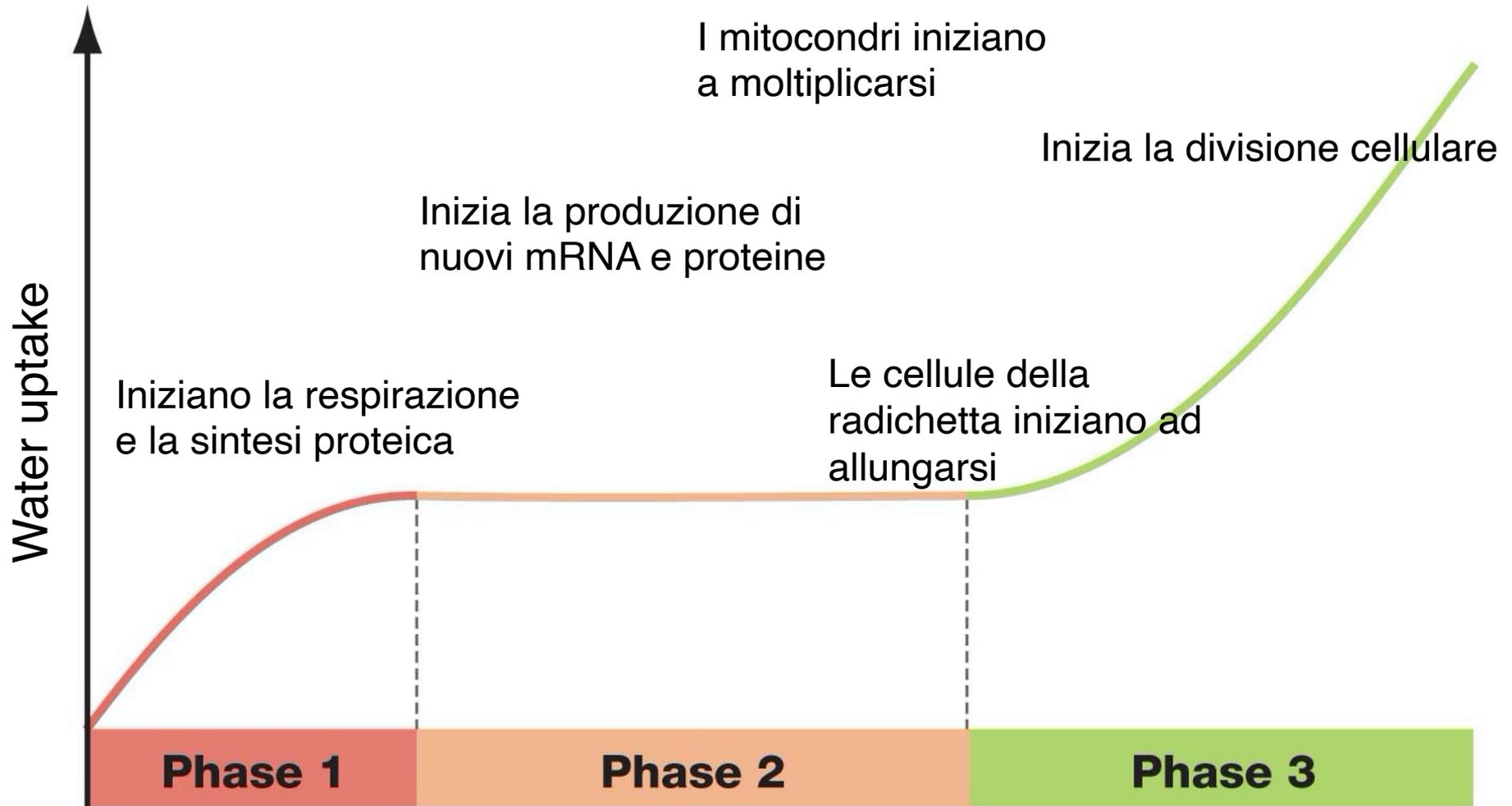
**Temperatura** – Alcuni semi hanno bisogno di un periodo freddo (vernalizzazione)  
- Il suolo dovrà stare sopra una certa temperatura (caratteristica di ogni specie)

**Variazioni nel rapporto tra ormoni:**

- Una riduzione nella concentrazione di acido abscissico (ABA)
- Un aumento nella concentrazione di acido gibberillico (GA)

**Conversione delle riserve lipidiche in carboidrati:** l'endosperma è fondamentale in quanto contiene una riserva d'amido, lipidi e proteine per lo sviluppo del germoglio

Con l'assorbimento dell'acqua, ha inizio il processo di germinazione:



Freeman, Fig. 40.20

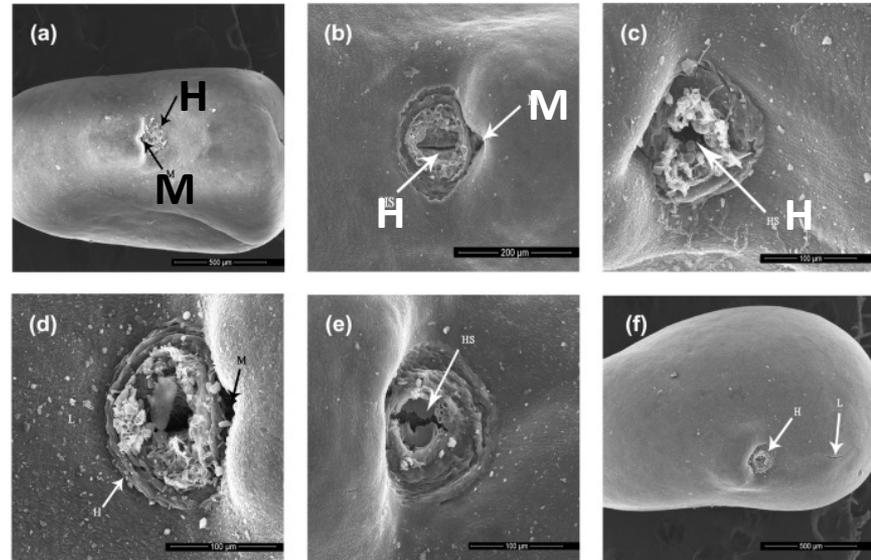
# La germinazione del seme

Se l'acqua è importante per l'uscita dalla dormienza, quali fattori possono influenzare la permeabilità del tegumento?

1. Lo spessore dell'episperma

2. L'apertura del 'water-gaps': i pori nell'episperma dove l'acqua può entrare possono essere aperti grazie ad alcuni fattori:

- variazioni di temperatura;
- esposizione agli acidi;
- scarificazione fisica (i sassi, la tessitura del suolo);



Electron micrographs of (a) untreated impermeable seed; (b) whole view of impermeable seed treated in HCl for 15 minutes; (c) close-up of lens region in 15 minutes HCl treated (d) 30 minutes HCl treated (e) lens region in 45 minutes HCl treated; (f) whole seed view after 45 minutes HCl treated; (g) close-up of cracks in 45 minutes HCl treated; (h) whole seed view after 90 minutes HCl treated; (i) whole seed view after 90 minutes HCl treated showing smaller cracks; (j-l) completed damaged coats after 90 minutes HCl treated *Astragalus adsurgens* seeds. H, hilum; M, micropyle; HS, Hilar slit; L, lens; C, cracks.

**Hilum (H):** una cicatrice o un segno sulla superficie dell'episperma che indica il punto di precedente attacco alla parete dell'ovaio

**Micropilo (M):** Una piccola apertura nella episperma dove uscirà il radicale primario durante la fase di germinazione

Per i semi piccoli, la luce può stimolare germinazione:



Dark



Red



Red Far-red



Red Far-red Red



Red Far-red Red Far-red

Quale condizione stimola la germinazione dei semi di lattuga?

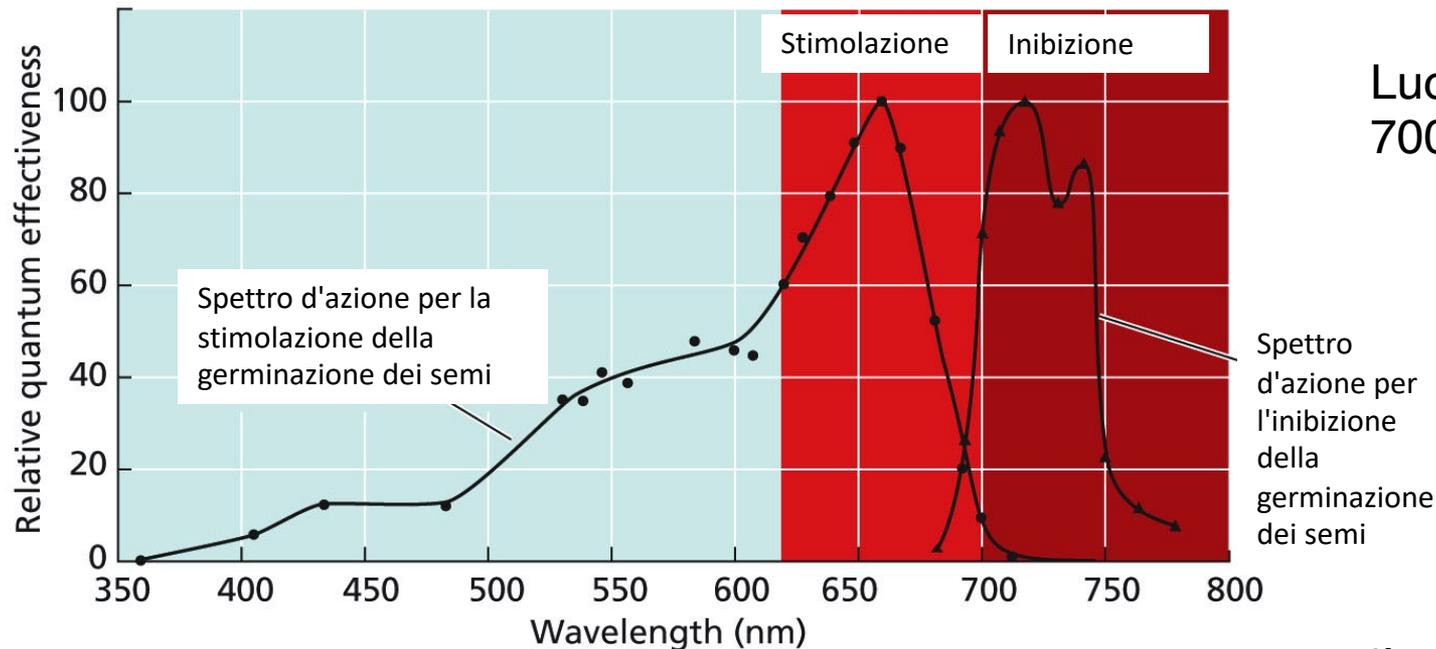
**Rosso!**

Figure 17.2 of Taiz & Zeiger

# Luce e germinazione: I fitocromi

I **fitocromi** sono sensori di luce rossa e rossa lontana che regolano alcuni processi (inclusa la germinazione di alcuni semi) e la morfologia dello sviluppo nelle piante

## Spettri d'azione per la risposta del seme alla luce



Luce rosso:  
620 – 700 nm

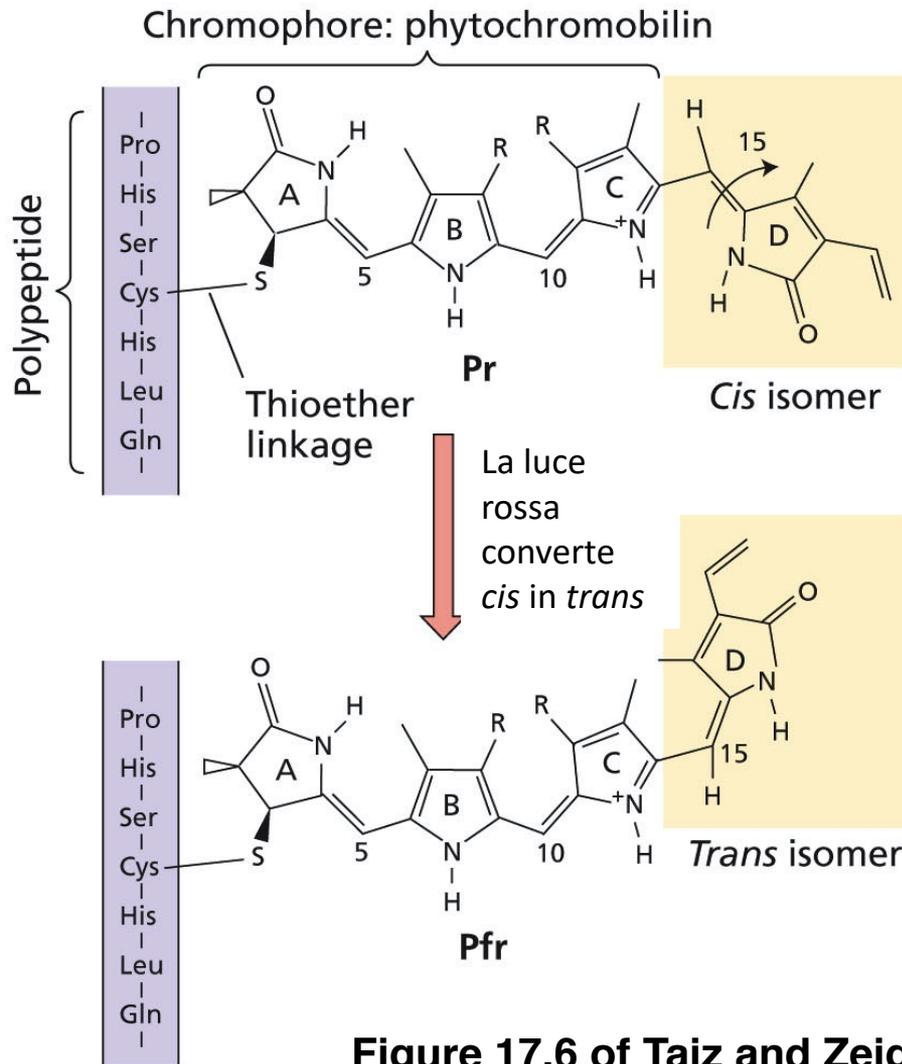
Luce rosso lontana:  
700 – 800 nm



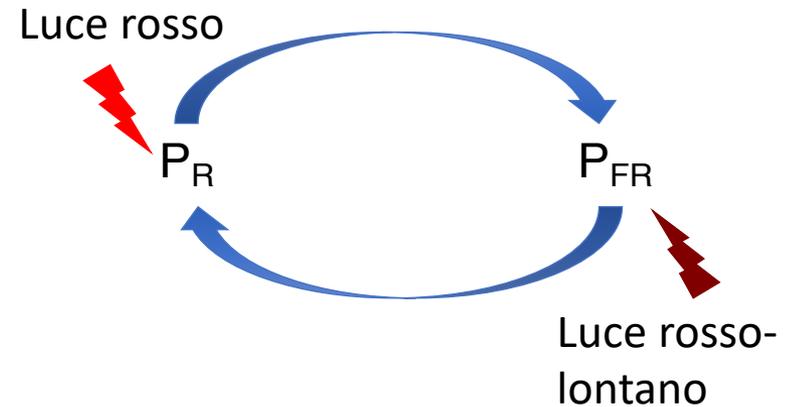
**Spettri d'azione:** Una rappresentazione grafica della grandezza di una risposta biologica alla luce in funzione della lunghezza d'onda

Figure 17.5 of Taiz & Zeiger

# Luce e germinazione: I fitocromi



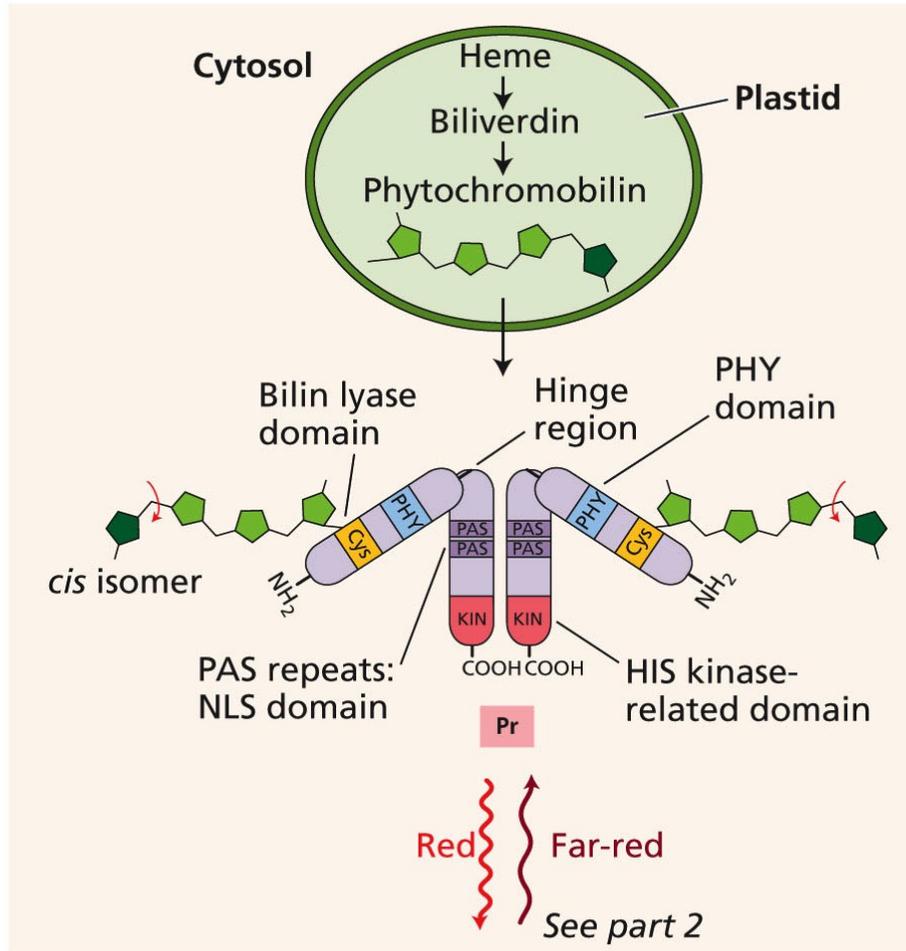
Una proteina chinasi con una regione di assorbimento della luce che è interconvertibile :



In *Arabidopsis thaliana* (la pianta modello per la ricerca in biologia vegetale), 5 fitocromi sono stati identificati: **PhyA**, **B**, **C**, **D**, and **E**

Figure 17.6 of Taiz and Zeiger

# Luce e germinazione: I fitocromi

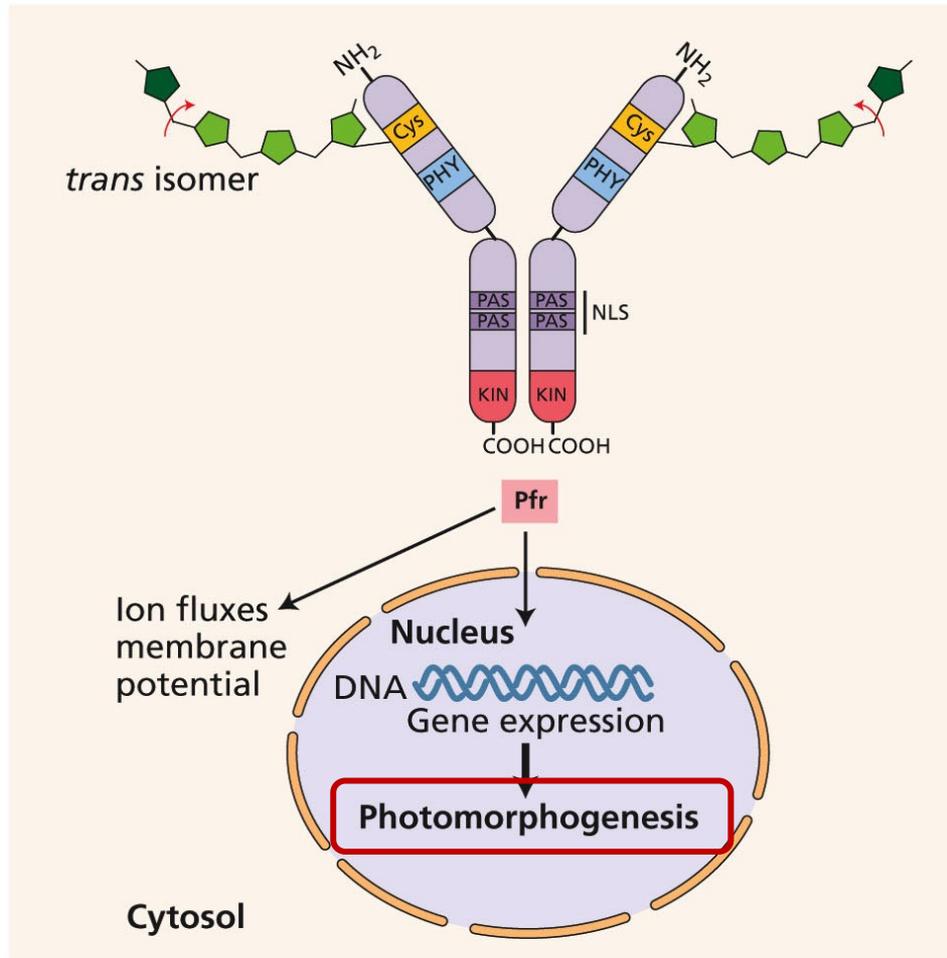


- I fitocromi sono sintetizzati nei cloroplasti
- Con l'assorbimento della luce rossa, si verifica un cambiamento di conformazione che espone la regione NLS (segnale di localizzazione nucleare)

PLANT PHYSIOLOGY, Fourth Edition, Figure 17.8 (Part 1) ©

Top half of Figure 17.7 of Taiz & Zeiger

# Luce e germinazione: I fitocromi



PLANT PHYSIOLOGY, Fourth Edition, Figure 17.8 (Part 2) © 200

- Il movimento del fitocromo nel nucleo gli consente di interagire con i regolatori trascrizionali per mediare la trascrizione genetica
- Esiste un pool di fitocromi nel citosol che regolano le risposte rapide alle condizioni di luce
- Queste risposte rapide sono mediate da flussi ionici e potenziali di membrana

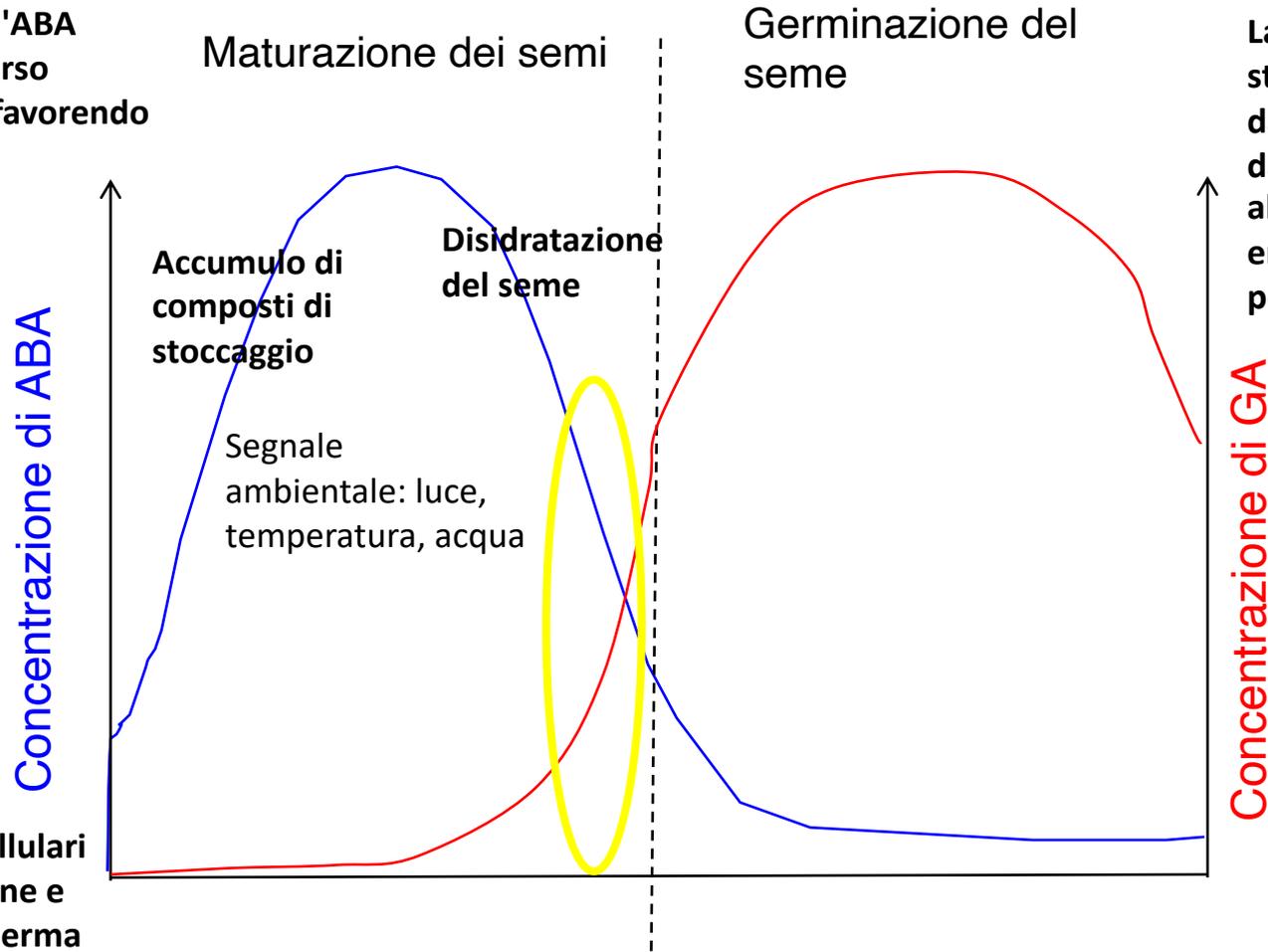
**Fotomorfogenesi:** lo sviluppo della pianta mediato da fotorecettori meccanici

Bottom half of Figure 17.7 of Taiz & Zeiger

# La germinazione può essere stimolata dalla variazione nel rapporto tra ormoni ABA e GA

L'acido abscissico (ABA) e l'acido gibberellico (GA) **agiscono in modo antagonistico** nella germinazione dei semi

La biosintesi dell'ABA aumenta attraverso l'embriogenesi, favorendo la dormienza e prevenendo la germinazione



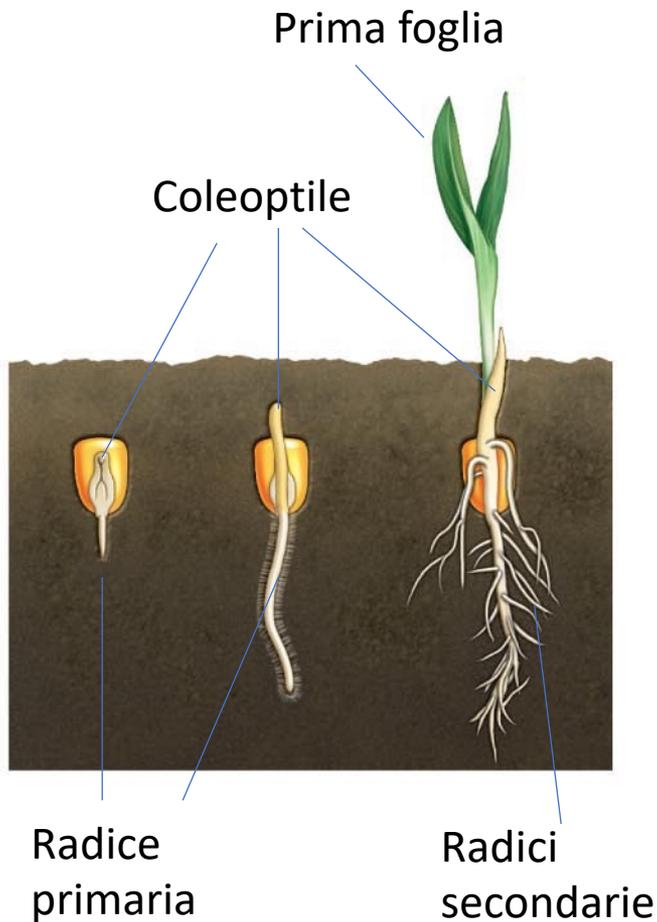
La biosintesi di GA è stimolata dalla luce o dalla temperatura e dall'acqua, portando alla produzione di enzimi idrolitici = cibo per la piantina!

Divisioni cellulari dell'embrione e dell'endosperma

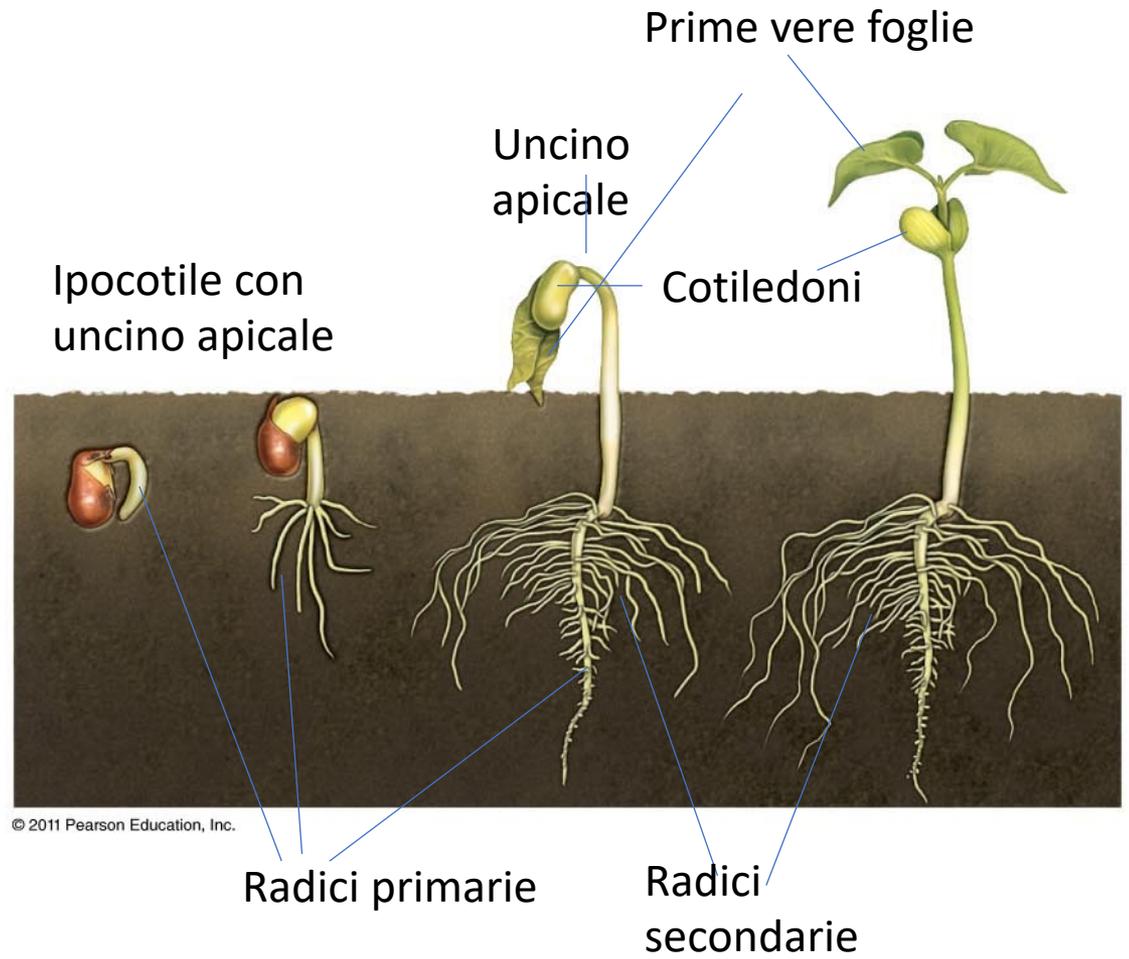
È il **rapporto** tra ABA e GA che è **importante**, non le concentrazioni assolute di ciascuno!

# Germinazione nelle Monocotiledoni e nelle Dicotiledoni

Un tipico germoglio di una  
**MONOCOT**



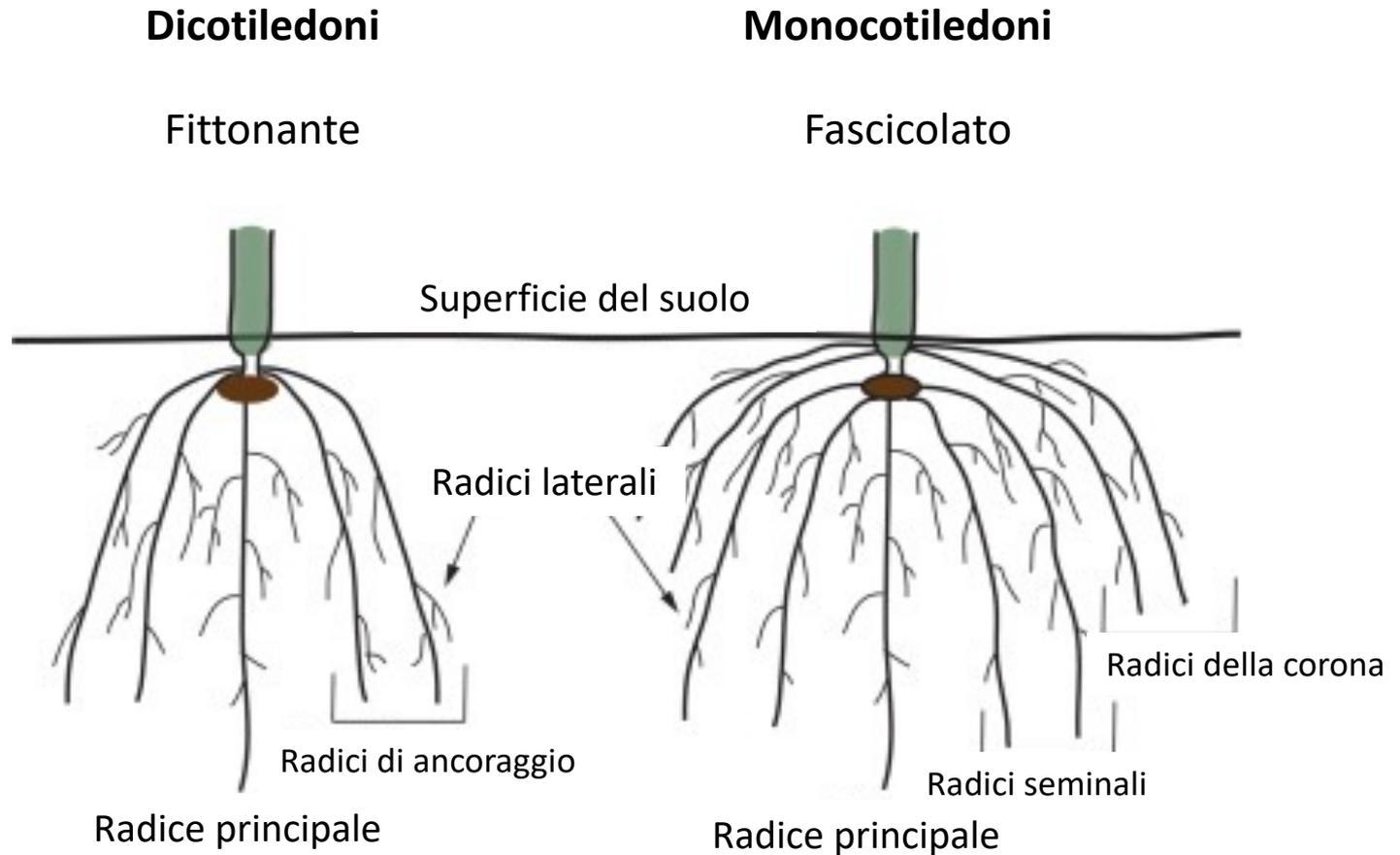
Un tipico germoglio di un  
**DICOT**



Pausa  
~ 10 minuti

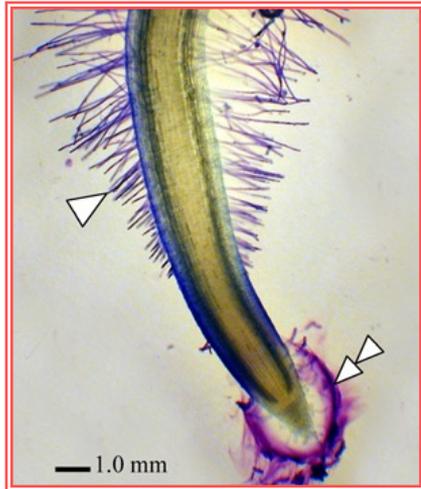
# Anatomia e sviluppo dell'apparato radicale

La struttura tipica dell'apparato radicale nei due gruppi di Angiosperme:

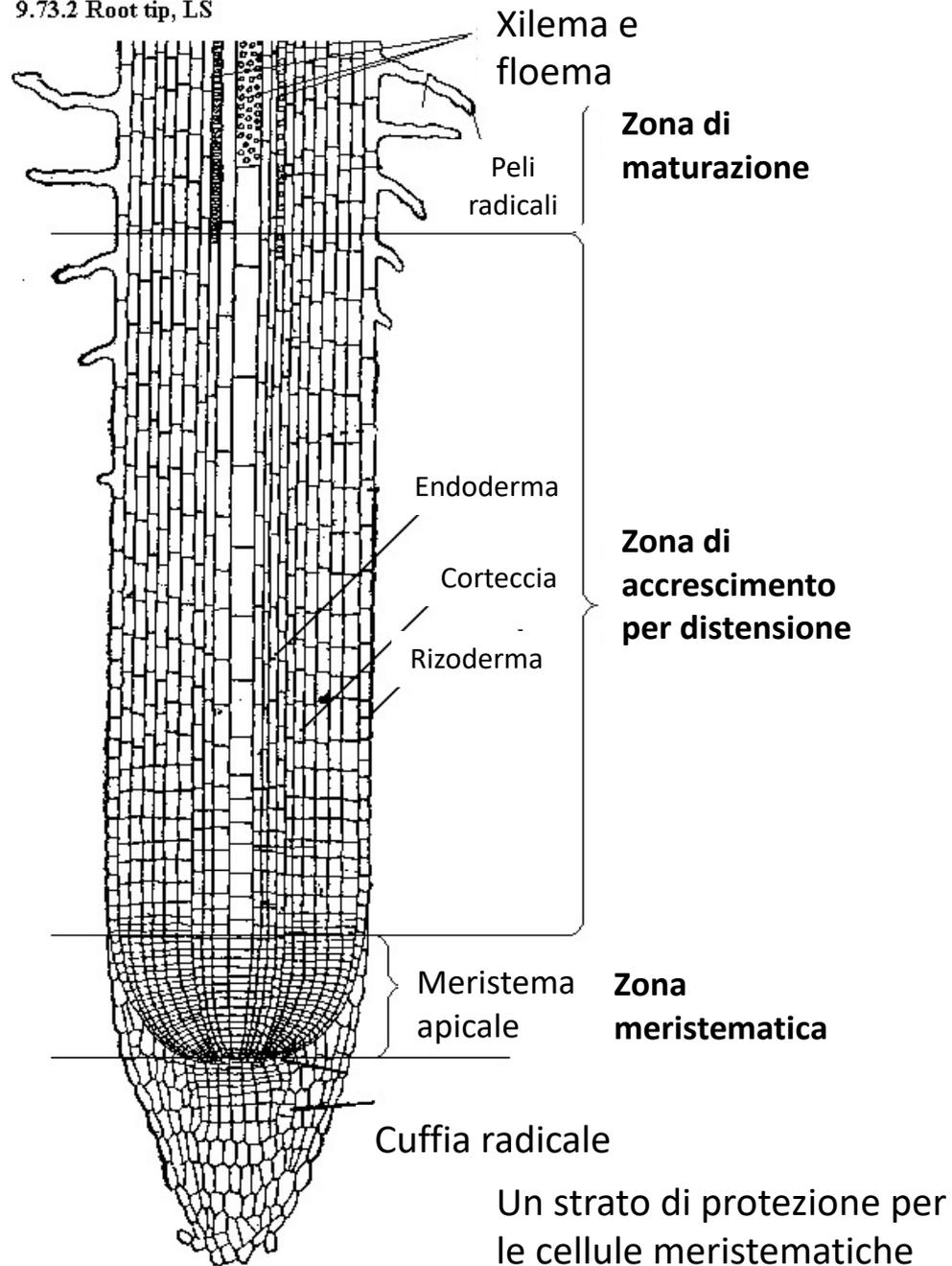


# Una sezione longitudinale di una radice primaria

- **Organizzazione dei tessuti all'apice della radice**

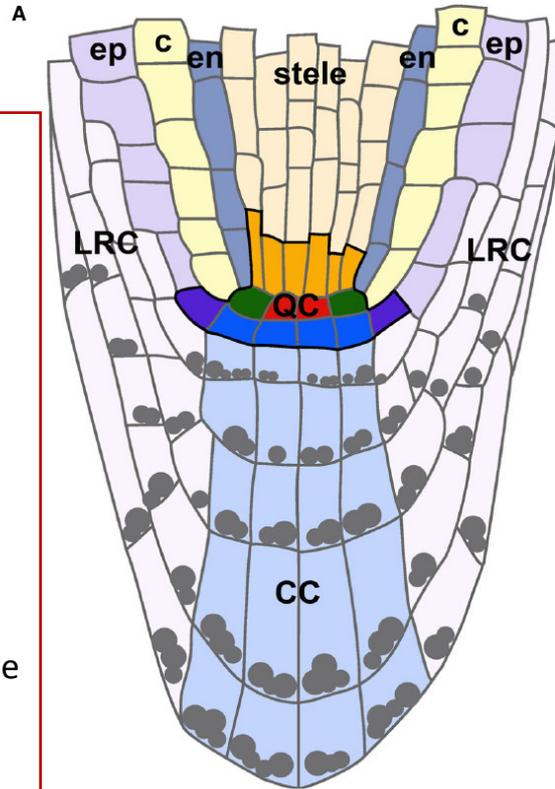


9.73.2 Root tip, LS



# Sviluppo della radice Differenziazione delle cellule nei rispettivi tessuti

La posizione relativa e la direzione di divisione decide il tipo di cellula che si svilupperà!



## I tessuti meristemici dell'apice radicale

QC (rosso): Centro quiescente

CC (celeste): cellule columelle

Verde: Corteccia cellule iniziale

Azzurro: Columelle cellule iniziali

Viola: Cuffia e rizoderma cellule iniziali

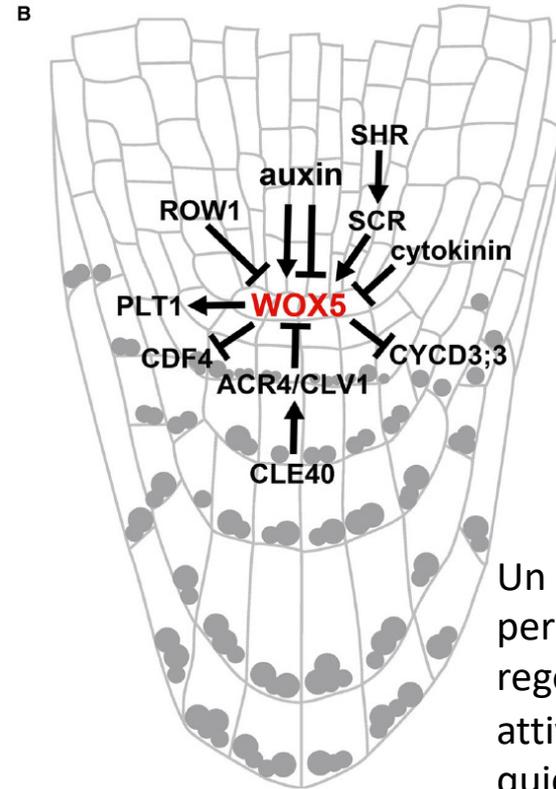
LRC: Cuffia laterale

ep: rizoderma

c: corteccia

en: endoderma

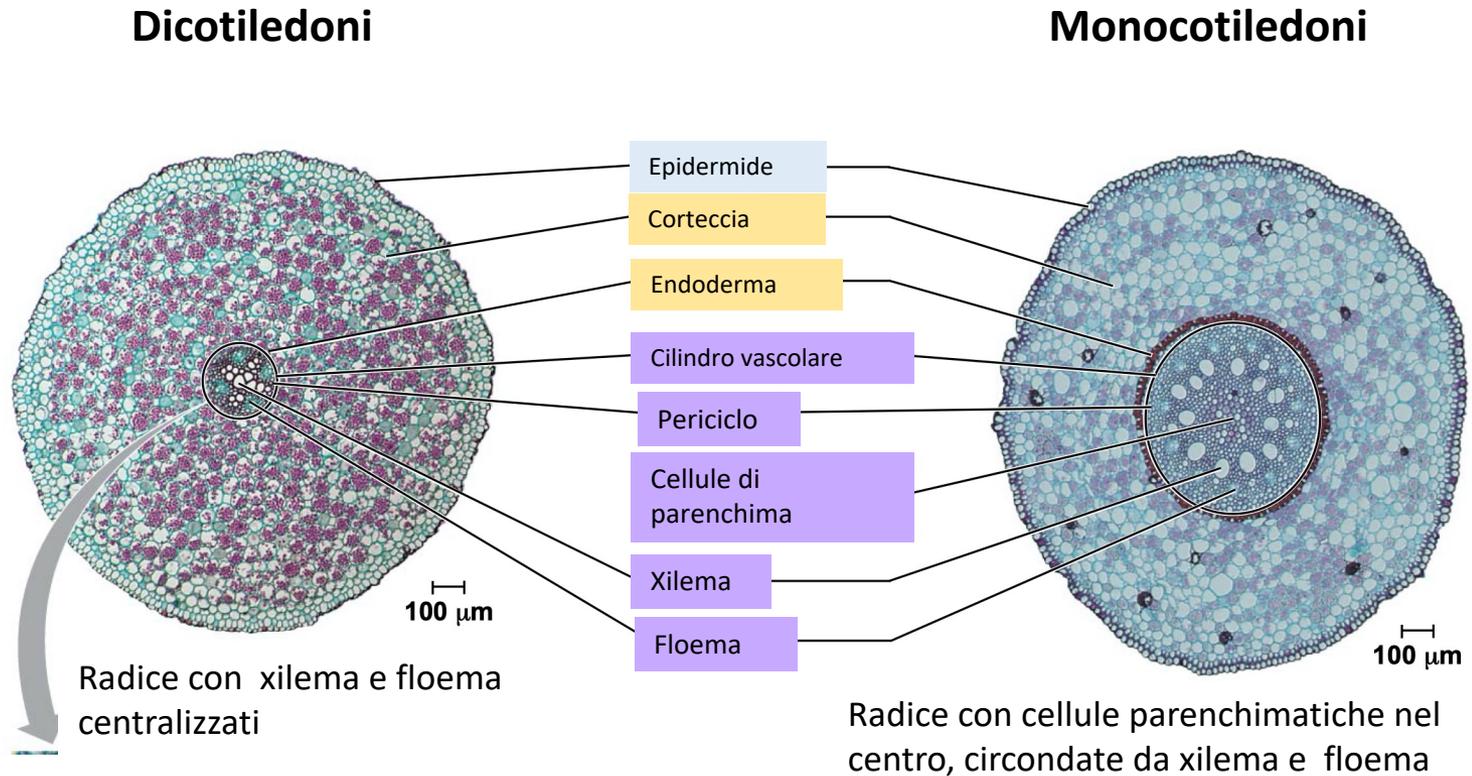
stele: tessuti vascolari



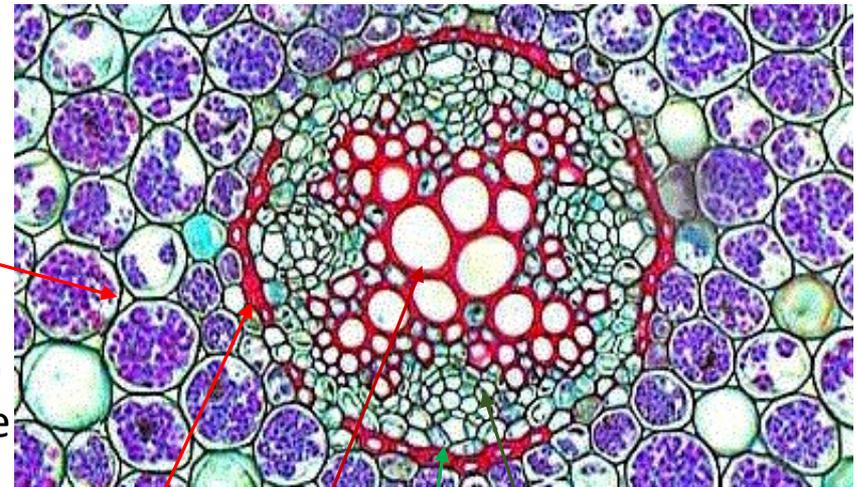
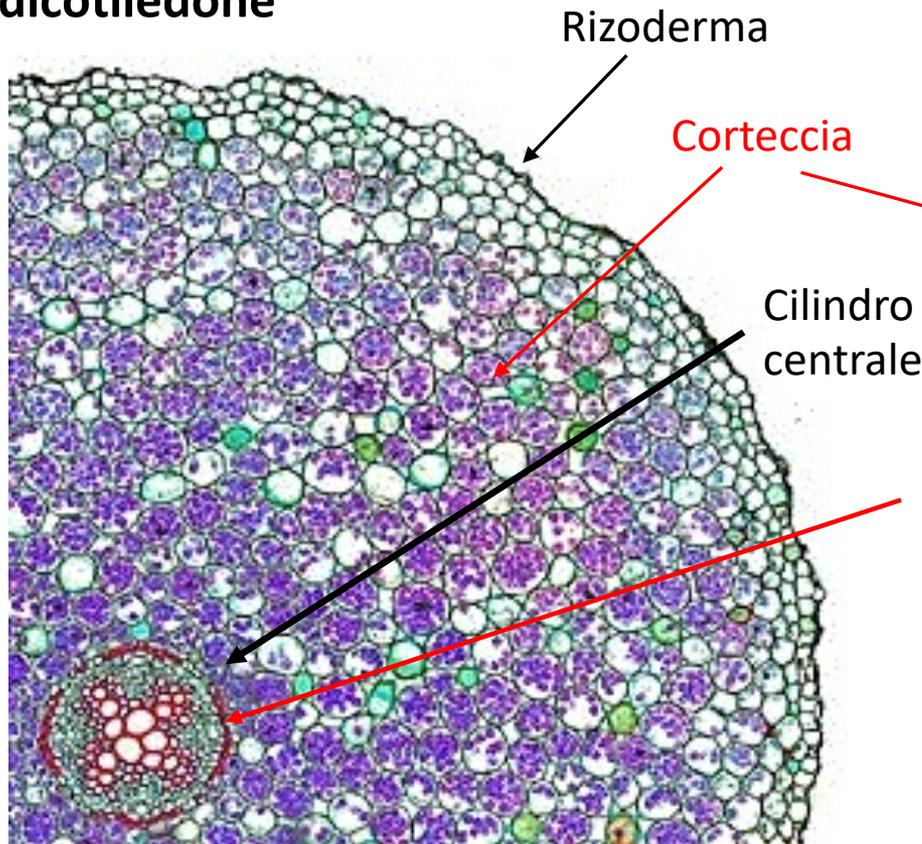
Un modello ipotizzato per spiegare la regolazione della attività del centro quiescente

Interazioni complesse tra i fattori di trascrizione, gli ormoni (auxina, citochine) e le proteine di segnalazione

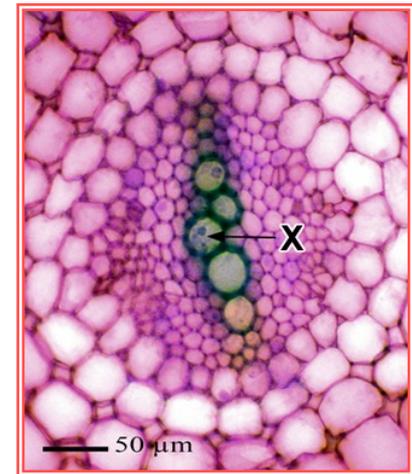
Al di là delle differenze architettoniche dell'apparato radicale, le radici delle dicotiledoni e delle monocotiledoni possono differire anche nella disposizione dei fasci vascolari all'interno del cilindro centrale, l'**actinostele**



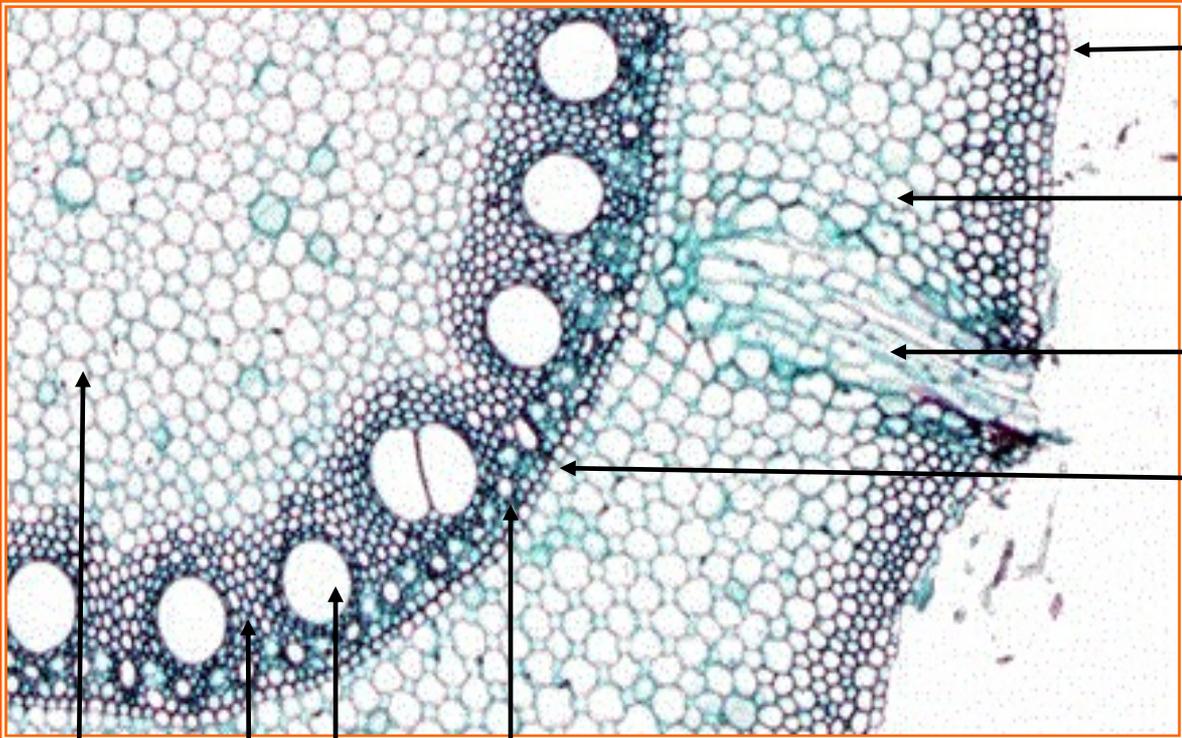
# Sezione trasversale di una radice di dicotiledone



Endoderma  
Periciclo  
Arca xilematica (trachea)  
Arca floematica (trachea)  
Cellule con amiloplasti



# Sezione trasversale di una radice monocotiledone



Epidermide

Parenchima corticale  
(di riserva)

Radice laterale

Endoderma

Periciclo

Arca xilematica

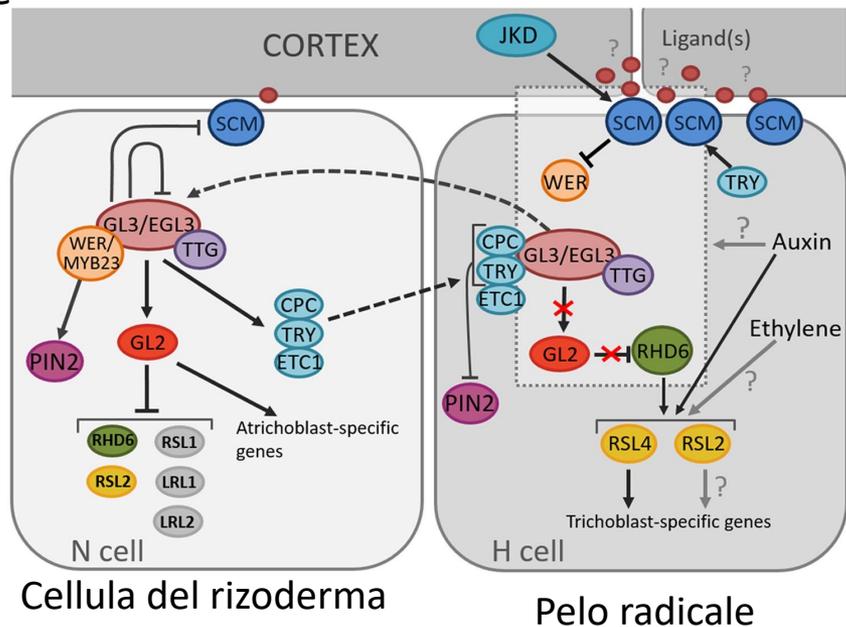
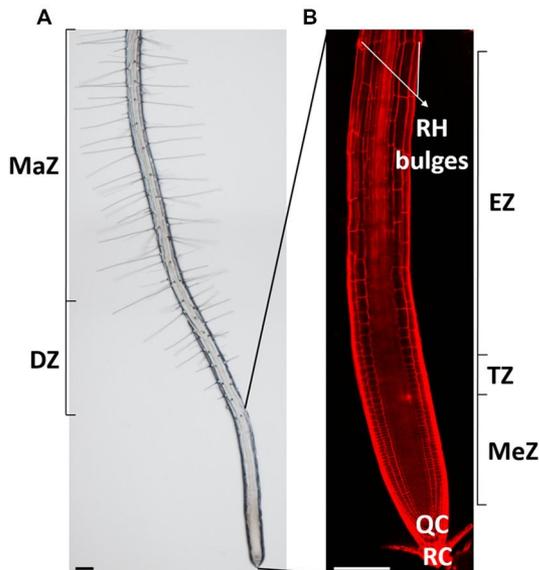
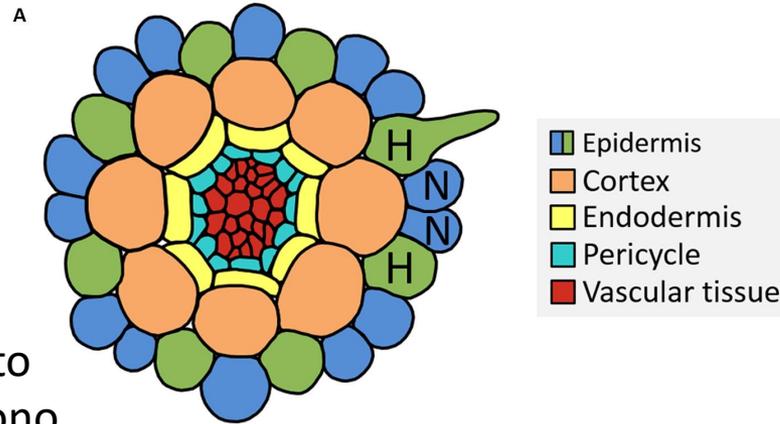
Arca floematica

Midollo (cellule parenchimatice  
con parete lignificata)

# Sviluppo della radice – Differenziazione dei peli radicali

Si trovano i peli radicali maturi nella zona di maturazione, ma le cellule rizodermiche iniziano a estendersi nella zona di differenziazione

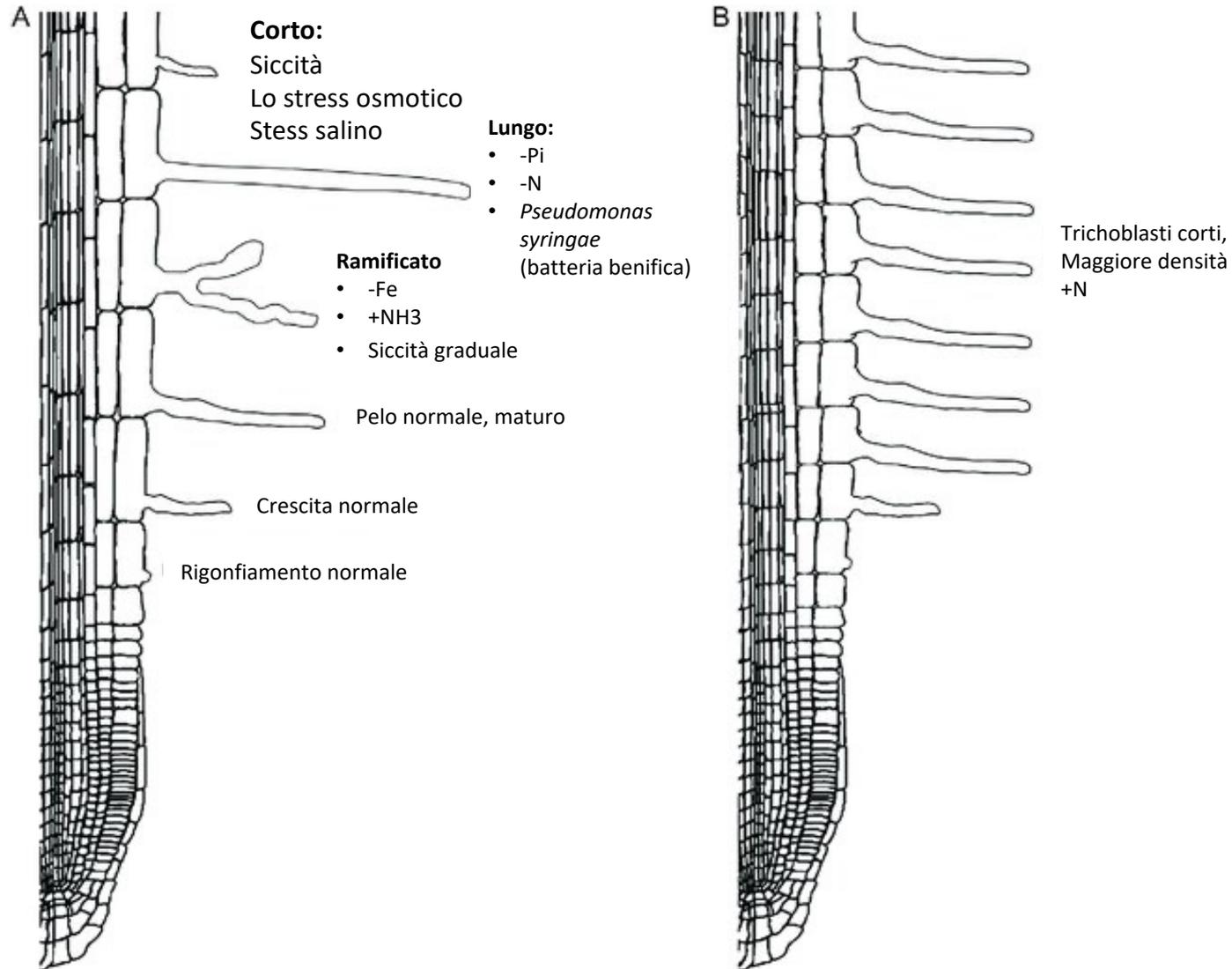
- In *Arabidopsis thaliana*, è stato osservato che i peli radicali sono localizzati nello spazio fra due cellule della corteccia



Sembra esistano una serie di fattori di trascrizione per indicare la posizione delle cellule relativamente, e insieme agli ormoni stimolano o inibiscono, la crescita del pelo radicale

# Sviluppo della radice – la produzione dei peli radicali è sensibile al livello dei nutrienti nel suolo

Vissenburg et al.,  
2020



## Sviluppo della radice – Sviluppo delle radici laterali

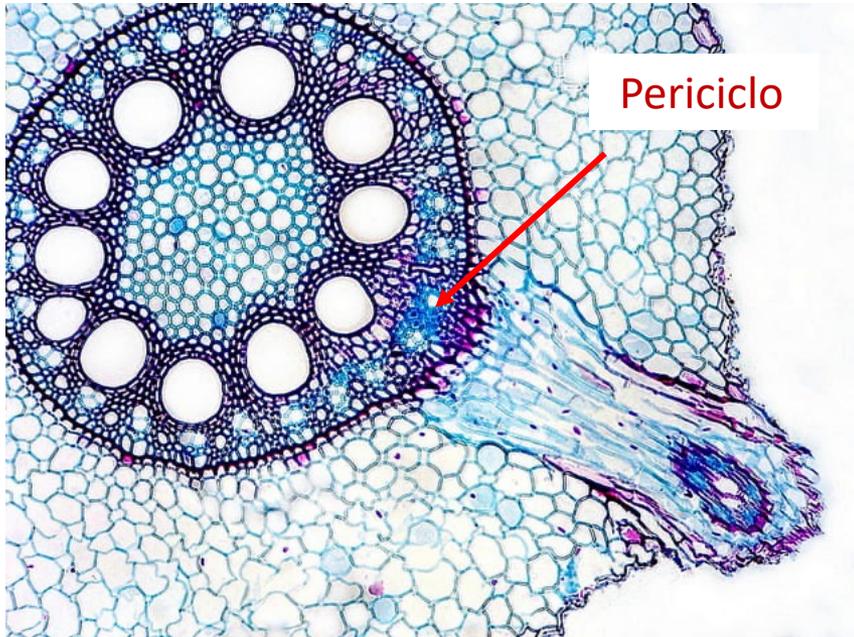


Figure 16.34 from Taiz and Zeiger

- Iniziano con divisioni periclinali nel periciclo
- Ulteriori divisioni perpendicolari al piano della radice principale fanno emergere il tessuto e si sviluppa una nuova RAM sulla punta.

Le radici laterali emergono dal **periciclo** - una seconda area di tessuto meristemato nelle radici che circonda immediatamente il cilindro centrale e sta alla base dell'endoderma

### Quali fattori stimolano l'emergenza della radice laterale?

- Distanza dall' apice radicale – nella zona di maturazione.
- Condizioni nel terreno: acqua e sostanze nutritive abbondanti generalmente significano più radici laterali.

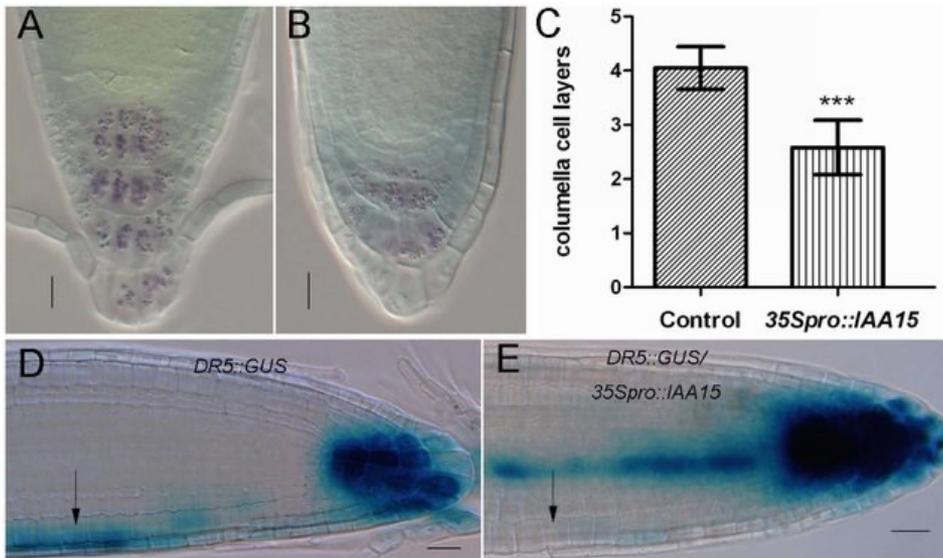
## Sviluppo della radice – L'auxina regola la direzione della crescita delle radici

**L'auxina:** Un ormone che regola la crescita delle piante prodotto sia nelle radici che nei germogli

**Nelle radici, l'accumulo di auxina inibisce l'allungamento cellulare**

Per orientare correttamente le radici nella direzione della gravità, l'auxina si accumula nella parte inferiore della cellula, come indicato dai cambiamenti nella posizione dei grani di amido (statoliti) nella punta della radice

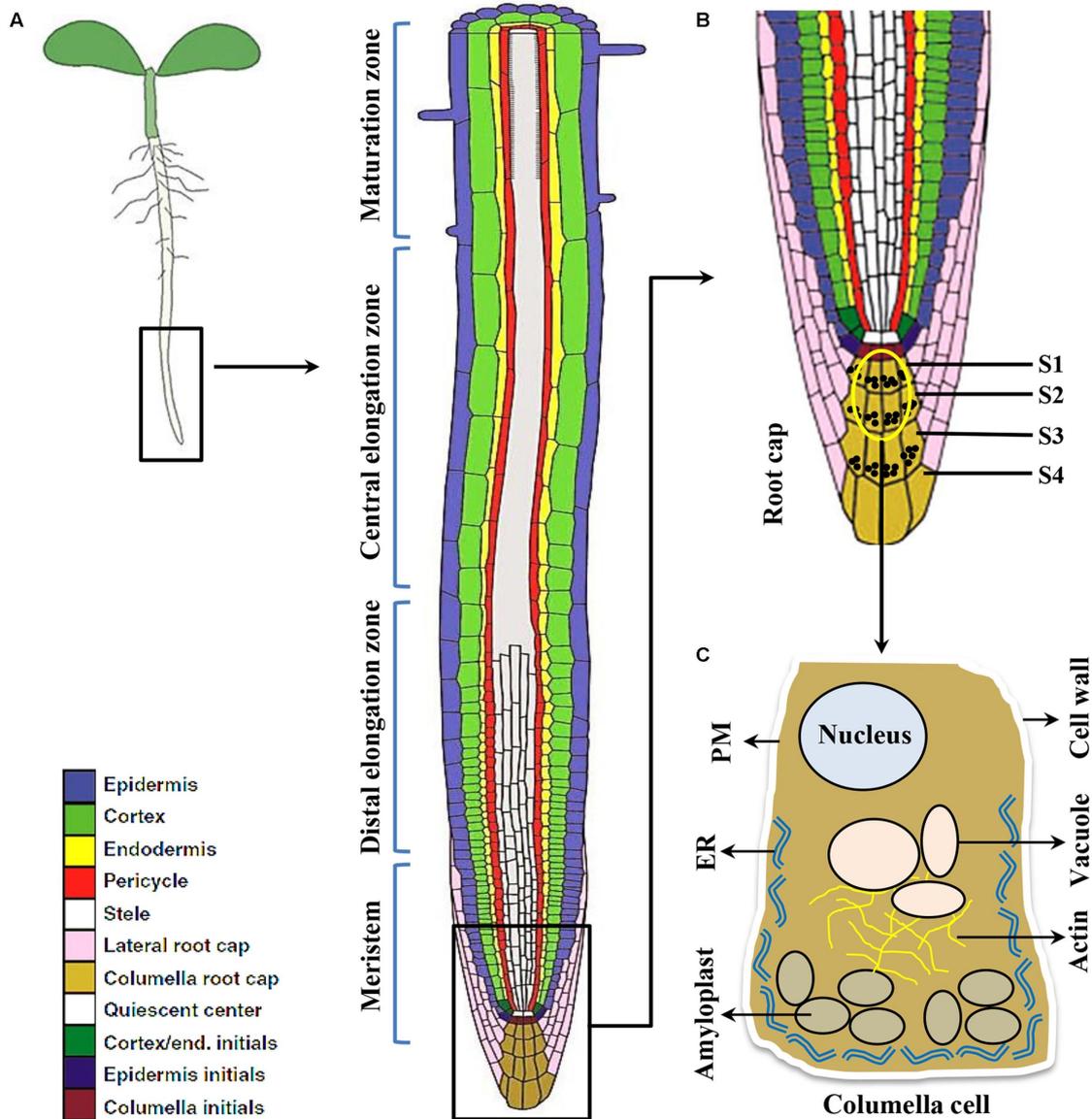
= risposta gravitropica radicale!



Le radici mutanti di *Arabidopsis thaliana* che non rispondono allo stimolo di gravità mostrano un'incapacità di ridistribuire l'auxina e cambiare la direzione della crescita

Yan et al., 2013 PLoS ONE 8(3):e58103

# Sviluppo della radice – L'auxina regola la direzione della crescita delle radici



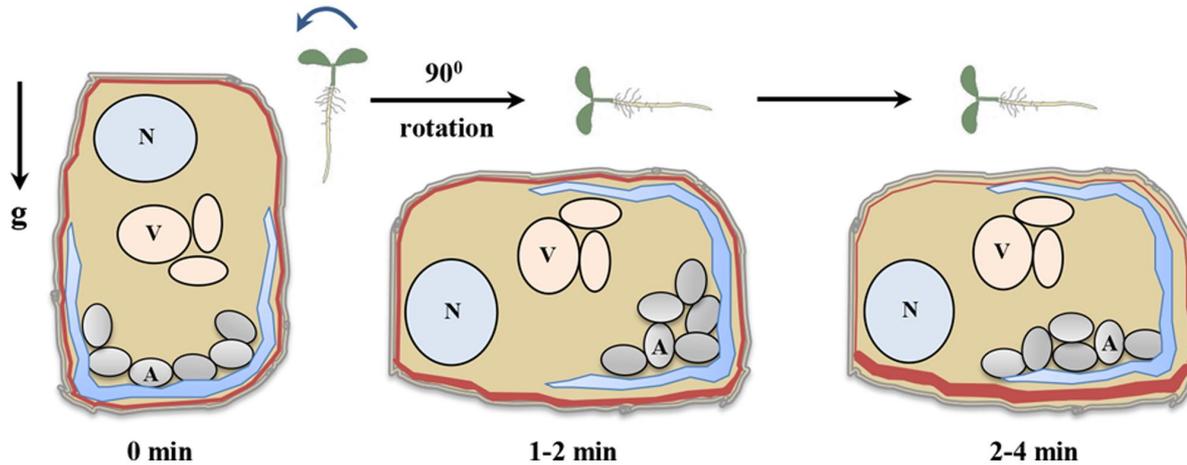
La risposta gravitropica radicale

Il sensore alla gravità sembra essere localizzato nella cuffia delle radice

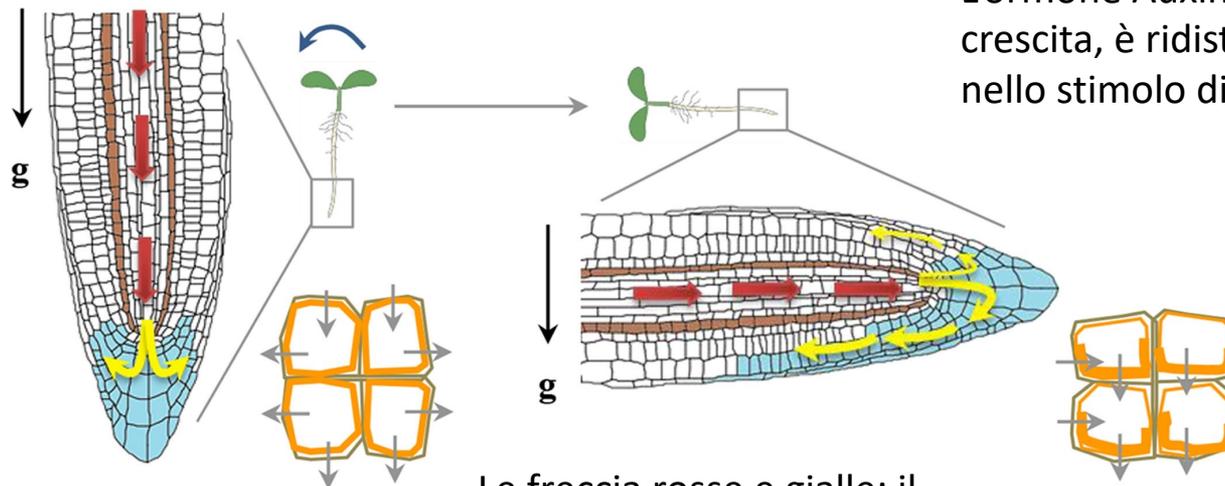
# Sviluppo della radice – L'auxina regola la direzione della crescita delle radici

## La risposta gravitropica radicale

La sedimentazione dell'amiloplasto crea pressione sulla membrana del reticolo endoplasmatico attivando di conseguenza siti meccanosensibili

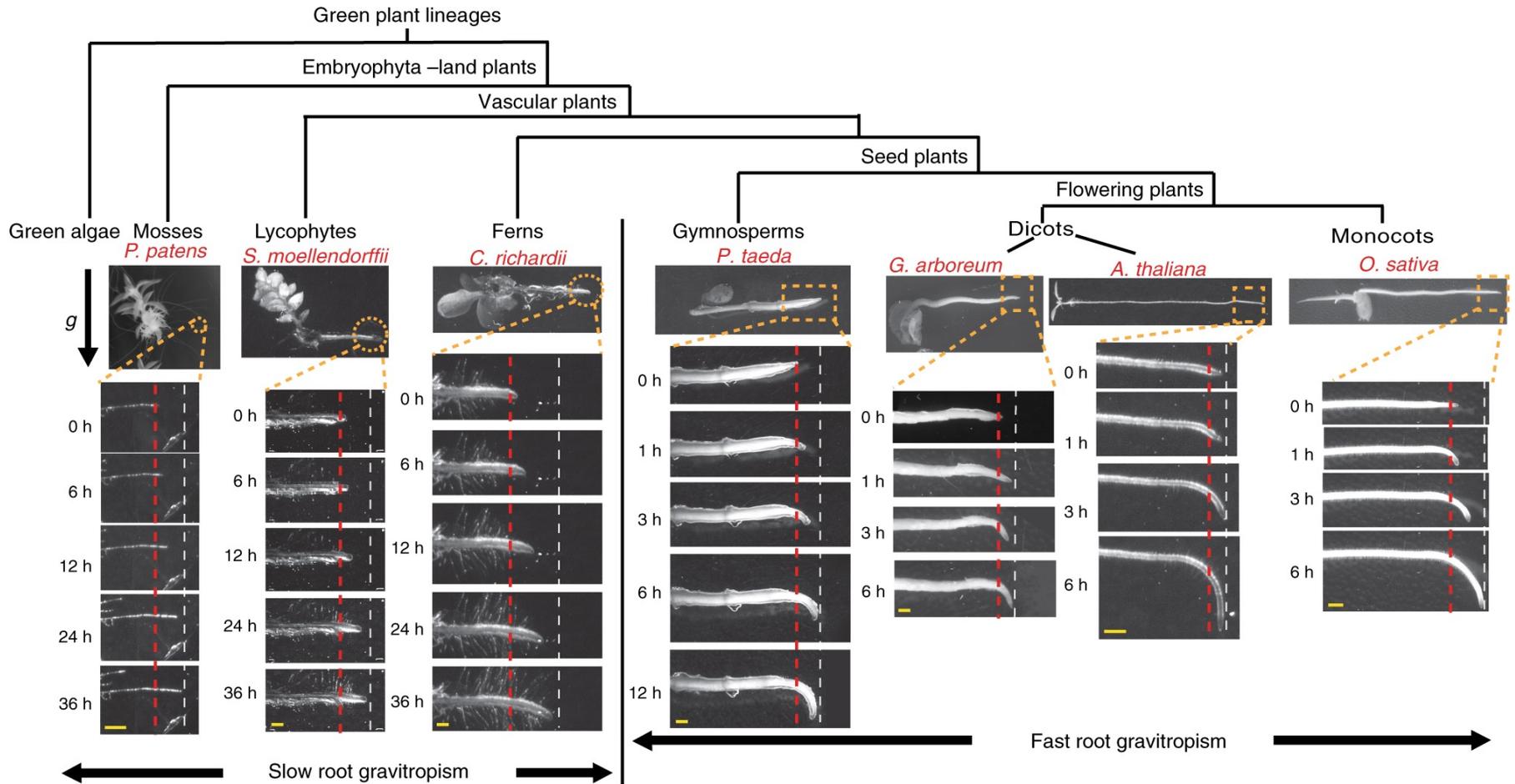


L'ormone Auxina, un regolatore della crescita, è ridistribuito con un cambio nello stimolo di gravità (la direzione)



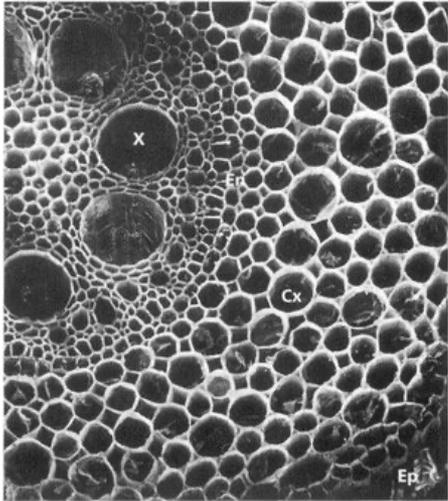
Il flusso di auxina è facilitato attraverso i trasportatori che diventano più numerosi dove c'è lo stimolo di gravità (arancione)

# La velocità della risposta a gravità nelle radici è evoluto nel tempo

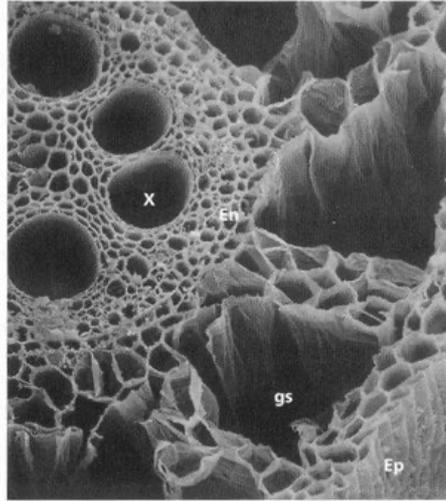


Zhang, Y., Xiao, G., Wang, X. *et al.* Evolution of fast root gravitropism in seed plants. *Nat Commun* **10**, 3480 (2019).  
<https://doi.org/10.1038/s41467-019-11471-8>

## Morfologie adattive: Aerenchima nelle radici



Controllo



Anossia

Aerenchima: Parenchima con ampi spazi intercellulari per favorire il passaggio dell'aria in condizioni di anossia

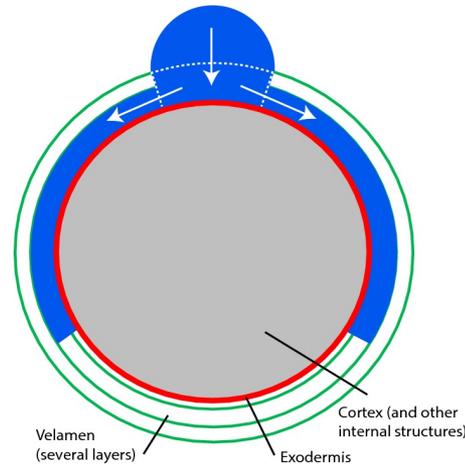
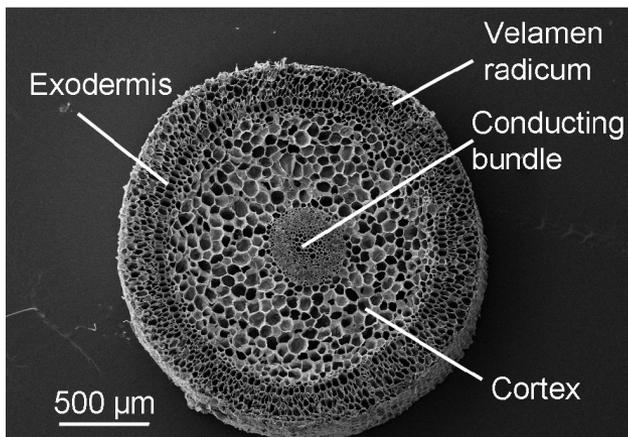
Una sezione trasversale di una radice di mais

Photo: Salisbury & Ross, 1998

# Morfologie adattive: Formazione di radici aeree nelle orchidee con **velamen**: uno strato di cellule morte sulle radici aeree che può assorbire l'acqua e prevenire disidratazione



Idris et al., *Plants* 2021, 10(7), 1358; <https://doi.org/10.3390/plants10071358>



Hauber, F., Konrad, W. & Roth-Nebelsick, A. Aerial roots of orchids: the velamen radicum as a porous material for efficient imbibition of water. *Appl. Phys. A* 126, 885 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00339-020-04047-7>