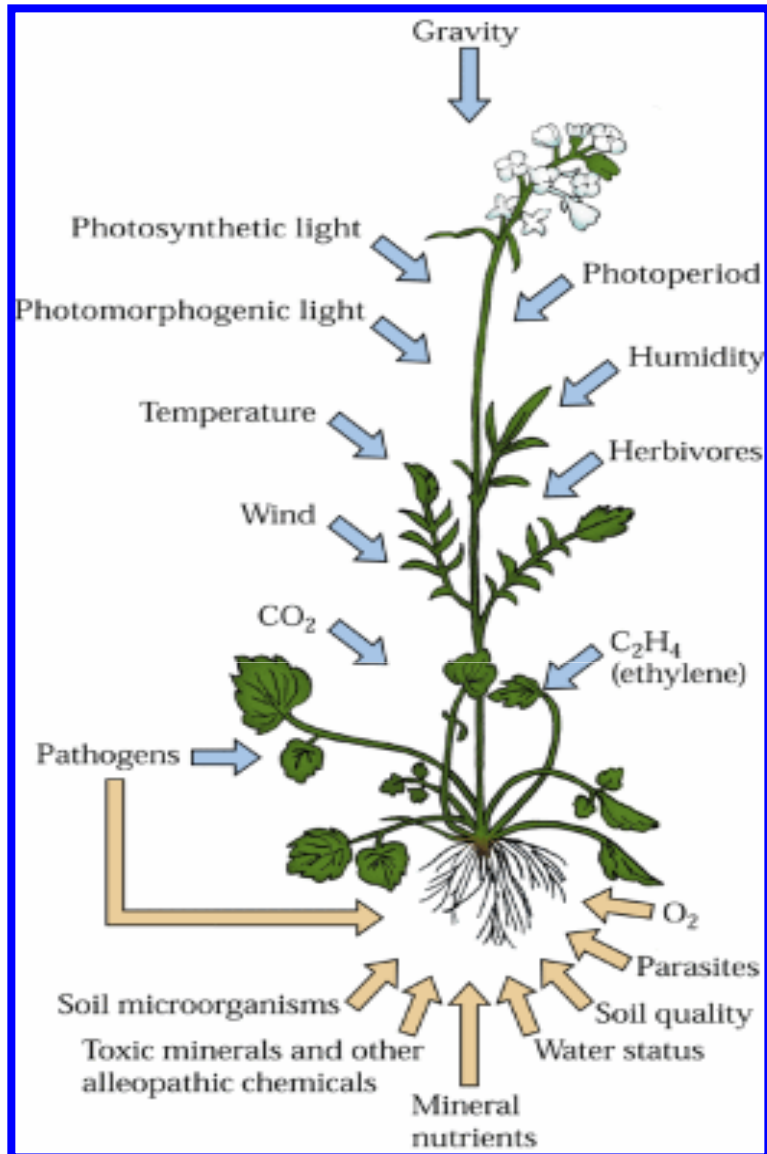


ORMONI VEGETALI



regolazione

metabolismo morfogenesi accrescimento



segnali chimici

ORMONI VEGETALI

ORMONI ANIMALI

- sono sintetizzati in organi o tessuti specifici
- sono trasportati attraverso il circolo sanguigno verso un tessuto bersaglio
- controllano un processo fisiologico in maniera concentrazione-dipendente

CLASSI PRINCIPALI:

PROTEINE

PEPTIDI

DERIVATI DI AMINOACIDI

STEROIDI

PIANTE

- il sito di sintesi non è chiaramente localizzato
- non sempre agiscono in maniera conc. dip.
- ogni ormone regola numerosi processi
- numerosi processi fisiologici sono regolati da diversi ormoni

CLASSI PRINCIPALI

AUXINE

GIBBERELLINE

CITOCHININE

ETILENE

ACIDO ABSCISSICO

ALTRE SOSTANZE

SEGNALE

BRASSINOSTEROIDI

ACIDO JASMONICO

ACIDO SALICILICO

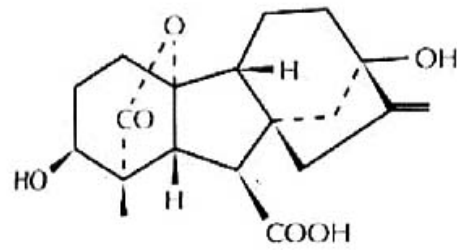
SISTEMINA

POLIAMMINE

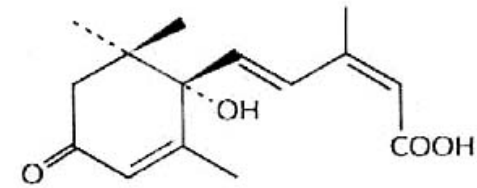
TABLE 16.1 The influence of plant hormone groups on different categories of development. An x indicates a demonstrated effect of that hormone group on one or more aspects of that developmental category. The absence of an x does not mean that the hormone is ineffective, only that an effect has not been reported in the literature.

	Hormone Group				
	Auxin	Gibberellin	Cytokinin	Absciscic Acid	Ethylene
Dormancy		x	x	x	x
Juvenility	x	x			
Extension Growth	x	x	x	x	x
Root Development	x	x	x		x
Flowering	x	x	x	x	x
Fruit Development	x	x	x	x	x
Senescence	x	x	x		x

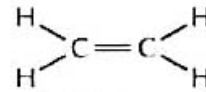
Modified from C. Leopold. Ethylene as a plant hormone. In: H. Kaldeway, Y. Varder (eds.) *Hormonal Regulation in Plant Growth and Development*. Weinheim: Verlag Chemie. 1972. Reprinted by permission.



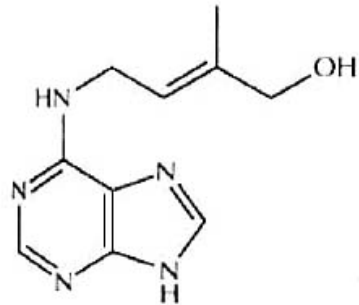
GA₁ (a gibberellin)



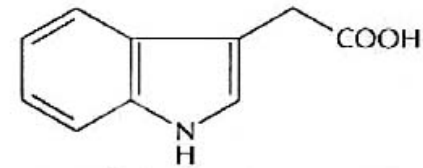
(S)-Absciscic acid



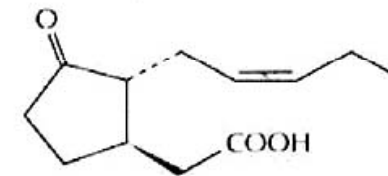
Ethylene



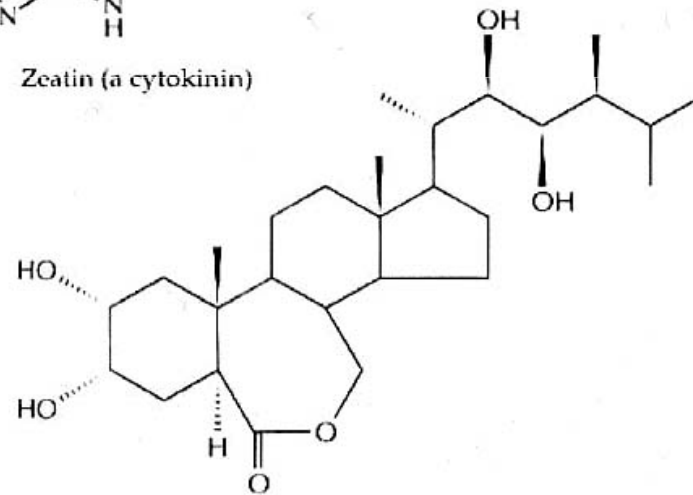
Zeatin (a cytokinin)



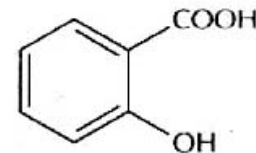
Indole-3-acetic acid (an auxin)



(-)-Jasmonic acid



Brassinolide (a brassinosteroid)



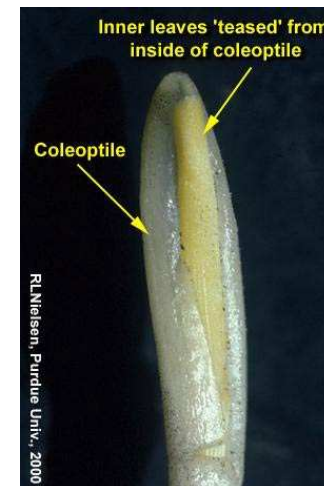
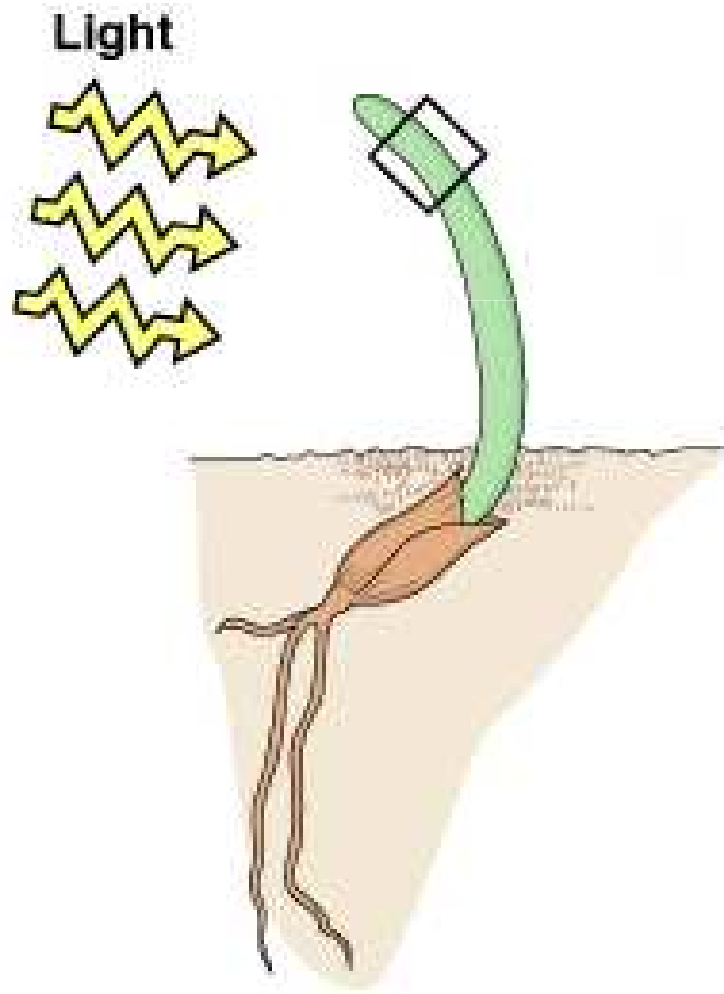
Salicylic acid

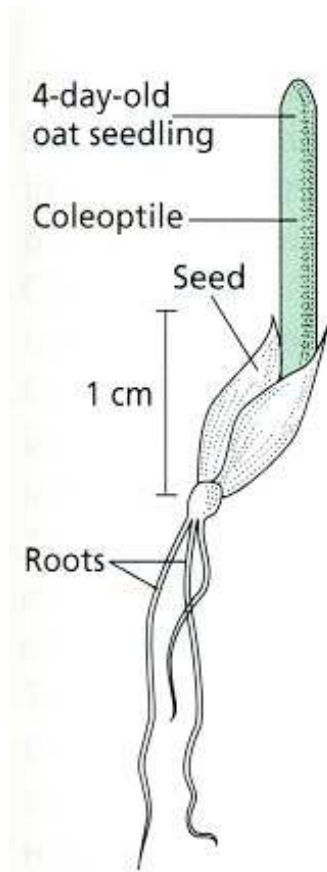


Spermidine (a polyamine)

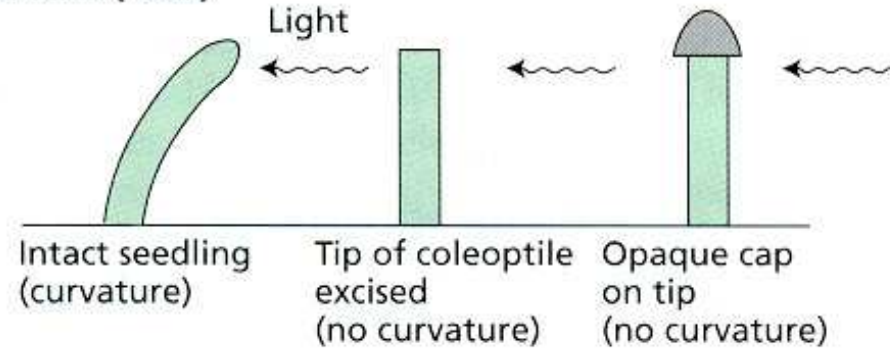
AUXINA

fototropismo





Darwin (1880)

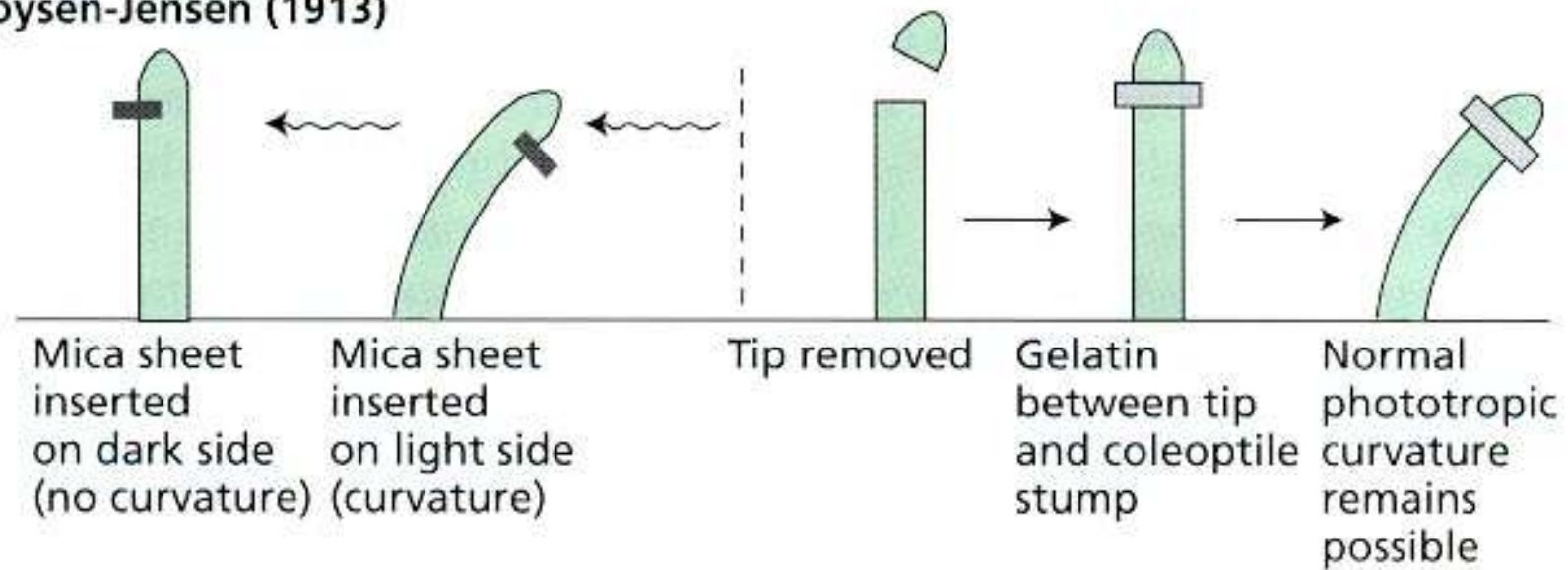


la zona di accrescimento è
lontana dall'apice

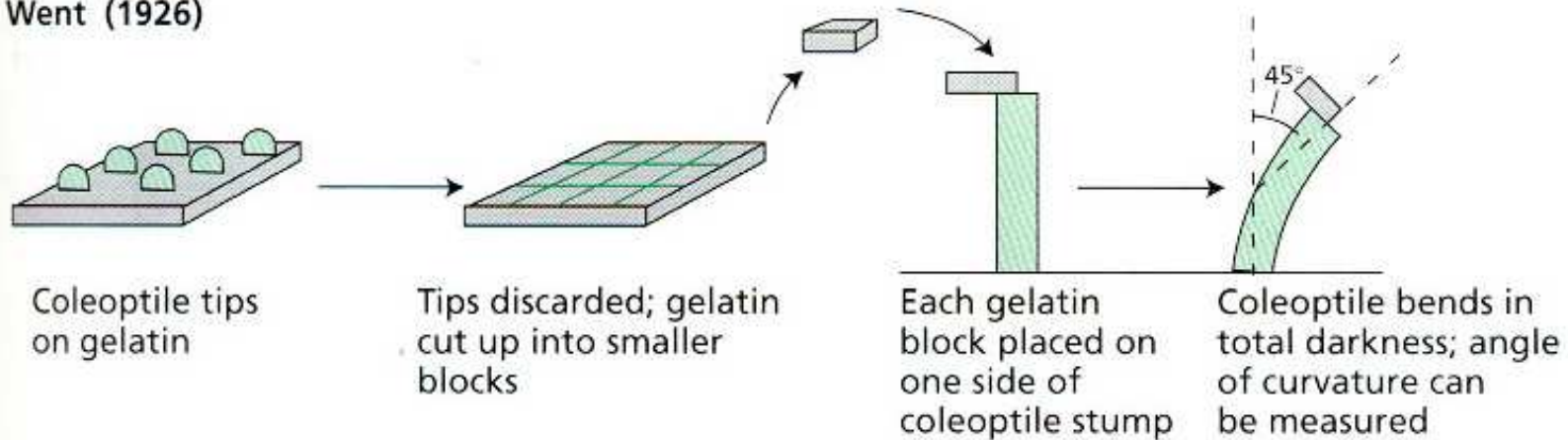


segnale?

Boysen-Jensen (1913)

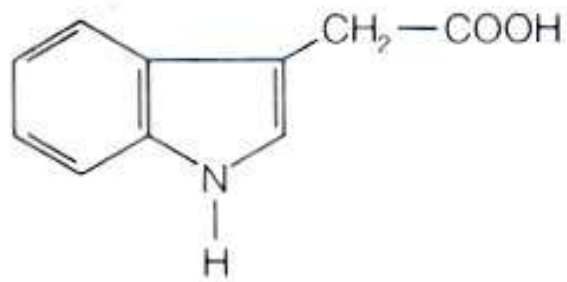


Went (1926)

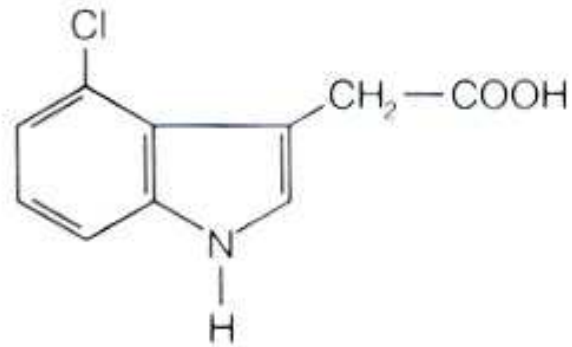


nell'apice del coleotile è presente una sostanza in grado di promuovere la crescita

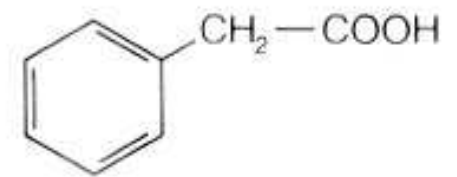
anni '30 (USA, Olanda): scoperta natura chimica auxina



Acido 3-indolacetico
(IAA)



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



Acido fenilacetico
(PAA)



acqua



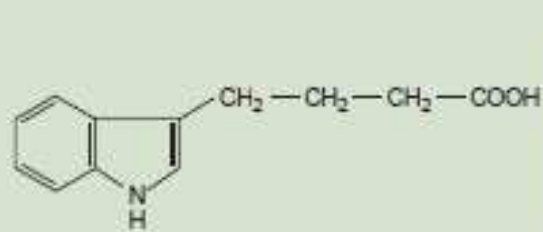
auxina

Inizialmente:

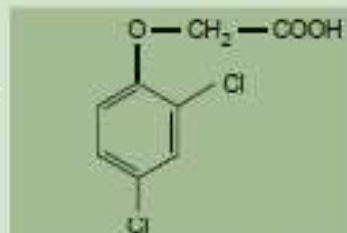
Auxina = sostanza chimica capace di stimolare l'allungamento del coleottil e di sezioni di fusto

Oggi le auxine sono definite come: composti con attività biologiche analoghe a quelle dell'IAA

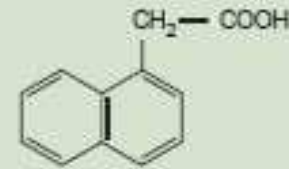
- allungamento cellulare
- divisione cellulare di calli in coltura in presenza di citochinine
- formazione di radici avventizie



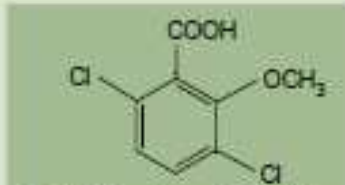
Acido indol-3-butirrico
(IBA)



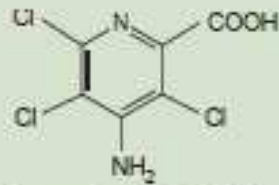
Acido 2,4-diclorofenossiacetico (2,4-D)



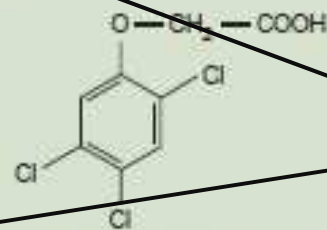
Acido α -naftalen acetico
(α -NAA)



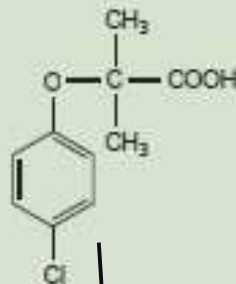
Acido 2-metossi-3,6-dicloro benzoico
(dicamba)



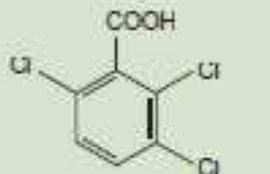
Acido 4-ammino-3,5,6-tricloro-
ropiecinico (tordon o picloram)



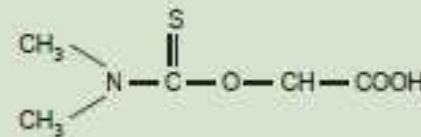
Acido 2,4,5-triclorofenossi-
acetico (2,4,5-T)



Acido α -(p-clorofenossi)isobutirrico
(PCIB, una antiauxina)



Acido 2,3,6-tricloroben-
zoico

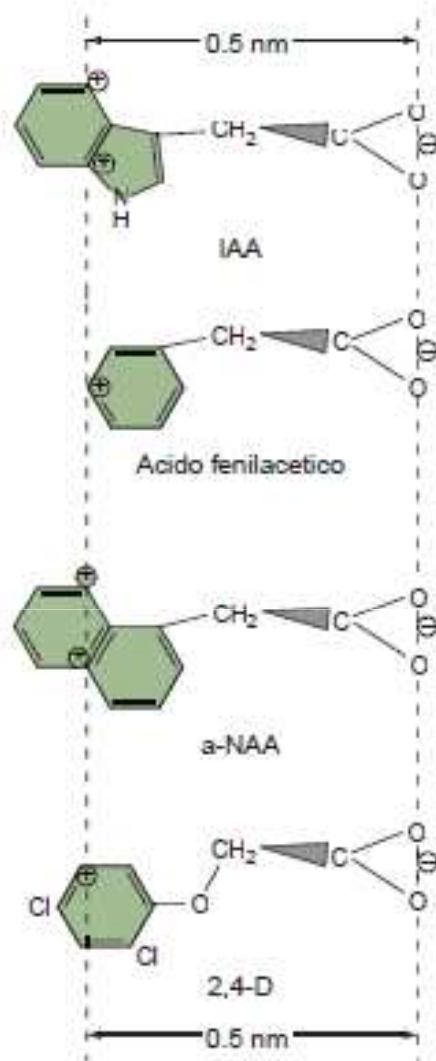


N,N-Dimetiletiltiocarbammato

Utilizzate come
erbicidi

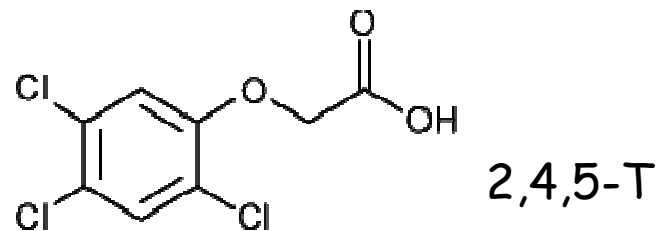
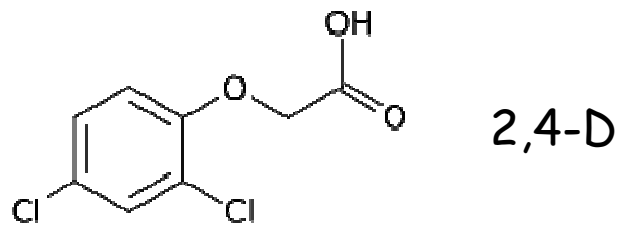
antiauxina

Auxine sintetiche



L'attività auxinica dipende dalla presenza di una carica negativa e da una parziale carica positiva delocalizzata sull'anello, separate da una certa distanza

AGENTE ORANGE

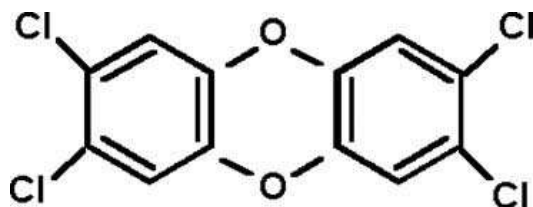


3 milioni e mezzo di ettari irrorati

Cancerogeno - teratogeno



gravissime malformazioni

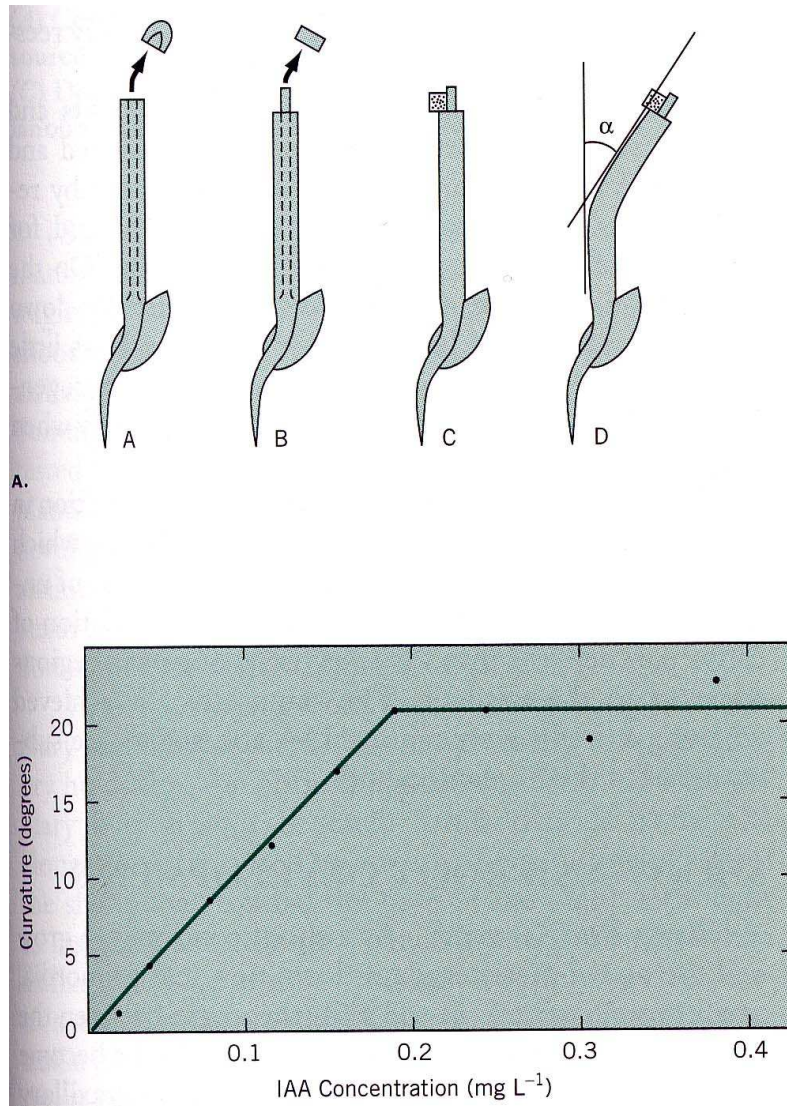


tetraclorodibenzo-p-diossina (TCDD)

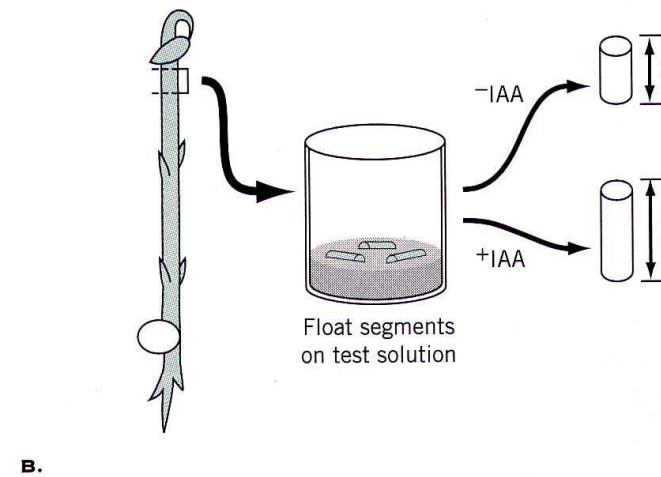
METODI DI DOSAGGIO DELLE AUXINE

- **METODI BIOLOGICI**
- **METODI CHIMICO-FISICI**

SAGGI BIOLOGICI



METODI DI DOSAGGIO DELLE AUXINE

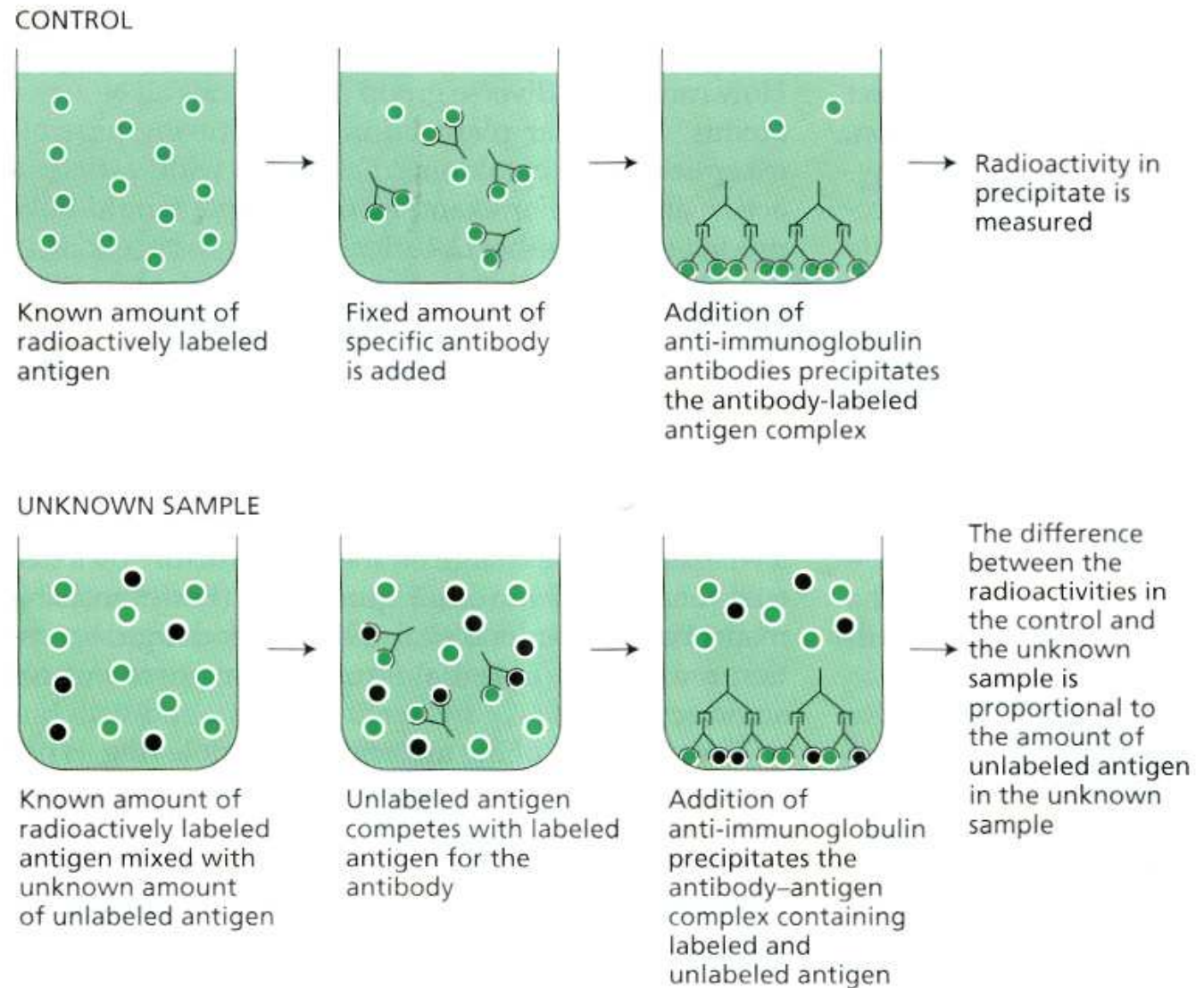


- retta di taratura con quantità note di auxina
- interpolazione della retta di taratura

METODI CHIMICI E FISICI

METODI DI DOSAGGIO DELLE AUXINE

RIA: saggio
radioimmunologico
(1 ng)



HPLC - SPETTROMETRIA DI MASSA
(1 pg)

BIOSINTESI IAA

avviene nei tessuti in rapida divisione cellulare

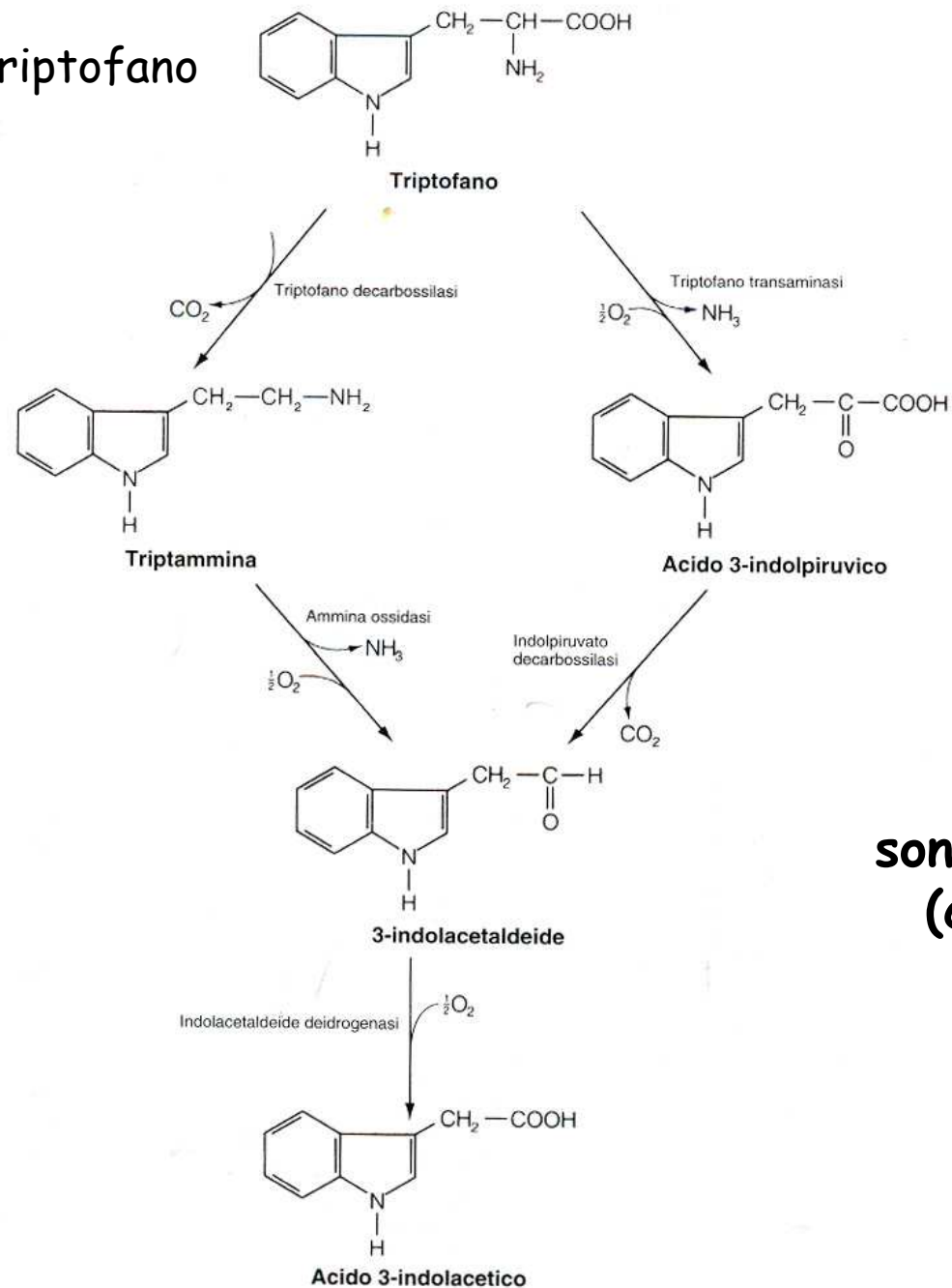
meristemi apicali germoglio

foglie giovani

frutti in via di sviluppo

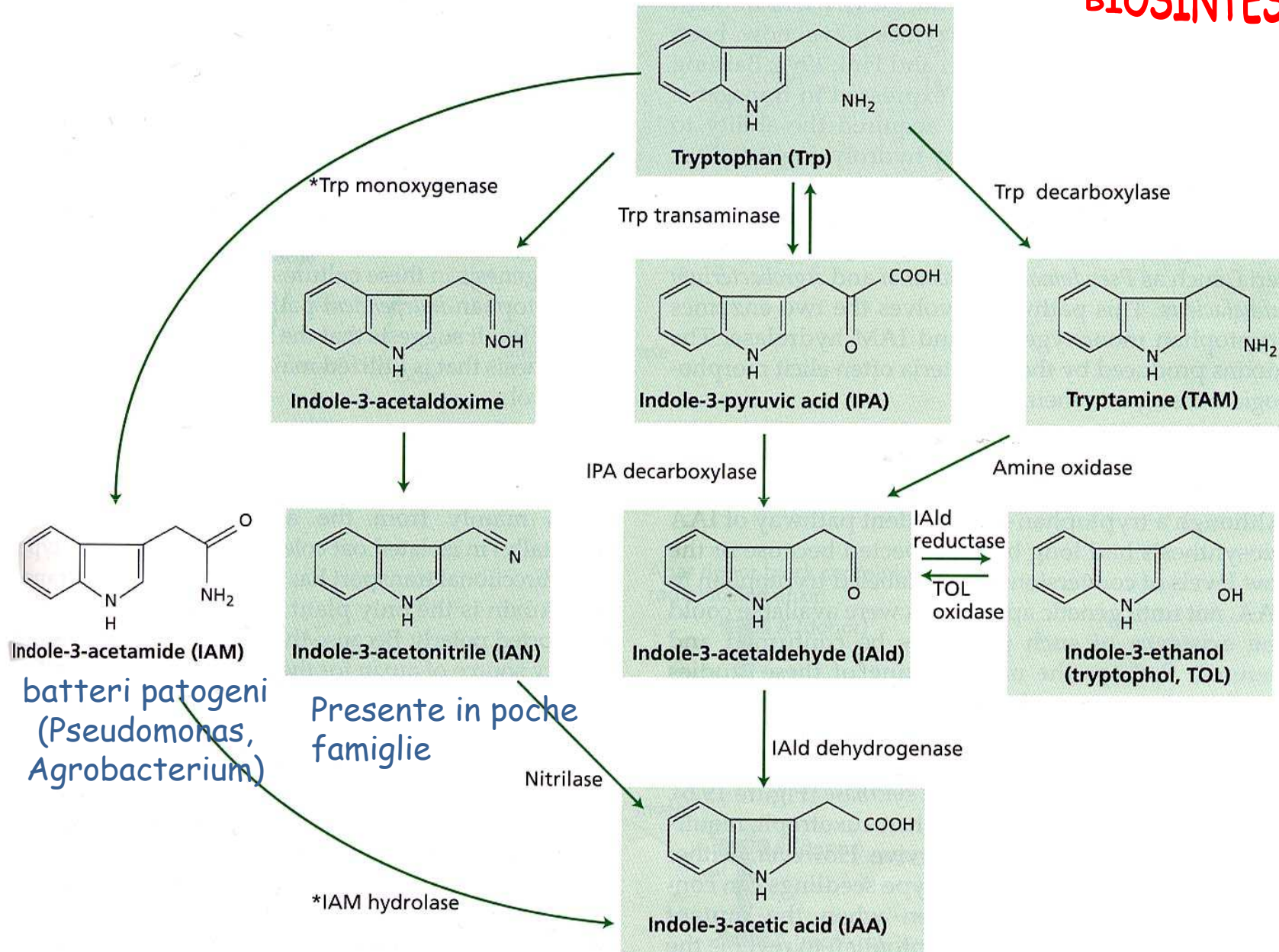
BIOSINTESI IAA

Il precursore è il triptofano



sono vie alternative
(comuni solo nel
pomodoro)

BIOSINTESI IAA



batteri patogeni
(Pseudomonas,
Agrobacterium)

Presente in poche
famiglie

BIOSINTESI IAA

via triptofano-indipendente

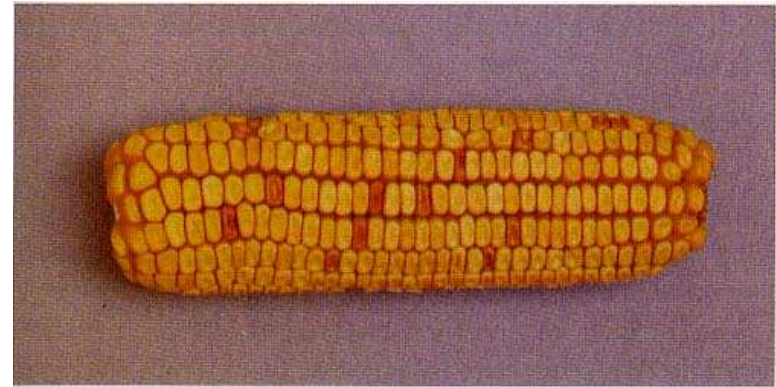
mutanti di mais *orp*
(*orange pericarp*)



gene triptofano
sintasi mutato



alti livelli IAA



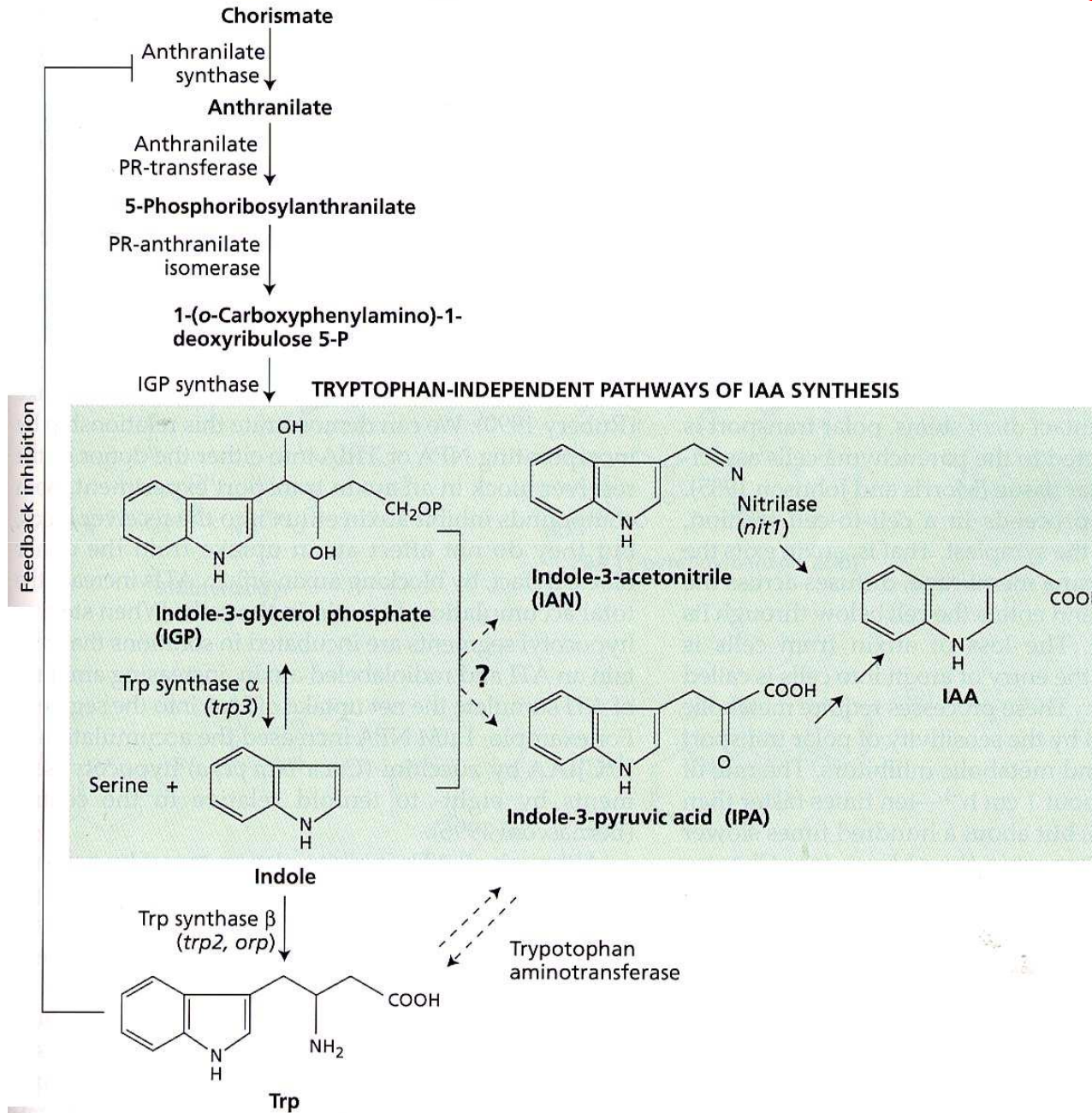
[¹⁵N]antranilato



[¹⁵N]IAA

BIOSINTESI IAA

TRYPTOPHAN BIOSYNTHETIC PATHWAY



Il metabolismo dell'auxina comprende oltre alla sintesi anche l'ossidazione e la coniugazione

**L'IAA può essere
coniugato a vari
composti**

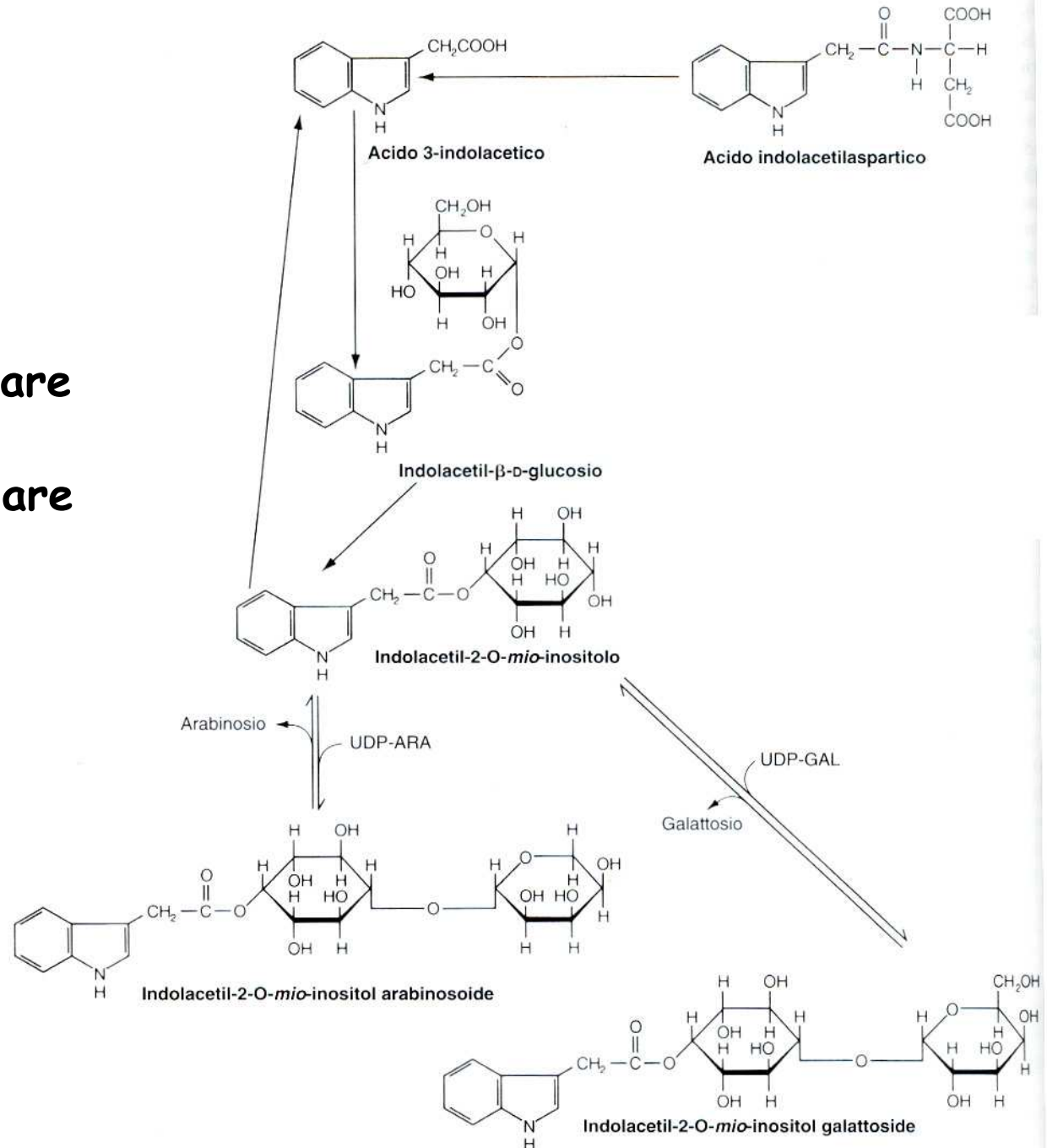
a basso peso molecolare

ad alto peso molecolare



**IAA-glucani (50-70
unità glucosio)**

**IAA-glicoproteine (nei
semi di cereali)**

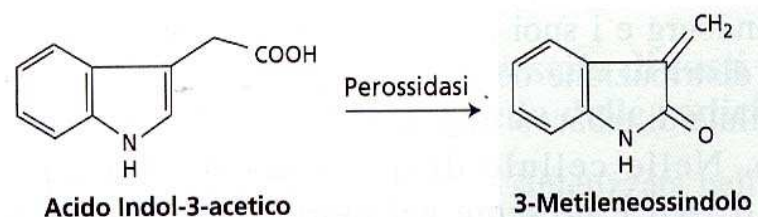


degradazione IAA

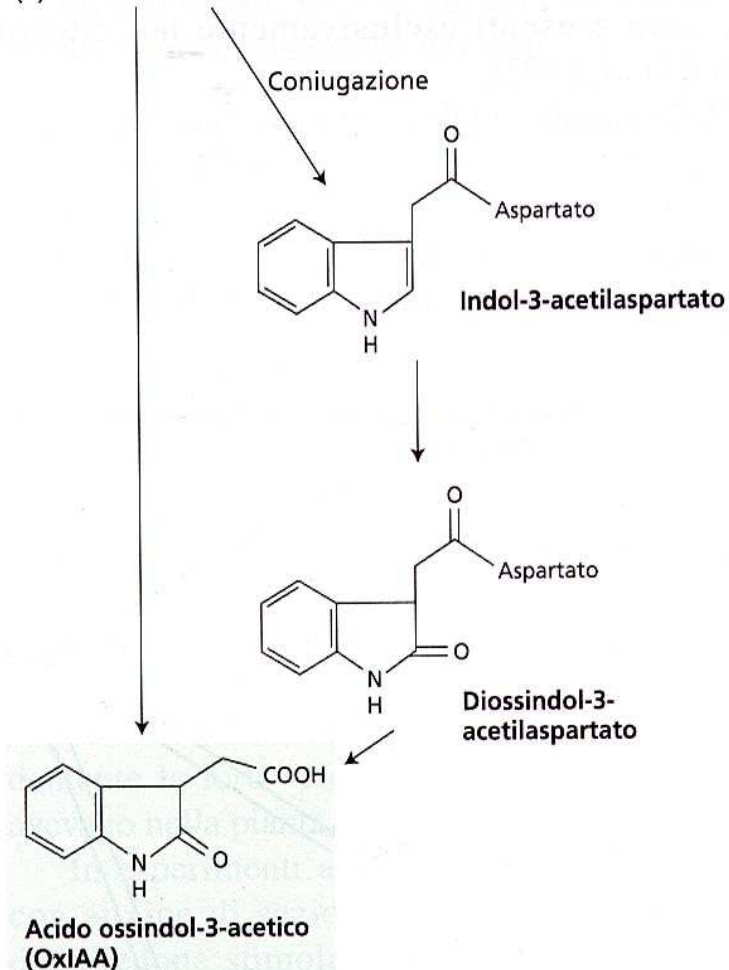
perossidasi: degradano IAA in vitro

piante transgeniche con livelli alterati
perossidasi: normali livelli IAA

(A) Decarbossilazione: via minore

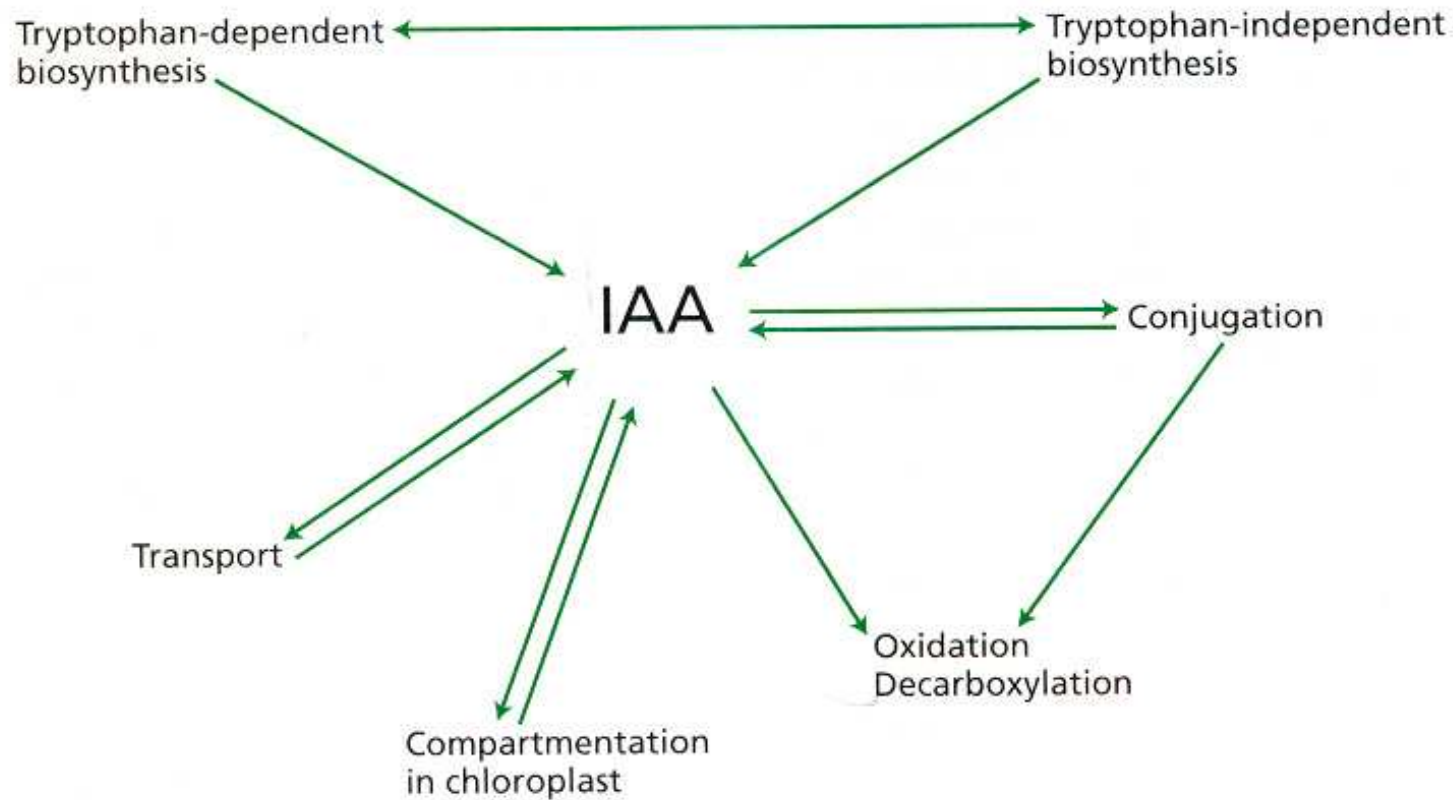


(B) Via non decarbossilativa



Regolazione delle concentrazioni di auxina

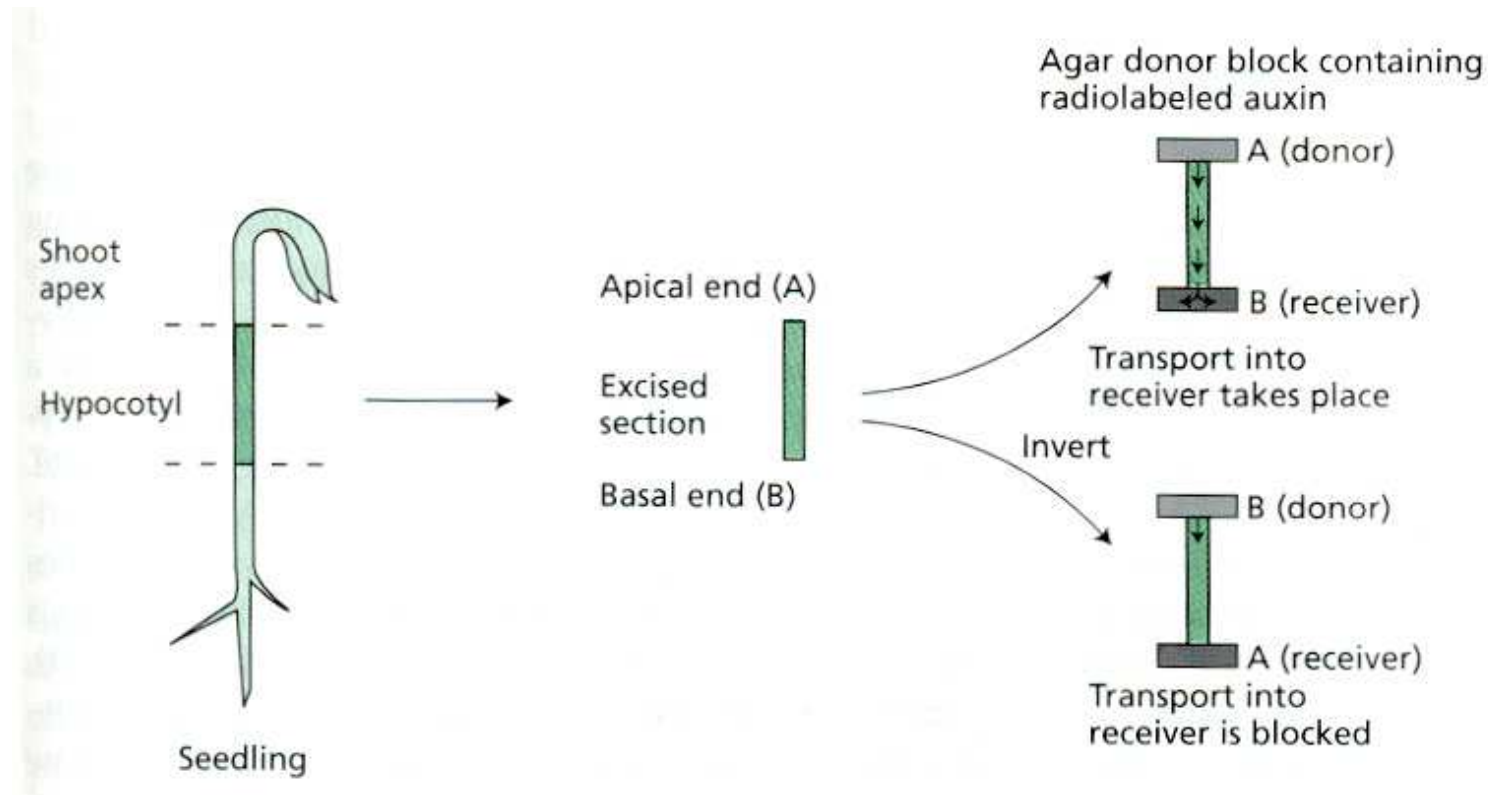
- metabolismo
- compartimentazione
- trasporto



TRASPORTO DELL'IAA

Trasporto polare (basipeto)

Trasporto floematico (acropeto)



Il trasporto polare dell'auxina è INDIPENDENTE dalla gravità



Trasporto polare

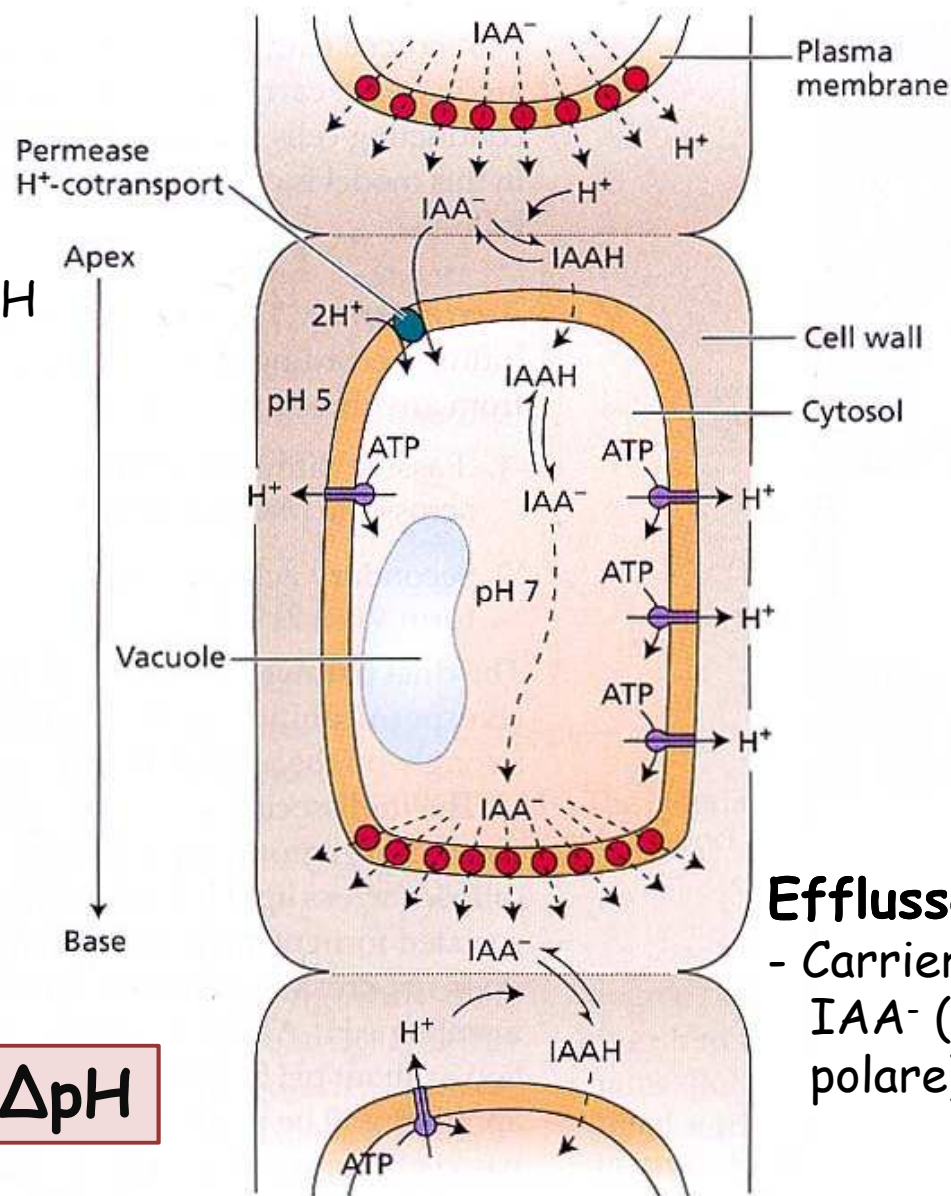
IAA $pK_a = 4,75$

Influsso:

- Diffusione passiva IAAH
- Trasporto attivo secondario IAA⁻

Modello
chemiosmotico

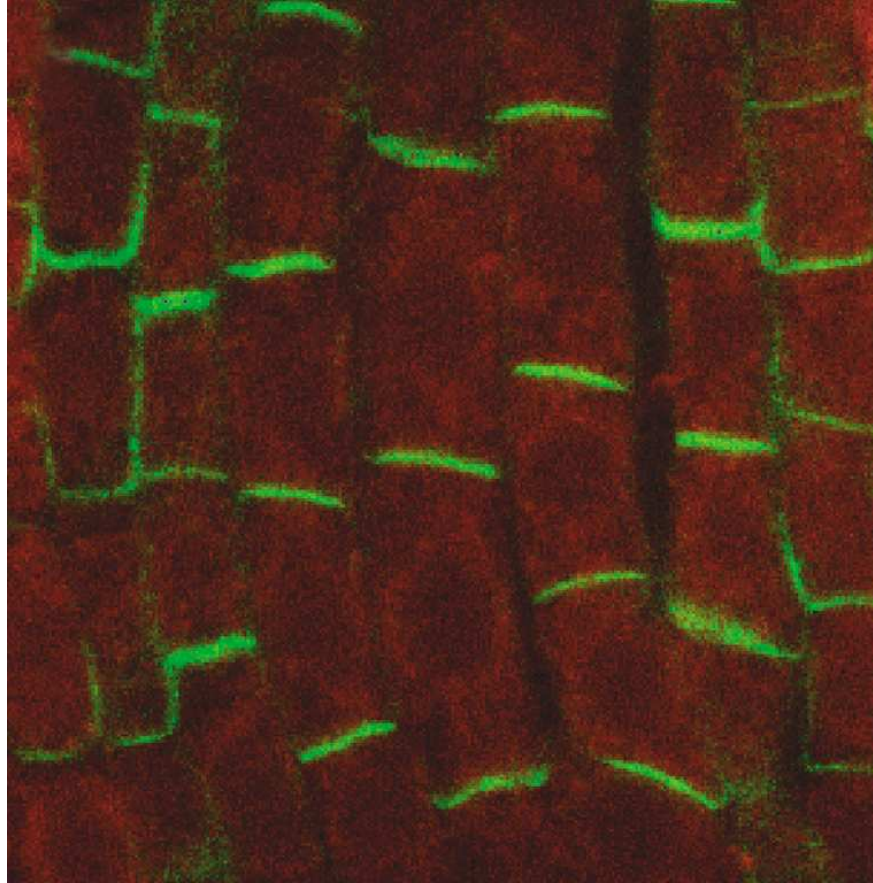
$$\Delta p = \Delta E - 59mV\Delta pH$$



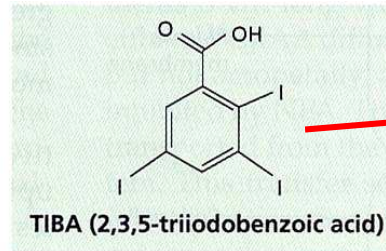
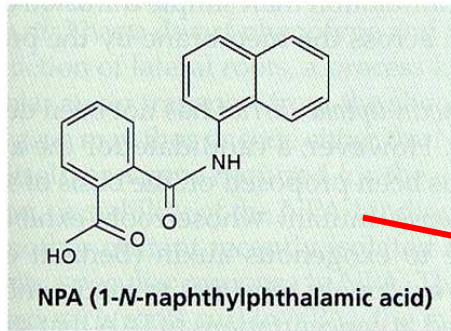
Efflusso:

- Carriers di efflusso di IAA⁻ (localizzazione polare)

Proteine PIN

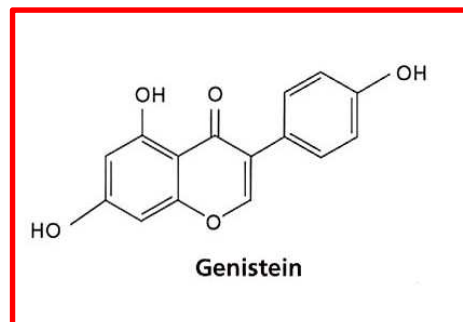
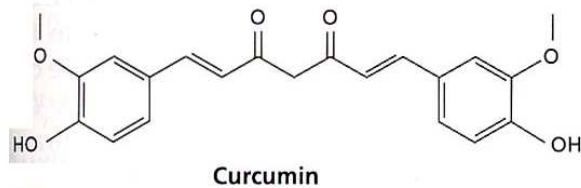
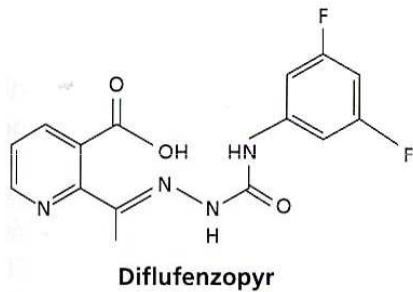


inibitori trasporto auxina



debole attività auxinica
compete con l'auxina sul
sito di legame del
trasportatore

inibitori PIN



flavonoidi

Effetti fisiologici dell'auxina

CRESCITA PER DISTENSIONE

DOMINANZA APICALE

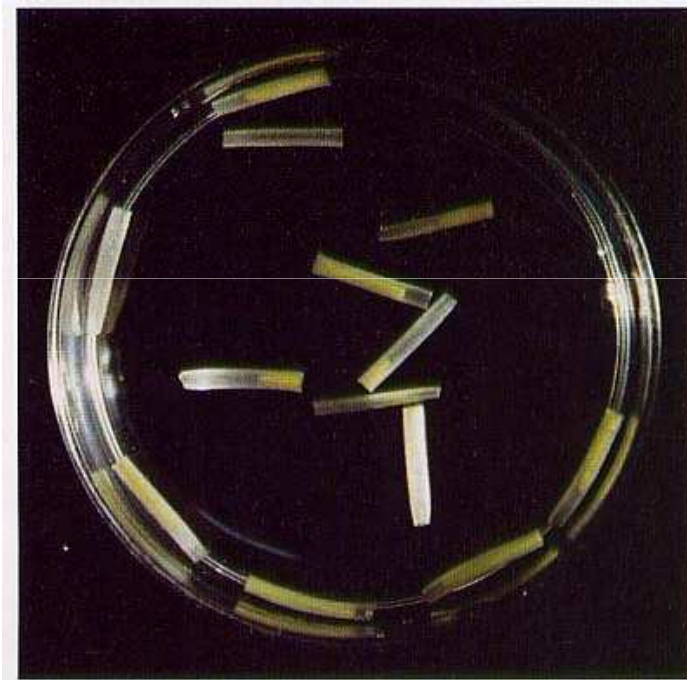


FORMAZIONE RADICI AVVENTIZIE

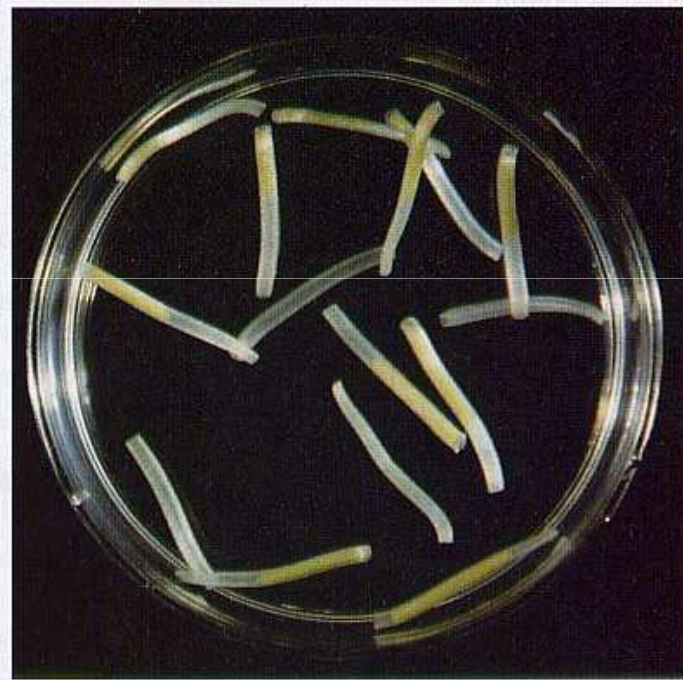
SVILUPPO FRUTTI

INDUZIONE DIFFERENZIAMENTO VASCOLARE

CRESCITA PER DISTENSIONE



C

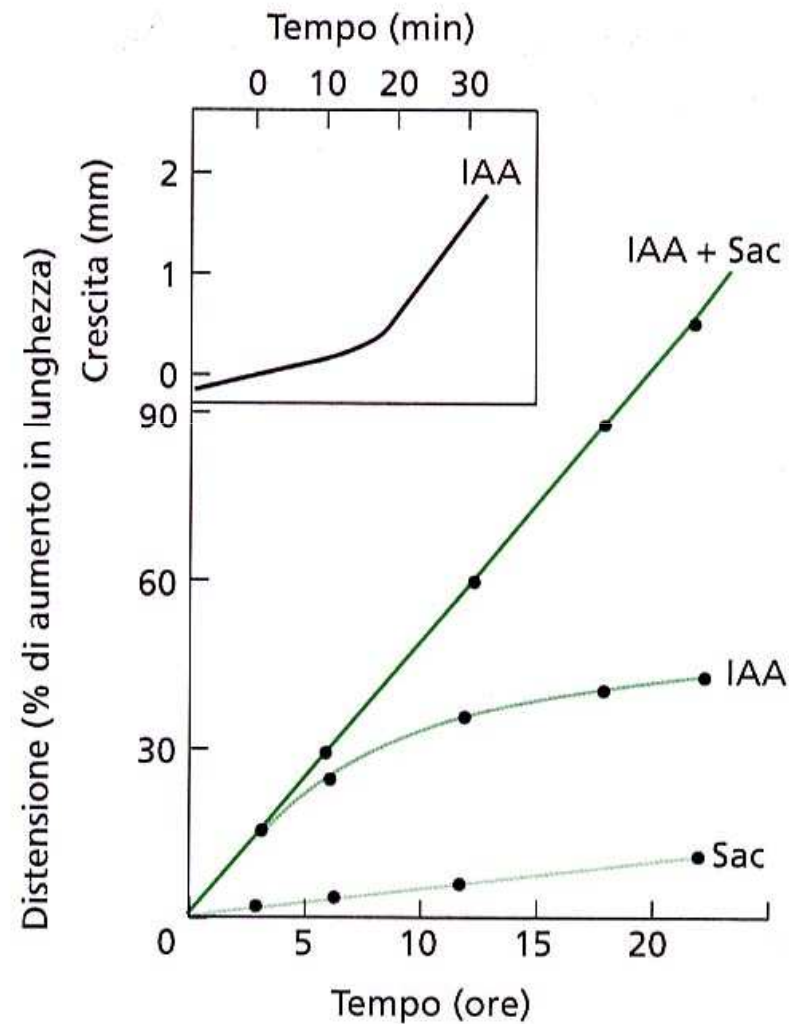
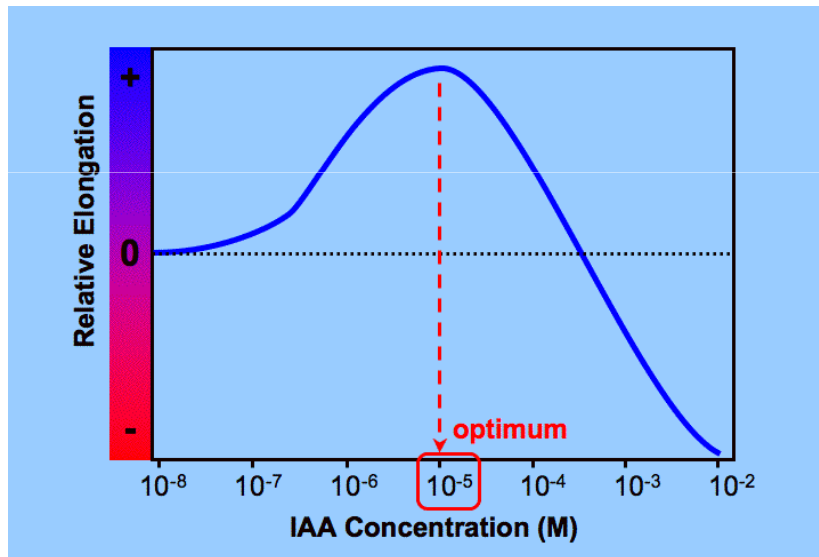


IAA

L'auxina stimola l'allungamento del fusto

CRESCITA PER
DISTENSIONE

Concentrazioni ottimali:
 10^{-6} – 10^{-5} M



Come avviene la crescita per distensione?

Velocità di crescita = $m (P - Y)$

m = estensibilità della parete

P = pressione di turgore

Y = soglia di cedevolezza

L'AUXINA AUMENTA L'ESTENSIBILITÀ DELLA PARETE

IPOTESI DELLA CRESCITA ACIDA

l'acidificazione dell'apoplasto aumenta l'estensibilità della
parete

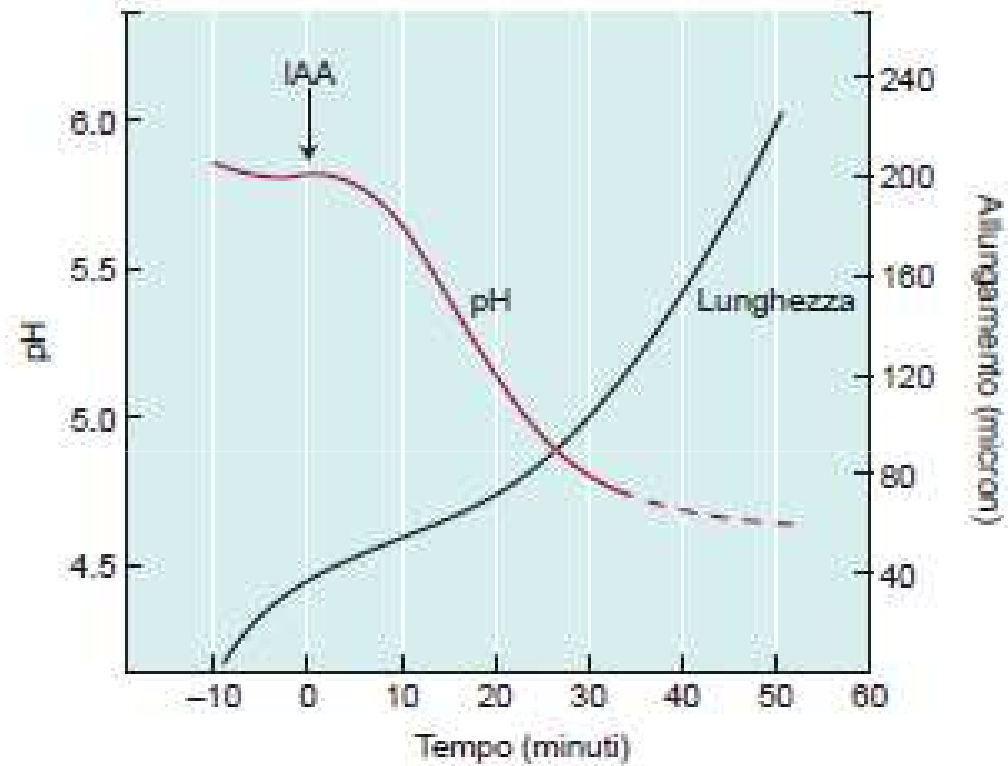
aumento velocità estrusione protonica indotto da
auxina

cinetica estrusione = cinetica crescita

tamponi neutri = no crescita indotta da auxina

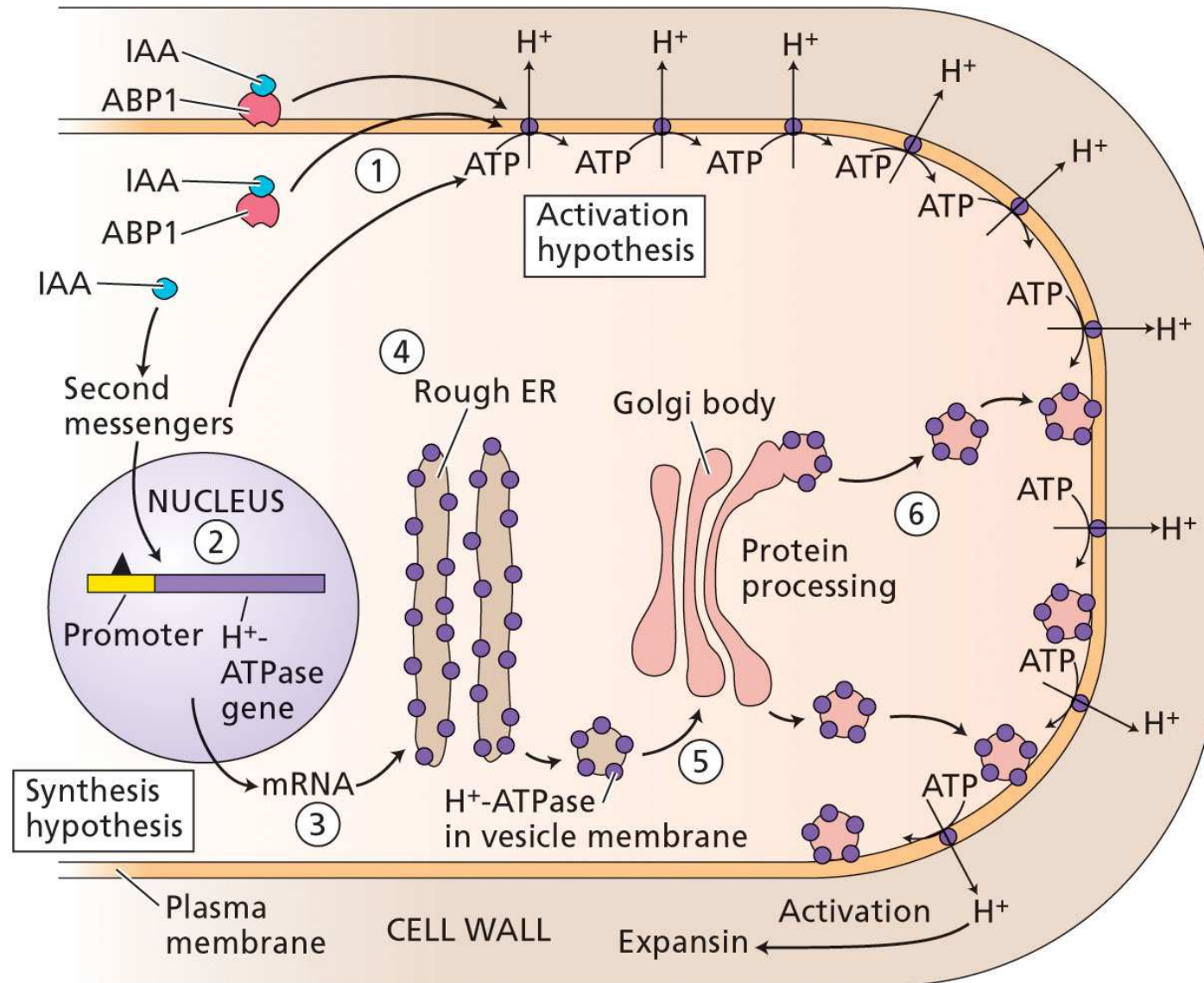
composti che promuovono l'estrusione stimolano la
crescita

**CRESCITA PER
DISTENSIONE**



**Acidificazione
apoplasto
indotta da IAA**

CRESCITA PER DISTENSIONE

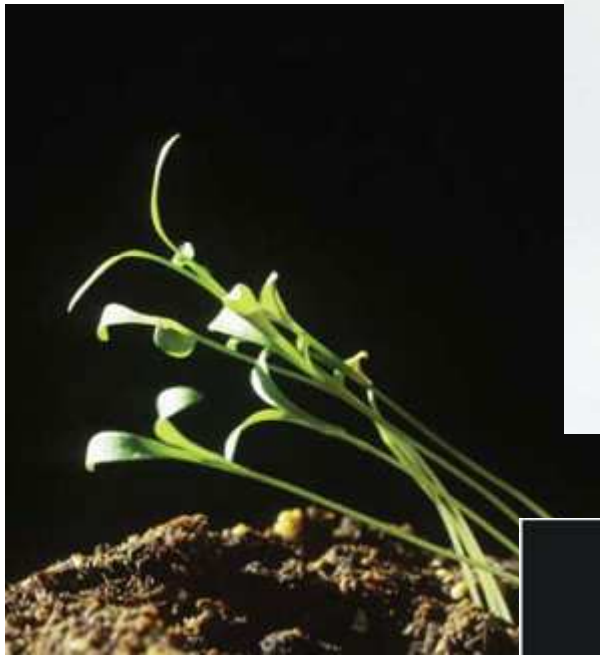


ABP1 :
98% associata a ER
2% associata a PM

ABP1 attiva è
quella associata a
membrana

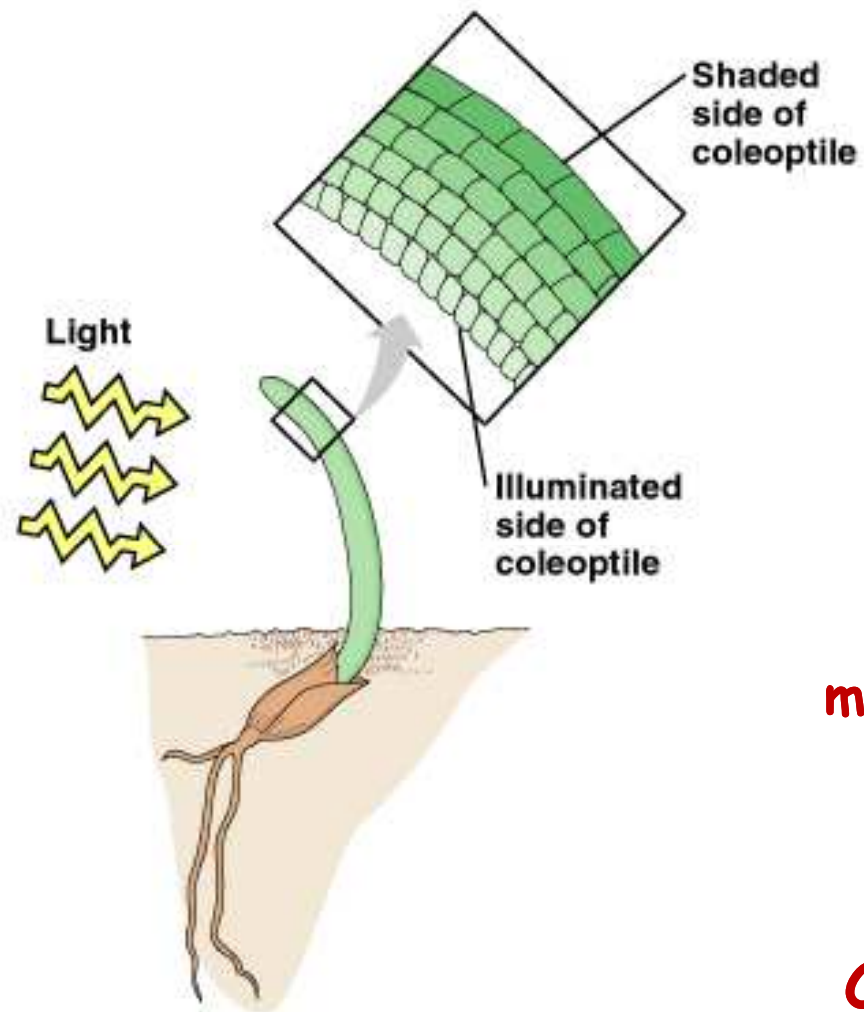
L'AUXINA REGOLA I TROPISMI

FOTOTROPISMO



GRAVITROPISMO





© 1999 Addison Wesley Longman, Inc.

FOTOTROPISMO

Fototropine 1 e 2
Fotorecettori della luce blu

La zona in ombra ha una
maggiore velocità di crescita
della zona illuminata



Curvatura verso la luce

FOTOTROPISMO

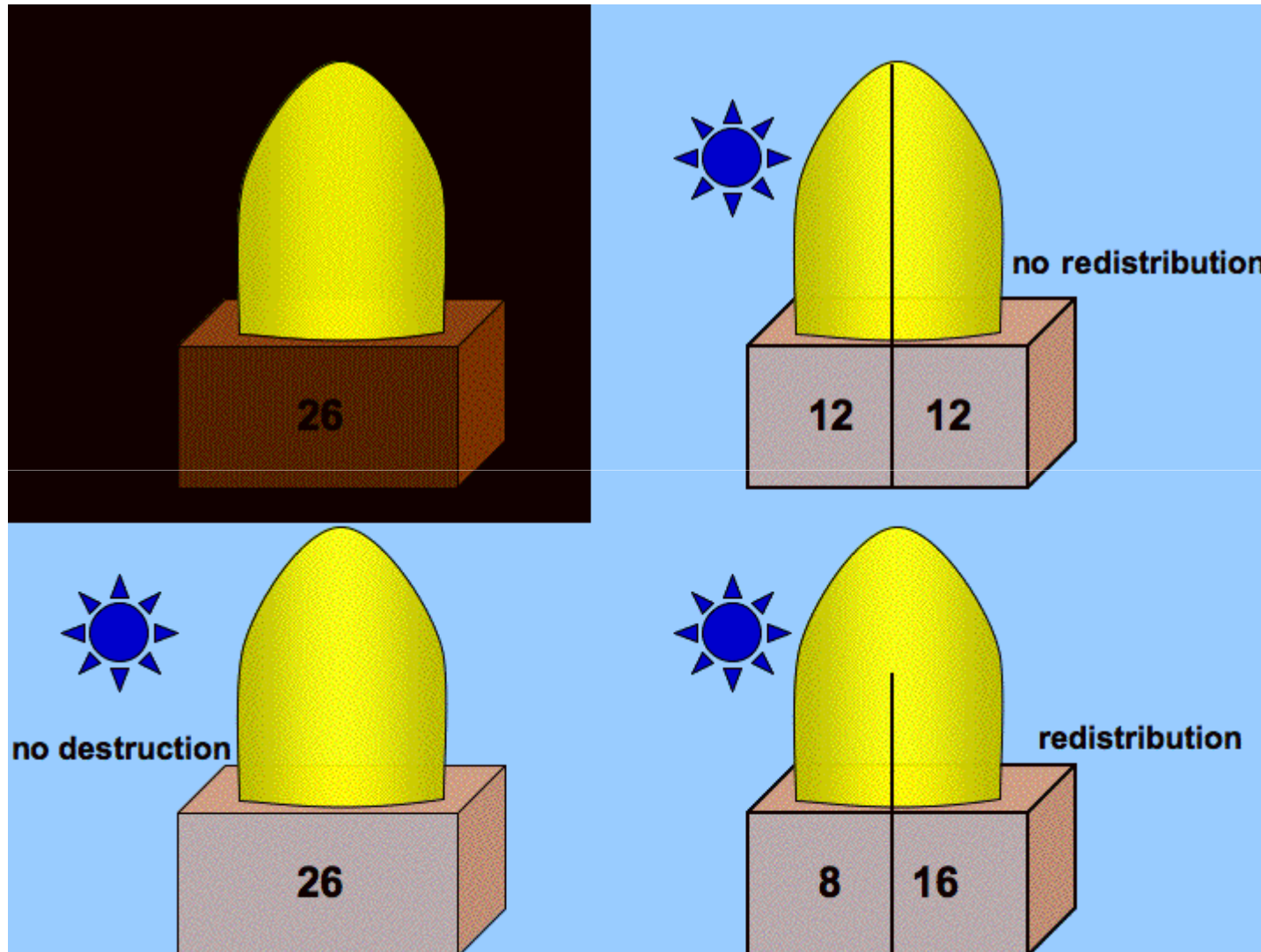
nei coleottili il fototropismo è mediato dalla re-distribuzione laterale dell'auxina

anni '20 Cholodny-Went

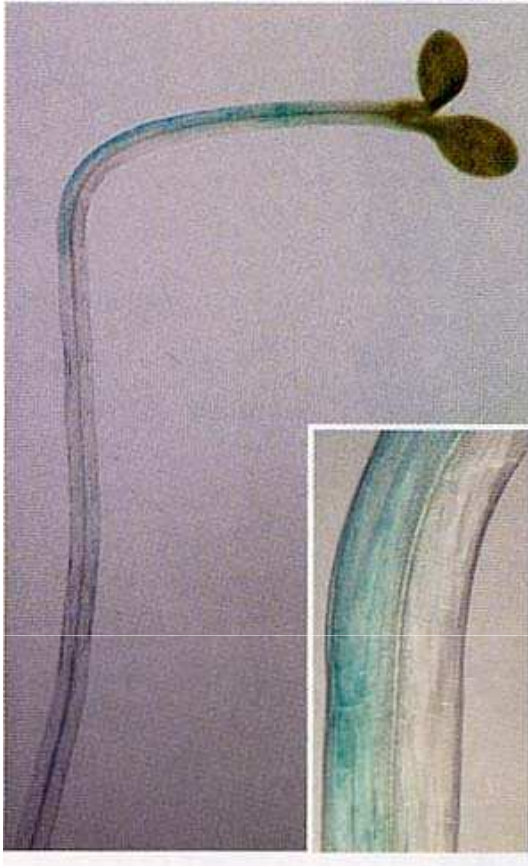
la [IAA] è maggiore nella parte dell'apice **non illuminata**

L'auxina è trasportata lateralmente nell'apice di coleottili in risposta alla luce

Prove della redistribuzione laterale di auxina



FOTOTROPISMO



pianta *Arabidopsis* trasformata con il
costrutto ***DR5::GUS***

DR5 = promotore gene *GH3*
(indotto da auxina)

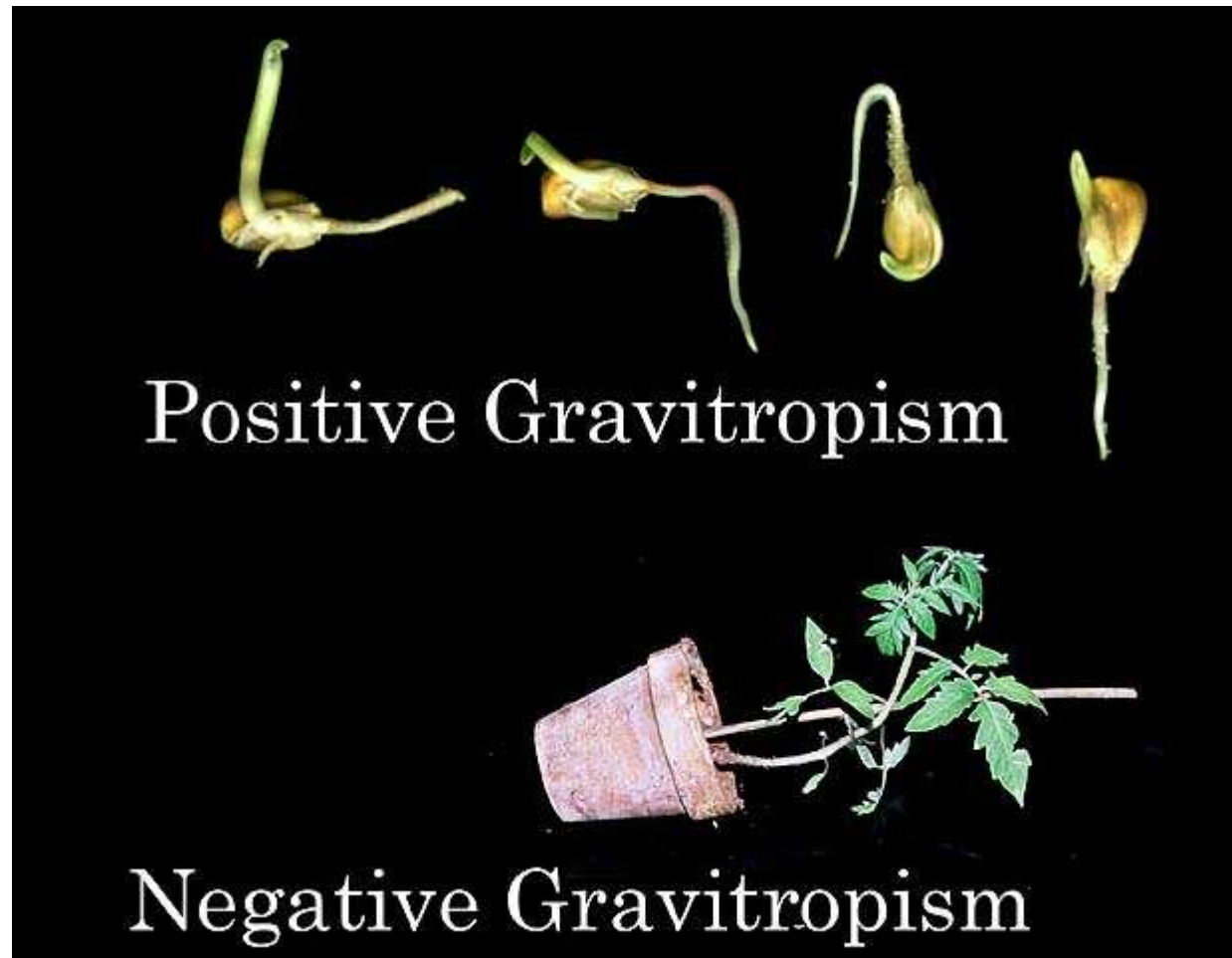
In *Arabidopsis* la redistribuzione laterale
dell'auxina coinvolge trasportatori specifici
(***PIN3***) localizzati lateralmente e richiede
l'inattivazione dei trasportatori *PIN1*



L'inibitore dell'efflusso di auxina,
NPA, blocca la risposta fototropica
e la redistribuzione laterale di
auxina

GRAVITROPISMO

risposte di crescita alla gravita'



il modello Cholodny-Went è
applicabile anche al gravitropismo

ripiegamento
coleottili verso l'alto



trasporto polare auxina verso la
parte inferiore del coleotile



[¹⁵N]
RIA
gene reporter

coleottili privati
dell'apice

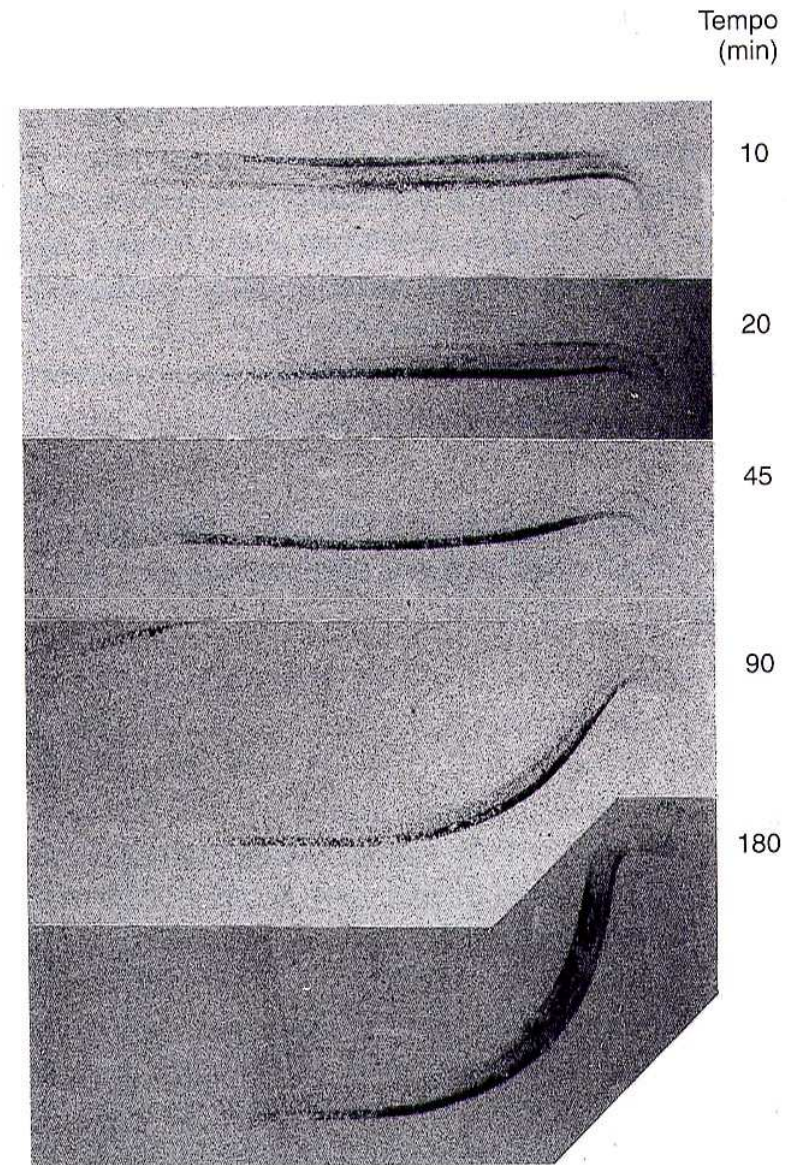


no gravitropismo

GRAVITROPISMO

Asimmetria nell'accumulo di
mRNA SAUR
(small auxin up-regulated
RNA)

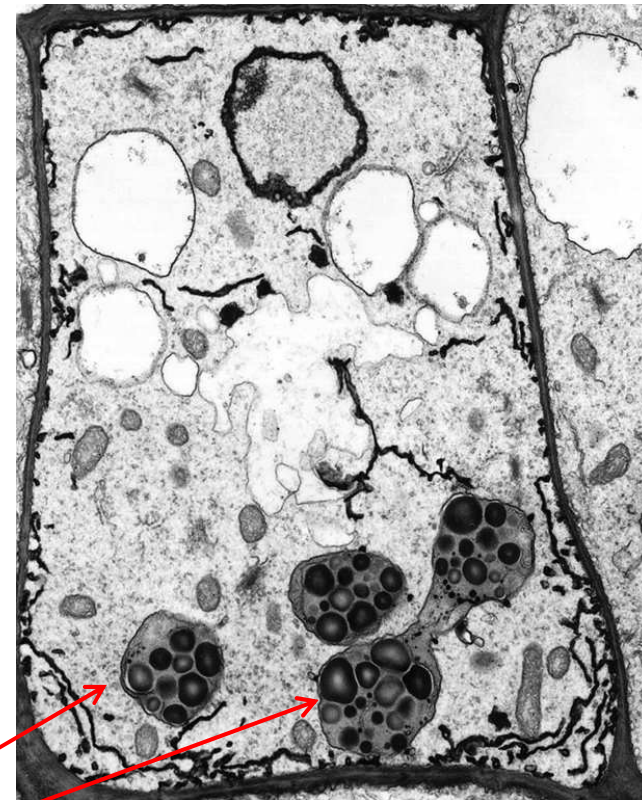
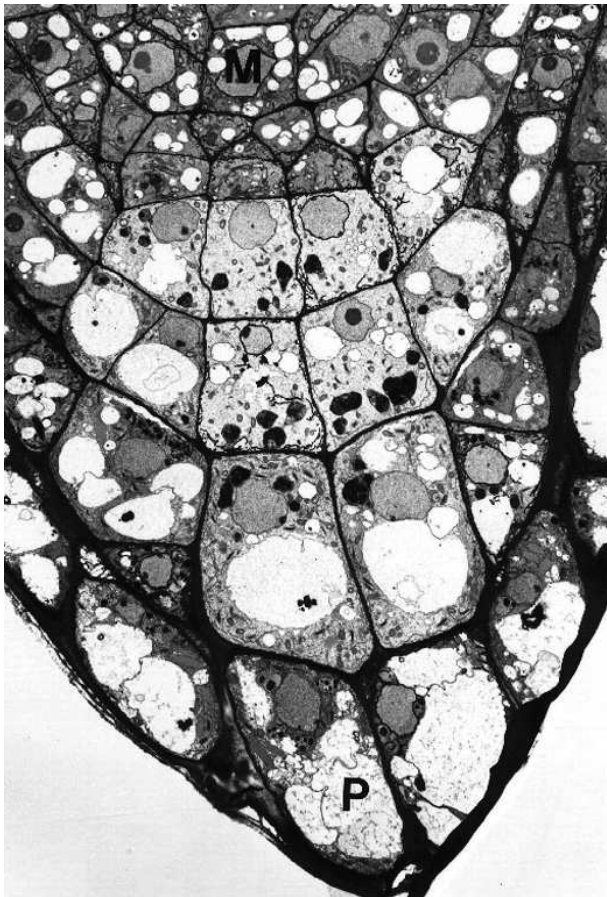
ipocotili di soia



mRNA antisenso

Come viene percepita la gravità?

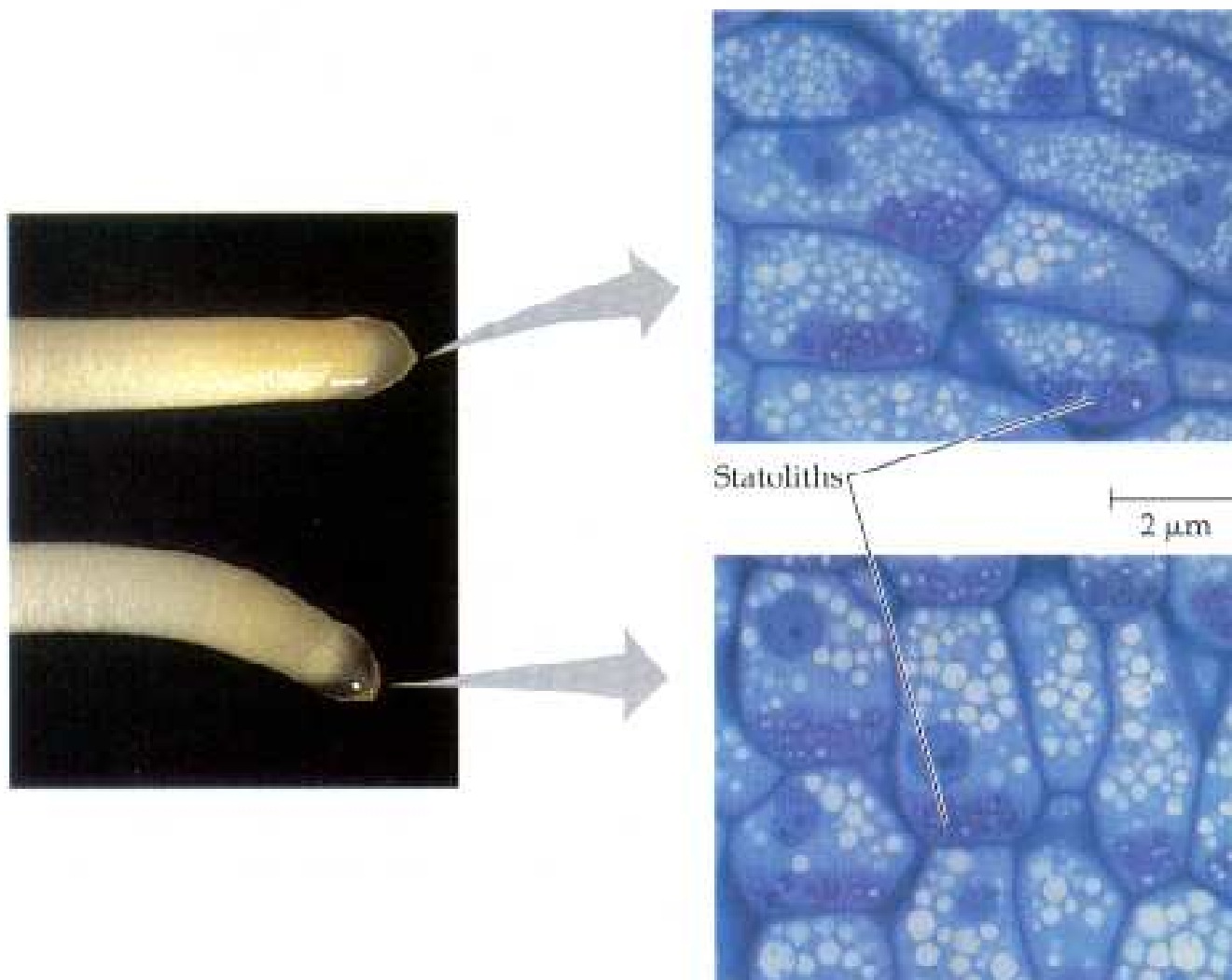
statoliti (amiloplasti)
presenti negli **statociti**
(a livello della cuffia)



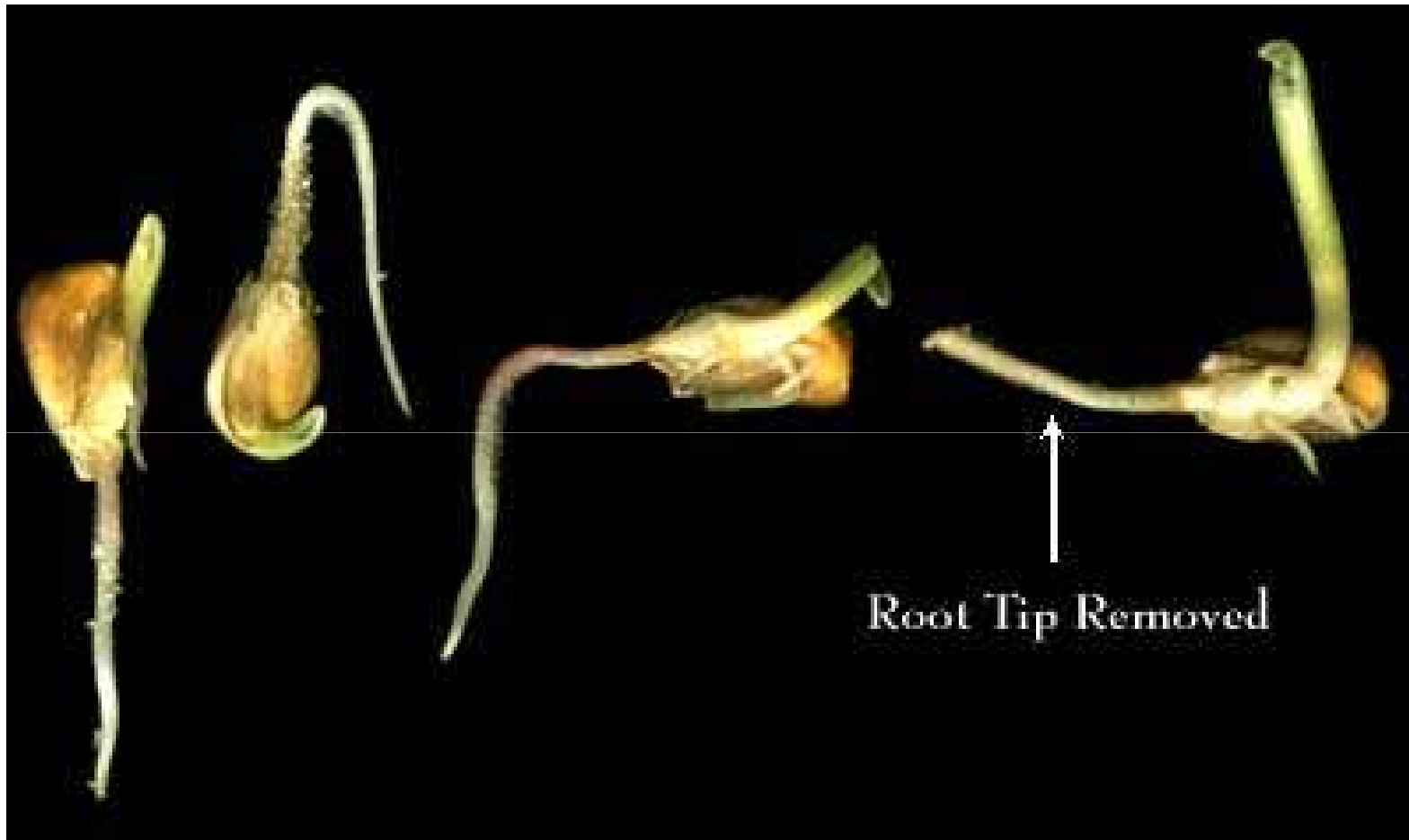
statoliti

Cellula della columella

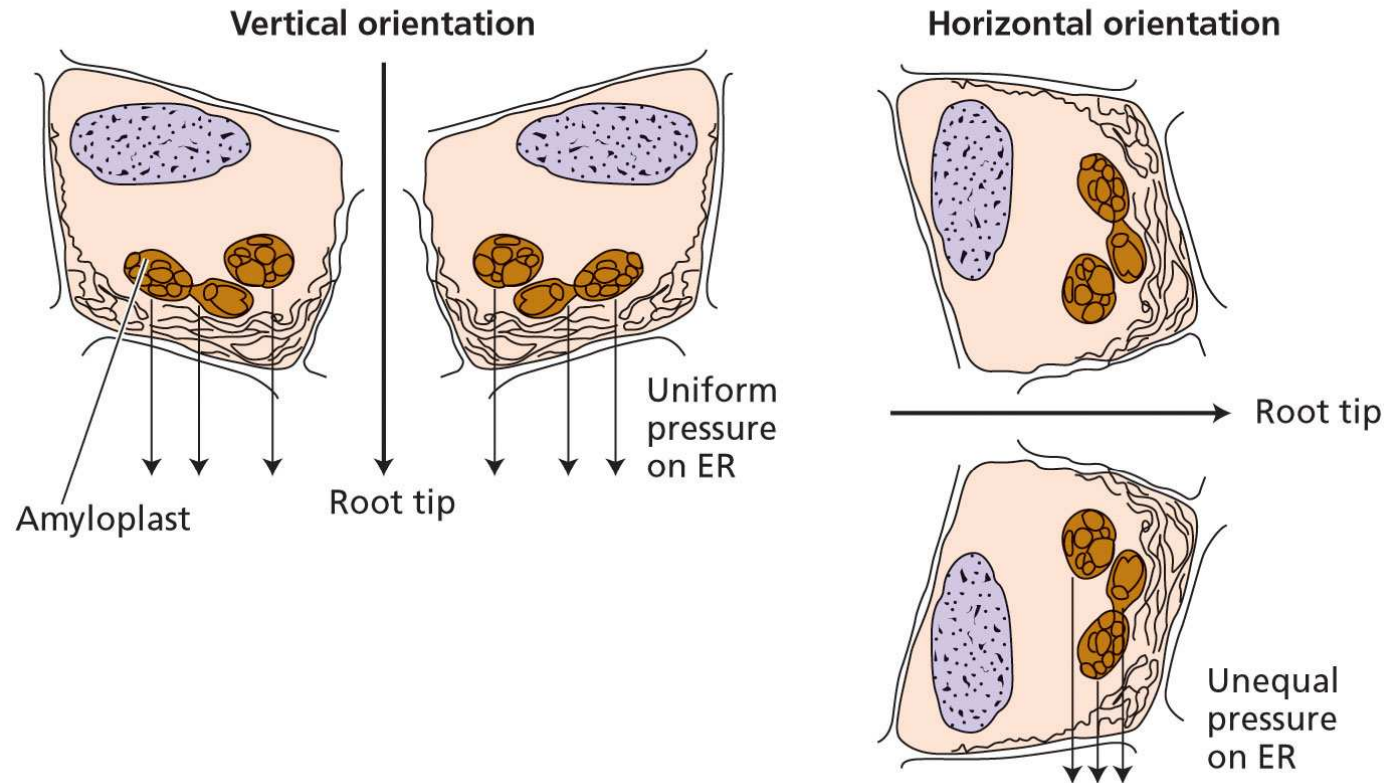
GRAVITROPISMO



GRAVITROPISMO



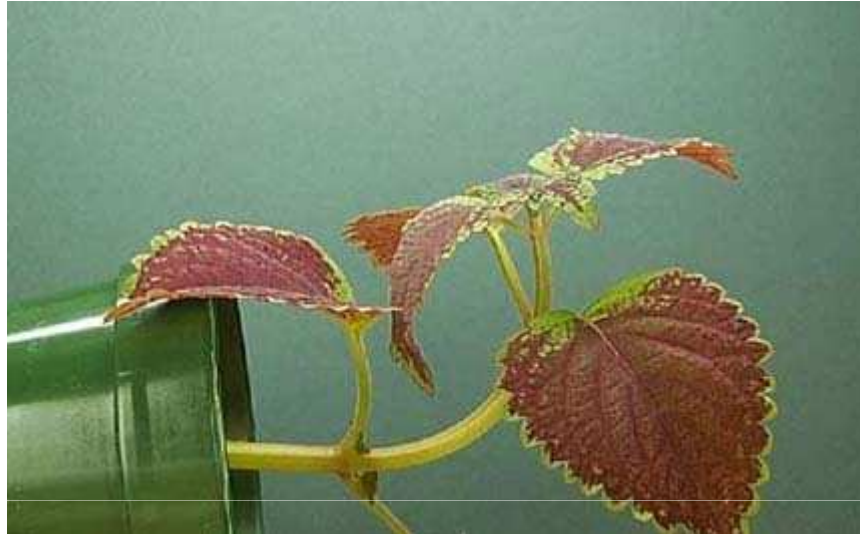
GRAVITROPISMO



PLANT PHYSIOLOGY, Third Edition, Figure 19.30 © 2002 Sinauer Associates, Inc.

il gravitropismo persiste anche
in mutanti con bassi livelli di amido → anche altri sensori?

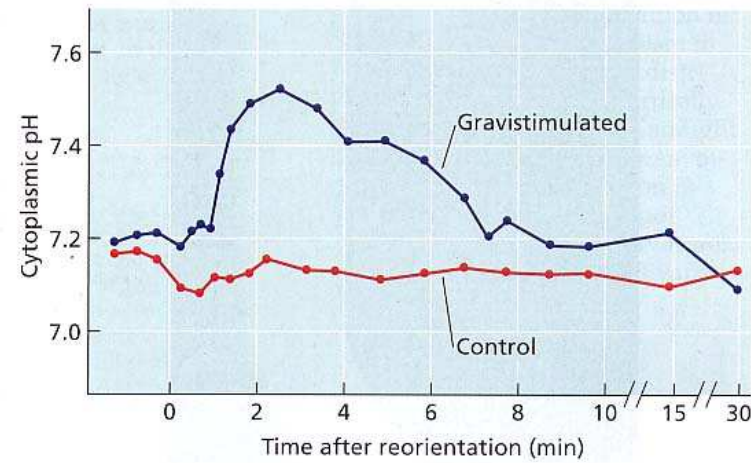
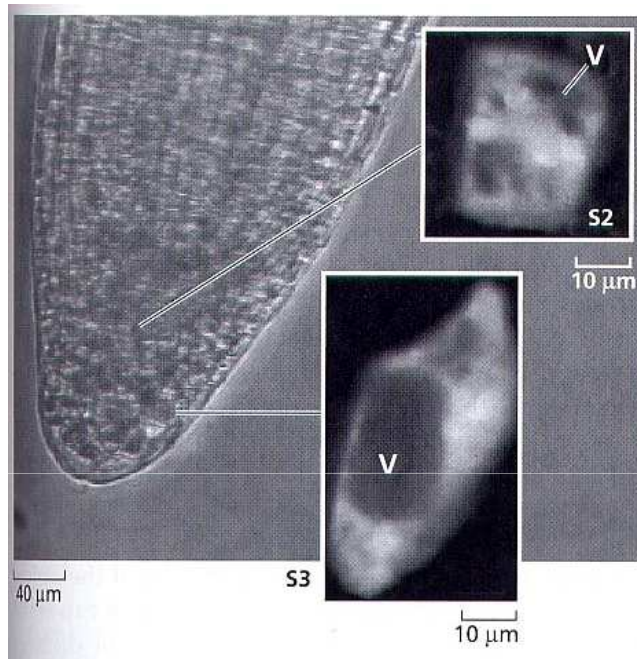
GRAVITROPISMO



GERMOGLI E COLEOTTILI

La gravità è percepita da plastidi nello strato amilaceo (strato di cellule che circonda l'endoderme)

Come viene trasdotto il segnale gravitropico?



GRAVISTIMOLAZIONE

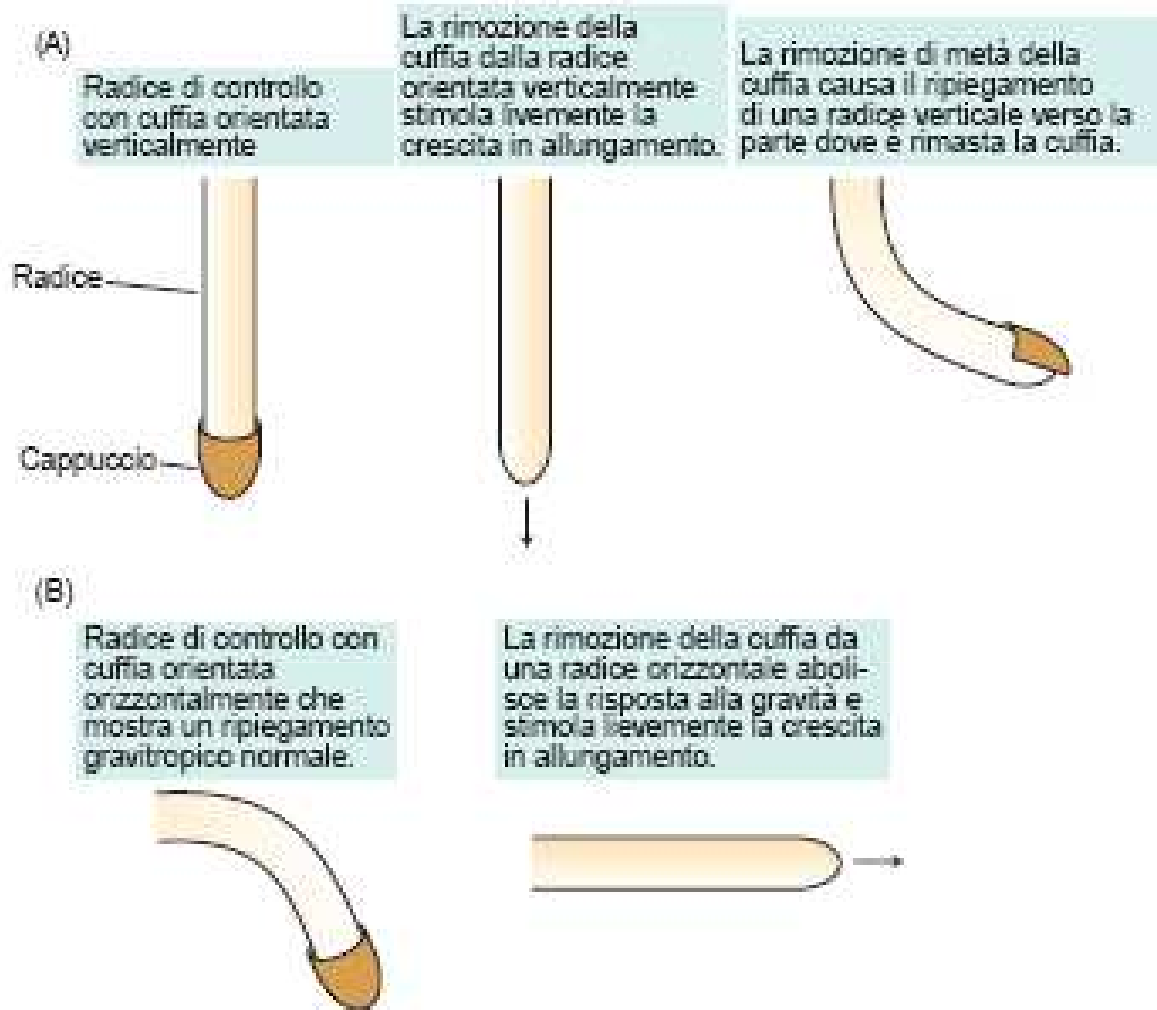
Acidificazione apoplasto
Alcalinizzazione citoplasma

L'EGTA inibisce il gravitropismo



ruolo del Ca^{2+}

GRAVITROPISMO

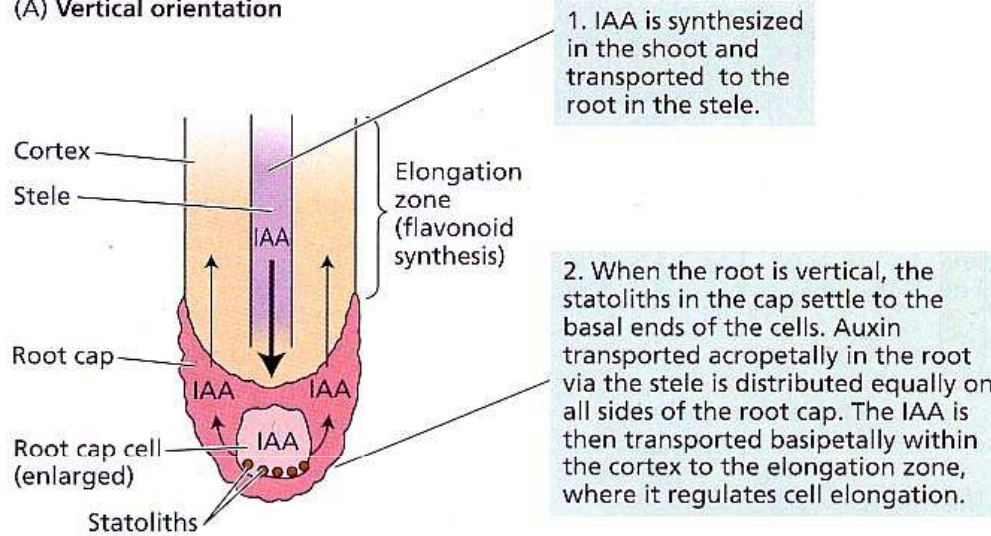


la cuffia produce un inibitore che regola il gravitropismo

└ IAA

Modello proposto per la redistribuzione di auxina durante il gravitropismo della radice

(A) Vertical orientation



(B) Horizontal orientation

6. The decreased auxin concentration on the upper side stimulates the upper side to grow. As a result, the root bends down.

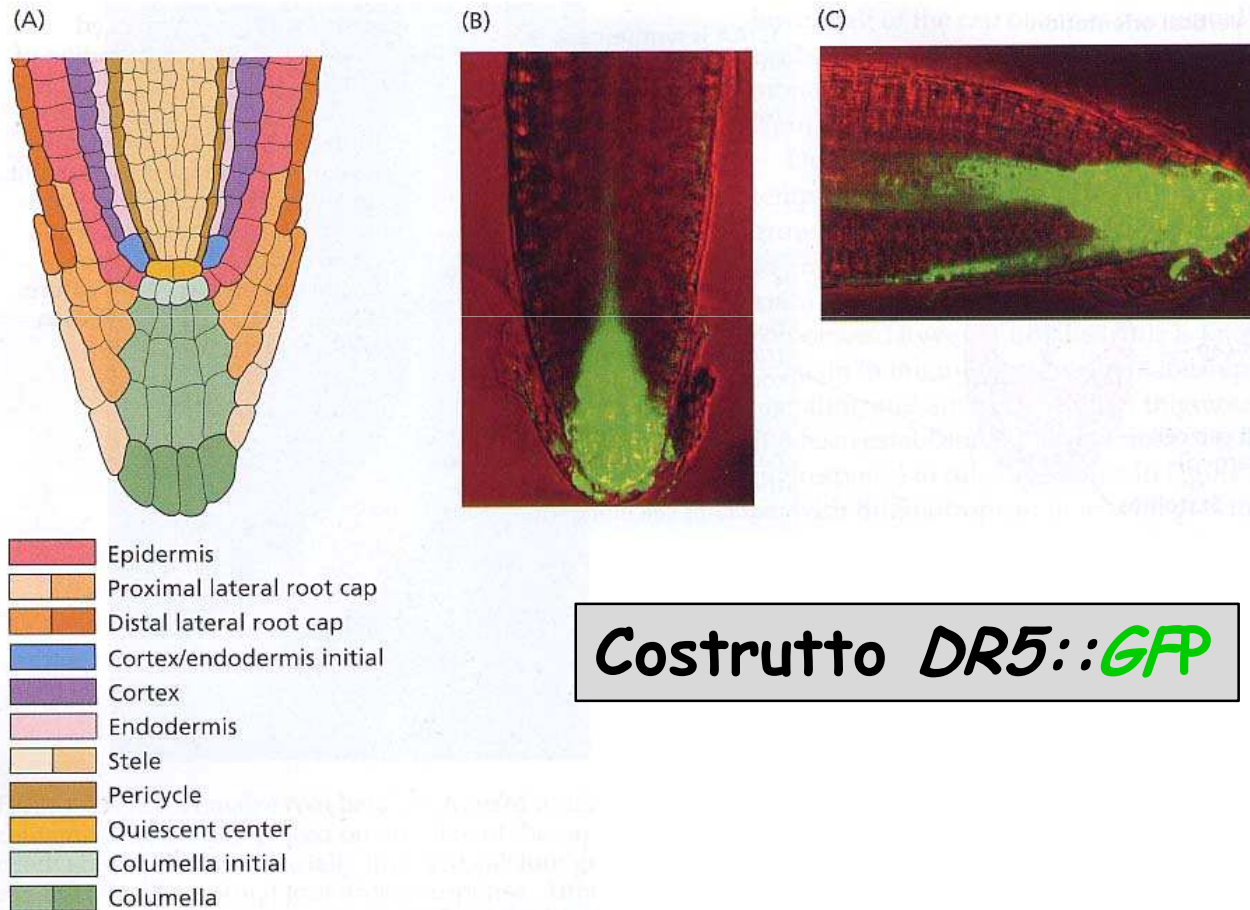
5. The high concentration of auxin on the lower side of the root inhibits growth.

4. The majority of the auxin in the cap is then transported basipetally in the cortex on the lower side of the root.

3. In a horizontal root the statoliths settle to the side of the cap cells, triggering polar transport of IAA to the lower side of the cap.

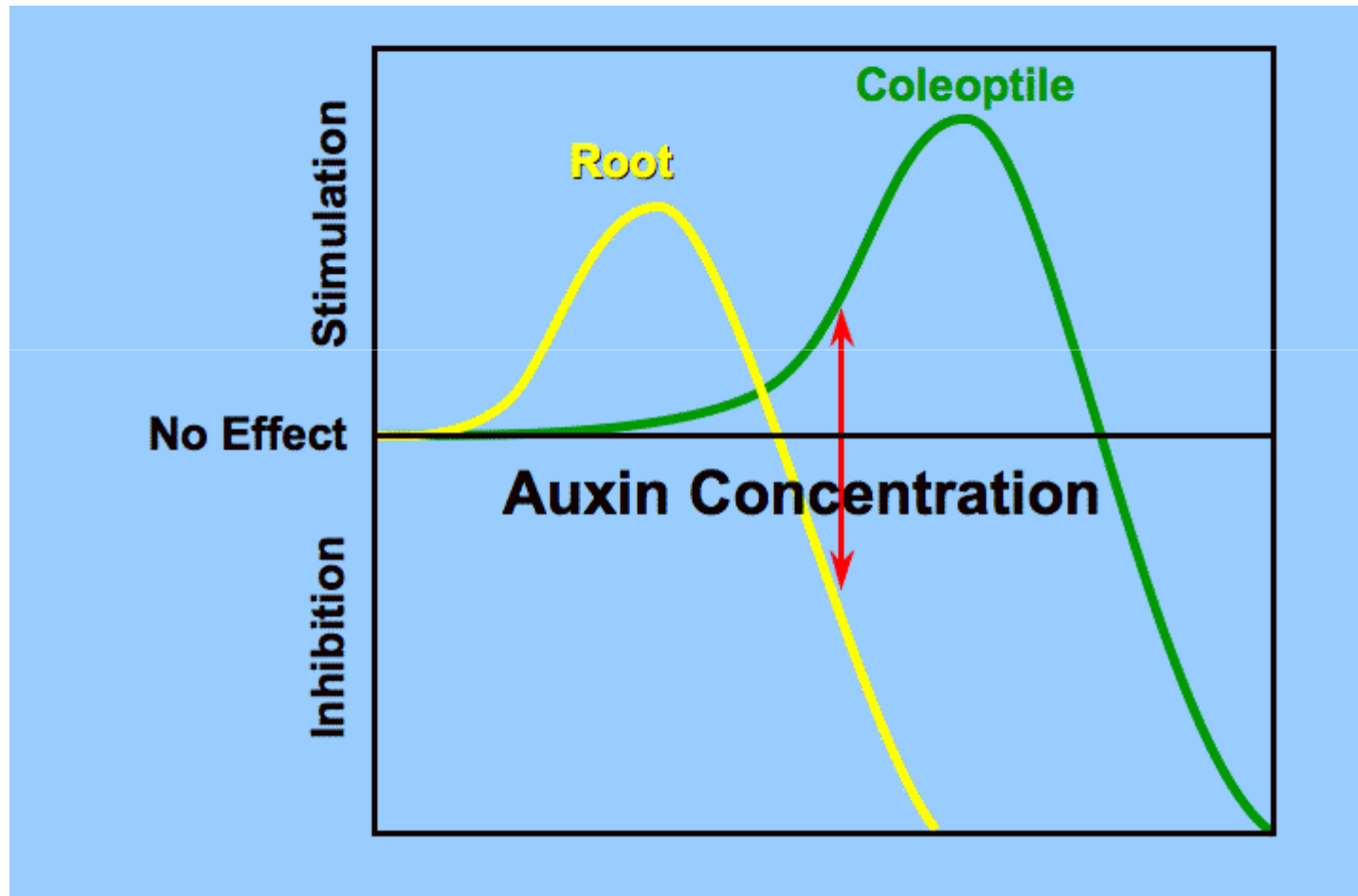
L'elevata concentrazione di auxina nella parte inferiore della radice inibisce la crescita

Accumulo asimmetrico di auxina



GRAVITROPISMO

La differente risposta gravitropica di radici e coleottili è dovuta alla diversa sensibilità piuttosto che alla diversa concentrazione di IAA



DOMINANZA APICALE

La gemma apicale inibisce la crescita delle gemme laterali



PLATE 6. Apical dominance in *Vicia faba*. (See Figure 16.4.)

IPOTESI

DOMINANZA APICALE

modello di inibizione diretta

l'auxina proveniente dall'apice viene traslocata
fino alla gemma laterale



La concentrazione di auxina che promuove la
crescita del fusto inibisce quella della gemme



inibizione crescita

Rimuovendo l'apice la [IAA] nelle gemme
DOVREBBE diminuire

promotore indotto
da auxina

luciferasi

DOMINANZA
APICALE



↑ luce emessa → ↑ [IAA]

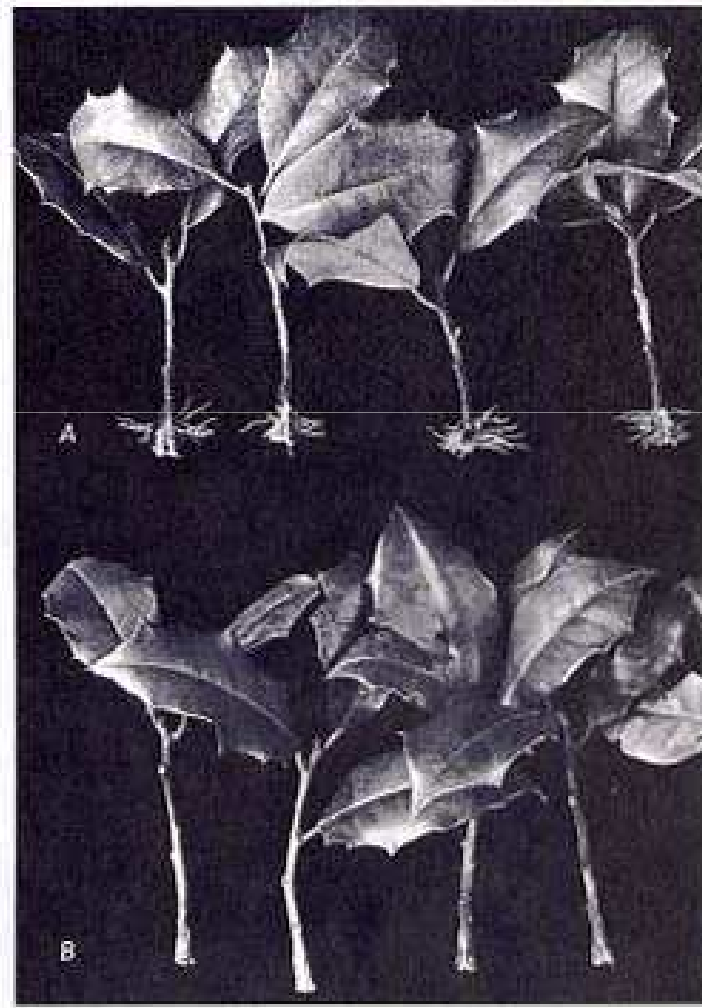
rimuovendo la gemma apicale l'attività luciferasica aumenta

[IAA] aumenta di 5 volte

ma non entra all'interno della gemma laterale

NELLA GEMMA AUMENTA LA CONCENTRAZIONE DI ABA

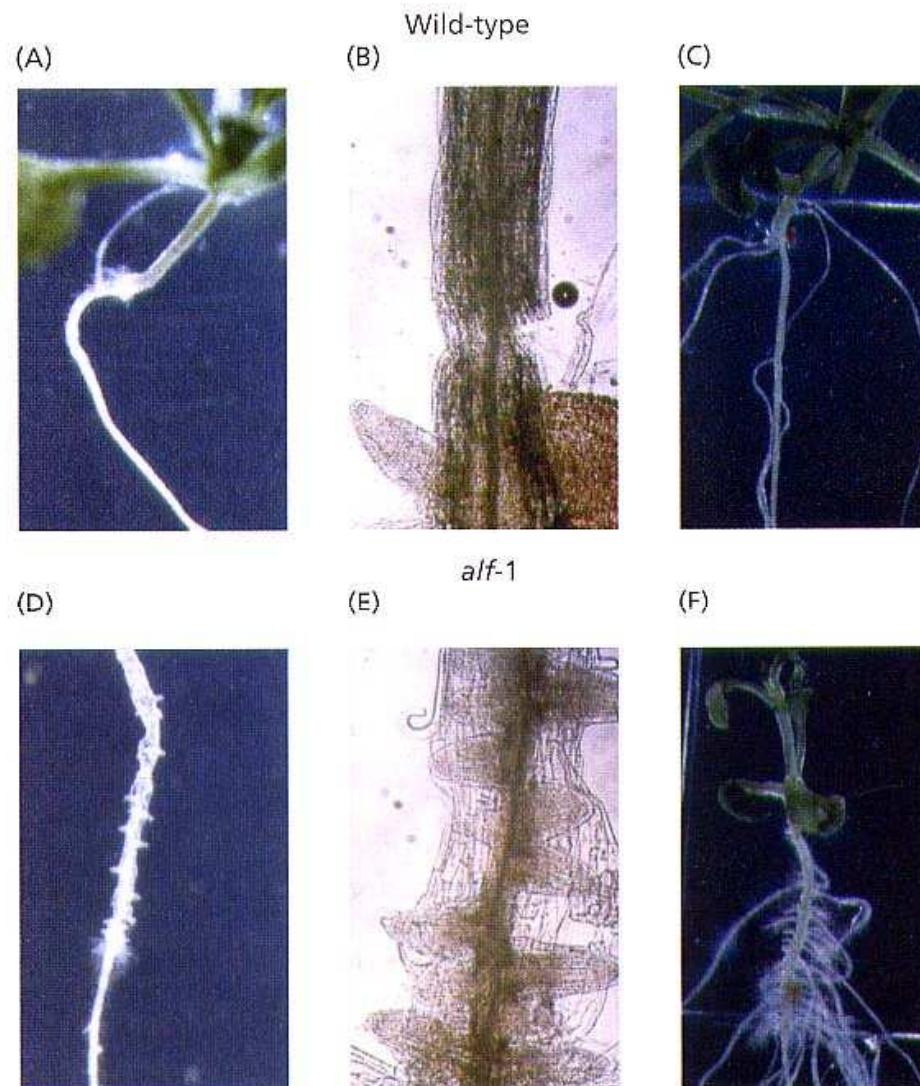
FORMAZIONE DI RADICI AVVENTIZIE



IAA

C

FORMAZIONE DI RADICI AVVENTIZIE



alf1 → **proliferazione radici laterali** → **alti livelli IAA**

SVILUPPO DEI FRUTTI

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



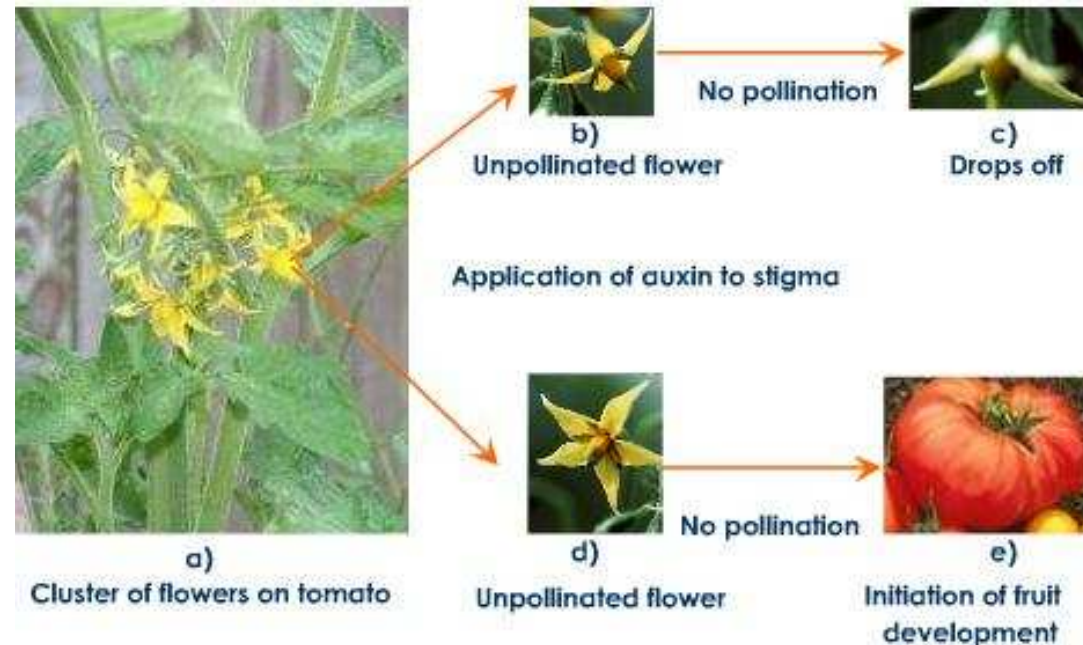
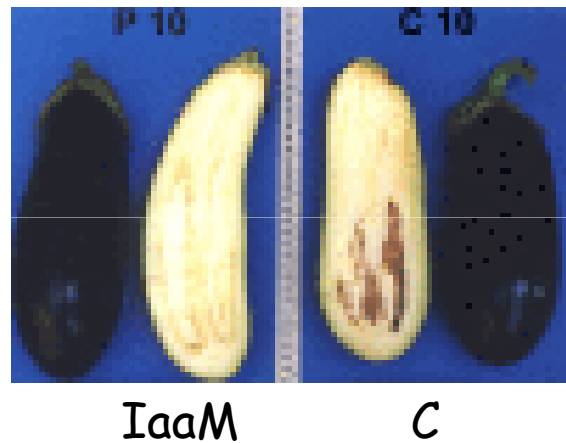
l'accrescimento dell'ovulo fecondato (fruttificazione) dipende dall'auxina



in alcune specie possono essere prodotti frutti
senza fecondazione (**PARTENOCARPIA**)

- naturalmente

- trattando con IAA



INDUZIONE DEL DIFFERENZIAMENTO VASCOLARE

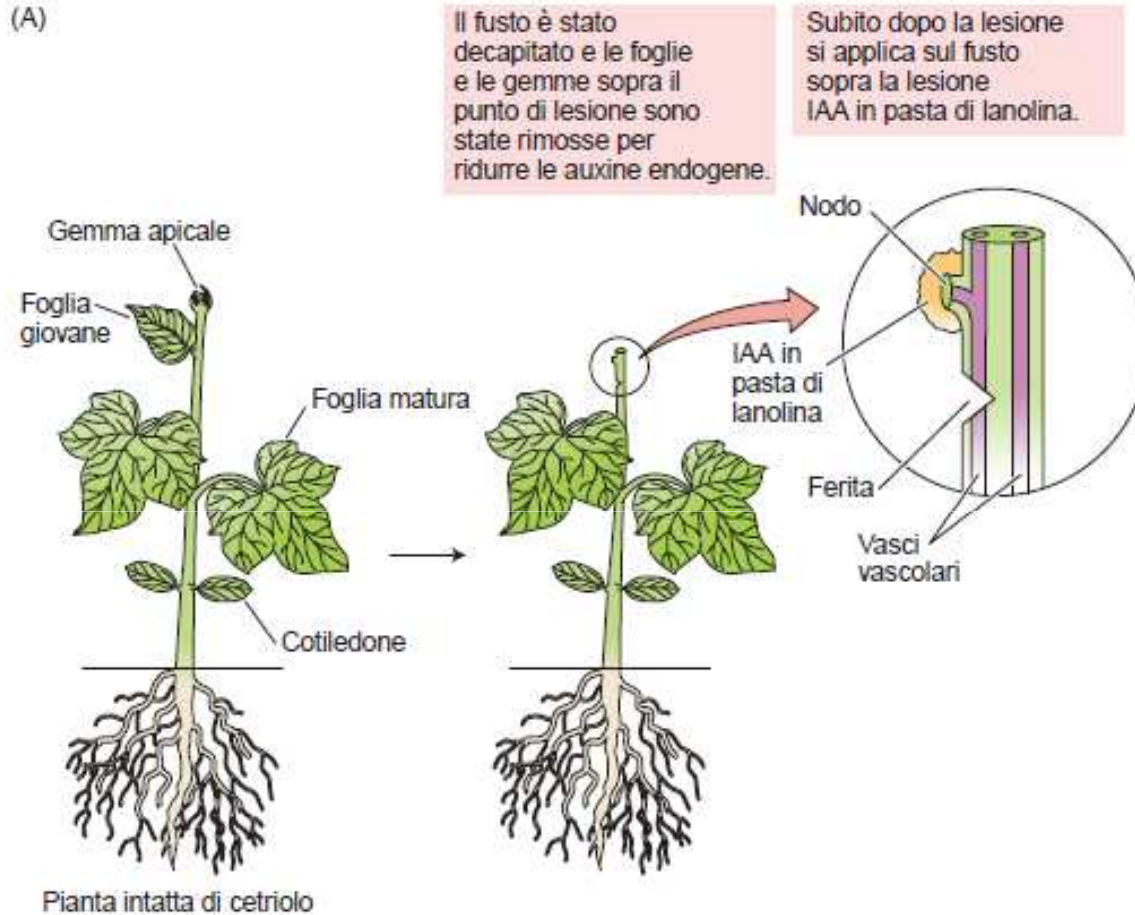
La rimozione delle giovani foglie previene il differenziamento vascolare

Piante trasformate con aumentati livelli di auxina sviluppano più tessuti vascolari

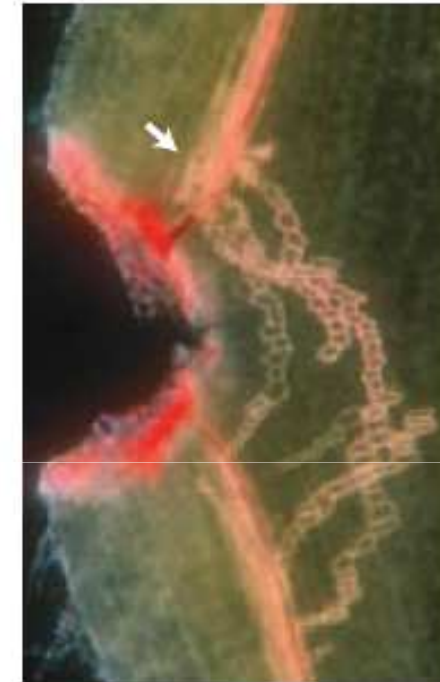
Elevate [IAA]	→	xilema
Basse [IAA]	→	floema

INDUZIONE DEL DIFFERENZIAMENTO VASCOLARE

(A)



(B)

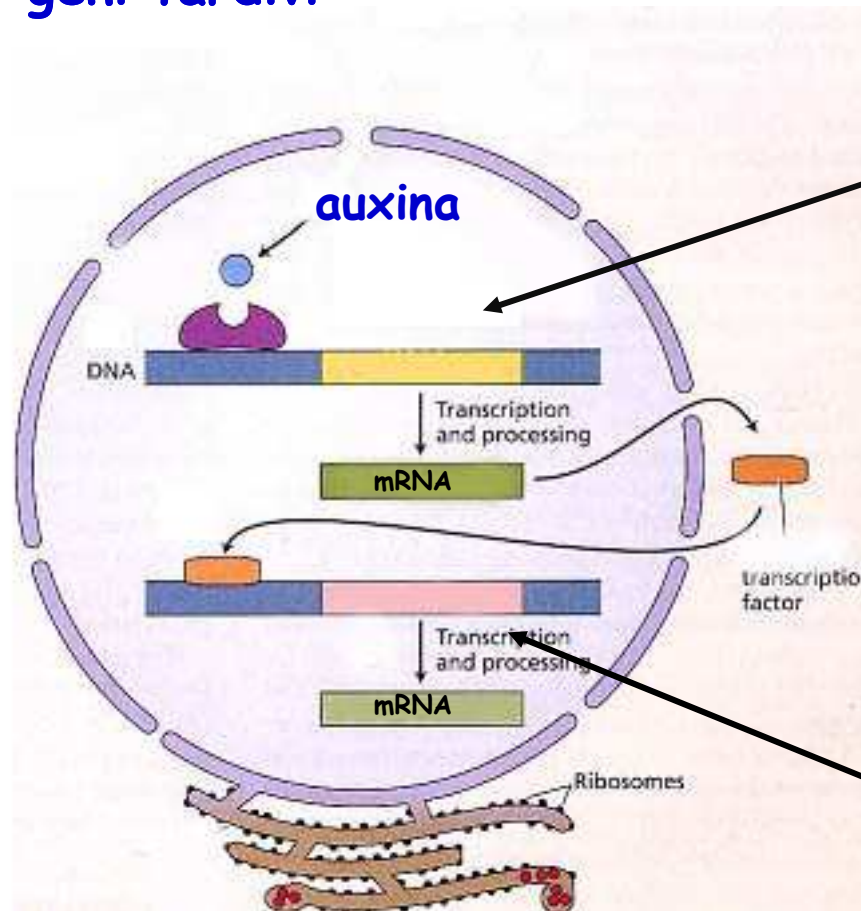


Il differenziamento di xilema avviene intorno alla ferita, seguendo la via di diffusione dell'auxina.

REGOLAZIONE DELL'ESPRESSIONE GENICA

L'auxina attiva la trascrizione genica

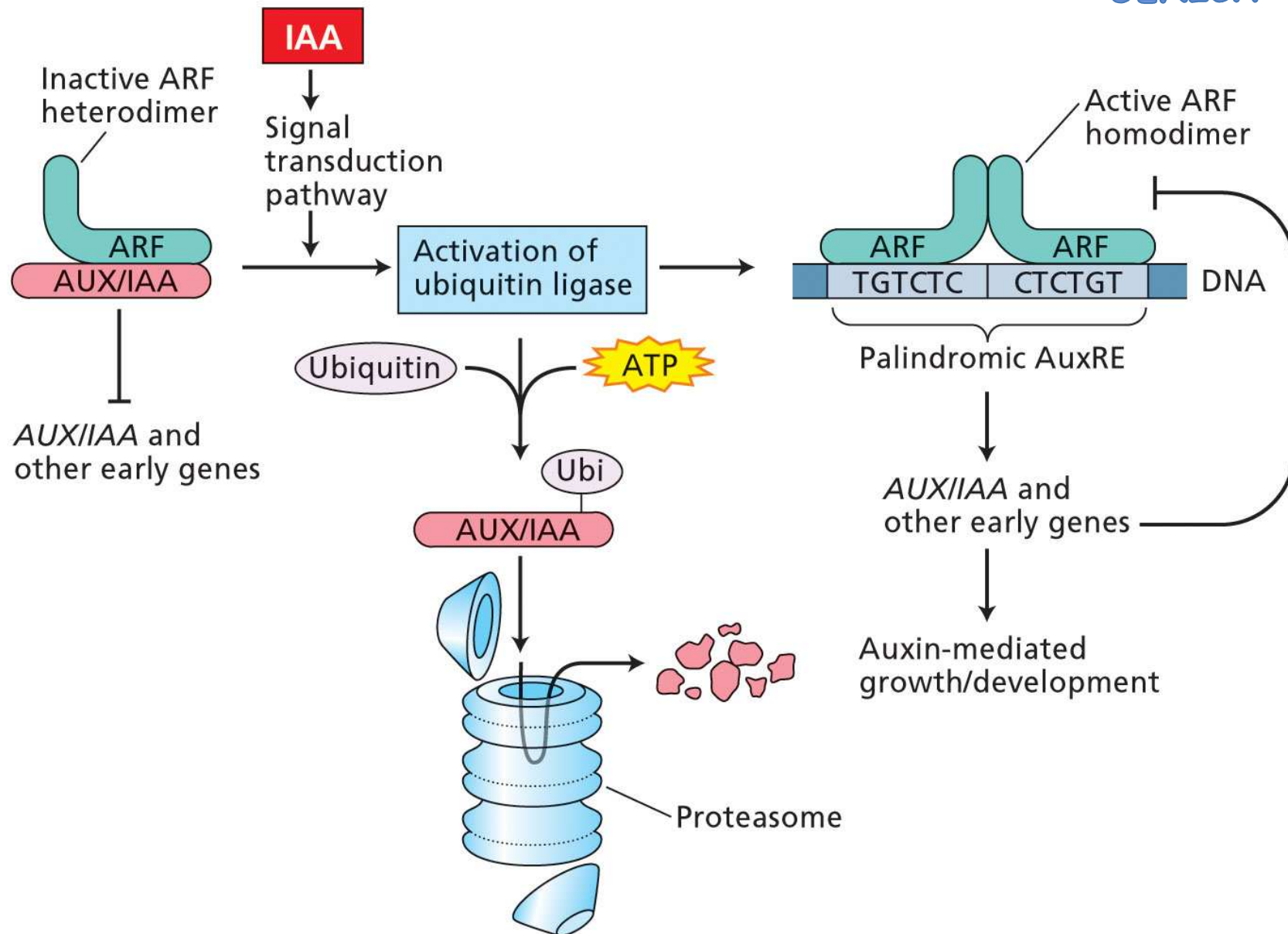
- **geni precoci**
- **geni tardivi**



gene di risposta primaria

gene di risposta secondaria

REGOLAZIONE DELL'ESPRESSIONE GENICA



REGOLAZIONE DELL'ESPRESSIONE GENICA

Il recettore dell'auxina è stato identificato

TIR1

TIR1 è parte del complesso SCF^{TIR1} ,
con attività ubiquitina ligasica (E3)

