

# Acquisizione e assimilazione del fosforo

Dopo l'azoto, il fosforo è l'elemento più importante per la crescita delle piante (la richiesta di fosforo da parte della pianta è minore di quella di azoto)

Mentre l'azoto (nitrato) è mobile nel suolo, il fosforo (fosfato) è relativamente immobile:

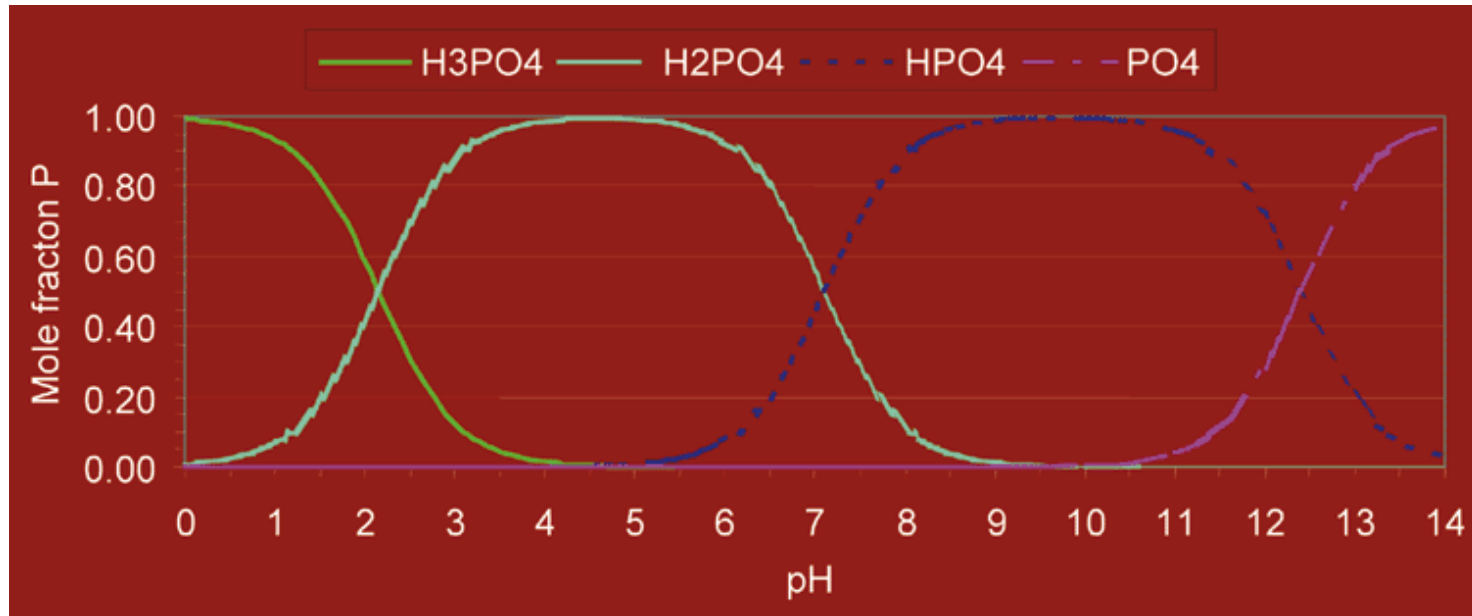
forte legame del fosfato sulle superfici colloidali con cariche positive

-> spesso elemento limitante per nutrizione minerale, crescita delle piante, produttività



Il fosforo è assorbito dalle piante in forma  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  (soprattutto) o  $\text{HPO}_4^{2-}$

La presenza/abbondanza di questi due ioni nel suolo è funzione del pH del suolo



Ione fosfato:  $\text{PO}_4^{3-}$

Forma predominante in ambiente..

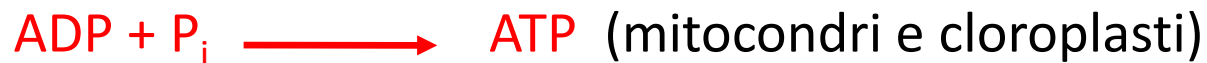
- fortemente acido: acido fosforico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )
- debolmente acido: ione diidrogenofosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ )
- debolmente basico: ione idrogenofosfato ( $\text{HPO}_4^{2-}$ )
- fortemente basico: ione fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

## ASSORBIMENTO E ASSIMILAZIONE DEL FOSFATO, $P_i$

- Assorbito dalle radici tramite simporto con  $H^+$   
Gradiente di potenziale elettrochimico fortemente a sfavore

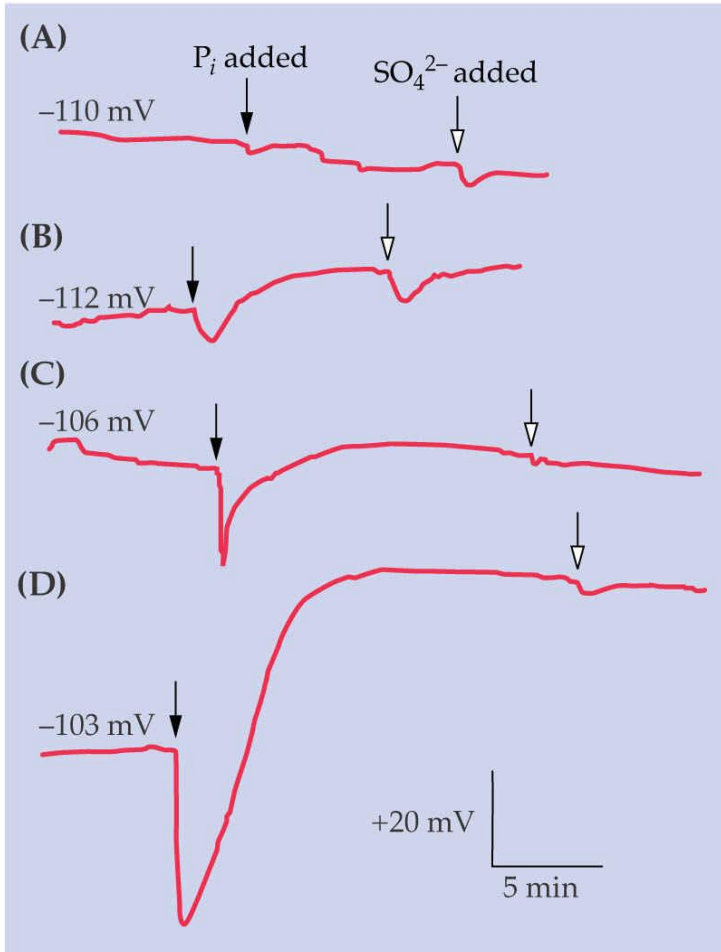
- Incorporato in zuccheri fosfati, fosfolipidi, nucleotidi

Punto d'ingresso = ATP



Nella glicolisi (nel citosol),  $P_i$  incorporato nell'1,3 bisfosfoglicerato

## Assorbimento del fosfato

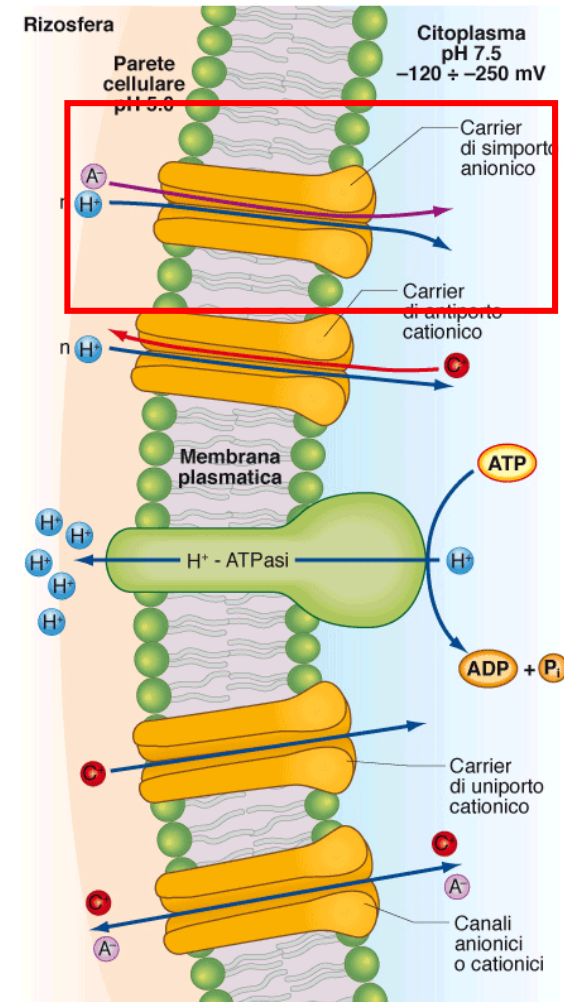


Assorbimento di  $P_i$  da cotrasportatori accompagnato da:

- Aumento pH della rizosfera
- Depolarizzazione transiente
- Acidificazione del citoplasma (che stimola l' $H^+$ -ATPasi, che ripolarizza la membrana)

Co-trasporto con 2-4  $H^+$   
Trasportatori ad alta affinità  
 $K_m = 1-5 \mu M$

-> **attività regolata dal livello di sufficienza/carenza di  $P_i$**



A: piante allevate con alta disponibilità di P

B-D: piante private di P nel suolo per periodi di tempo progressivamente crescenti

**Identificati tre cotrasportatori per  $P_i$  in *Arabidopsis*:**

**PHT1 (9 geni), PHT2, PHT3**

## Strategie per aumentare disponibilità e acquisizione di P:

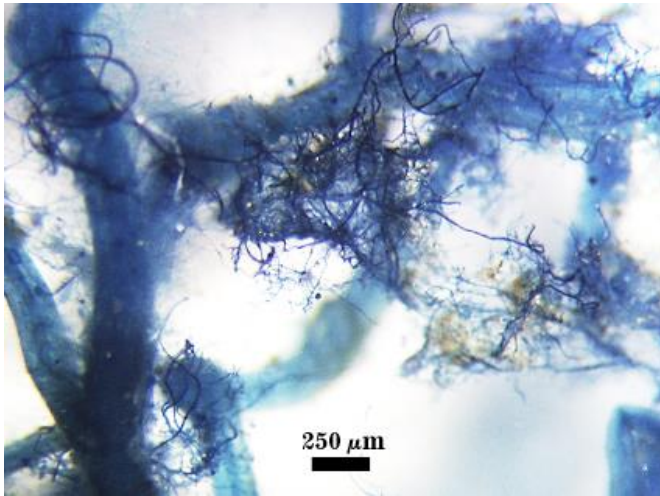
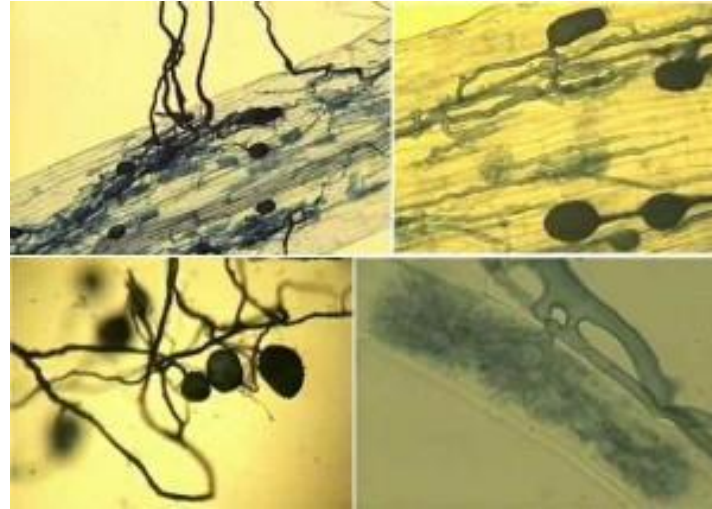
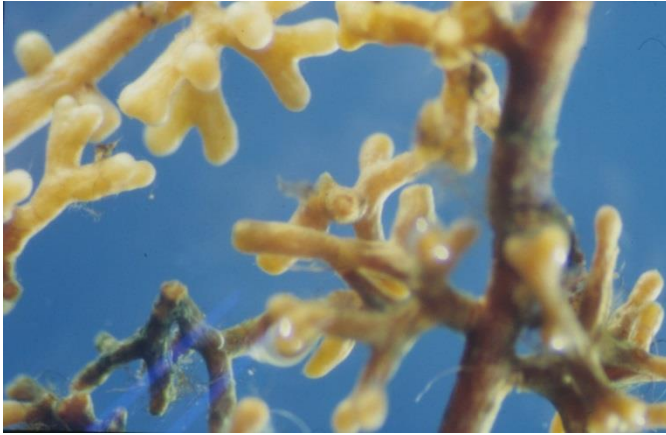
- Aumento biomassa radicale e peli radicali (es. radici a grappolo in alcune specie)



- Secrezione di fosfatasi (idrolisi di composti organici e rilascio di fosfato inorganico)
- Essudazione di composti organici quali substrati per la crescita di micro-organismi che producono fosfatasi
- Secrezione di composti acidificanti (aumentano solubilità diidrogenofosfato)

Ciascuna di queste caratteristiche è un potenziale obiettivo di selezione di genotipi (con tecniche tradizionali o approcci molecolari) con aumentata capacità di assorbimento del fosfato

# Micorrize



Associazioni micorriziche nell'80%  
delle angiosperme

# Micorrize





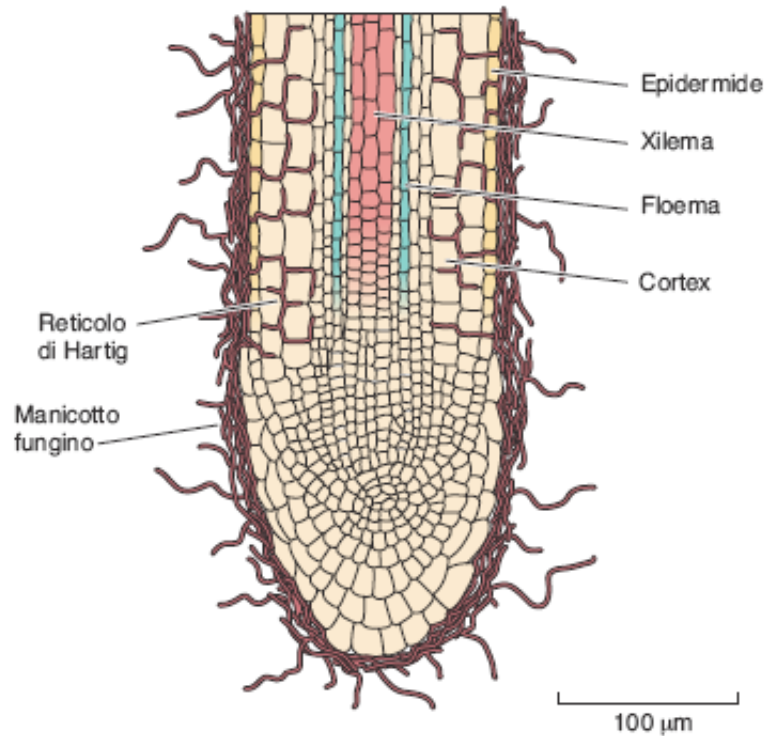
# Micorrize

## Riconoscimento: segnali molecolari

Pianta: secrezione di lattoni terpenoidi (classe strigolattoni) ->  
-> fungo: germinazione spore, ramificazione delle ife

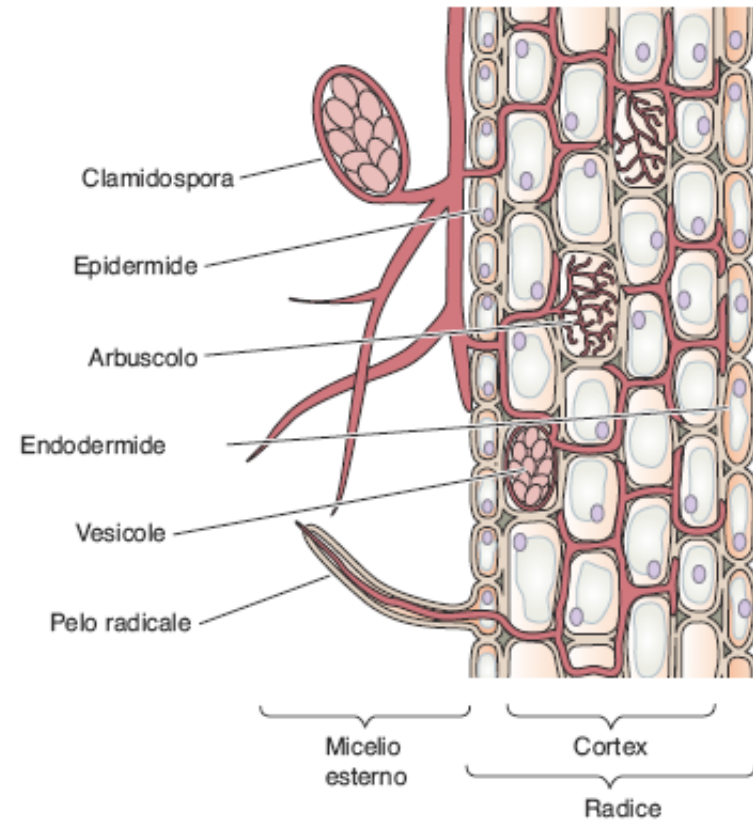
Fungo: rilascio dei Fattori *Myc* (chito-oligosaccaridi, lipo-chito-oligosaccaridi)->  
-> pianta: formazione radici laterali

## Micorrize ectotrofiche

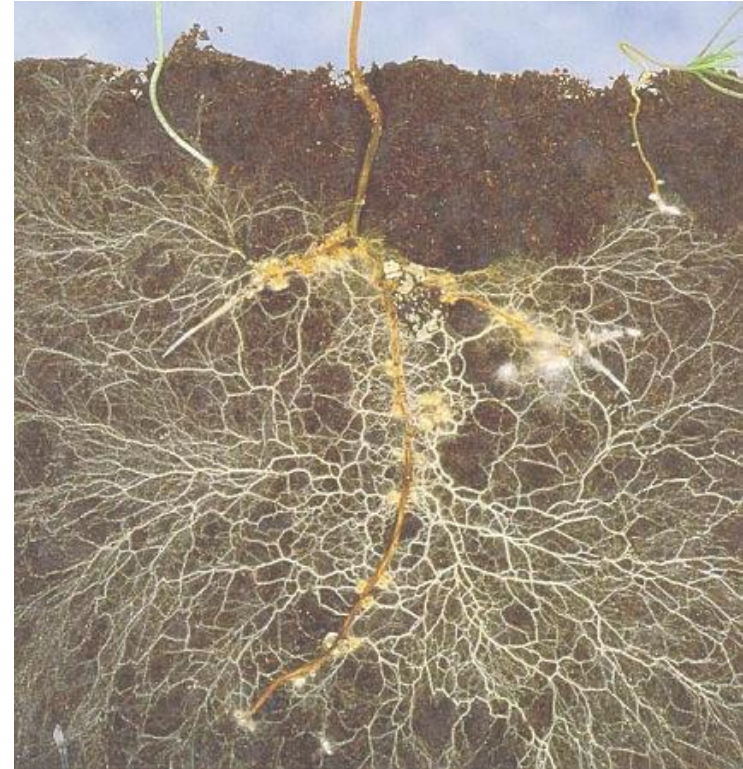
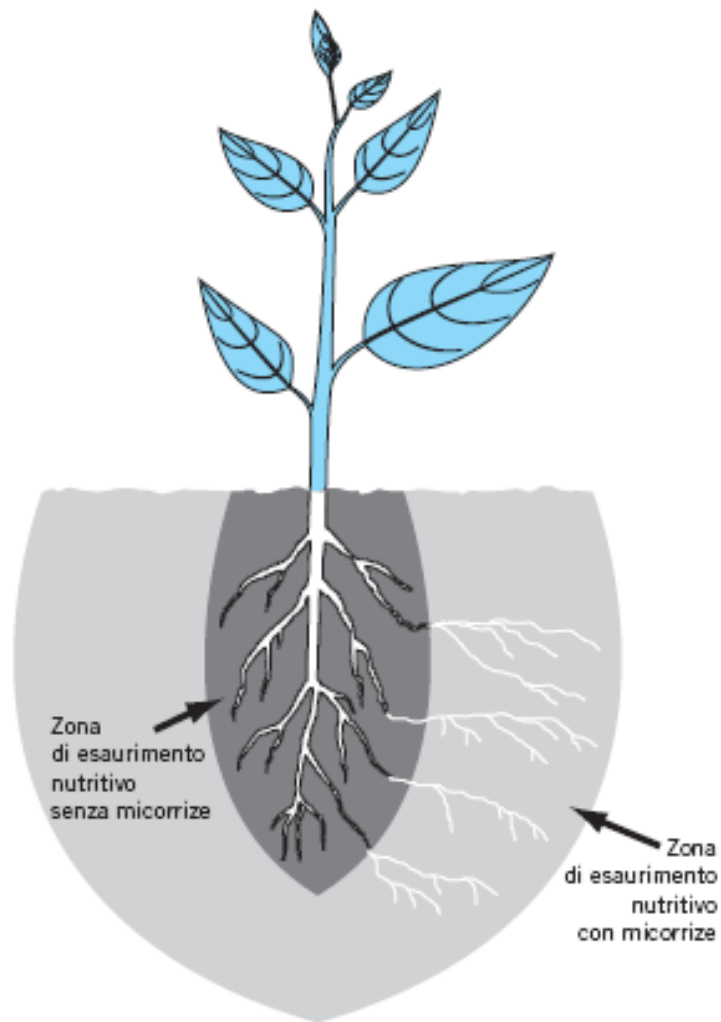


**Figura 5.10** Radice infettata da funghi micorrizici ectotrofici. Nelle radici infettate le ife fungine circondano la radice per produrre una densa guaina fungina e penetrano negli spazi intercellulari del parenchima corticale per formare il reticolo di Hartig. Risulta evidente come la massa totale delle ife fungine sia paragonabile alla massa della radice stessa. (Da Rovira et al., 1983).

## Micorrize arbuscolari

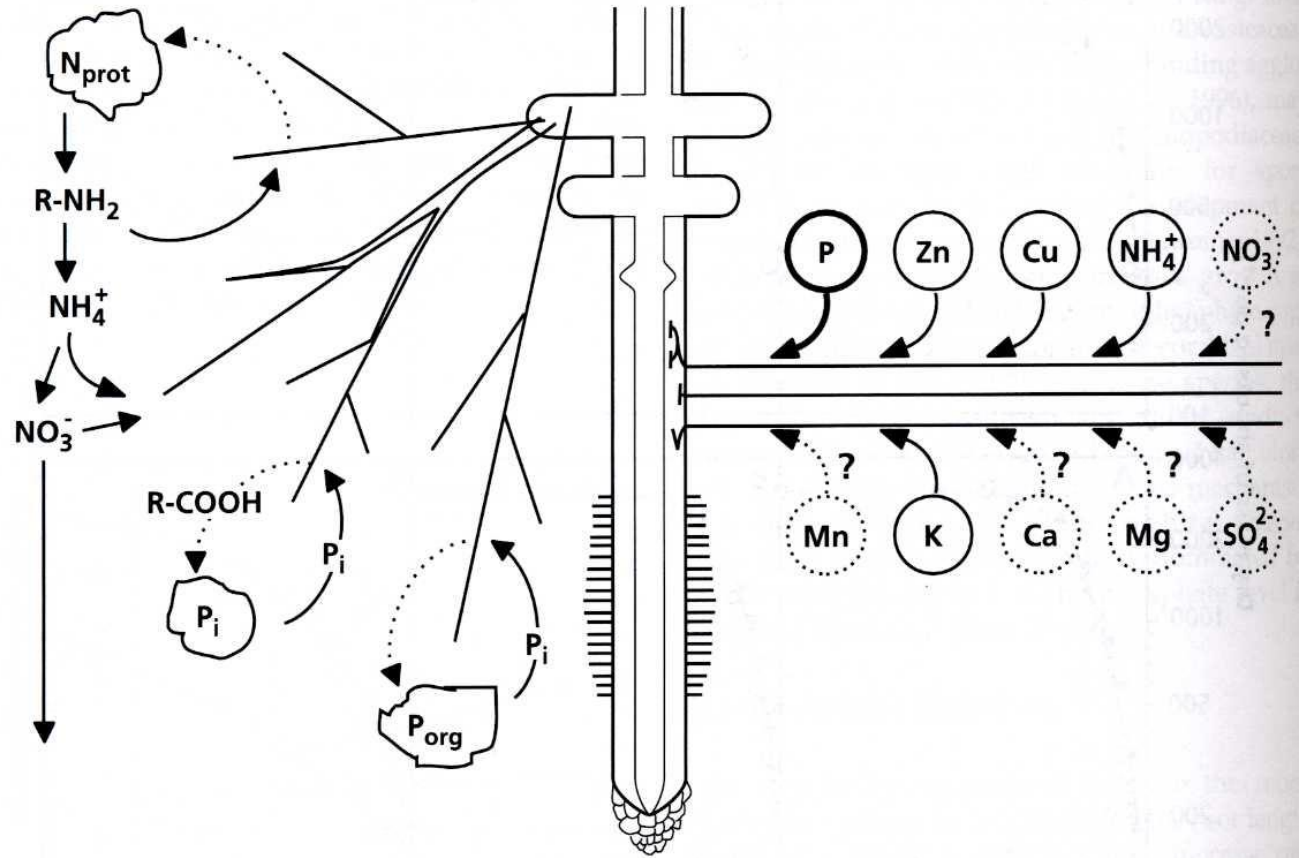


**Figura 5.11** Associazione di funghi micorrizici vescicolo-arbuscolari con un segmento di radice di pianta. Le ife fungine crescono fra gli spazi intercellulari di parete del parenchima corticale e penetrano all'interno delle singole cellule. Estendendosi all'interno delle cellule, esse non rompono la membrana plasmatica o il tonoplasto della cellula ospite; al contrario l'ifa, man mano che occupa lo spazio intracellulare, è circondata da queste membrane. In questo processo l'ifa fungina può formare strutture ovoidali dette vescicole o strutture ramificate conosciute come arbuscoli. Gli arbuscoli prendono parte allo scambio ionico di elementi nutritivi fra la pianta ospite e il fungo. (Da Mauserth, 1988).



**FIGURA 13.16** Una infezione di radici con funghi micorrizici estende la zona di esaurimento nutritivo per una pianta. Questa zona rappresenta il volume di terreno da cui il sistema radicale trae i nutrienti.

## Meccanismi di azione dei funghi micorrizici



Pompe protoniche molto attive

Secrezione di fosfatasi

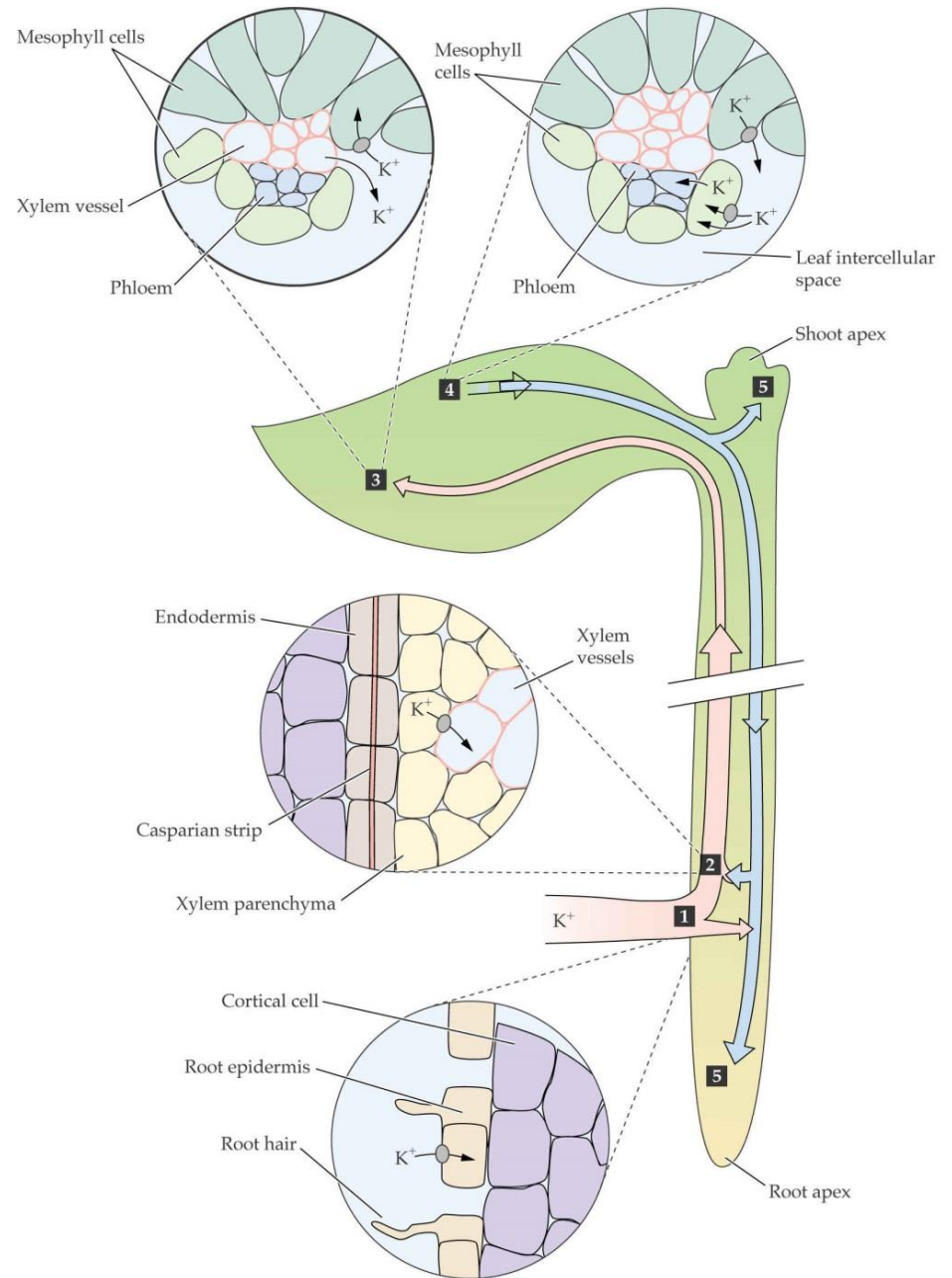
Le micorrize aumentano l'assorbimento di P da parte delle radici da 3-4 a 50-60 volte rispetto a quelle non micorrizzate

In carenza di azoto inorganico, sintesi e rilascio di esoenzimi idrolitici (rilascio di  $NH_4^+$ / aa)

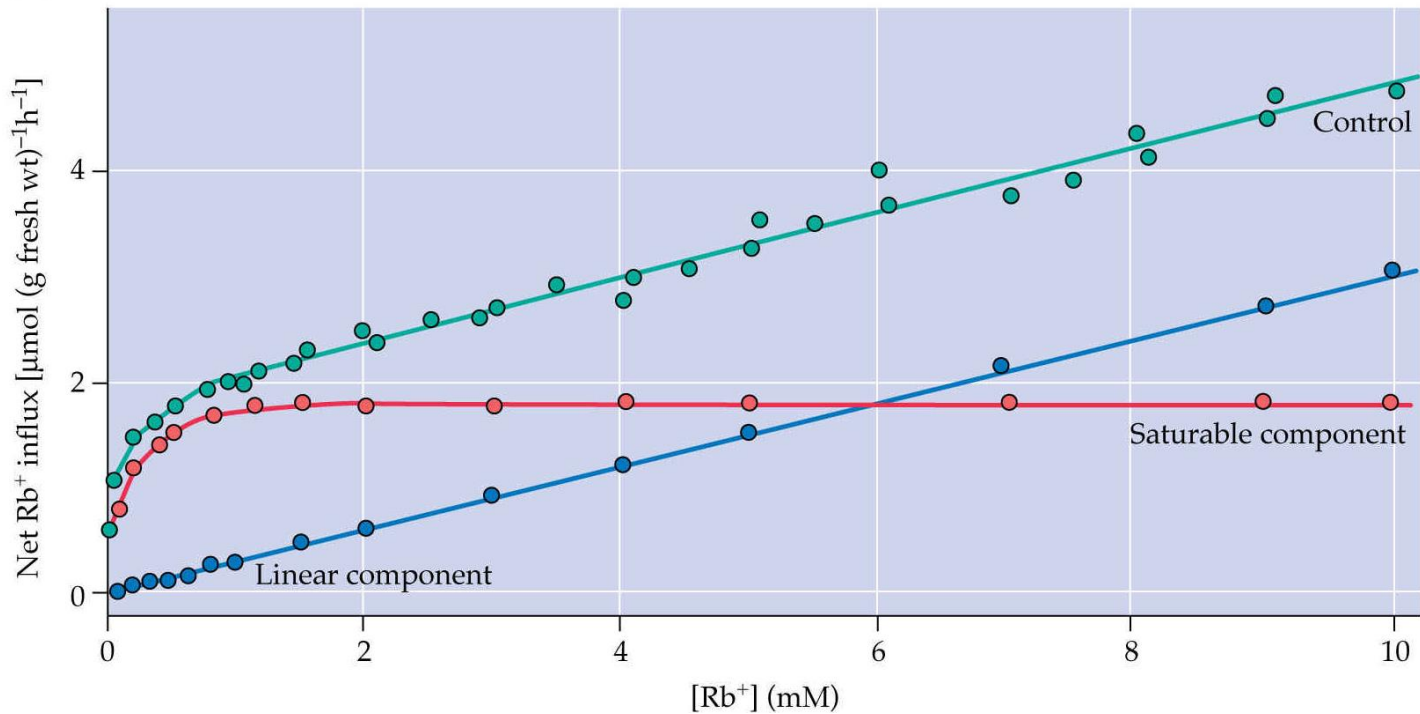
Nelle radici micorrizzate i trasportatori per  $P_i$  diventano quasi del tutto inattivi. Il fungo trasferisce direttamente  $P_i$  alla pianta. La pianta rifornisce il fungo di carboidrati (fino al 30% del C fissato durante la fotosintesi)

# Acquisizione del potassio

- 1) Assorbito attraverso il plasmalemma delle cellule radicali
- 2) Trasportato all'interno dei condotti xilematici
- 3) Traslocato al germoglio attraverso lo xilema
- 4) Caricato nel floema a livello della foglia
- 5) Esportato verso l'apice vegetativo (del germoglio e della radice)

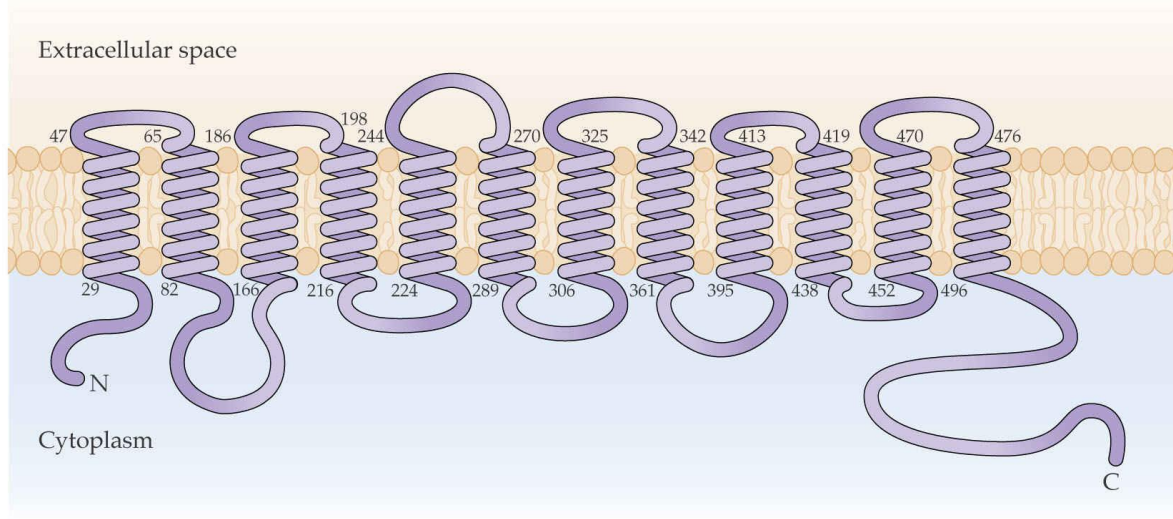


(A)

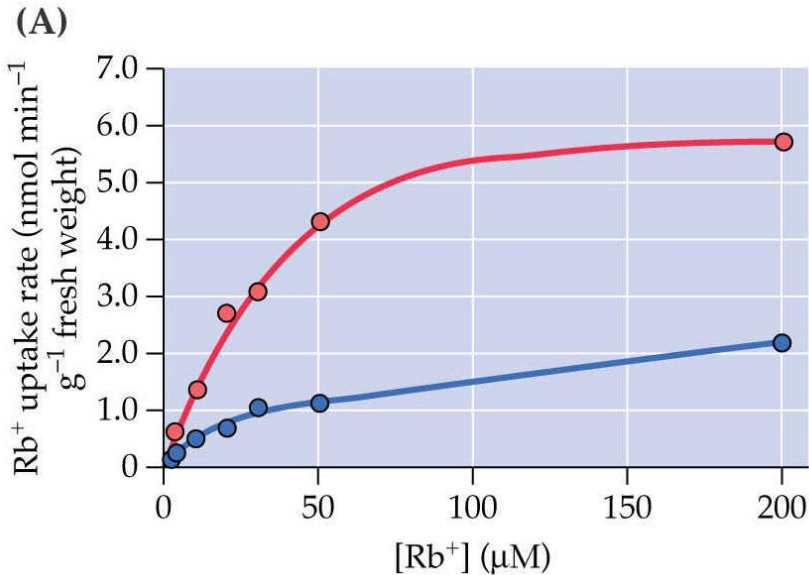


Meccanismo I - alta affinità (HATs) – simporto K<sup>+</sup>/H<sup>+</sup>

Meccanismo II - bassa affinità (LATs) – canale per K<sup>+</sup>



<- AtKUP1, traslocatore di simporto  $H^+/K^+$  79 kDa, espresso sia nella radice che nelle foglie e nei fiori. Possiede affinità duale (alta e bassa)



In rosso: cinetica di assorbimento di un analogo dello ione potassio in cellule di *Arabidopsis* transgeniche che sovraesprimono AtKUP1, confrontate con cellule wild type (blu)

## Acquisizione del ferro

Fe abbondante nella crosta terrestre, ma bassa disponibilità per le piante

Solo lo ione ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) può essere assorbito dalle radici, ma a pH del suolo tra 6.0 e 8.0 predomina la forma  $\text{Fe}^{3+}$  (ione ferrico). La maggior parte di questo ferro, però, forma ossidi insolubili a pH neutro.

A pH acido la solubilità di  $\text{Fe}^{2+}$  aumenta.

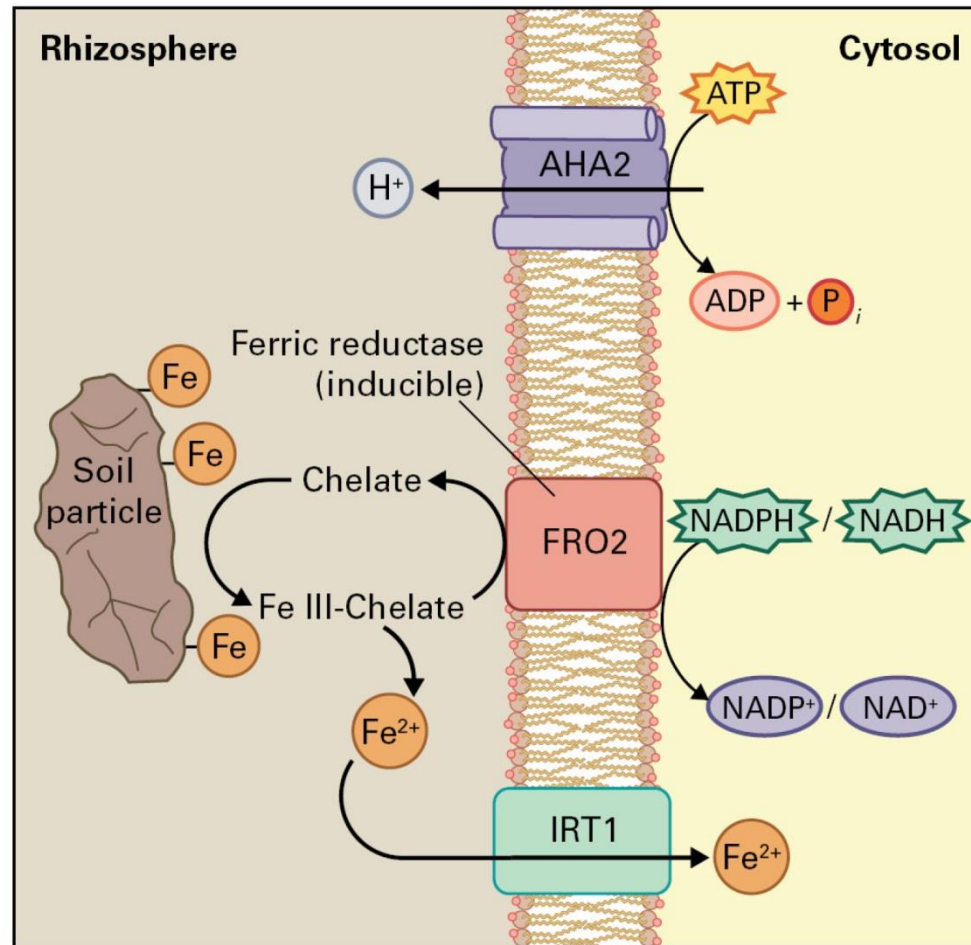
$\text{Fe}^{2+}$  maggiormente disponibile in condizioni anaerobiche

Le piante utilizzano 3 strategie per solubilizzare e assorbire il ferro:

- Acidificazione della rizosfera
- **Strategia I:** riduzione di  $\text{Fe}^{3+}$  (eventualmente legato a chelanti, anche prodotti da batteri e funghi) a  $\text{Fe}^{2+}$ . È pH dipendente
- **Strategia II:** Sintesi di chelanti (fitosiderofori, solo nelle graminacee): legano e solubilizzano  $\text{Fe}^{3+}$ . Non è pH dipendente.

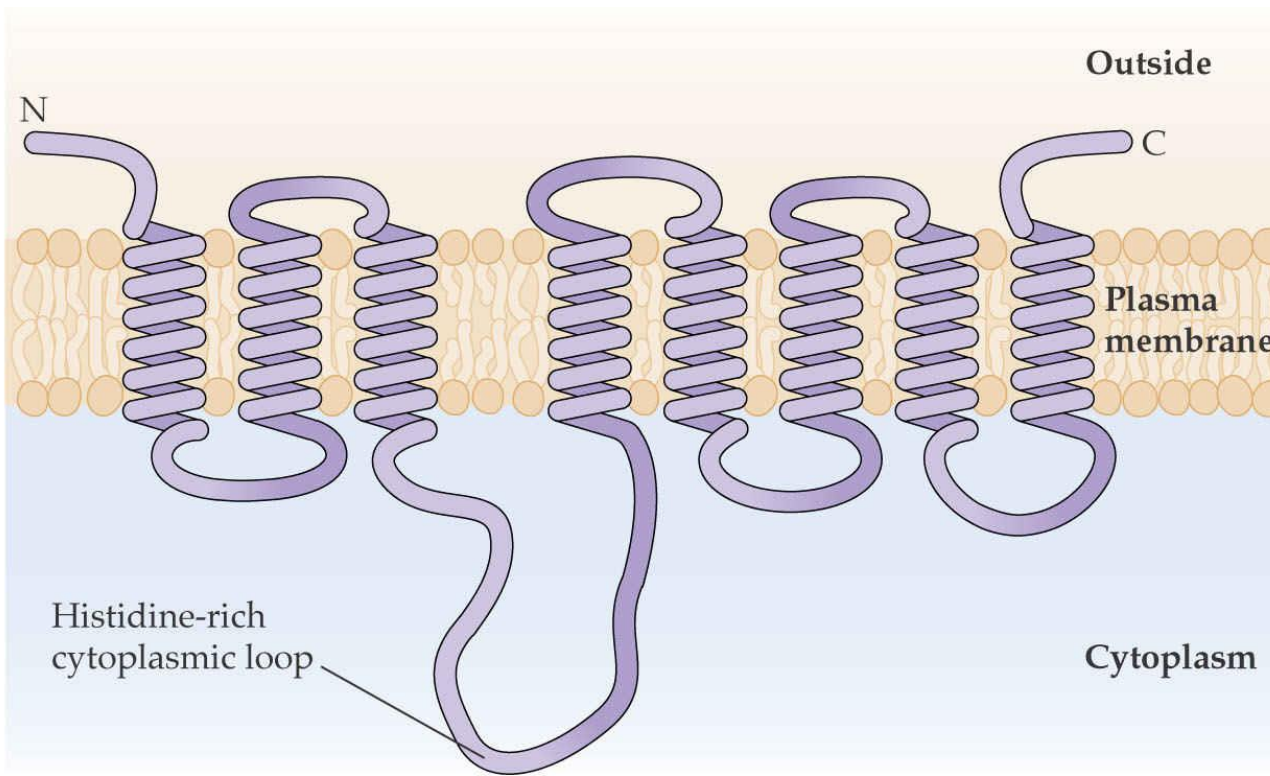


# Strategia I



**FIGURE 23.14** Model of Fe uptake by eudicots and nongrass monocots. The model depicts the key plasma membrane-localized components that are induced in roots by Fe deficiency in Arabidopsis. These include a plasma membrane  $H^+$ -ATPase (AHA2) which acidifies the rhizosphere and increases Fe solubility, the ferric reductase FRO2 that reduces Fe(III) chelates in the rhizosphere releasing Fe(II), and the high-affinity transporter IRT1 which transports Fe(II) across the plasma membrane.

Chelanti rilasciati dalle radici:  
acido malico,  
acido citrico,  
fenoli



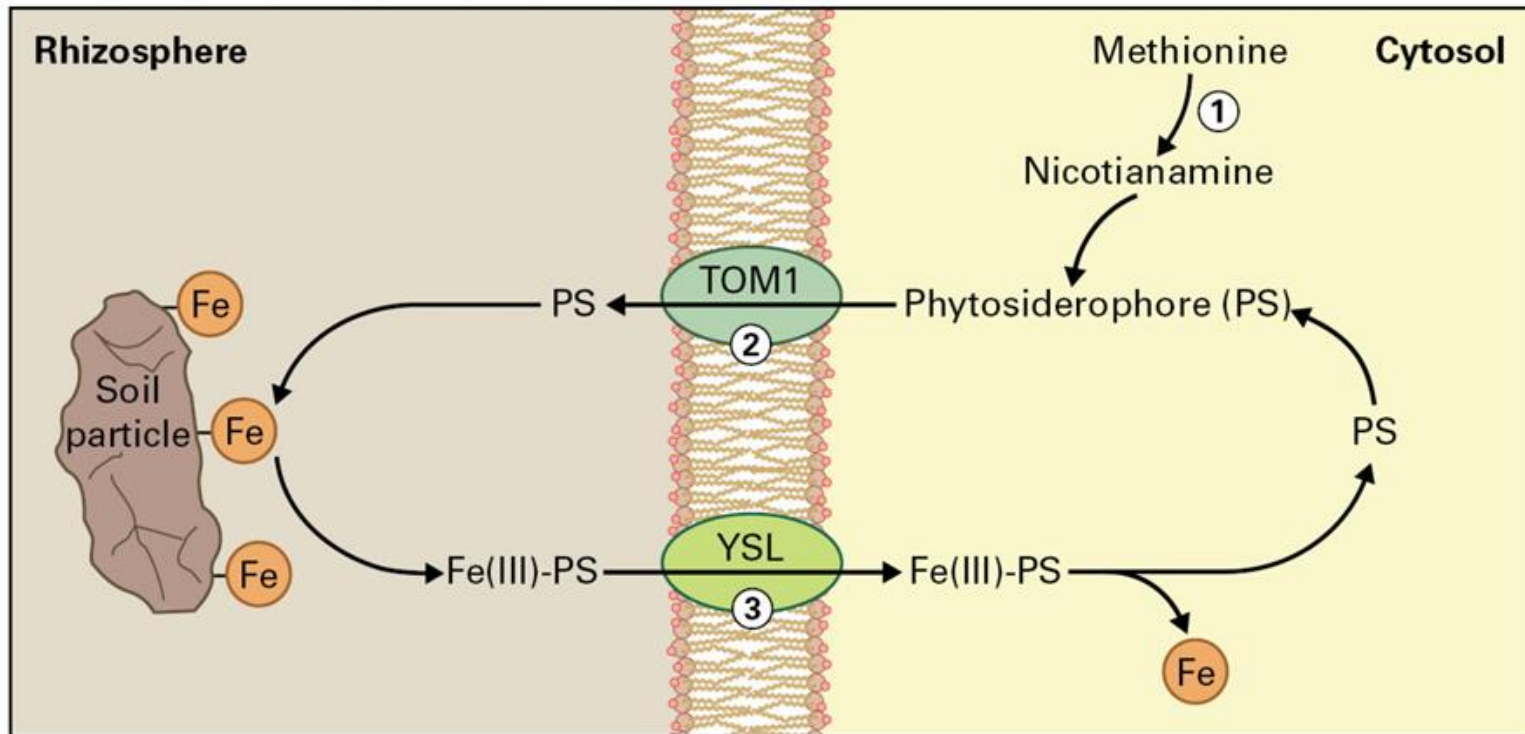
IRT1 (Iron Regulated Transporter):  
trasportatore per  $\text{Fe}^{2+}$

Famiglia ZIP (*Zinc-regulated, Iron-regulated Proteins*): codifica per trasportatori di micronutrienti;  
presente in piante, funghi, animali e batteri

8 regioni transmembrana, loop ricco di istidina che lega Fe

Può trasportare anche Cd, con minore affinità

# Strategia II



**FIGURE 23-18** Model of Fe uptake by graminaceous plants. Phytosiderophores (PS) are synthesized in the cytoplasm from methionine by way of nicotianamine (1); a transporter on the plasma membrane induced by Fe deficiency (called TOM1 in rice) releases the PS into the rhizosphere (2); and a transporter belonging to the YSL family is also induced by Fe deficiency and transports the Fe(III)-PS complex into the cytoplasm (3).

Fitosiderofori:

Prodotti dalle Graminacee

Amminoacidi non proteici (acido mugineico, acido avenico)

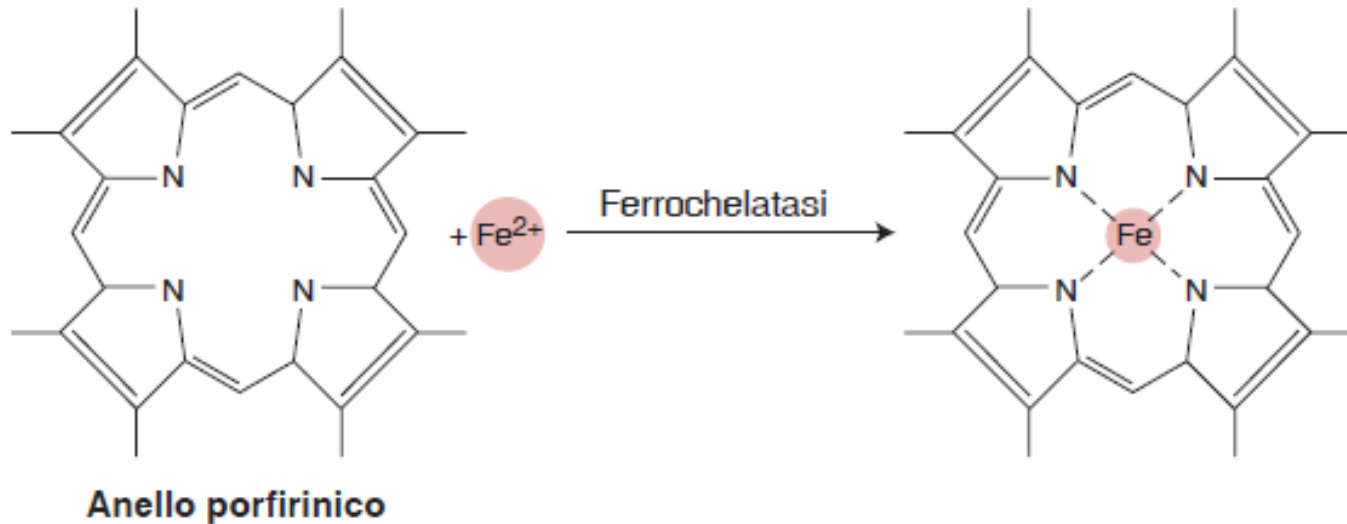
TOM 1 (uniporto) indotto da carenza di Fe

YSL (Yellow stripe-like): simportatore  $H^+$ / $Fe^{3+}$ -PS

$\text{Fe}^{2+}$  che entra nella cellula è ossidato a  $\text{Fe}^{3+}$ . Fe trasportato nella pianta nella forma ossidata ( $\text{Fe}^{3+}$ ), soprattutto in un complesso chelato (es. con citrato).

Nelle foglie, Fe viene assimilato in un precursore porfirinico dei gruppi eme (presenti nei citocromi)

Reazione catalizzata dall'enzima ferrochelatasi



**Figura 12.19** La reazione della ferrochelatasi. L'enzima ferrochelatasi catalizza l'inserimento di un atomo di ferro nell'anello porfirinico per formare un complesso di coordinazione. Vedi la Figura 7.36 per la via biosintetica dell'anello porfirinico.