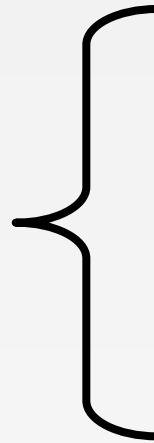


RIZOSFERA

volume di suolo che subisce l'influenza delle radici



Esterna

Interna

**Rizopiano = interfaccia
suolo-radice**

Nella rizosfera troviamo :

1. *Microrganismi* → **associazione radici- microrganismi**

- possono svilupparsi sia all'esterno che all'interno delle radici
- possono ricoprire fino al 10% della superficie radicale
- Influenza reciproca sullo sviluppo delle specie microbiche

• **Inibizione** della crescita radicale → Fitotossine

• **Stimolazione** della crescita radicale → Micorrize

2. Materiali organici liberati dalle radici:

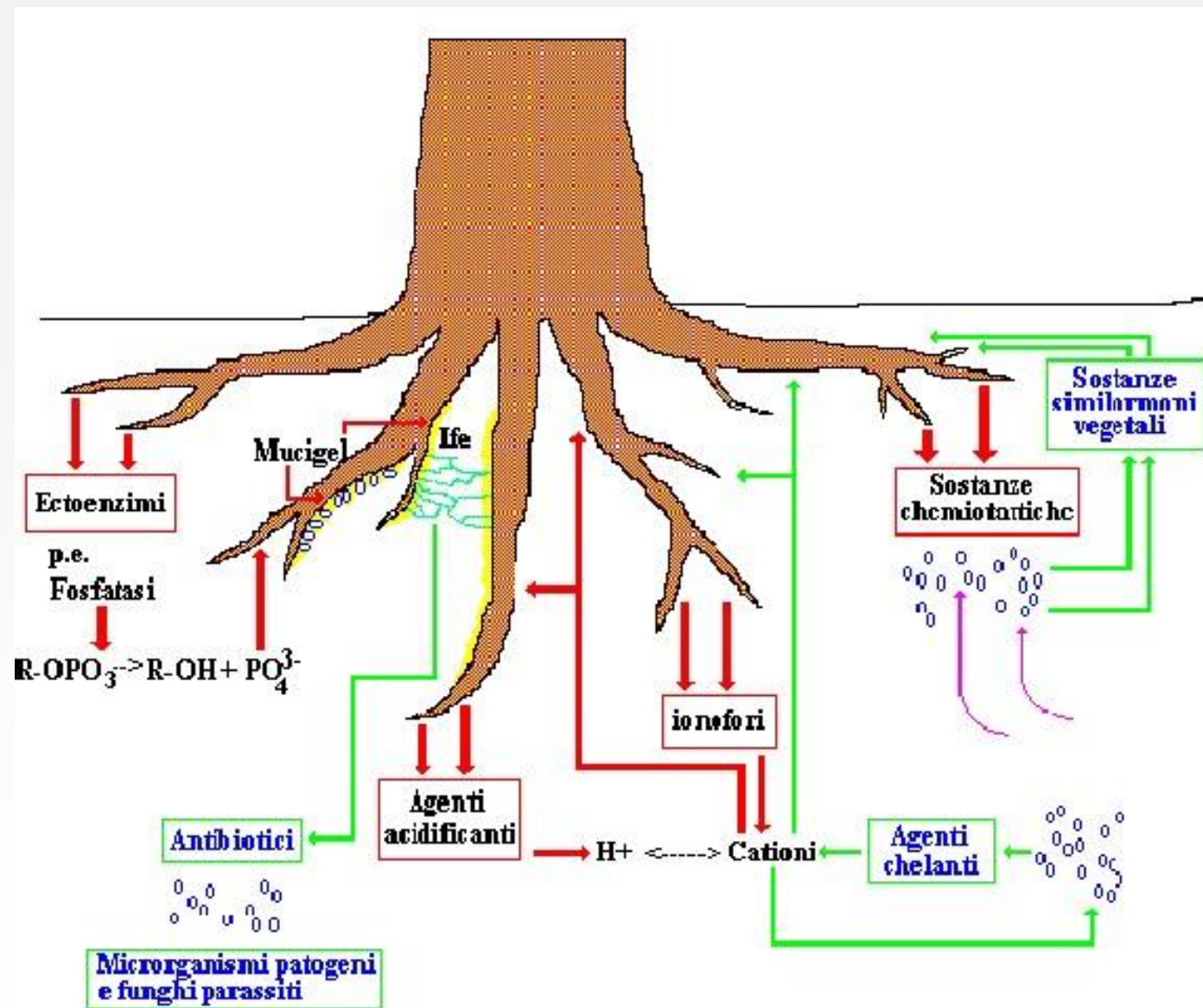
- **Essudati** composti a basso peso molecolare
- **Ectoenzimi** (fosfatasi)
- **Lisati** prodotti di autolisi delle cell epidermiche più vecchie e dall'attività batterica
- **Mucillagini** composti complessi di natura polisaccaridica

La rizosfera è un ambiente altamente reattivo:

- Notevole attività biologica
- Reazioni di complessazione e redox
- Elevata concentrazione di H⁺



**Aumento della
disponibilità di
nutrienti per le
piante**

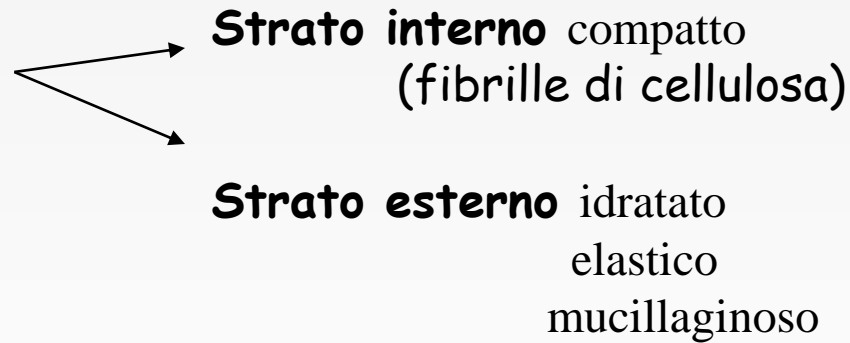


Interfaccia suolo-radice

Le parti più giovani della radice sono le più attive metabolicamente:

- Elevato assorbimento
- Produzione di essudati

Le **pareti cellulari**
Complesso strutturale
multilamellare

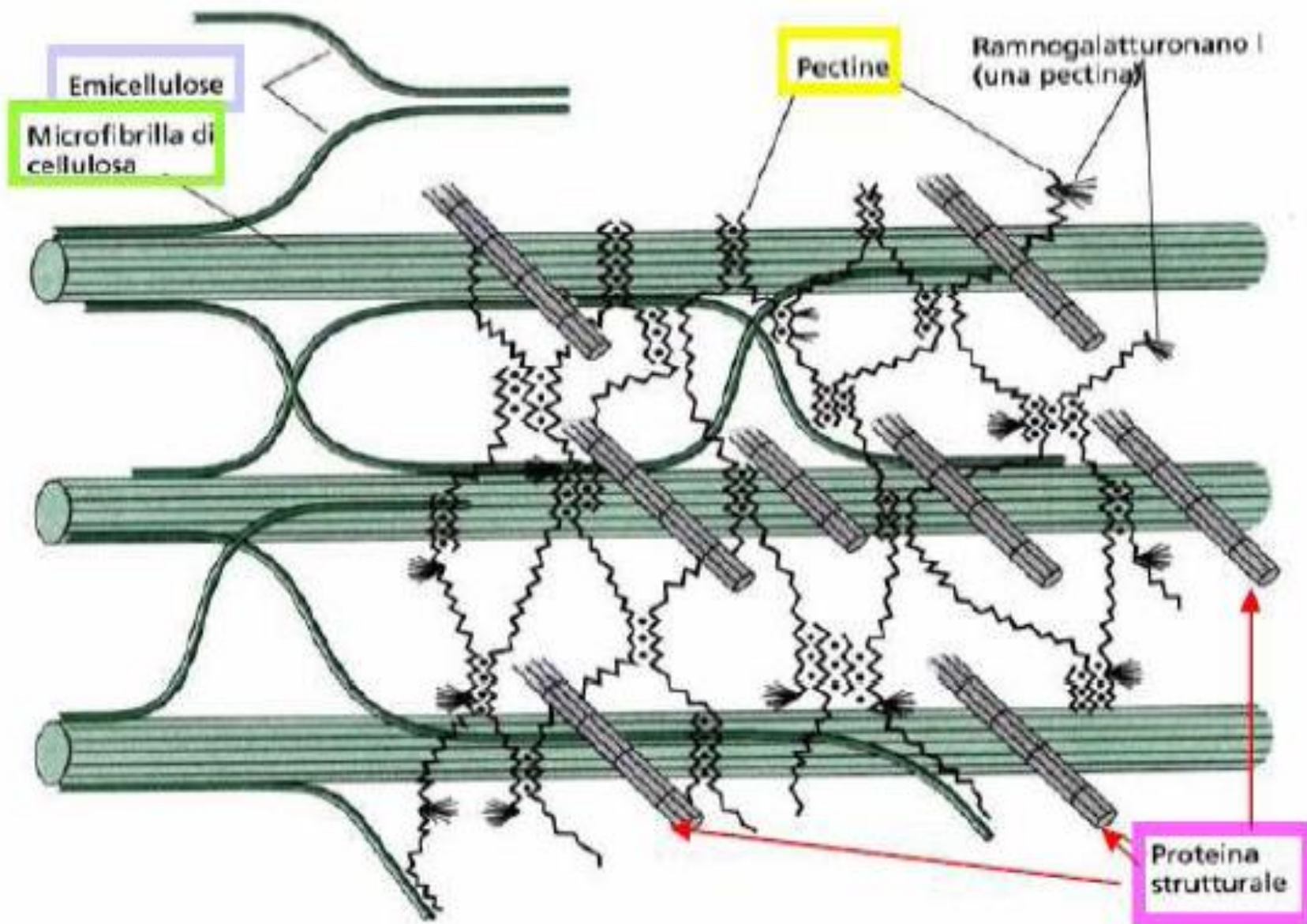


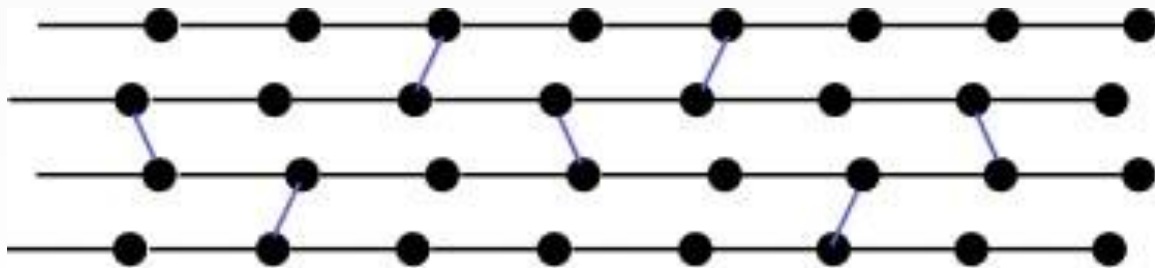
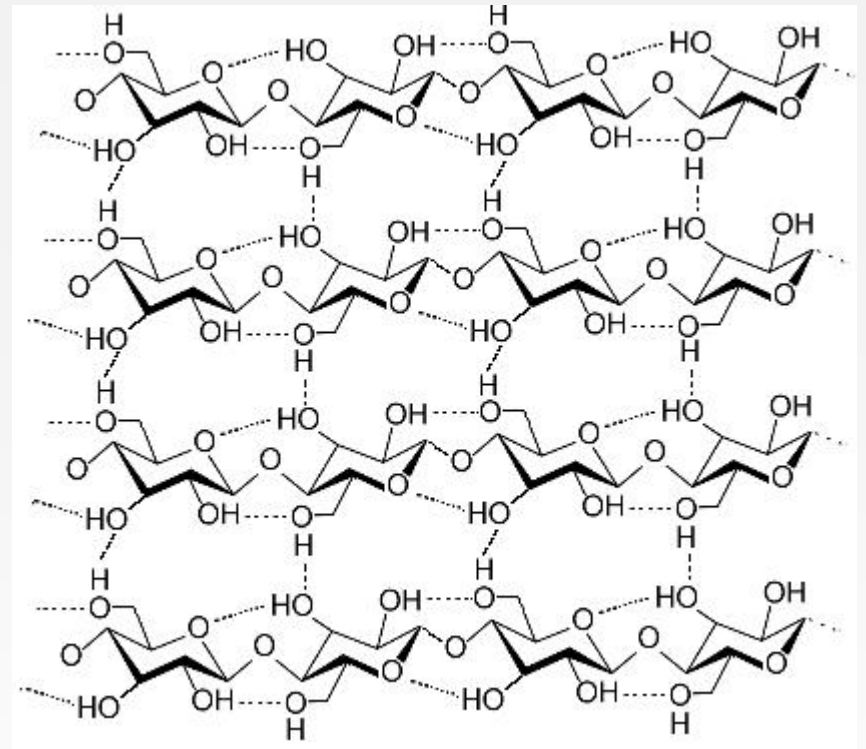
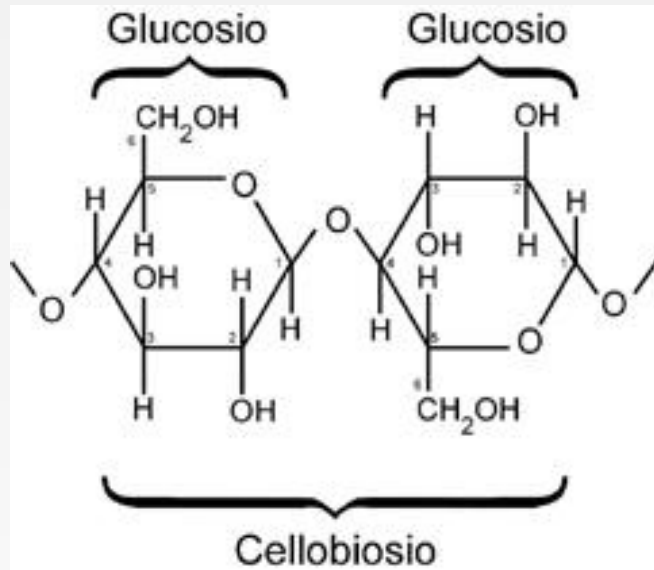
Film mucillaginoso all'interfaccia suolo-parete
cellulare continuamente liberato dallo strato esterno
dell'epidermide

Le mucillagini

favoriscono

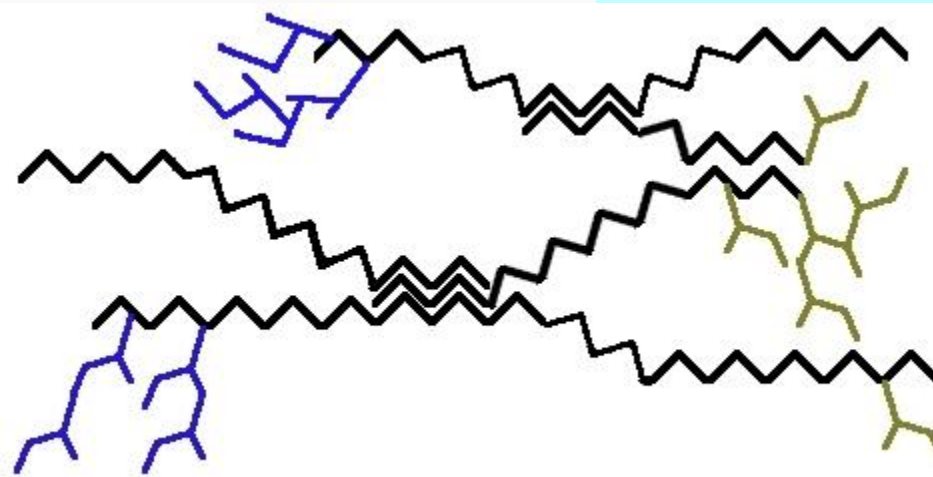
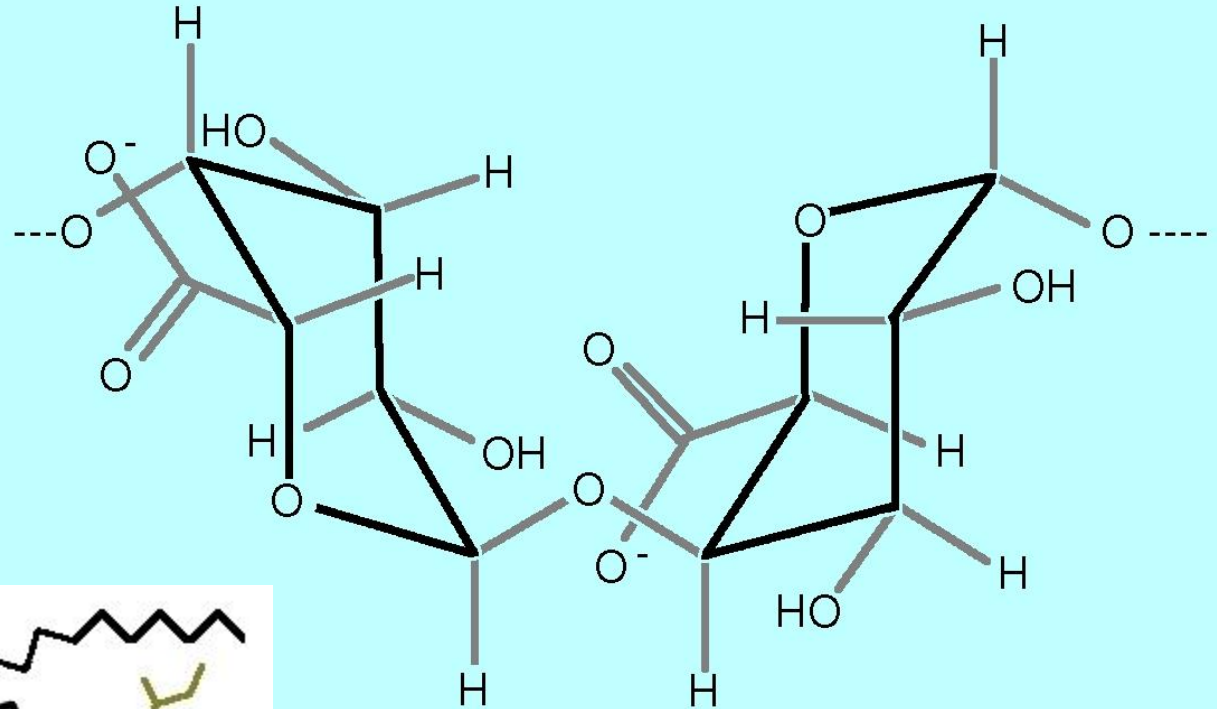
-
- Penetrazione delle radici
 - Processi di scambio
 - Accumulo di nutrienti
 - Colonizzazione microbica





PECTINA

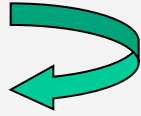
Due molecole di Acido- α -D-Galatturonico



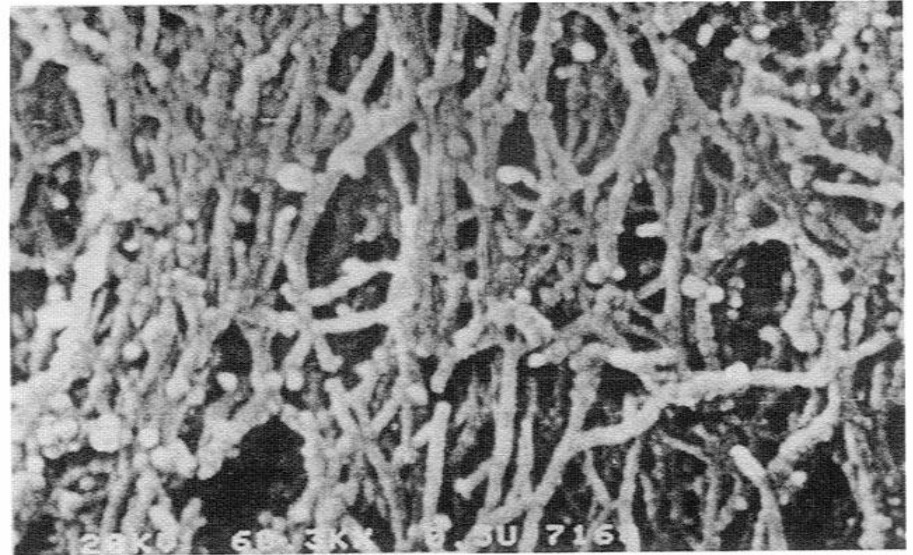
Sono polimeri lineari, costituiti in prevalenza da acido glucuronico e acido galatturonico legati da legami α -(1 \rightarrow 4), con interposte molecole di xilosio, ramnosio e galattosio.

L'interfaccia mucillaginosa ha struttura fibrillare

Le fibrille intrecciandosi



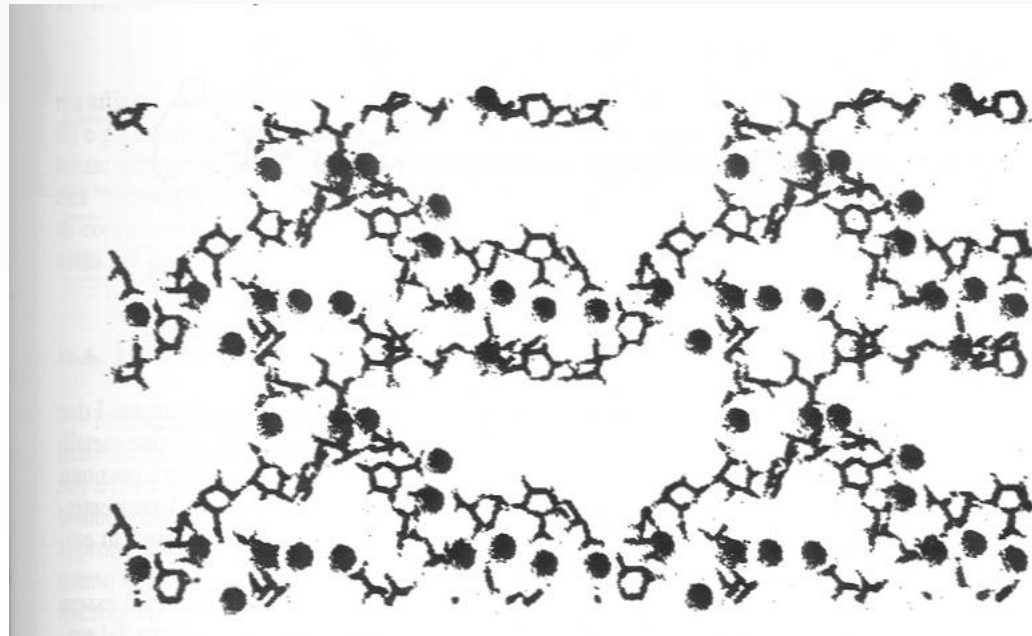
Corpo poroso
con spazi liberi e
comunicanti



- **Reticolazione dei biopolimeri**



Strato spugnoso



Reticolazione dei biopolimeri fra

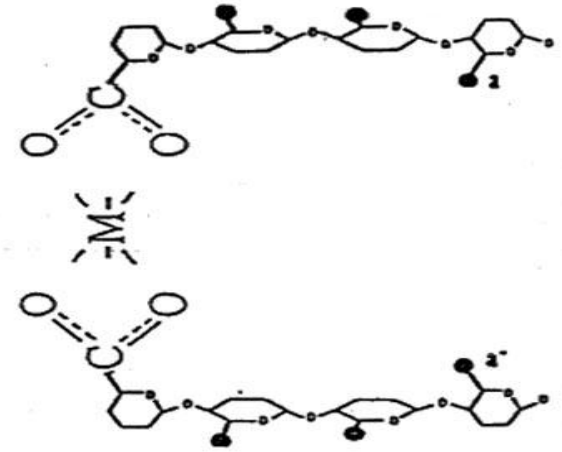
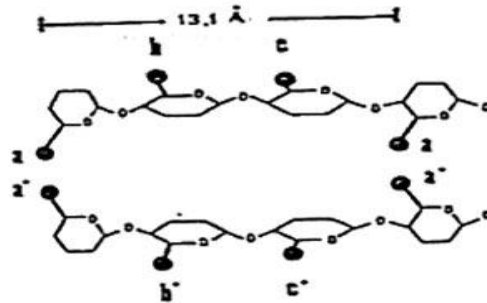
gr. COO^- delle pectine e ioni Ca^{2+} in soluzione

Formazione di

Ponti ionici

stabilizzati da

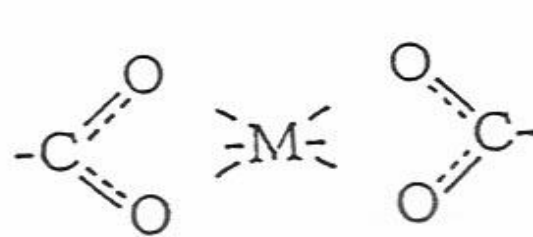
legami H



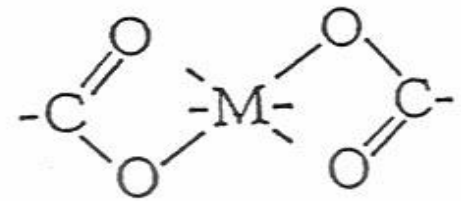
Il volume dello Spazio libero dipende dalle interazioni dei metalli con i biopolimeri:

• **Complesso a sfera aperta:** $\text{Ca}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$ di idratazione → ampio grado di idratazione del reticolo → notevole elasticità e ampio volume dello spazio libero

• **Complesso a sfera interna:** è stabile → volume ridotto dello spazio libero



$\text{M} = \text{Ca}^{2+}$
Complesso a sfera esterna



$\text{M} = \text{Cu}^{2+}$
Complesso a sfera interna

E' importante l'affinità degli ioni per i biopolimeri della componente pectica.:

L'interazione ione-reticolo dipende :

- caratteristiche dello ione
- pH \longrightarrow modificazione carica superficiale

Divisione in **3 gruppi**:

1. Specie chimiche con
scarsa affinità

{ Molecole neutre di opportune dimensioni

2. ***Specie ad alta affinità***
Complessi a sfera aperta

{ Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} ,
 Mn^{2+} , Zn^{2+}

3. Specie legate come
Complessi a **sfera interna**

{ Cu^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+}

Fissazione nell'apoplasto



movimento molto lento

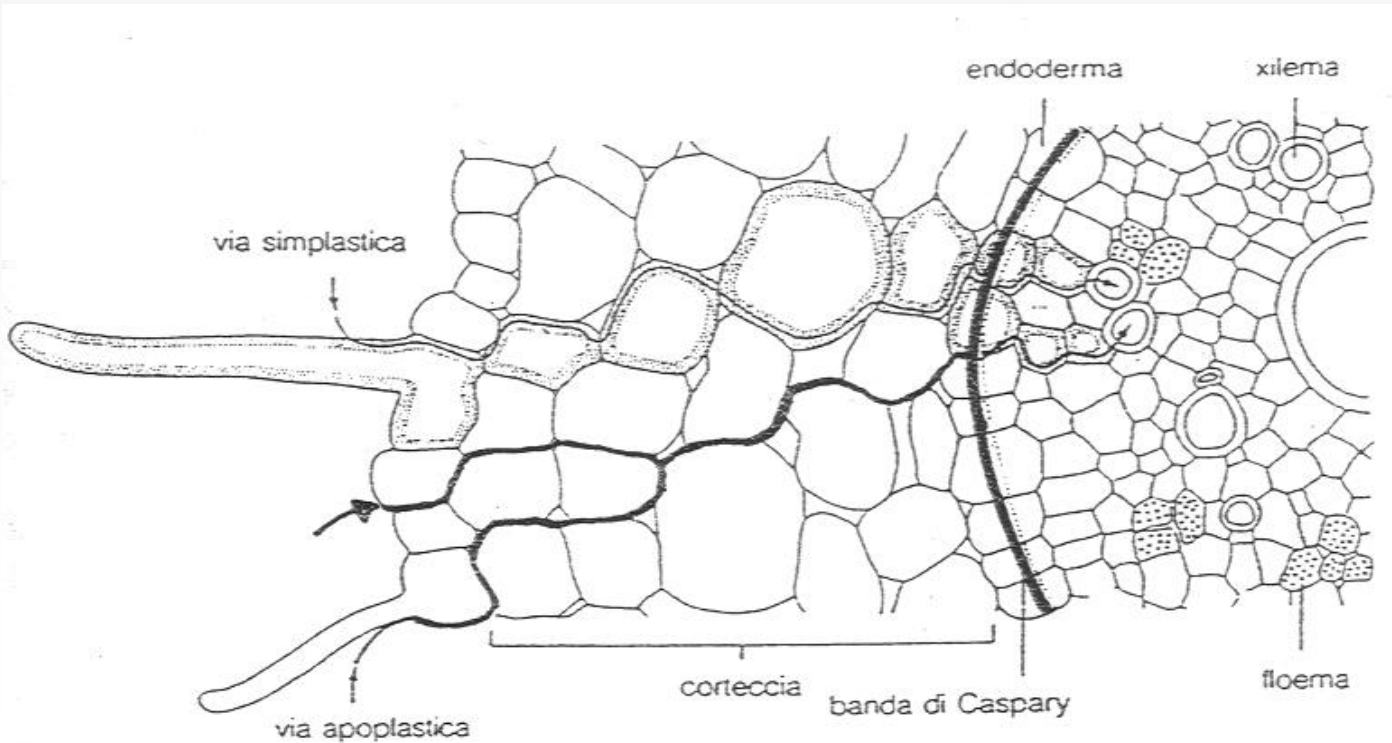
Il sistema poroso, degli spazi liberi non è un'esclusiva della Interfaccia suolo-radice, ma anche all'interno della radice:

Pareti cellulari + Spazi intercellulari



- Superfici radicali delle cellule del rizoderma
- Pareti e spazi intercellulari della corteccia

Sistema apoplastico di trasporto



Il volume dello spazio libero ~ 10% del volume totale delle giovani radici

Il volume dell'apoplasto: Intreccio di canali con numerosi siti di reticolazione contenenti ioni che ne regolano l'ampiezza e la stabilità

SPAZIO LIBERO APPARENTE :

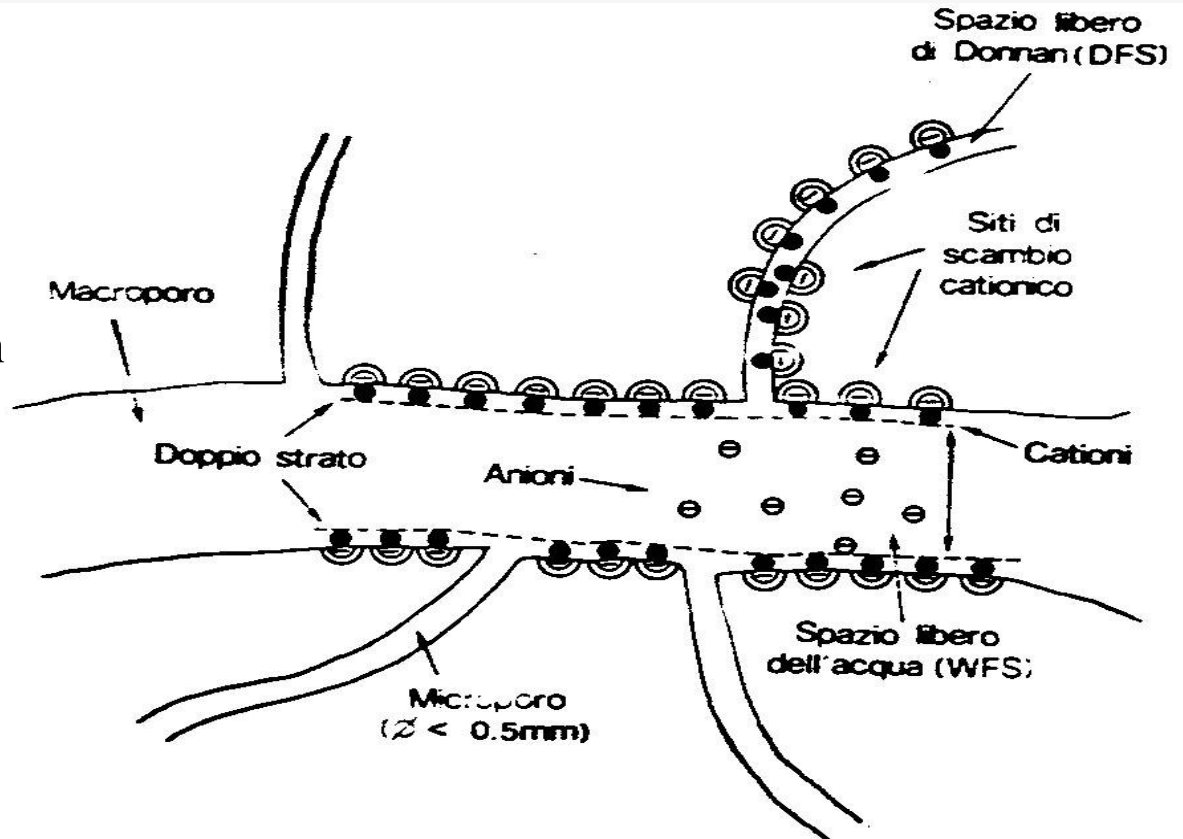
le pareti cellulari con i gr $R-COO^-$ interagiscono con i soluti facilitando o limitando il movimento

1. Spazio libero dell'acqua

liberamente accessibile per molecole cariche e non

2. Spazio libero di Donnan

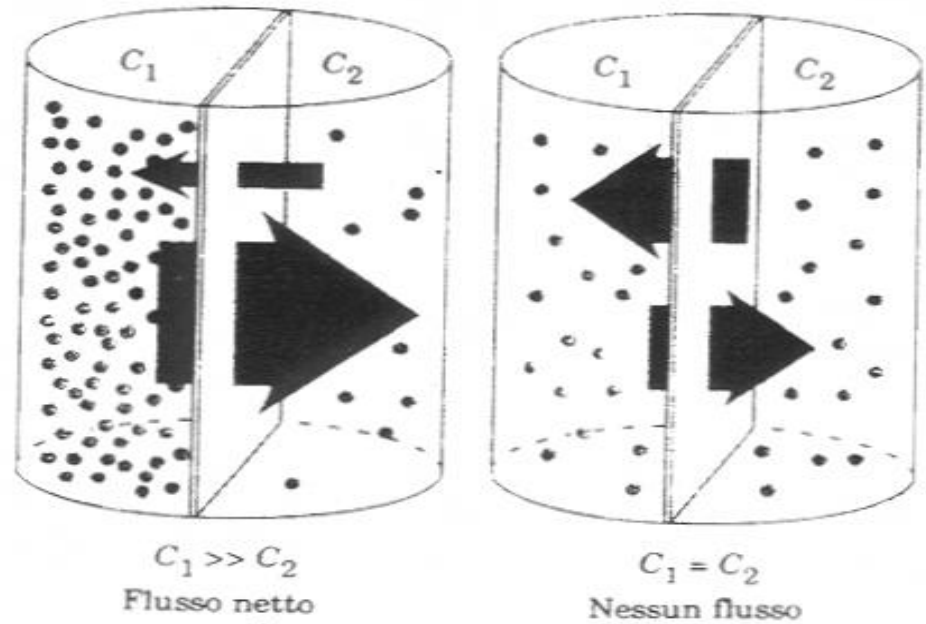
avviene scambio fra cationi (+) e repulsione degli anioni (-)



Il flusso avviene come **processo spontaneo** che tende a stabilire l'**equilibrio** nei 2 comparti.



DIFFUSIONE



Nel caso di **molecole neutre** il flusso avviene secondo gradiente chimico o di concentrazione da C_1 a C_2 dove $C_1 > C_2$.

Nel caso di **ioni**, oltre la concentrazione si considera la carica elettrica .

Il flusso avviene secondo gradiente elettrochimico

CATIONI DIVALENTI:

Zn⁺⁺, Mn⁺⁺ Cu⁺⁺, in particolare Fe⁺⁺

sono relativamente insolubili a pH > 5, cioè in quasi tutti i suoli agrari.

Le carenze di Fe sono molto diffuse:

il Fe³⁺ è molto più abbondante ma meno solubile e meno assorbito dalle radici delle piante.

Nei terreni aerati $\text{Fe}^{2+} \longrightarrow$ ossidazione \longrightarrow Fe^{3+}

- $\text{Fe}^{3+} + 3 \text{OH}^- \longrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3$ formazione di ossidi idrati insolubili
- Forma ferrica ossidata Fe_2O_3 (ruggine dà colorazione bruna)

agenti leganti o chelanti cedono un e⁻ al catione

\longrightarrow formazione di un prodotto solubile

2 principali tipi di leganti formano chelati con il Fe:

1. chelanti sintetizzati dai microrganismi del suolo
2. chelanti sintetizzati dalle radici e secreti nella rizosfera.

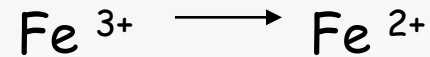


*Nelle piante vengono
attuato due differenti
strategie per
l'acquisizione del Fe:*

strategia I:

secrezione di potenti leganti organici specifici per il Fe^{3+} (Citrato, ac. Caffeico,)

Sulla superficie della radice :



Fe^{2+} si stacca dal legante e viene subito assorbito

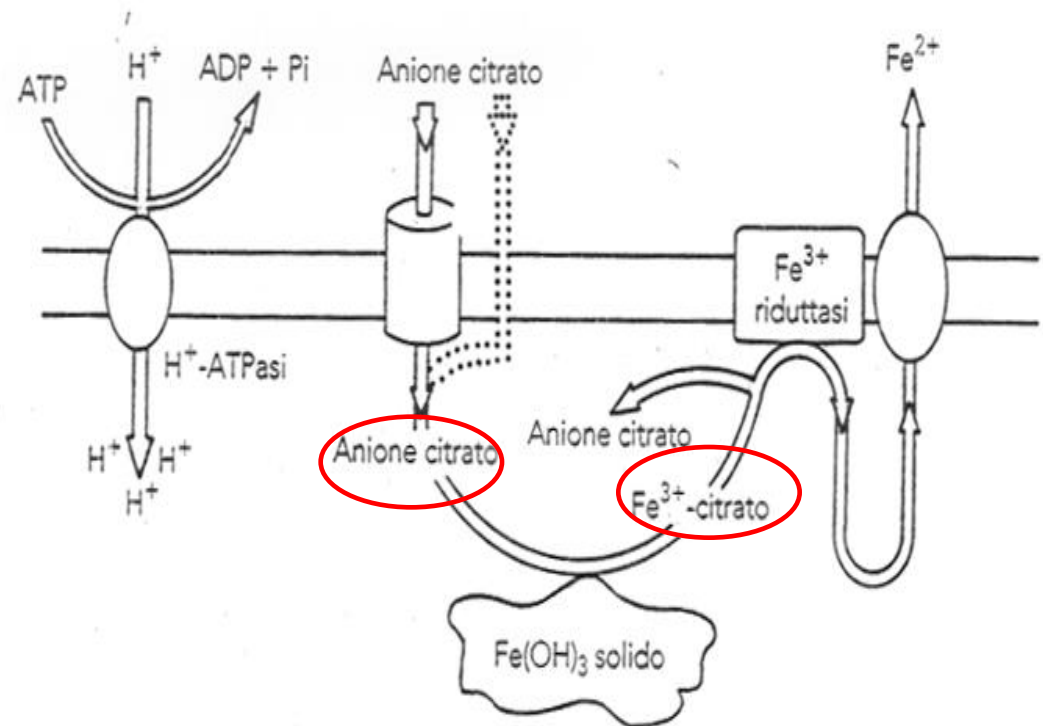
strategia II: produzione e secrezione di siderofori: leganti e trasportatori del Fe^{3+} attraverso la membrana plasmatica.

STRATEGIA I *attuata da dicotiledoni e monocotiledoni non graminacee*

in Fe-carezza 3 diverse risposte:

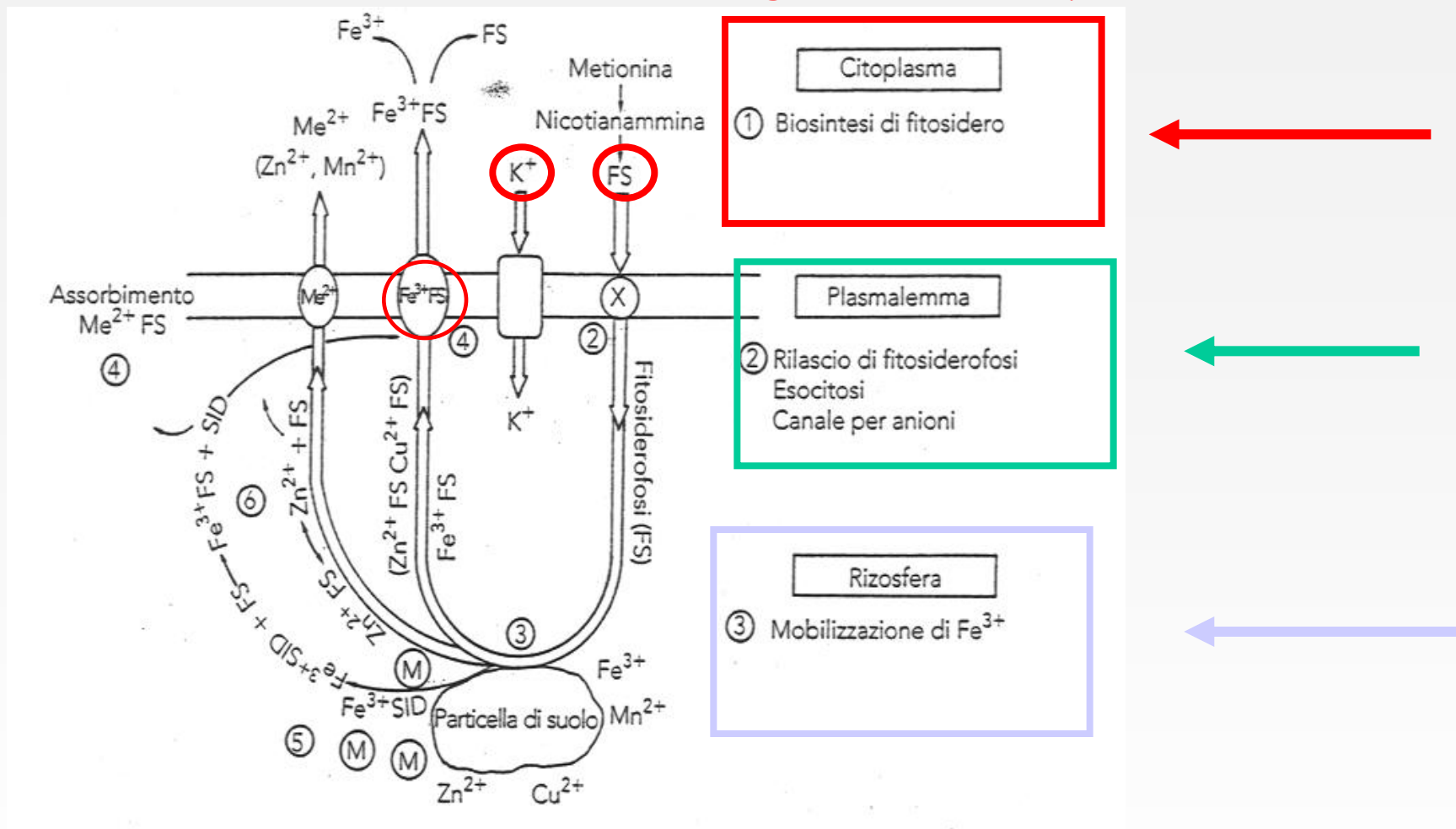
- 1) *Aumento della capacità reduttasica dell'E. Riduttasi*, legato alla membrana della cellula radicale.
2 distinte Reduttasi (Rd): 1 costitutiva a bassa capacità e un'altra Rd, indotta dalla Fe-carezza e con elevata capacità di riduzione $\text{Fe}^{3+} \longrightarrow \text{Fe}^{2+}$
- 2) *Aumento dell'efflusso netto di H^+* . \longrightarrow Aumento dell'attività pompa protonica trans membrana
diminuzione del pH \longrightarrow stimolazione dell'attività della Rd
- 3) *Rilascio di composti chelanti* (anione citrato)

- Formazione del complesso Fe^{3+} -citrato e successiva *riduzione del complesso Fe^{3+} -citrato* sulla superficie del plasmalemma ad opera dell'enzima Rd
- Assorbimento del Fe^{2+} ridotto attraverso uno specifico canale
- Restituzione alla soluzione del suolo dell'anione citrato



STRATEGIA II

attuata solo dalle graminacee e in particolare dai cereali



- La **Fe-carenza** induce il **rilascio di fitosiderofori** (FS) leganti specifici per il Fe,
- Contemporaneo bilanciamento delle cariche per **liberazione di ioni K⁺**
- Mobilizzazione nella rizosfera di Fe³⁺ (Zn²⁺, Mn²⁺, Cu²⁺): Formazione **complesso Fe³⁺Sideroforo**

- Un sistema costitutivo di trasporto, altamente specifico, presente sulla membrana plasmatica, trasporta all'interno il complesso Fe^{3+} -FS
- Assorbimento di micronutrienti mobilizzati dai FS dopo liberazione dai chelati (6)
- Scambio di leganti nella rizosfera fra FS e siderofori (SID) microbici (M)

• **Il Fe^{3+} → Fe^{2+} all'interno**

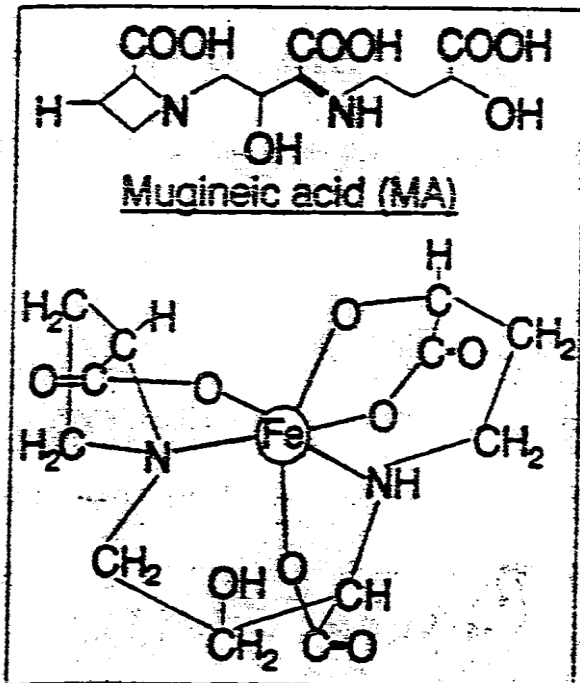
i cationi bivalenti sono mantenuti in soluzione nel succo citoplasmatico mediante formazione di **chelati con leganti cellulari:**

anioni di Ac organici (ac. Citrico, malico)

- *Il FS viene poi degradato o riemesso all'esterno per catturare altro Fe^{3+}*

I siderofori: ac. mugineico, ac. avenico

legano il Fe^{3+} mediante gli atomi di O e di N



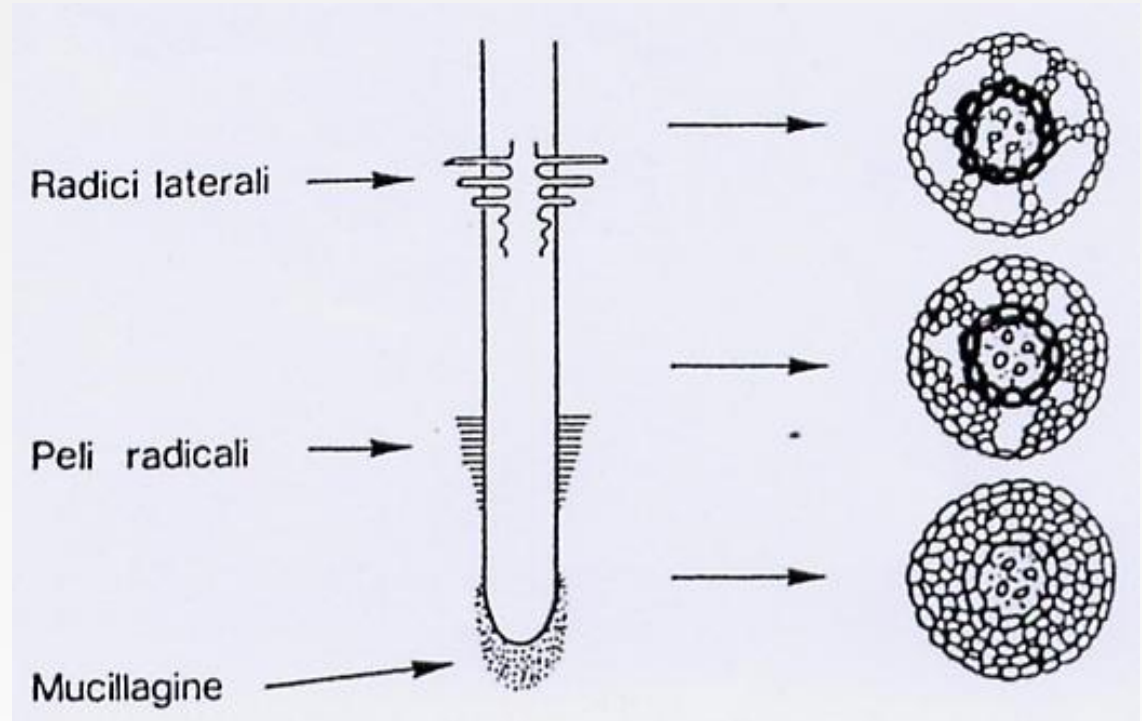
ASSORBIMENTO IONICO NELLE RADICI

Le radici allungandosi variano sia anatomicamente che fisiologicamente lungo gli assi longitudinali:

Le zone apicali sono le più attive metabolicamente

- **Elevata respirazione**
- **Elevata selettività K^+ / Na^+**
- **Elevata attività enzimatica**

La velocità di assorbimento ionico tende a diminuire allontanandosi dall'apice parte basale



- **Aumento della deposizione di suberina nel rizoderma**
—————> ostacolo al movimento nell'apoplasto
- **Formazione di Endoderme II ario e III ario**
—————> Inibizione del trasporto radiale nella stele
- **Parziale degenerazione cellulare : —————> Formazione di cavità aerenchima = spazi aeriferi, lacunari**

Gradiente nell'assorbimento di H_2O lungo l'asse radicale:

*Declino dell'assorbimento procedendo
dall'apice verso la parte basale*

La diminuzione dell'assorbimento di H_2O influenza

- Rifornimento di ioni alla superficie radicale
- Trasporto radiale nella corteccia

La **velocità** di assorbimento ionico dipende:

1. Tipo di ione

K^+ è poco assorbito nelle zone apicali

Ca^{2+} e Mg^{2+} sono assorbiti nelle zone apicali

- Il K^+ è poco assorbito nelle zone apicali ma è molto richiesto nelle zone meristematiche → Rifornimento e traslocazione
- Il Ca^{2+} è assorbito nella zona apicale perché è poco mobile nel floema

Table 2.32
 Uptake and Translocation of Potassium (^{42}K) and Calcium (^{45}Ca) Supplied to Different Zones of the Seminal Roots of Maize^a

Nutrient (1 meq l ⁻¹)	Accumulation and translocation	Root zone supplied (distance from tip, cm)		
		0-3	6-9	12-15
K^+	Transloc. to shoot	3.8	14.6	15.6
	Accum. in zone of supply	11.5	3.8	1.9
	Transloc. to root tip	—	4.3	2.0
	<i>Total</i>	15.3	22.7	19.5
Ca^{2+}	Transloc. to shoot	2.4	2.2	2.4
	Accum. in zone of supply	4.1	1.6	0.4
	Transloc. to root tip	—	—	—
	<i>Total</i>	6.5	3.8	2.8

^aData expressed as $\mu\text{eq (24 h)}^{-1}$ per 12 plants. Based on Marschner and Richter (1973).

2. Stato nutrizionale

Il gradiente nell'assorbimento di fosfato (P)
può capovolgersi in carenza di P

Table 2.33

Effect of Phosphorus Nutritional Status on the Rate of Phosphorus Uptake by Various Root Zones of Barley Plants^a

ASSORBIMENTO

		Root zone		
		Distanza dall'apice (cm)		
Pretreatment for 9 days		1	2	3
+ P - P	With phosphorus	2019	1558	970
	Without phosphorus	3150	4500	4613

^aUptake rate expressed as pmol mm^{-3} of root segment in 24 h. Based on Clarkson *et al.* (1978).

La presenza e quantità di **pelì radicali** può avere effetto sull'assorbimento radicale:

pelì radicali lunghi e ben distribuiti → **buona esplorazione del suolo**
→ **assenza di competizione**

la distribuzione di nutrienti influisce sulla crescita, morfologia e distribuzione delle radici nel profilo del suolo

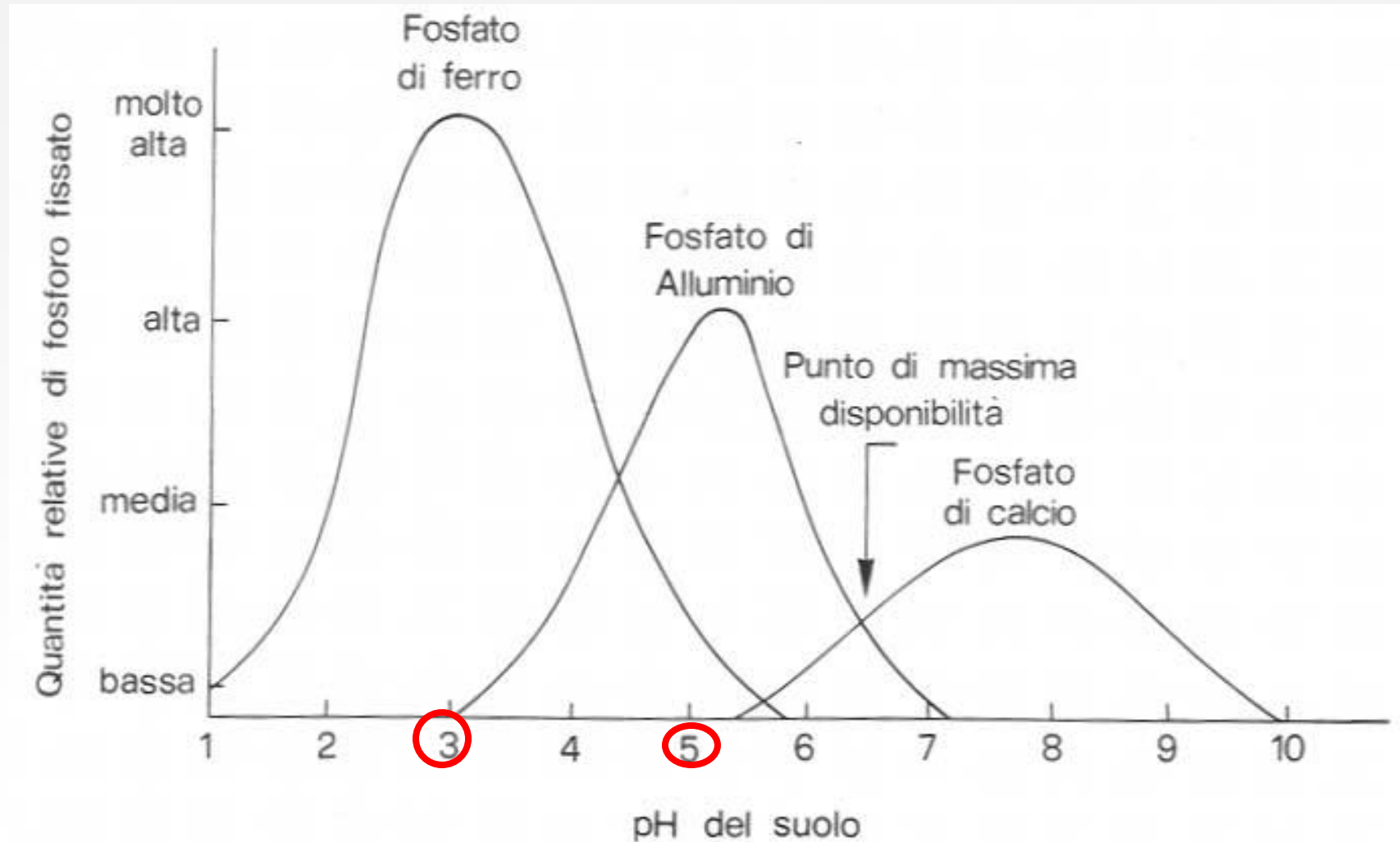
Le piante P-carenti :

- pelì radicali lunghi e abbondanti
 - radici più sottili e ramificate
- **aumento area superficiale**

Quando $vel \text{ di diffusione} < vel \text{ di assorbimento radicale}$

Maggiore densità radicale → **maggiore assorbimento di P**

Esiste una stretta correlazione fra pH del suolo e disponibilità di fosforo

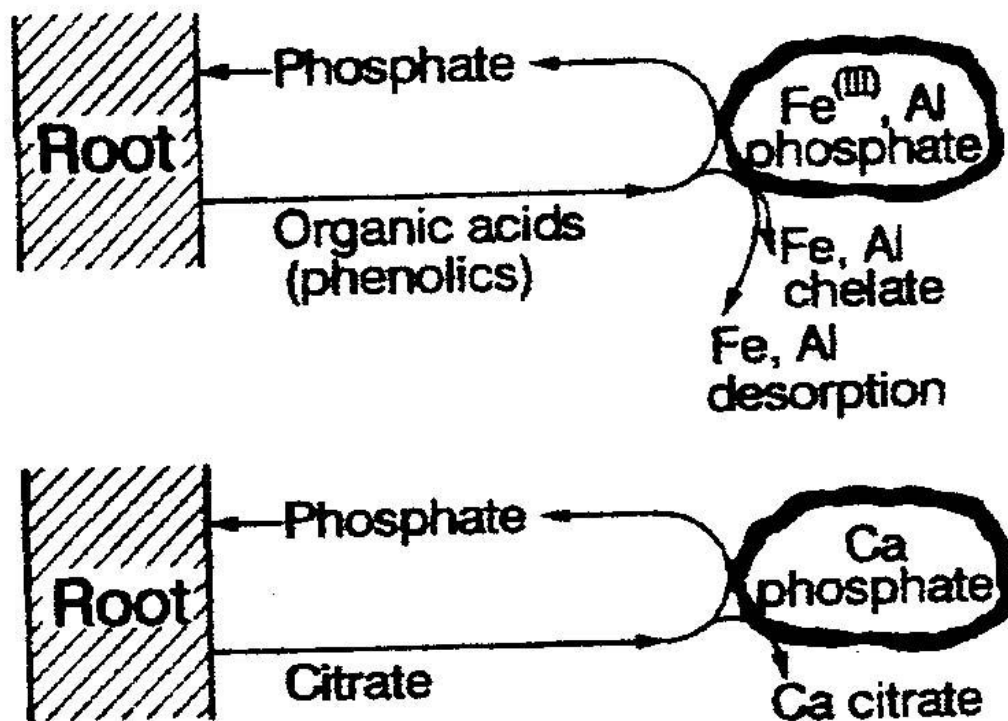


Il rilascio di acidi organici e/o fenoli



Effetto combinato di

1. Mobilizzazione del P da fosfati di Fe e Al
2. Chelazione di Fe e Al



Lupinus alba

P-carezza

P-nutrizione

radici proteoidi

(clusters di radici laterali)

- sono indotte anche da N e Fe carenza

- caratterizzate da:

- ✓ Alte entità di respirazione

elevata domanda di O₂

- ✓ Capacità di mobilizzare P

estrusione di acidi organici

e/o fenoli

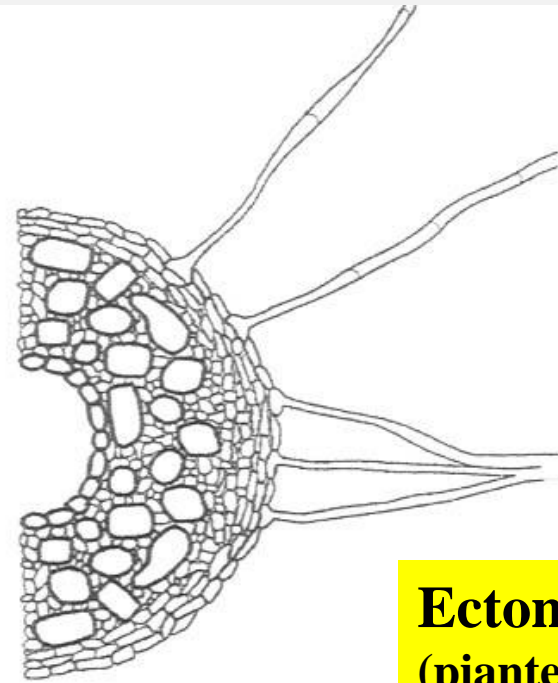
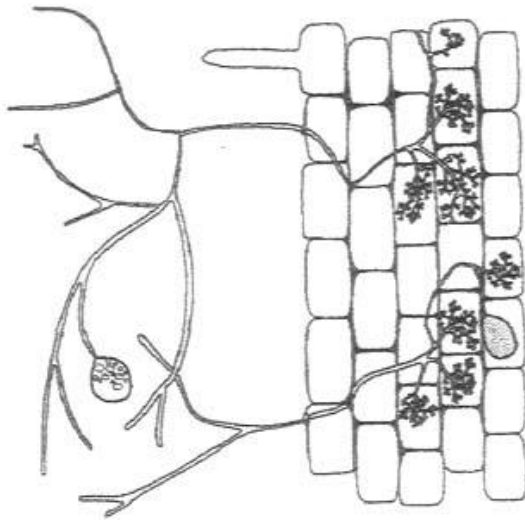


Nei suoli poco fertili + dell'80% del peso secco delle radici è costituito dalle radici proteoidi

Il volume di suolo nelle vicinanze delle radici proteoidi è soggetto a un'intensa estrazione chimica

MICORIZZEE :

associazione
simbiontica
fungo-radice



Ectomicorizze
(piante arboree)

Endomicorizze
(angiosperme erbacee)

**Mantello fungino all'esterno
e fra le cellule del parenchima
corticale → reticolo di Hartig
(20-40µm)**

VAM: sono le + importanti e formano

2 strutture

- vescicole con granuli di grasso

- arbuscoli ramificati= sito di trasferimento dei nutrienti fra fungo e pianta

- Sviluppo del fungo anche all'esterno dell'apice, fino ad alcuni cm dalla radice

- L'infezione è dipendente dalla disponibilità di zuccheri della pianta:

Una notevole quantità di fotosintati vengono utilizzati nelle radici per il mantenimento e la crescita fungina=

10-20% di zuccheri prodotti dalla pianta



diminuzione della crescita radicale

- Gli essudati radicali inducono l'infezione



Relazione negativa fra *infezione* e *rifornimento di P e di nutrienti*

l'infezione è repressa

La risposta alla micorizzazione è maggiore per le

specie ad elevato bisogno in P

a parità di fabbisogno, rispondono meglio le

specie a densità radicale minore:

—————> Basso Rapporto Radice / parte aerea

- Assenza o scarsa presenza di peli radicali (cipolla e carota)

—————> migliore risposta alla micorizzazione

- Specie coltivate risposta maggiore delle specie selvatiche

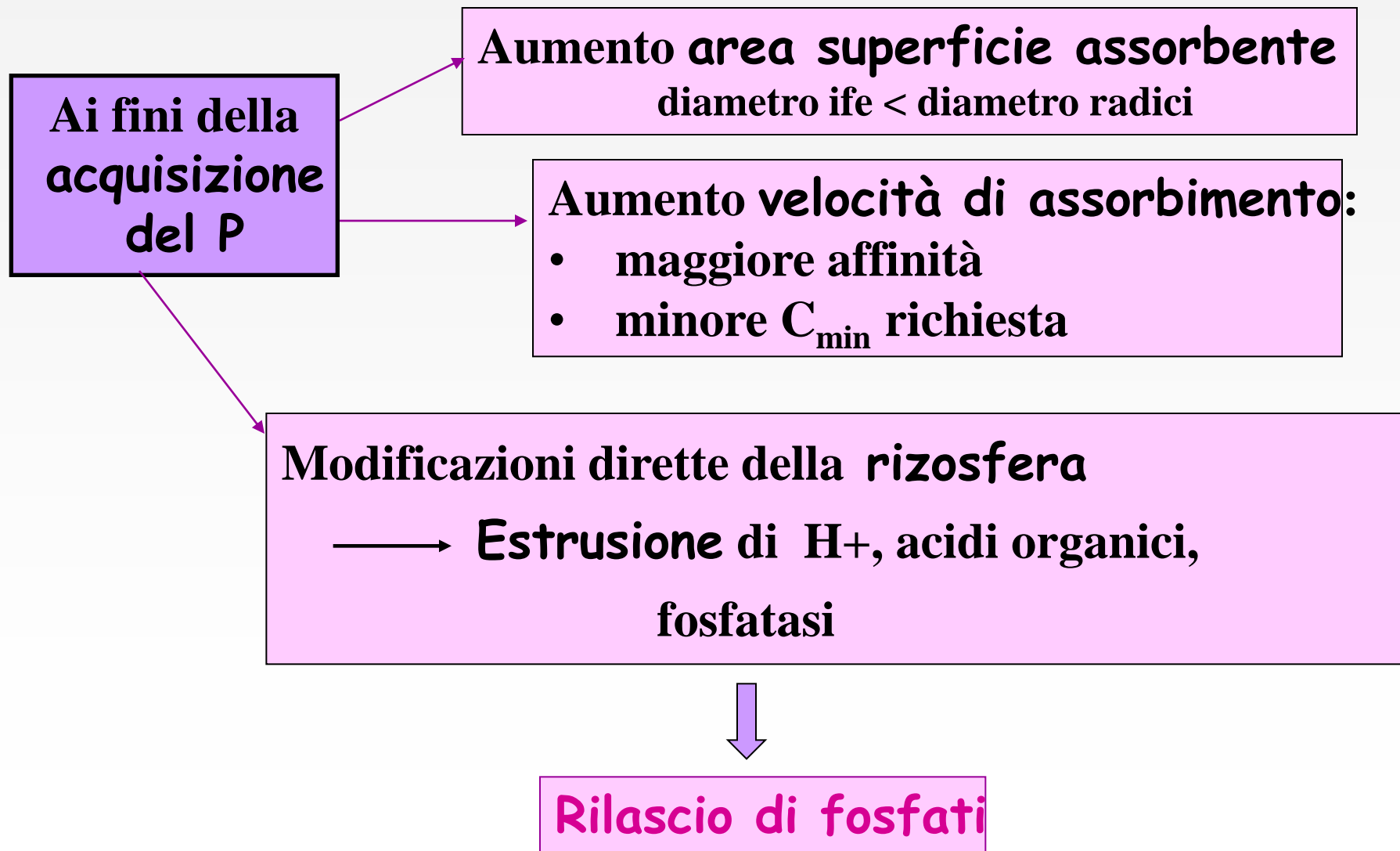
—————> minor fabbisogno di P nelle specie selvatiche?

- Scarsa disponibilità di H_2O nel suolo

—————> diffusione rallentata —————> aumento del deficit di P

Azione del fungo:

miglioramento dell'acquisizione di acqua e nutrienti



Assorbimento del P

Carriers
alta affinità

Peli
radicali

Modificazioni
della rizosfera

Micorrize

Aumento
area superficiale
Migliore esplorazione del suolo

1. Variazioni di pH
2. Rilascio di comp. organici
3. Estrusione di Enzimi
(fosfatasi e fitasi)