

# Ormoni vegetali

(fitoormoni)

# ORGANISMI MULTICELLULARI

Le diverse funzioni fisiologiche (processi metabolici, accrescimento, etc.) necessitano della regolazione e della integrazione delle funzioni dei diversi organi e tessuti

## Comunicazione tra cellule

### SEGNALI CHIMICI

**ORMONI:** messaggeri chimici prodotti da una cellula, che modulano i processi cellulari in altre cellule, tramite interazione con recettori proteici connessi a catene di trasduzione del segnale, portando alla risposta fisiologica (variazioni dei flussi di soluti attraverso le membrane e/o a modificazioni dell'espressione genica).

# CLASSI PRINCIPALI DI ORMONI VEGETALI (FITOORMONI)

➤ AUXINE

➤ GIBBERELLINE

➤ CITOCHININE

➤ ETILENE

➤ ACIDO ABSCISSICO

➤ BRASSINOSTEROIDI

➤ STRIGOLATTONI

Ogni classe di ormoni influenza diversi eventi dello sviluppo

Gran parte degli eventi è influenzato da più classi di ormoni

Altre molecole segnale

➤ ACIDO JASMONICO (ossilipine)

➤ ACIDO SALICILICO

➤ SISTEMINA

➤ POLIAMMINE

+ zuccheri,  
amminoacidi,  
 $H_2O_2$ ,  
eATP, .....

# **AUXINA**

**(ACIDO INDOL-3 ACETICO, IAA)**

**Primo ormone vegetale scoperto**

# AUXINA

## Acido Indol-3-acetico (IAA)

### Siti di sintesi:

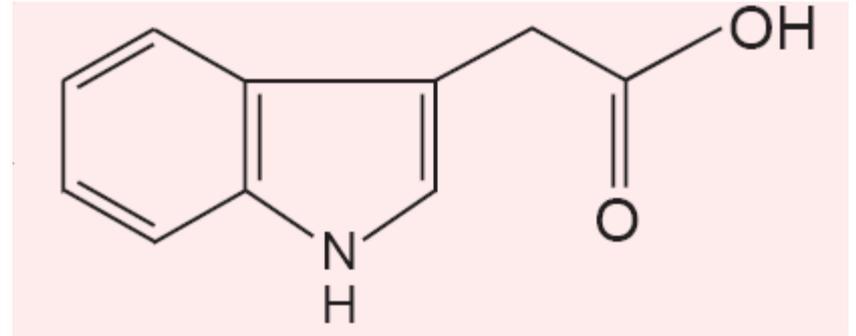
meristemi apicali germoglio  
meristemi cambiali  
frutti in via di sviluppo  
foglie giovani

### Trasporto:

1) polare (basipeto/acropeto) o apolare  
2) floema e xilema in forma esterificata

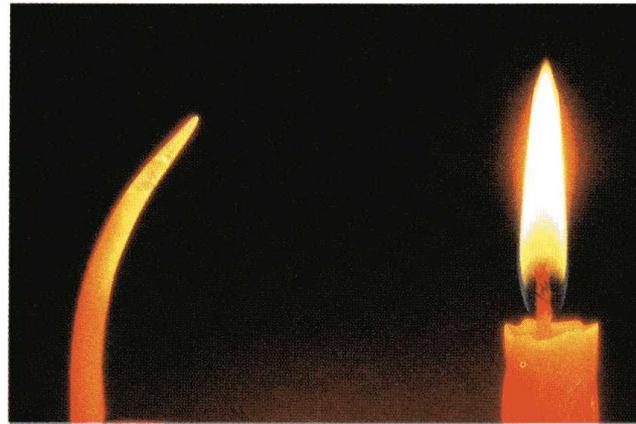
### Effetti principali:

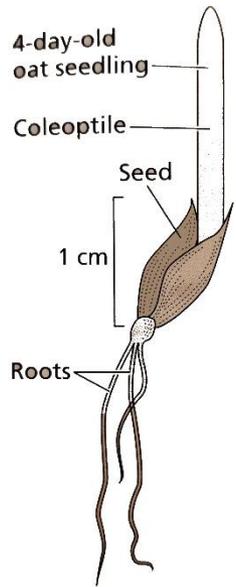
- risposte tropiche (fototropismo e gravitropismo)
- crescita per distensione (fusto e coleottili)
- crescita per divisione
- differenziamento tessuti vascolari
- rizogenesi
- dominanza apicale



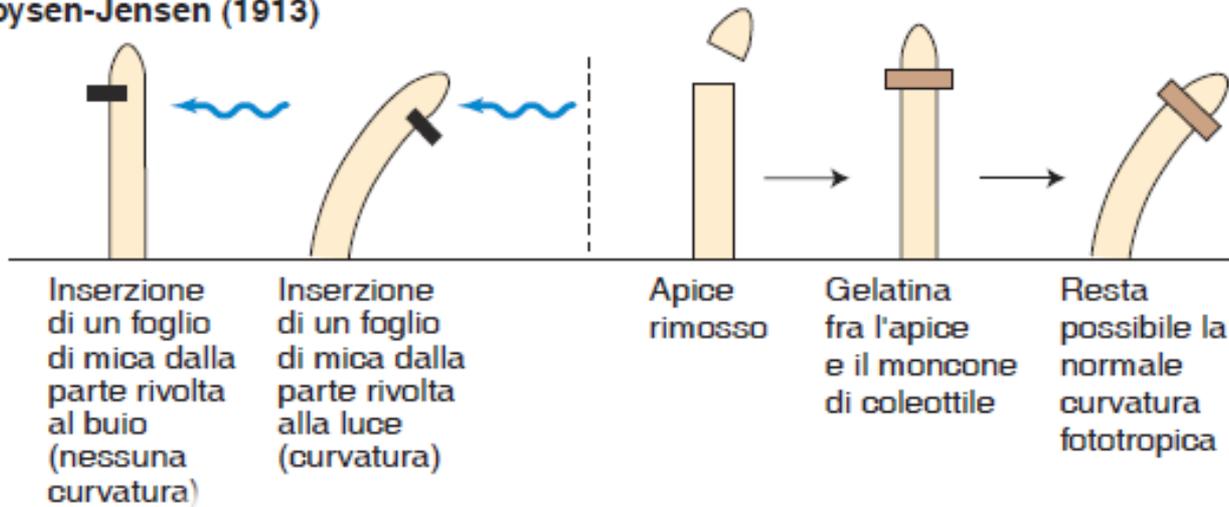
Movimento fototropico

Darwin, 1880



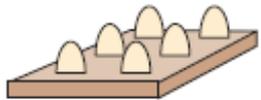


### Boysen-Jensen (1913)

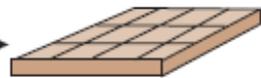


Nel 1913 O. Boysen-Jensen scoprì che lo stimolo di crescita passa attraverso la gelatina, ma non attraverso barriere impermeabili all'acqua come la mica.

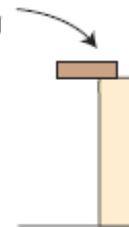
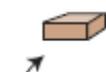
Went (1926)



Apici del coleottille sulla gelatina

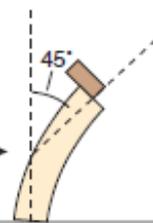


Gli apici sono rimossi; la gelatina è tagliata in blocchetti



Ogni blocchetto di gelatina è posto su un lato del moncone di coleottille

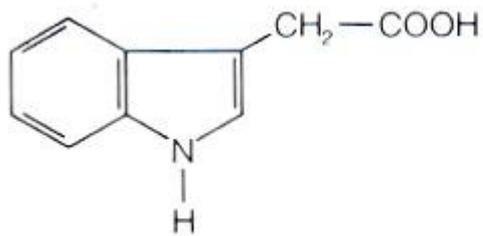
Al buio:



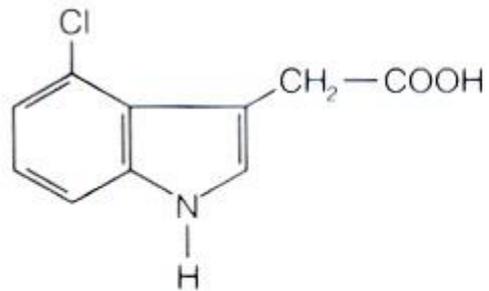
Il coleottille si piega al buio; può essere misurato l'angolo di curvatura

Nel 1926 F.W. Went dimostrò che la sostanza attiva che promuove la crescita può diffondere in un blocchetto di gelatina. Egli mise a punto un saggio di curvatura del coleottille per l'analisi quantitativa dell'auxina.

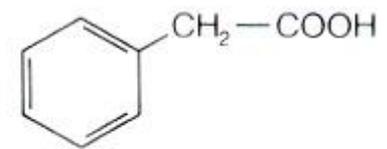
Anni '30: scoperta natura chimica auxina



Acido 3-indolacetico  
(IAA)

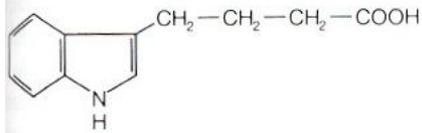


Acido 4-cloroindol-3-acetico  
(4-Cl-IAA)

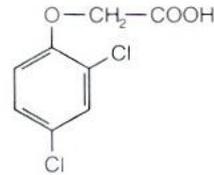


Acido fenilacetico  
(PAA)

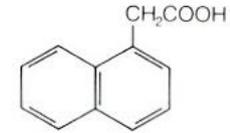
Auxine naturali



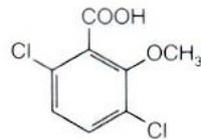
Acido 3-indolbutirrico  
(IBA)



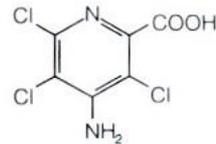
Acido 2,4-diclorofenossiacetico  
(2,4-D)



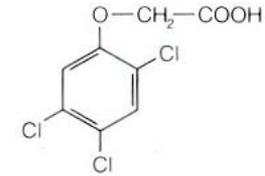
Acido  $\alpha$ -naftalenacetico  
( $\alpha$ -NAA)



Acido 2-metossi-3,6 diclorobenzoico  
(dicamba)

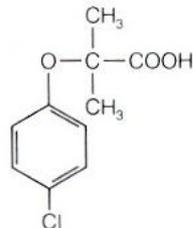


Acido 4-ammino-3,5,6-  
tricloropicolinico  
(tordon o picloram)

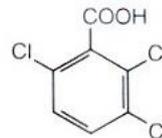


Acido 2,4,5-triclorofenossiacetico  
(2,4,5-T)

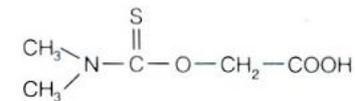
antiauxina



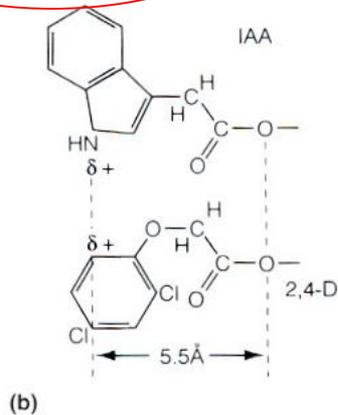
Acido  $\alpha$ -(p-clorofenossi)isobutirrico  
(PCIB-una antiauxina)



Acido 2,3,6-triclorobenzoico



N,N-dimetiletiltiocarbammato



Auxine sintetiche

## LE AUXINE NOTE SONO MOLTE: QUANDO UN COMPOSTO PUO' DEFINIRSI UNA AUXINA?

Un composto che ha uno spettro di attività biologiche simili, ma non necessariamente identiche, a quelle dell'IAA. Questo comprende la capacità di:

- 1) indurre la distensione cellulare in coleottili isolati o in sezioni di fusto;
- 2) indurre la divisione cellulare in tessuti vegetali in coltura (callo), in presenza di una citochinina;
- 3) promuovere la formazione di radici avventizie nelle zone di taglio dei fusti;
- 4) indurre la crescita di frutti
- 5) indurre la formazione di etilene

## BIOSINTESI IAA

Prevalentemente in tessuti in rapida divisione cellulare

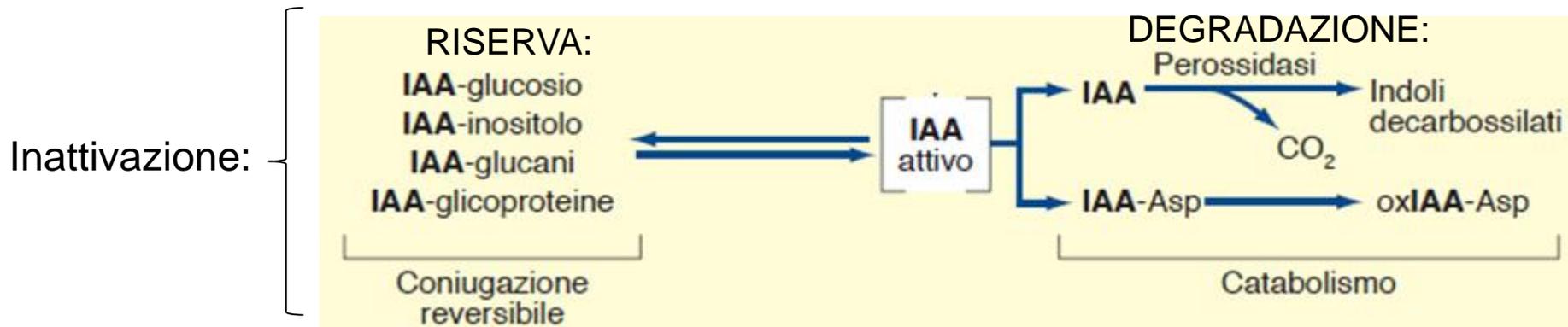
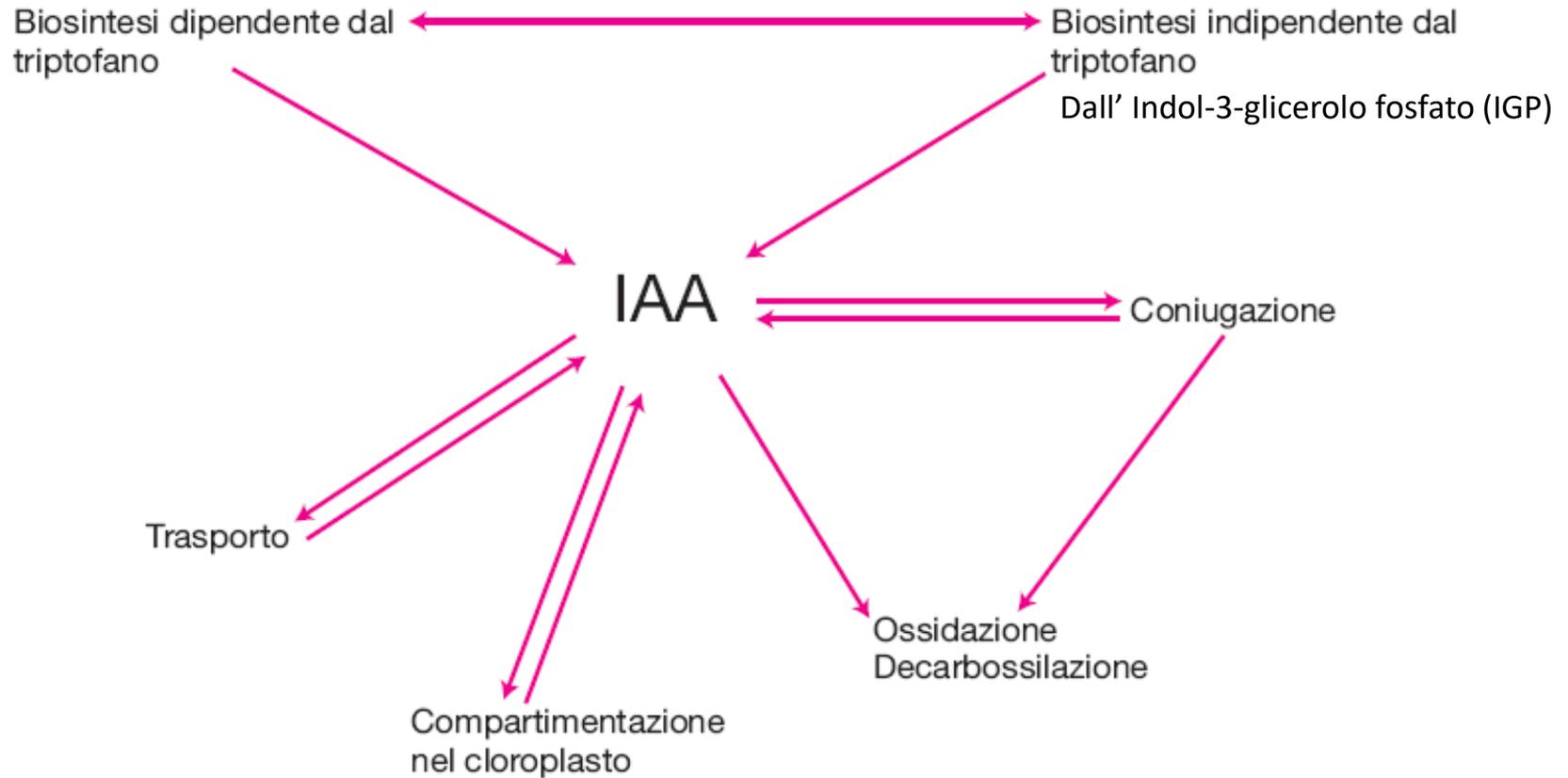
➤ Meristemi apicali germoglio

➤ Foglie giovani

Ma anche semi e frutti in via di sviluppo

(Tutte le cellule vegetali sono comunque in grado di sintetizzare piccole quantità di auxina)

# Biosintesi, trasporto, inattivazione



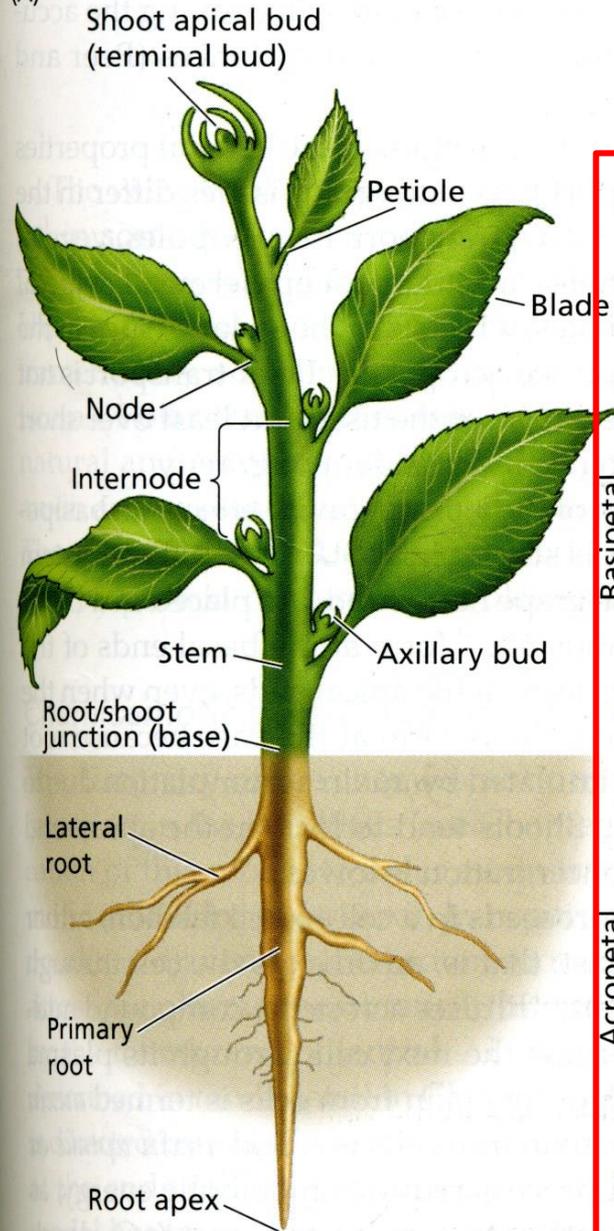
## TRASPORTO DELL'IAA

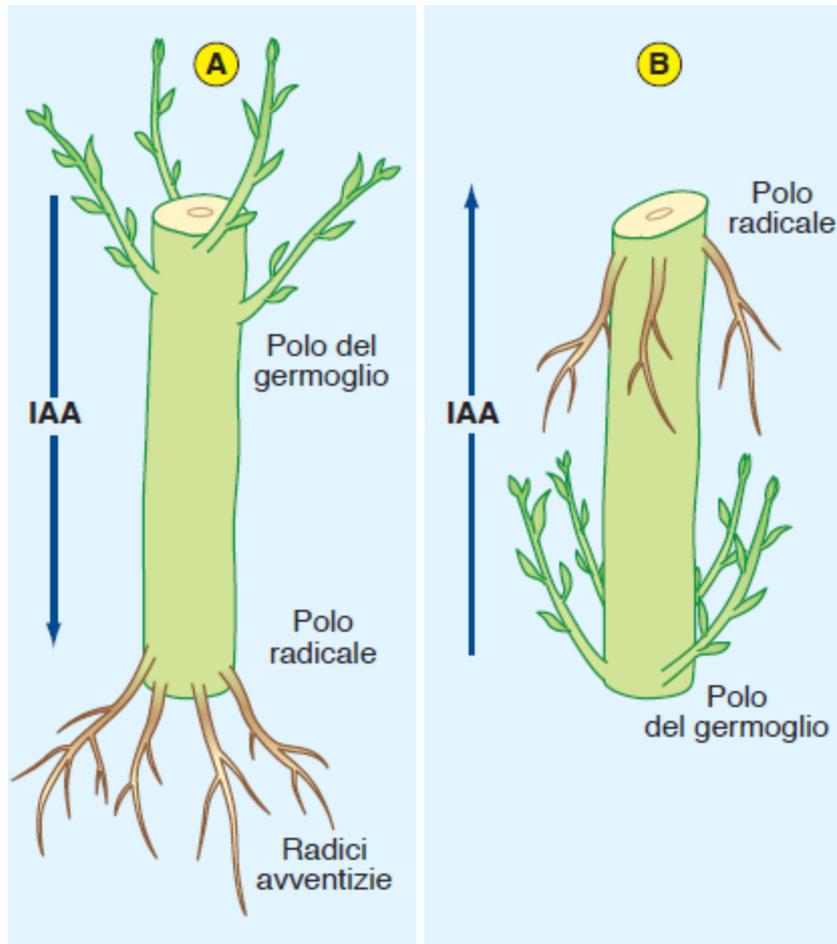
➤ **Trasporto apolare:** nel floema, passivo, a lunga distanza  
5-10 cm/h

### ➤ **Trasporto polare (unidirezionale)**

- Scoperto nei fusti delle graminacee
- Confermato in fusti, radici e foglie
- Avviene a livello del parenchima xilematico (più lento: 5-10 mm/h)
- Richiede energia
- È diretto verso il basso ma non dipende dalla gravità (basipeto nei fusti; acropeto nelle radici)

(A)



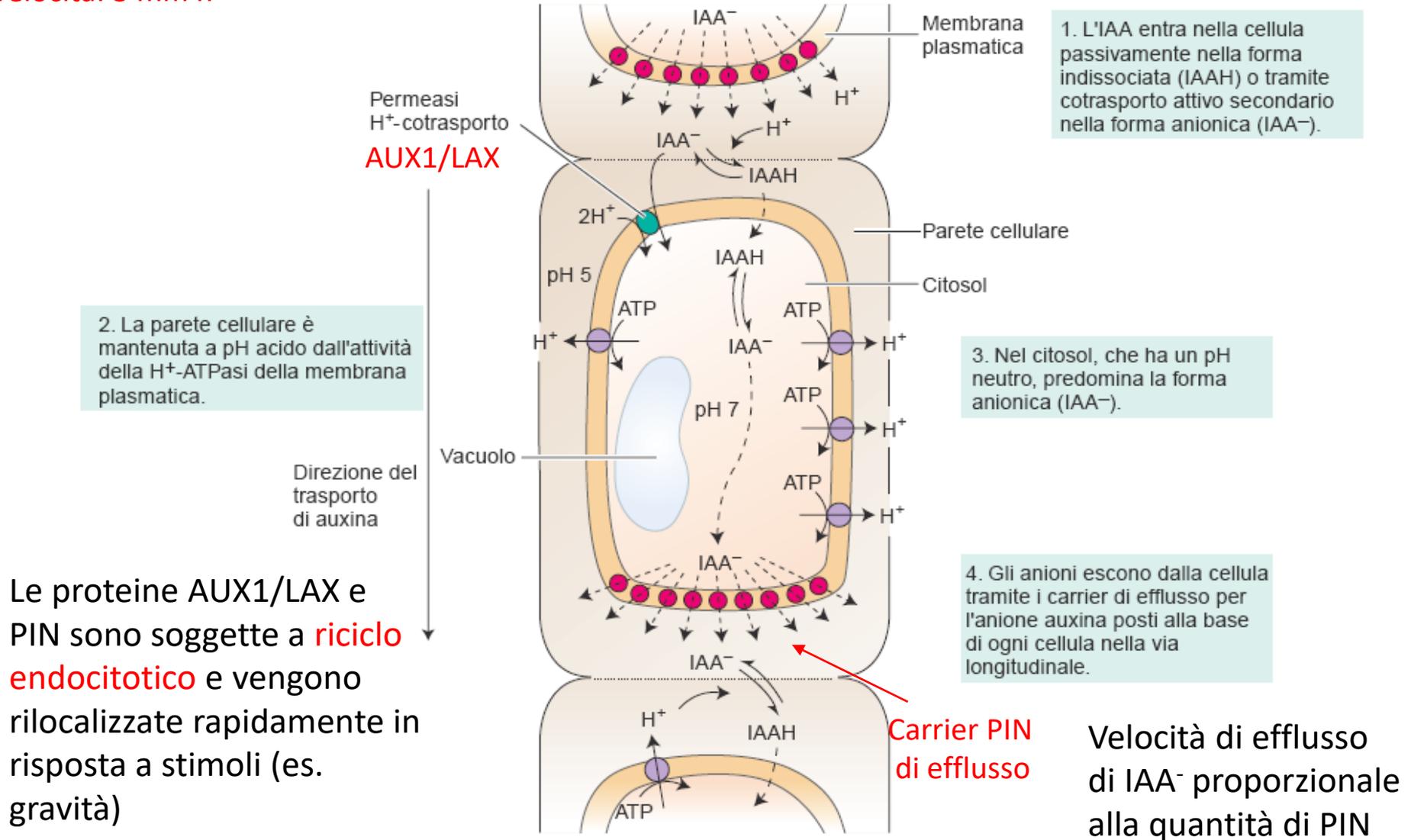


Le radici crescono nella parte basale di fusti recisi di bamboo anche se invertiti



Formazione di radici avventizie al polo radicale e di gemme al polo del germoglio in un segmento di ramo in posizione normale (A) o in posizione rovesciata (B). Il trasporto polare di IAA è indicato dalla direzione delle frecce.

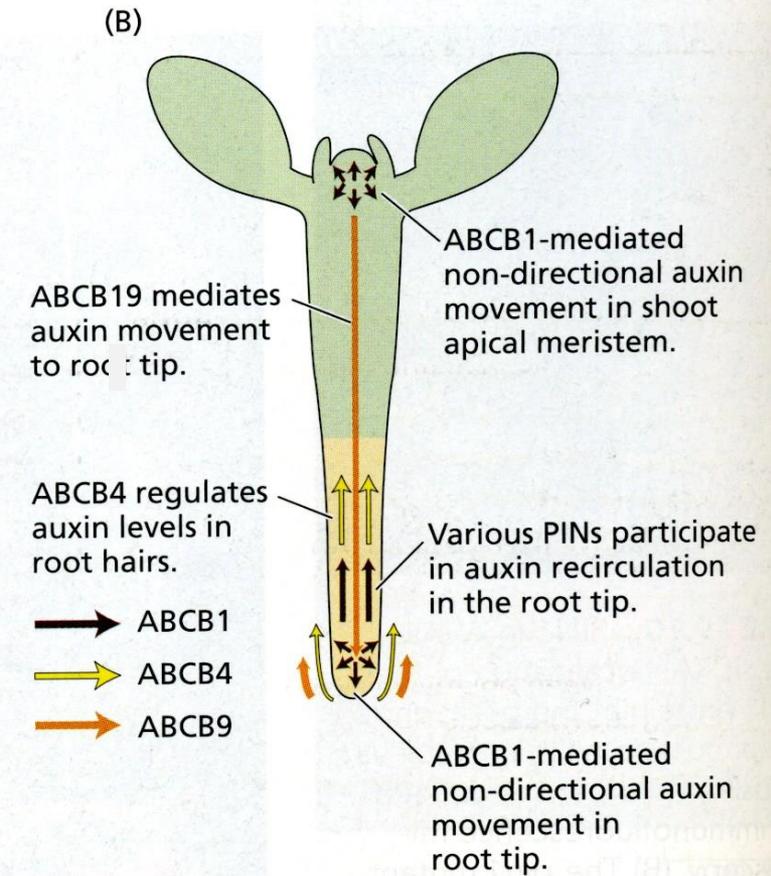
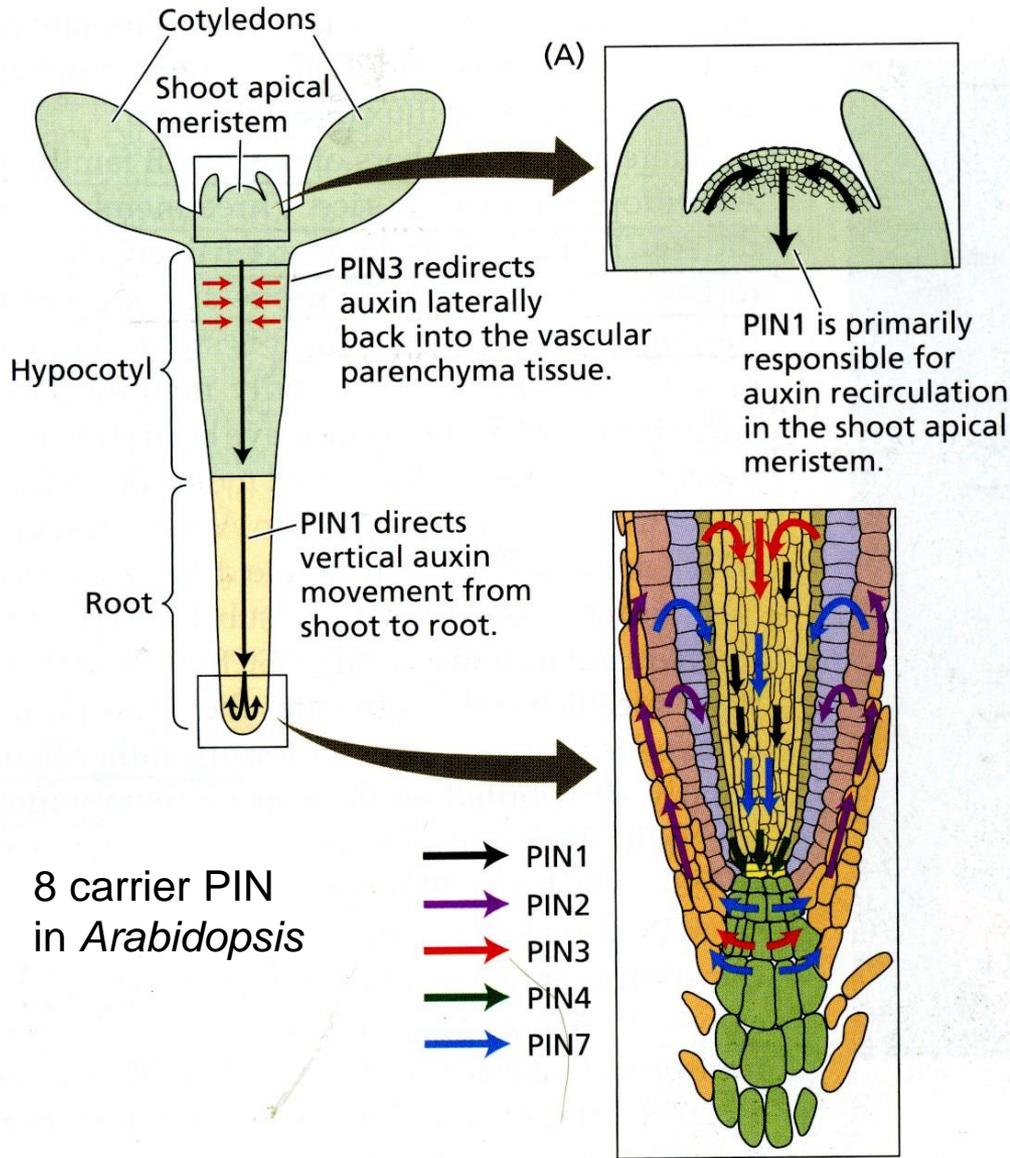
Velocità: 3 mm h<sup>-1</sup>



Le proteine AUX1/LAX e PIN sono soggette a **riciclo endocitotico** e vengono rilocalizzate rapidamente in risposta a stimoli (es. gravità)

**Figura 19.12** Schema semplificato del trasporto polare dell'auxina. Viene raffigurato il modello chemiosmotico del trasporto polare dell'auxina che mostra una cellula, in una colonna di cellule trasportanti auxina. Nelle cellule più piccole vicine ai meristemi si ritiene che a causa dell'elevato rapporto superficie/volume la re-diffusione dell'IAA nelle cellule richieda un meccanismo aggiuntivo di efflusso dipendente da energia.

## Modello chemiosmotico del trasporto polare

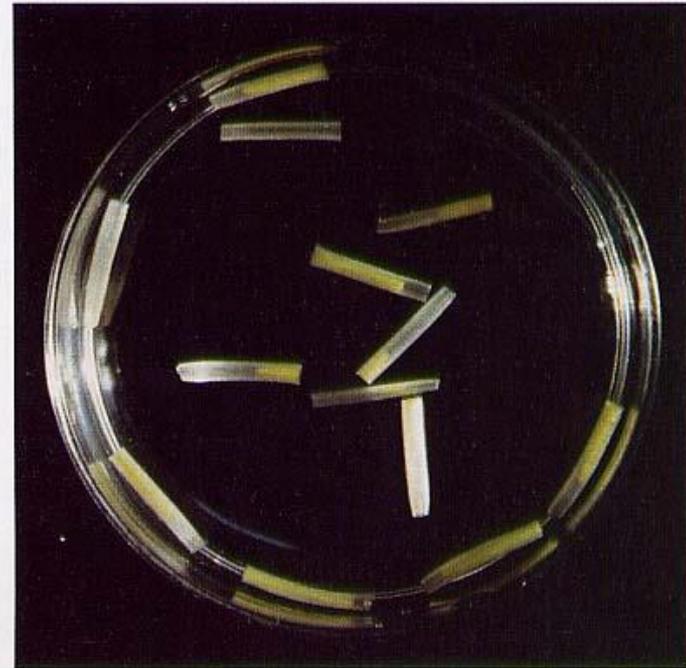


Trasportatori ABC, sottoclasse «B» coinvolti nell'efflusso

PIN 1: sviluppo polare e organogenesi

# EFFETTI FISIologici DELLE AUXINE

# Crescita per distensione



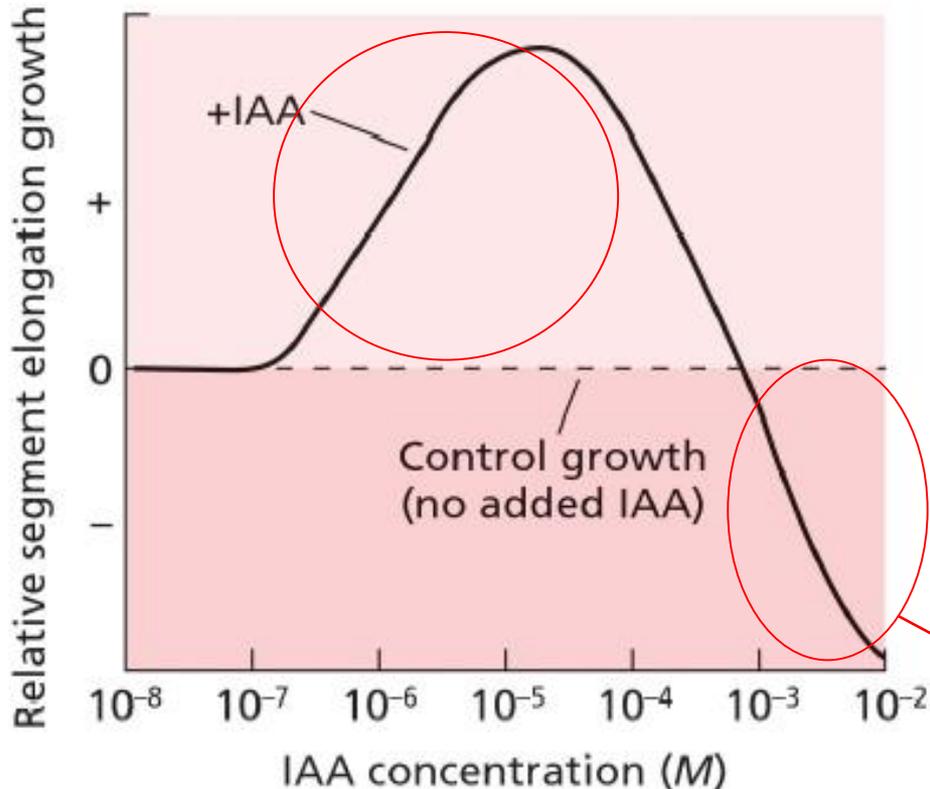
C



IAA

Coleottili di *Avena*

## Fusto o coleotile:



## Livelli ottimali di IAA per la crescita per distensione:

- **Fusto/coleotile:**  $10^{-6}$ - $10^{-5}$  M
- **Radice:**  $10^{-9}$ - $10^{-8}$  M (si ha inibizione a concentrazioni maggiori)

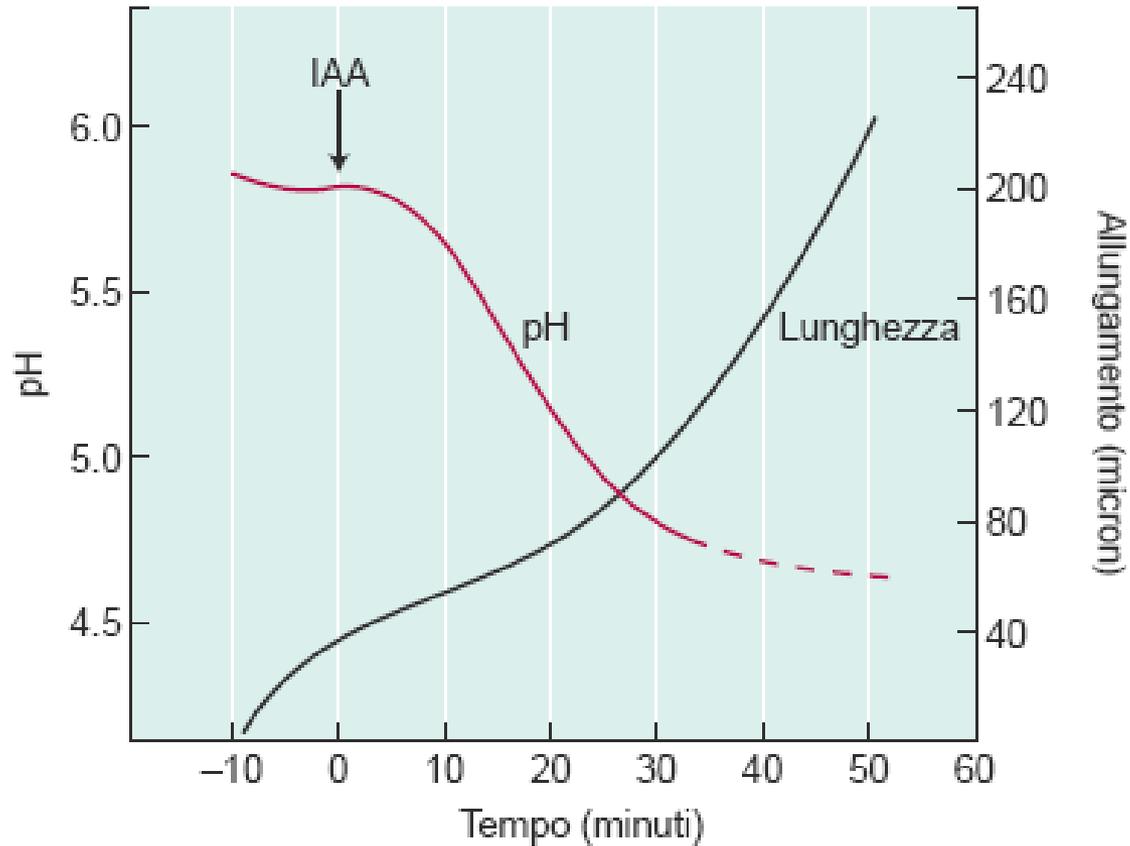
Crescita fino a 18-20 ore  
5-10 volte il controllo

Inibizione

Risposta bloccata da:

- Inibitori del metabolismo respiratorio
- Inibitori della sintesi proteica

# ACIDIFICAZIONE DEL MEZZO ESTERNO: L'AUXINA STIMOLA LA POMPA PROTONICA



Coleottili di mais

## IAA induce un aumento dell'attività complessiva della pompa protonica del plasmalemma:

- 1 - Stimolazione della trascrizione del gene per l'  $H^+$ -ATPasi
- 2- Aumento del traffico delle  $H^+$ -ATPasi verso il plasmalemma
- 3- Stabilizzazione delle  $H^+$ -ATPasi sul plasmalemma

Due effetti:

- L'estrusione di protoni energizza vari traslocatori, fa aprire i canali rettificatori verso l'interno di vari cationi
  - > Aumento della concentrazione di soluti, diminuzione potenziale osmotico, ingresso di acqua e aumento del turgore
- L'acidificazione della parete attiva le **espansine**

# Ruoli biologici dell'auxina

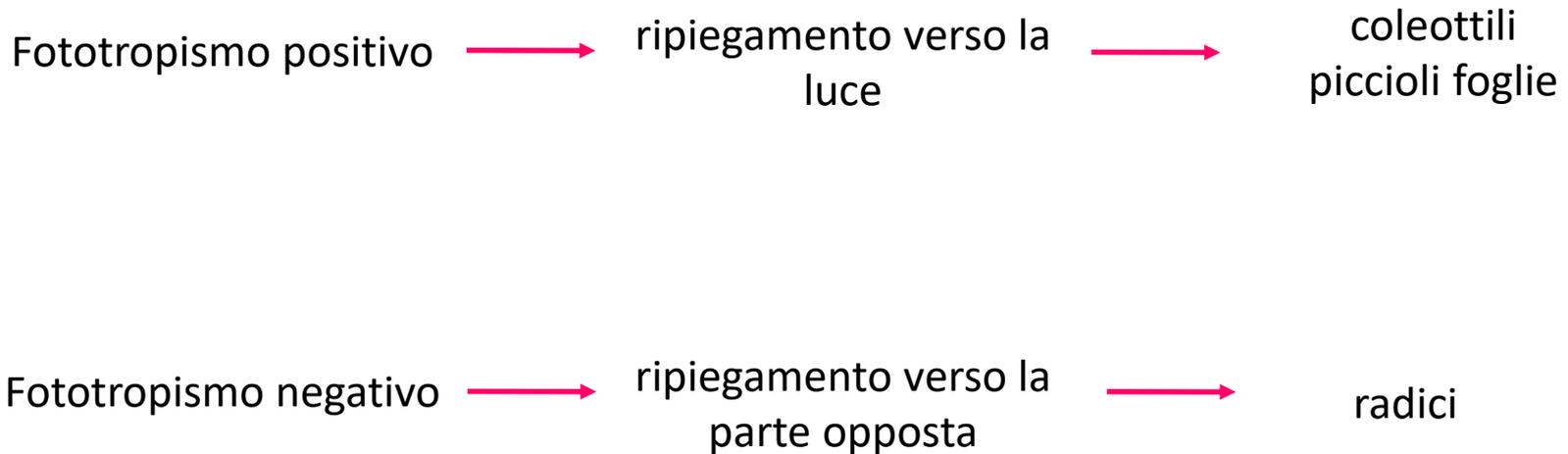
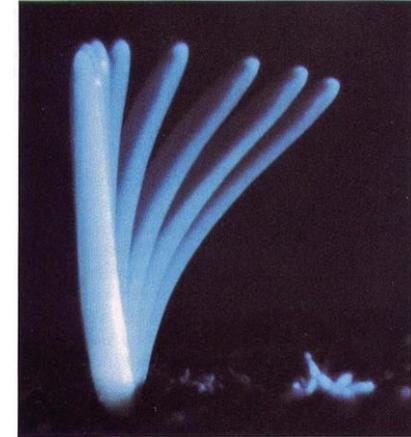
## L'AUXINA STIMOLA/REGOLA :

1. FOTOTROPISMO
2. GRAVITROPISMO
3. DOMINANZA APICALE
4. ABSCISSIONE FOGLIARE
5. CRESCITA DEI FRUTTI
6. NEO-FORMAZIONE DI RADICI
7. ONTOGENESI DEL TESSUTO VASCOLARE

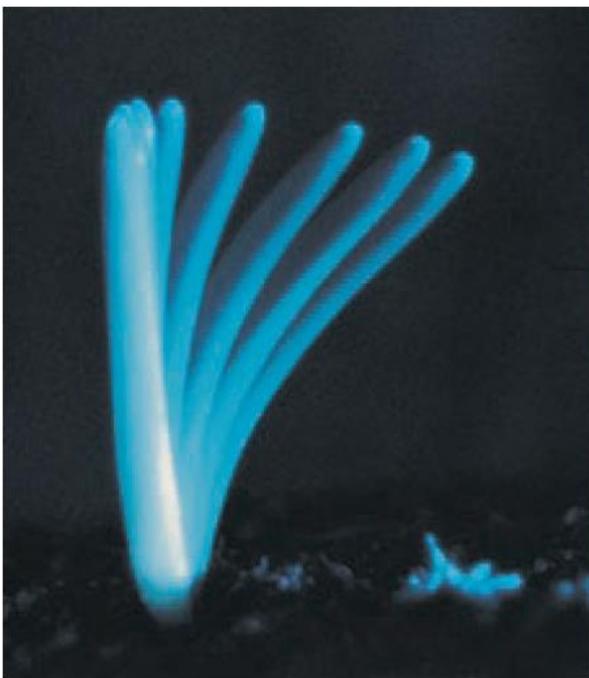
# L'AUXINA REGOLA I TROPISMI

## 1- Fototropismo

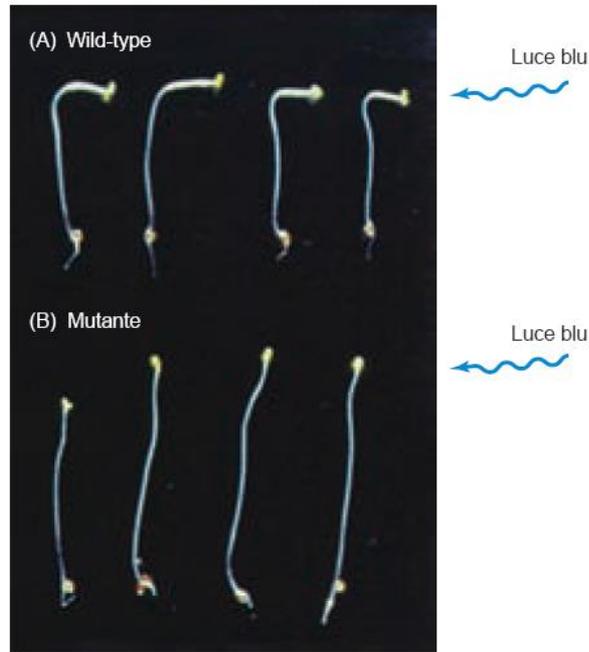
Risposte direzionali di crescita rispetto alla luce



# Fototropismo positivo

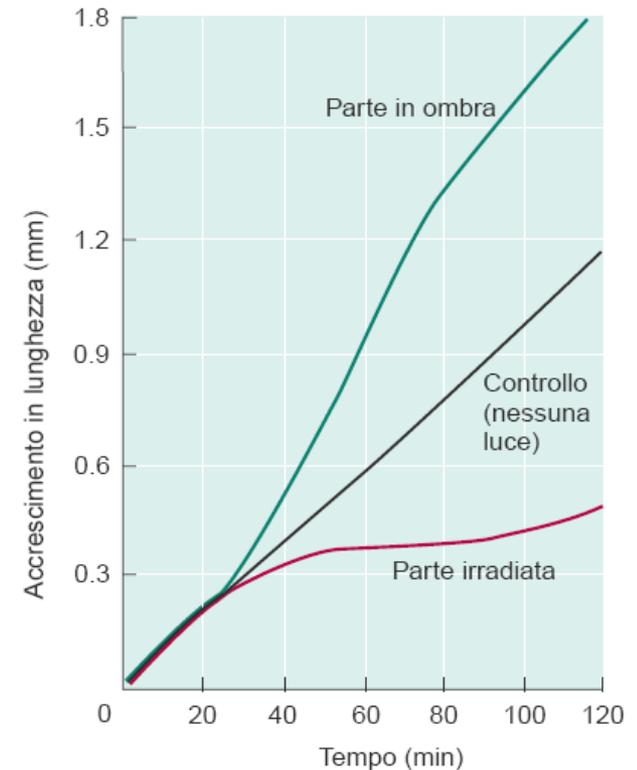


**Figura 18.3** Fotografia ottenuta durante un lungo periodo di tempo di un coleotile di mais che cresce verso una fonte di luce blu unilaterale data da destra. Nella prima immagine a sinistra il coleotile è lungo circa 3 cm. Le esposizioni consecutive sono state fatte 30 minuti una dall'altra. Notare che l'angolo della curvatura aumenta non appena il coleotile si ripiega. (Per concessione di M. A. Quiñones).

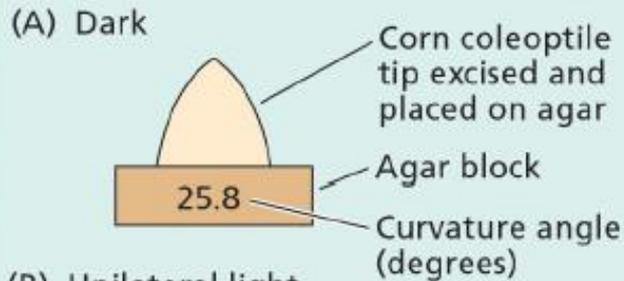


**Figura 18.4** Fototropismo in pianticelle wild-type e mutanti di *Arabidopsis*. La luce unilaterale è somministrata da destra. (Per concessione di Dr. Eva Huala).

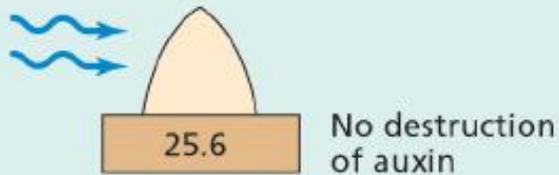
Crescita differenziale tra il lato alla luce e il lato all'ombra



### Undivided agar block

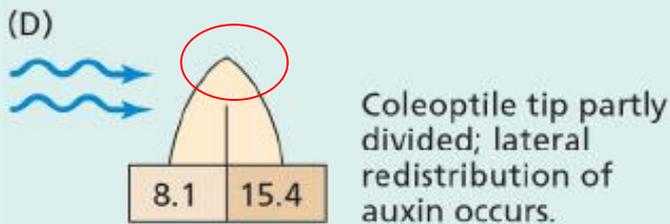
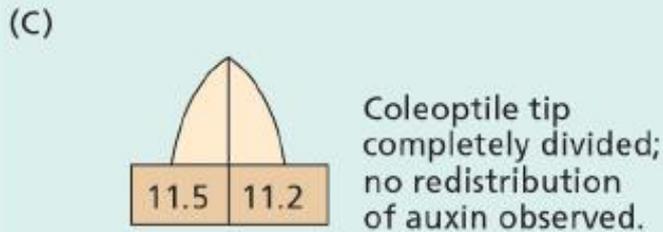


(B) Unilateral light

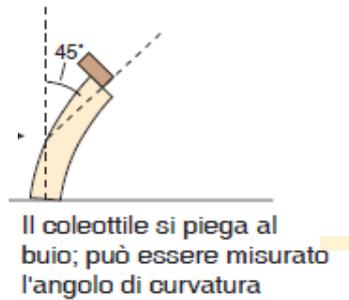


Unilateral light does not cause photodestruction of auxin on illuminated side.

### Divided agar block



Auxin is transported laterally to the shaded side in the tip.



PLANT PHYSIOLOGY, Third Edition, Figure 19.27 © 2002 Sinauer Associates, Inc.

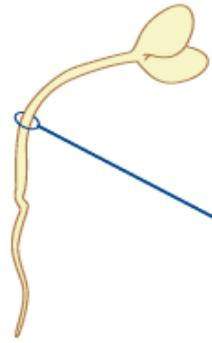
trasporto polare



azione

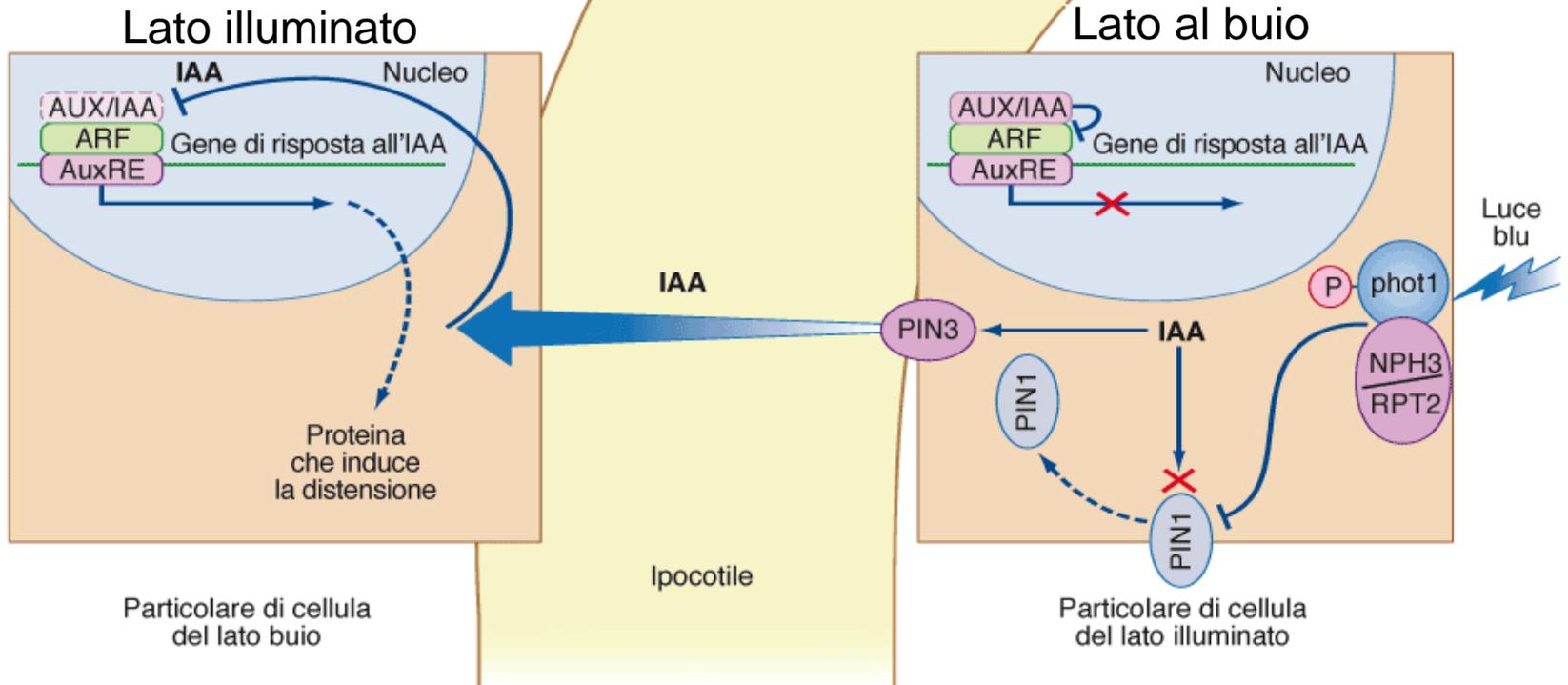
Fototropina 1 e 2:  
recettori luce blu  
per il fenomeno  
fototropico:

Interagiscono con  
i trasportatori di  
IAA causandone  
la ridislocazione

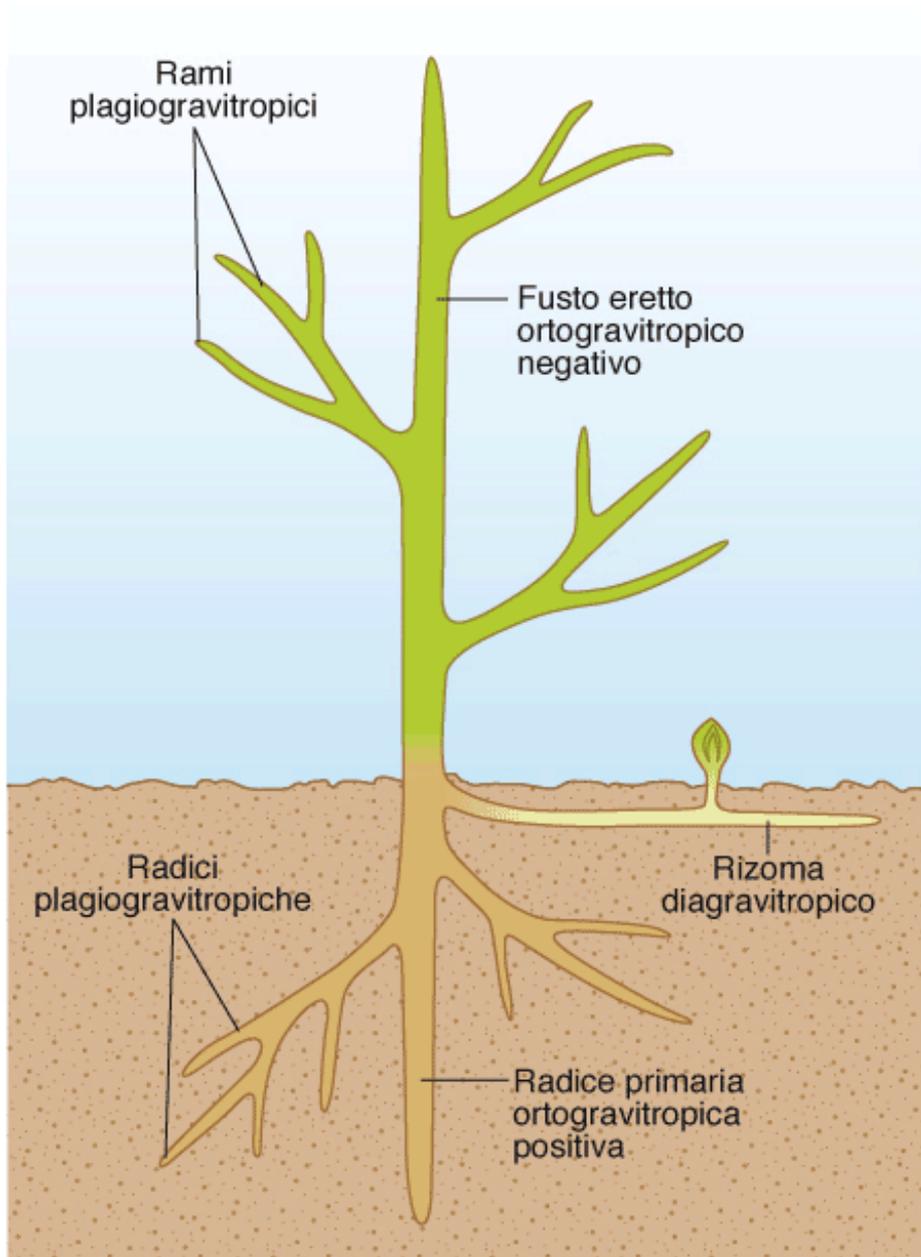


Effetto di phot1: fosforilazione di  
trasportatori ABCB (inattivazione) e  
successiva destabilizzazione di PIN1  
(riportato per endocitosi nella cellula)

**Trasporto assiale di IAA fortemente  
ostacolato**



Rilocalizzazione di PIN3 nella regione laterale interna delle cellule dell'endoderamide  
**Trasporto laterale di IAA favorito**



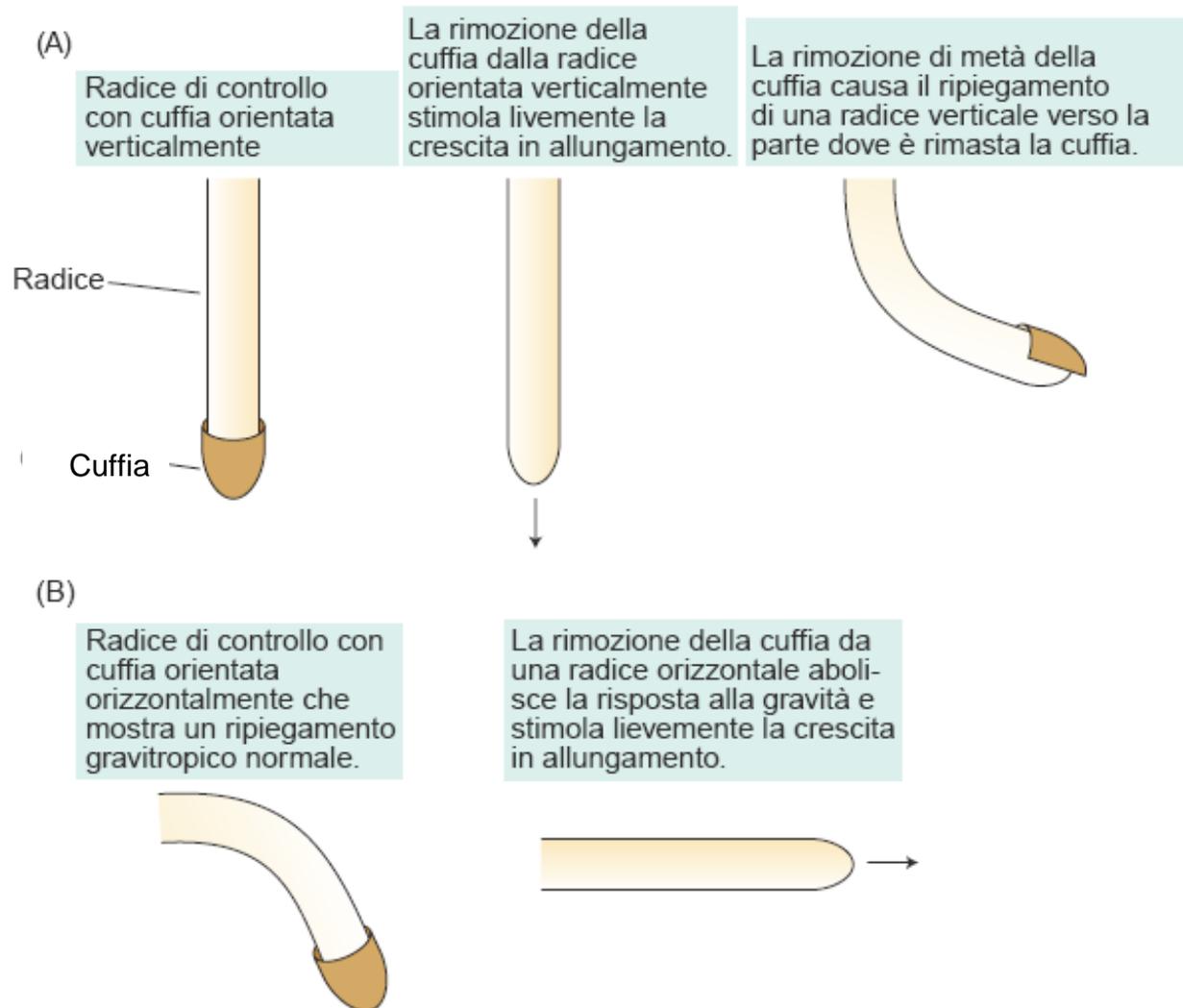
## 2- Gravitropismo:

- Positivo vs negativo
- Orto-, dia-, plagio- gravitropismo

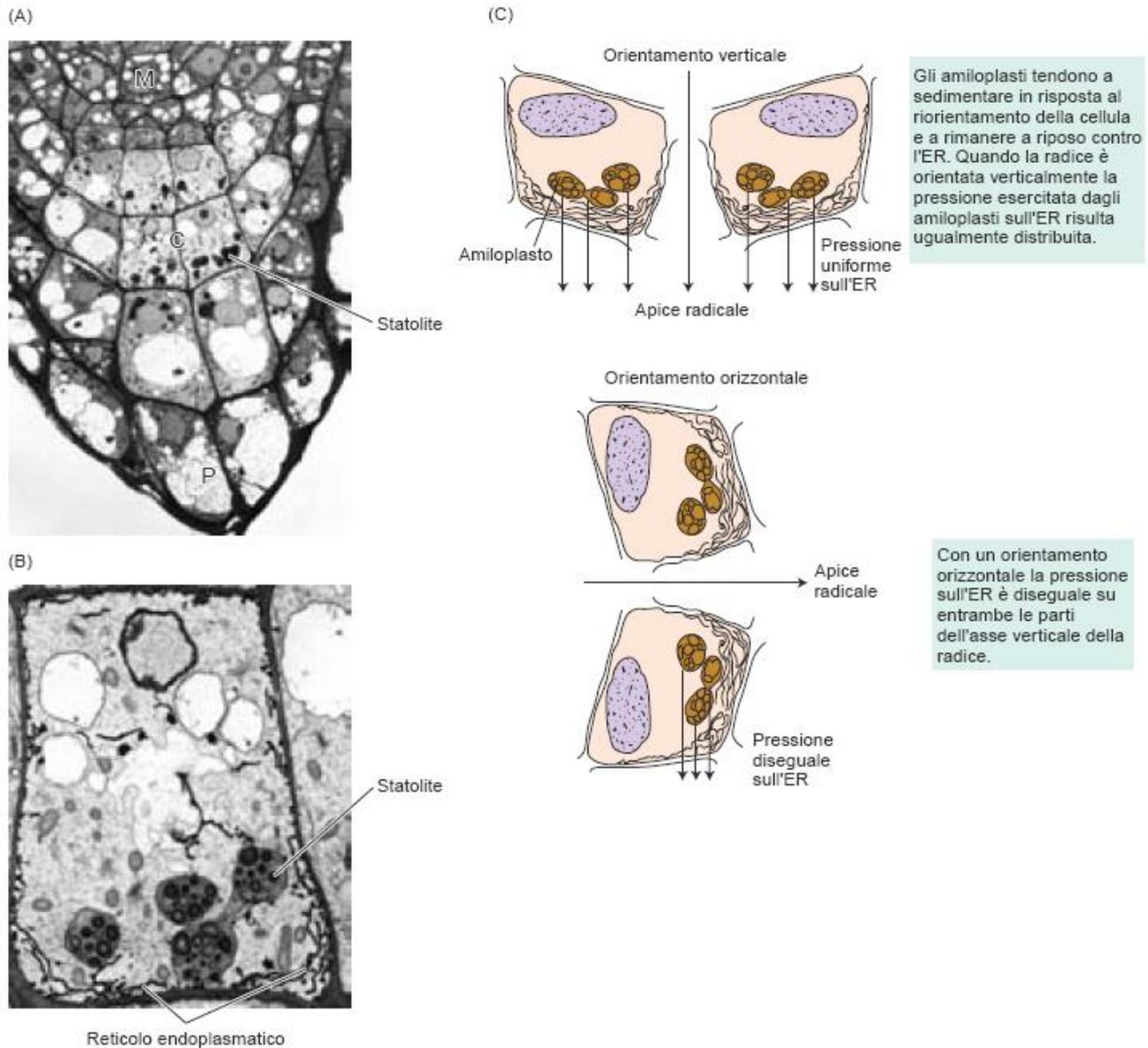


**FIGURA 18.9** Il gravitropismo in plantule di mais (*Zea mays*). Plantule di mais di quattro giorni cresciute al buio erano poste orizzontalmente per tre ore. Notare che il fusto mostra gravitropismo negativo e la radice gravitropismo positivo.

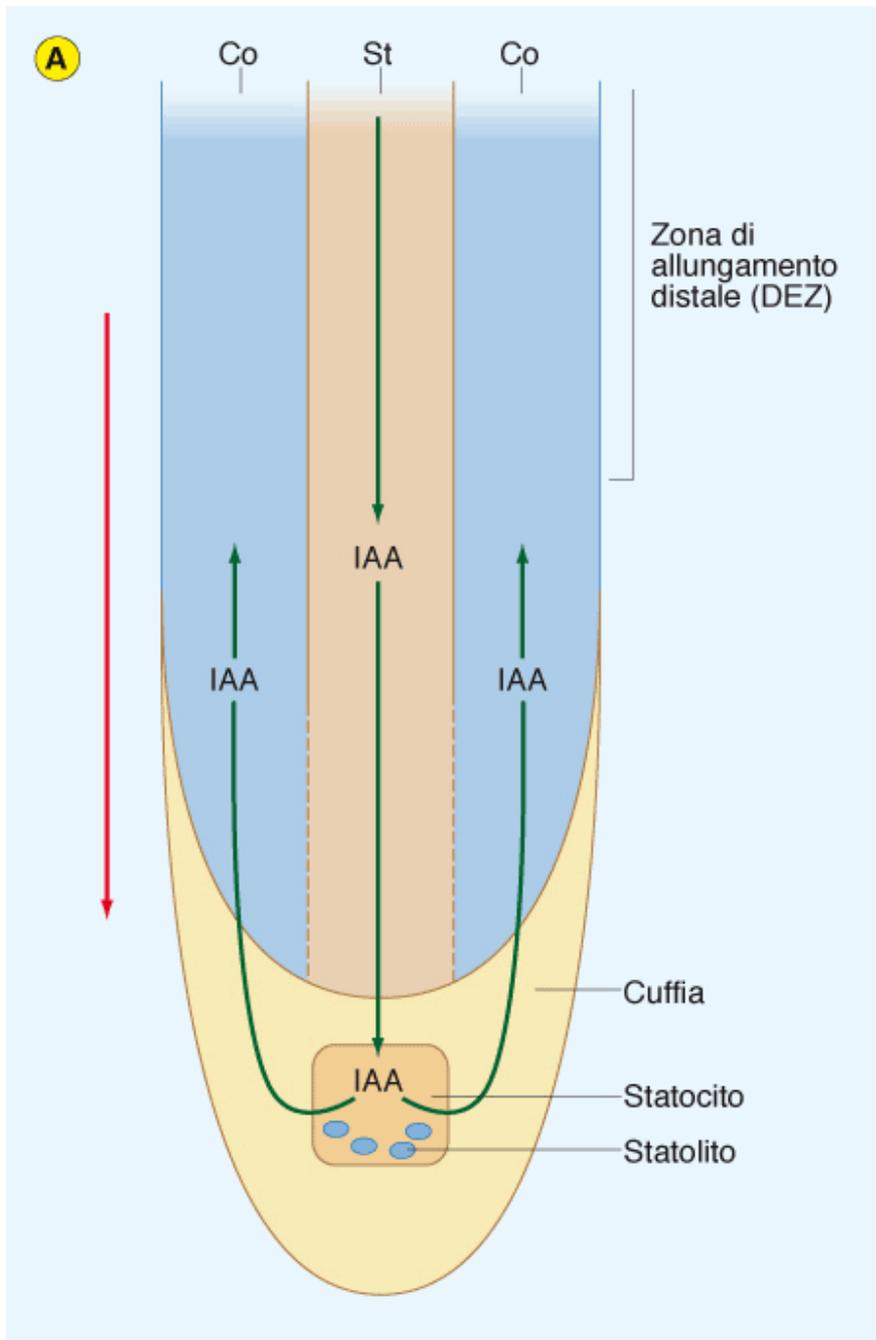
# Gravitropismo della radice



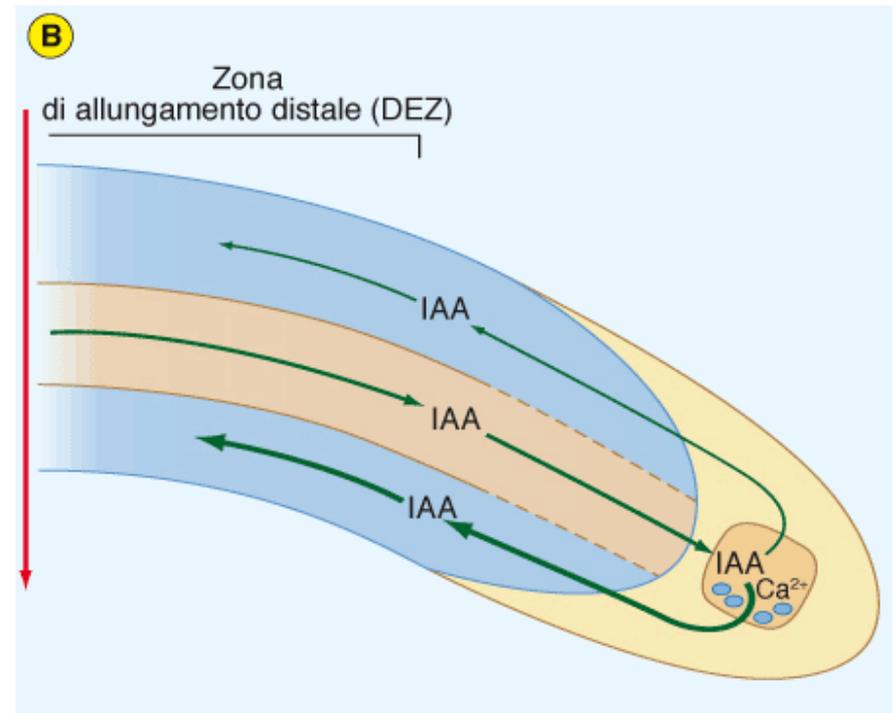
**Figura 19.33** Esperimenti di microchirurgia che dimostrano che la cuffia produce un inibitore che regola il gravitropismo della radice. (A) Radici orientate verticalmente. (B) Radici orientate orizzontalmente. (Da Shaw e Ailkins 1973).



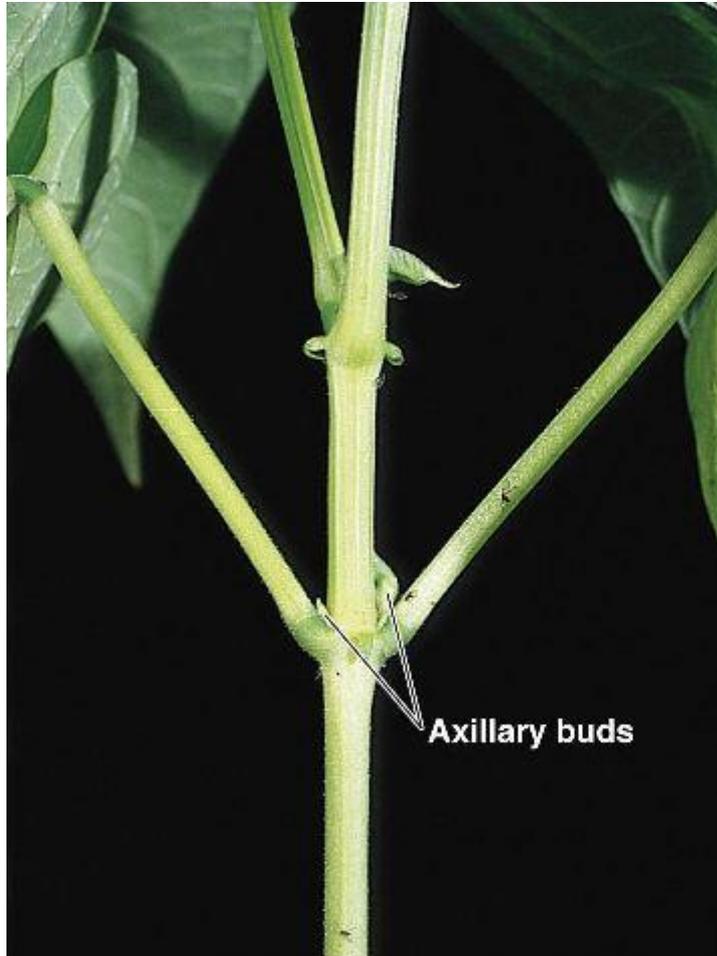
**Figura 19.30** La percezione della gravità negli statociti di *Arabidopsis*. (A) Micrografia elettronica di un apice radicale che mostra il meristema apicale (M), la columella (C) e le cellule periferiche (P). (B) Veduta ingrandita di una cellula della columella che mostra gli amiloplasti che comprimono il reticolo endoplasmatico al fondo della cellula. (C) Diagramma dei cambiamenti che avvengono durante il riorientamento dalla posizione verticale a quella orizzontale. (A, B per concessione di Dr. John Kiss; C da Sievers *et al.* 1996 e Volkmann e Sievers, 1979).



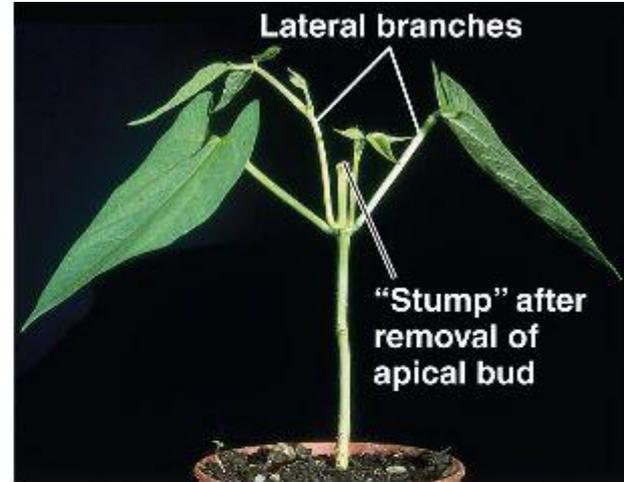
## Modello a fontana della redistribuzione dell'auxina



### 3- DOMINANZA APICALE



(a) Apical bud intact (not shown in photo)



(b) Apical bud removed



(c) Auxin added to decapitated stem

**Ipotesi iniziale: inibizione diretta della crescita delle gemme laterali. Però:**

- applicazione di IAA esogeno alla gemma laterale non ne ostacola la crescita
  - L'IAA non entra nelle gemme ascellari

## **Ipotesi attuale**

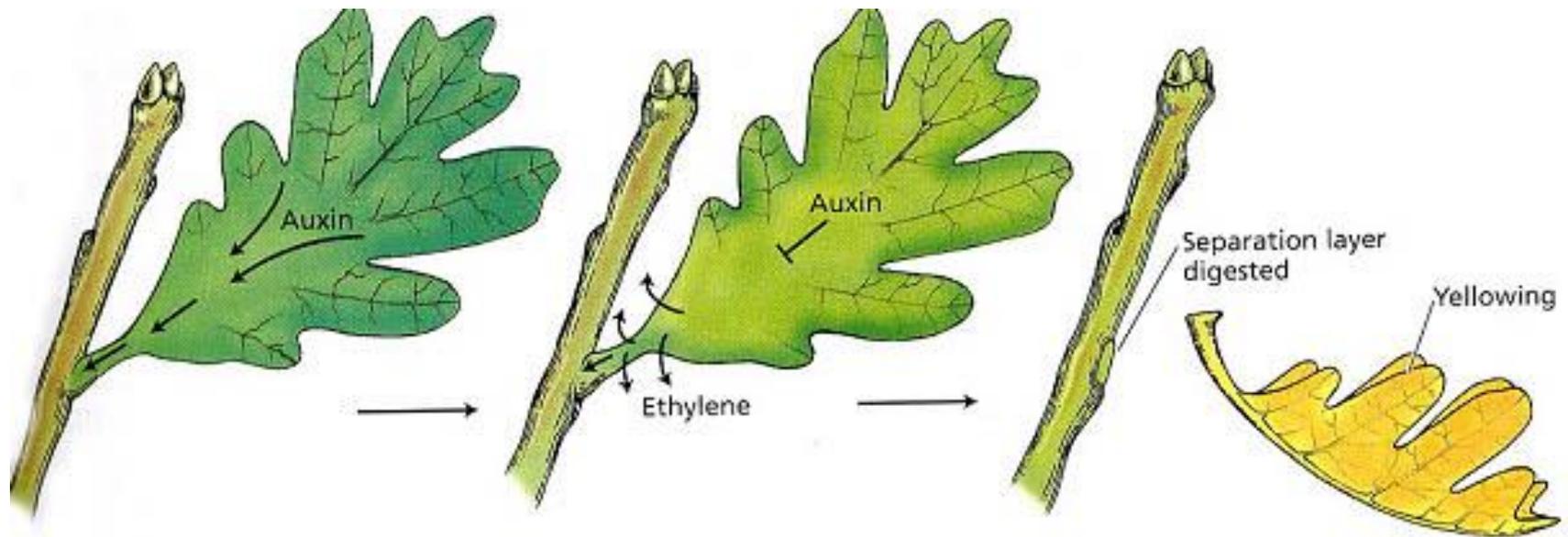
Auxina mantiene bassi i livelli di citochinine  
(promuovono la crescita delle gemme ascellari)



Inibizione espressione genica di enzimi della via biosintetica delle citochinine

## 4- REGOLAZIONE DELLA ABSCISSIONE FOGLIARE

Azione inibitoria



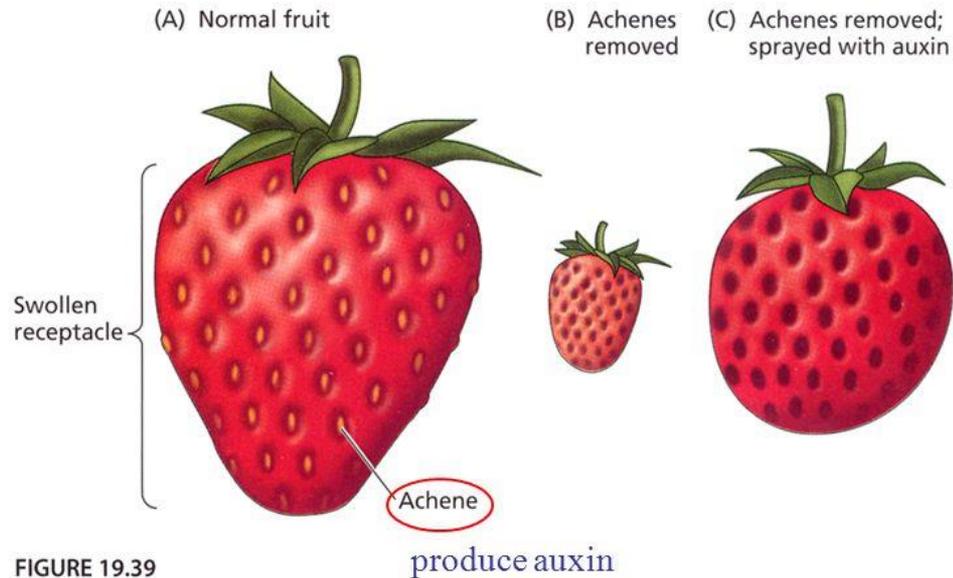
Interazione antagonista tra etilene e IAA

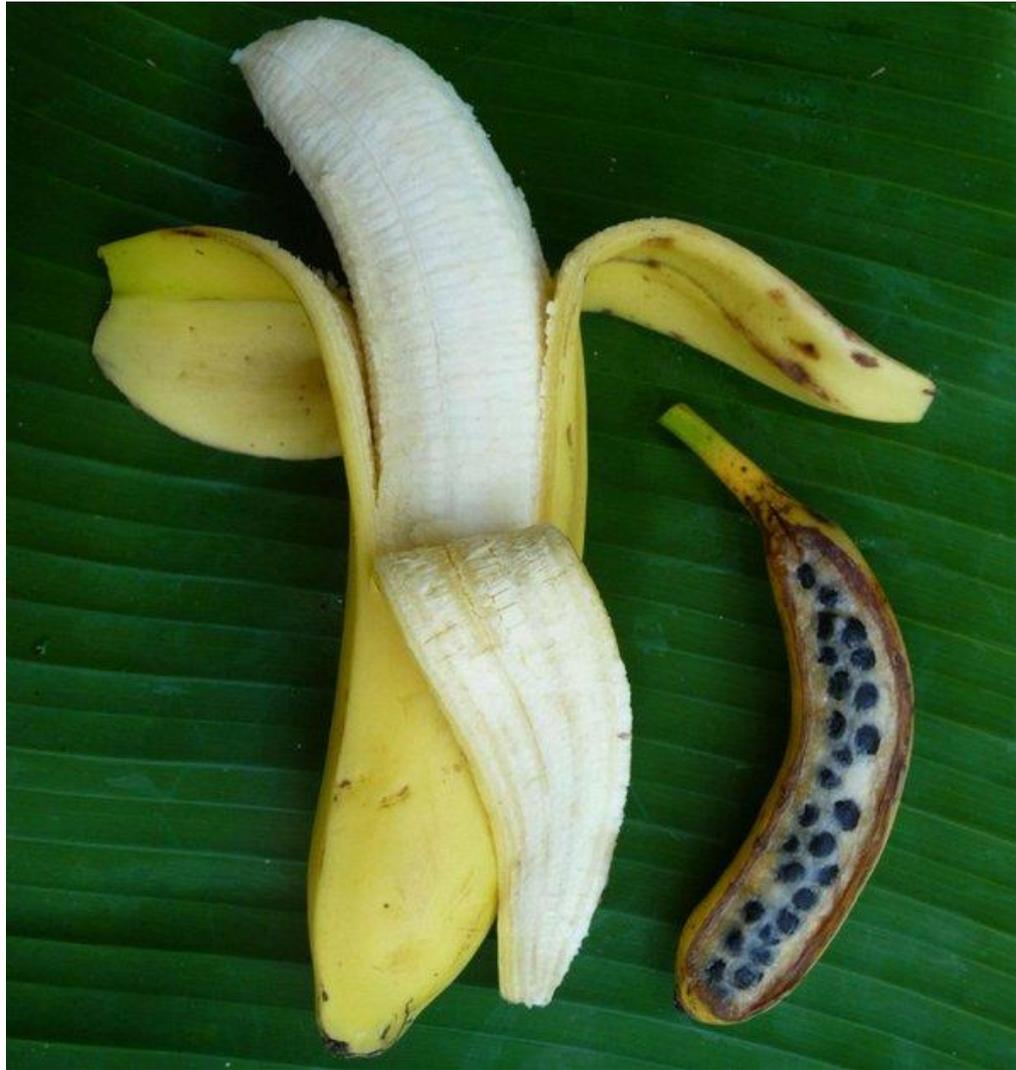
## 5- SVILUPPO DEI FRUTTI

IAA sintetizzato nel polline, nell'embrione e nell'endosperma dei semi in via di sviluppo

L'accrescimento del frutto dipende dall'auxina prodotta nei semi in via di sviluppo

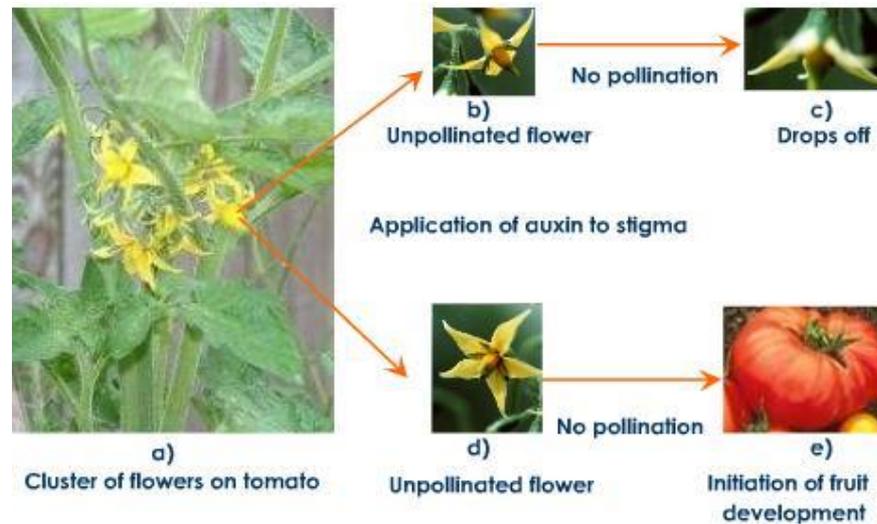
### Auxin promote fruit development





**Parthenocarpia**

In alcune specie/cultivar possono essere prodotti frutti senza semi (PARTENOCARPIA) trattando con IAA fiori non impollinati



E' possibile produrre piante partenocarpiche, ad esempio introducendo un gene che aumenti il contenuto di auxina negli ovari.

