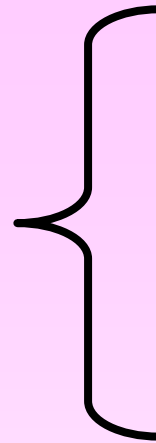


RIZOSFERA

volume di suolo che subisce l'influenza delle radici



Esterna

Interna

Rizopiano = interfaccia
suolo-radice

Nella rizosfera troviamo :

1. *I 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:

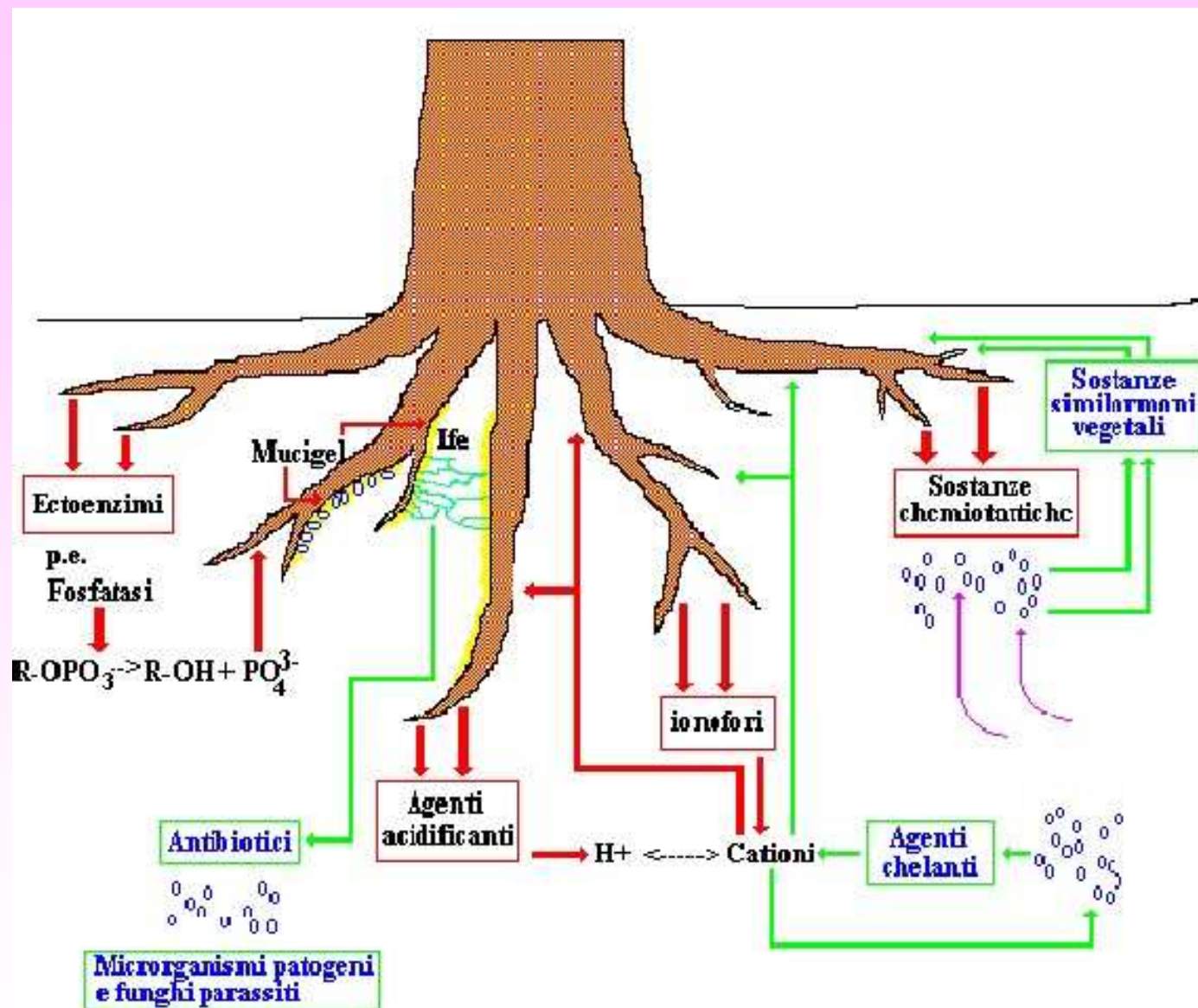
- **Essudati** composti a basso peso molecolare
- **Lisati** prodotti di autolisi delle cell epidermiche più vecchie e dall'attività batterica
- **Mucillagini** composti ad elevato p.m. di natura polisaccaridica

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**

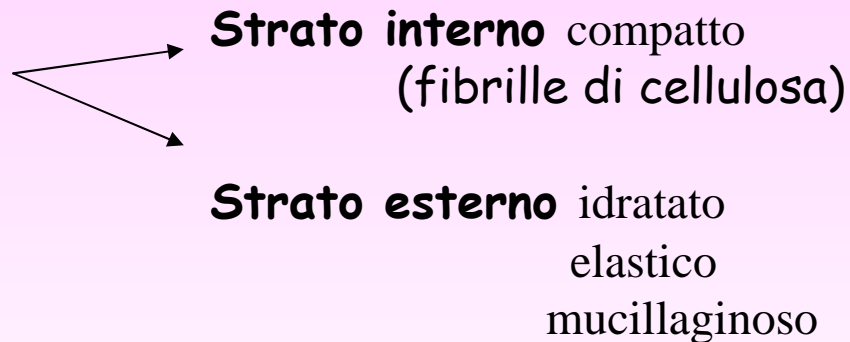


Interfaccia suolo-radice

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

- Elevato assorbimento
- Produzione di essudati

Le **pareti cellulari**
Complesso strutturale
multilamellare

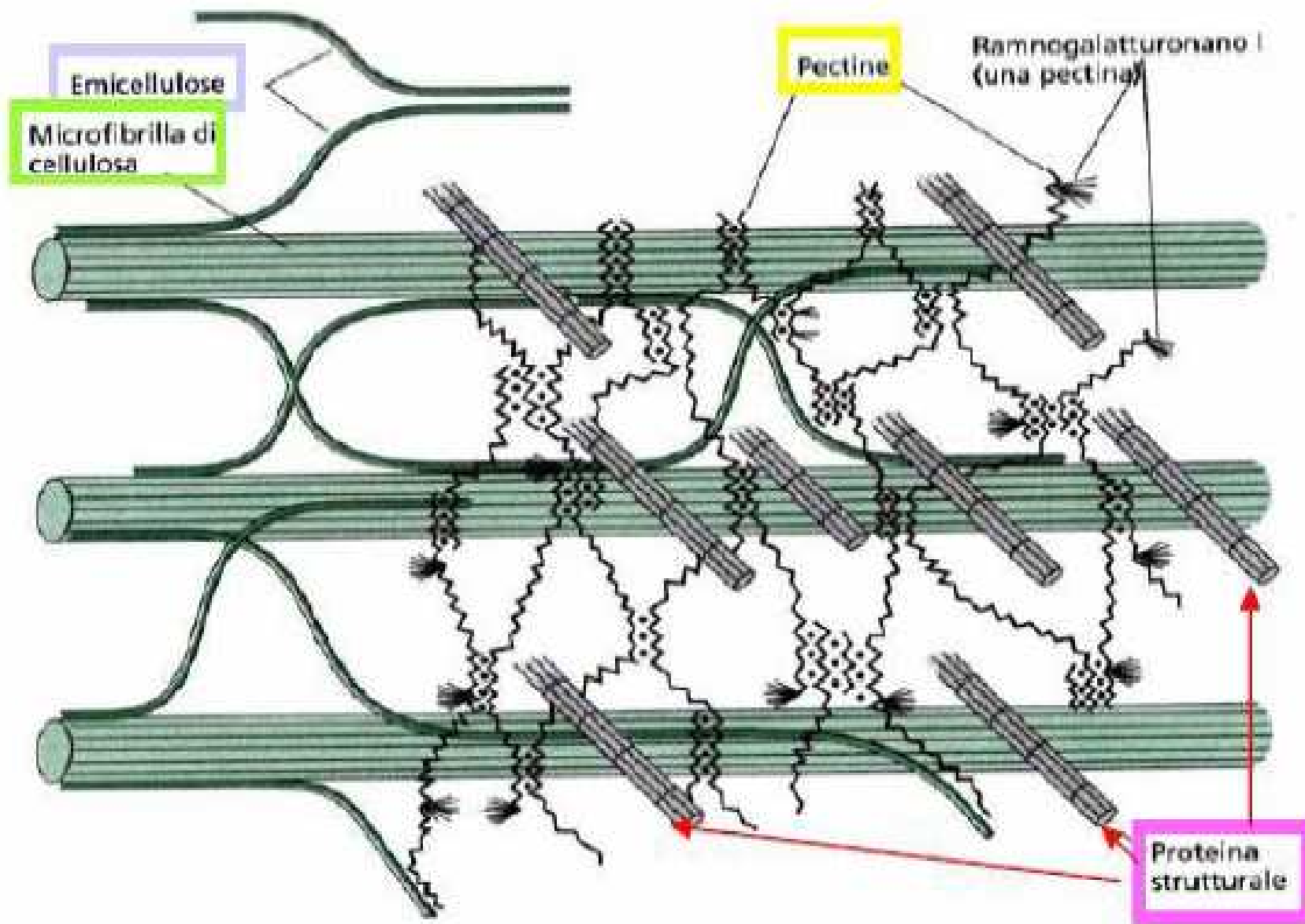


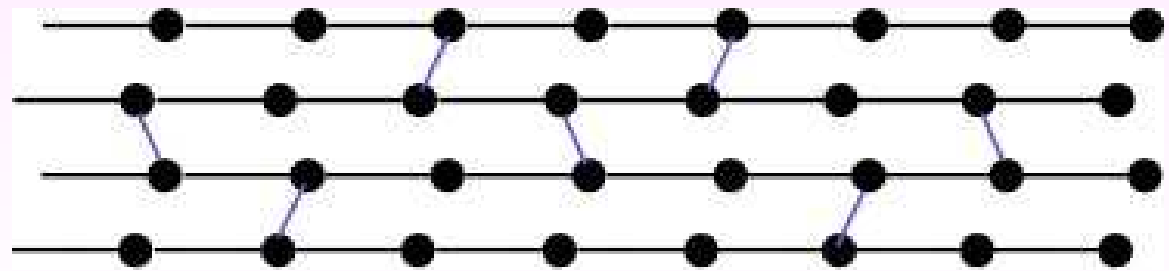
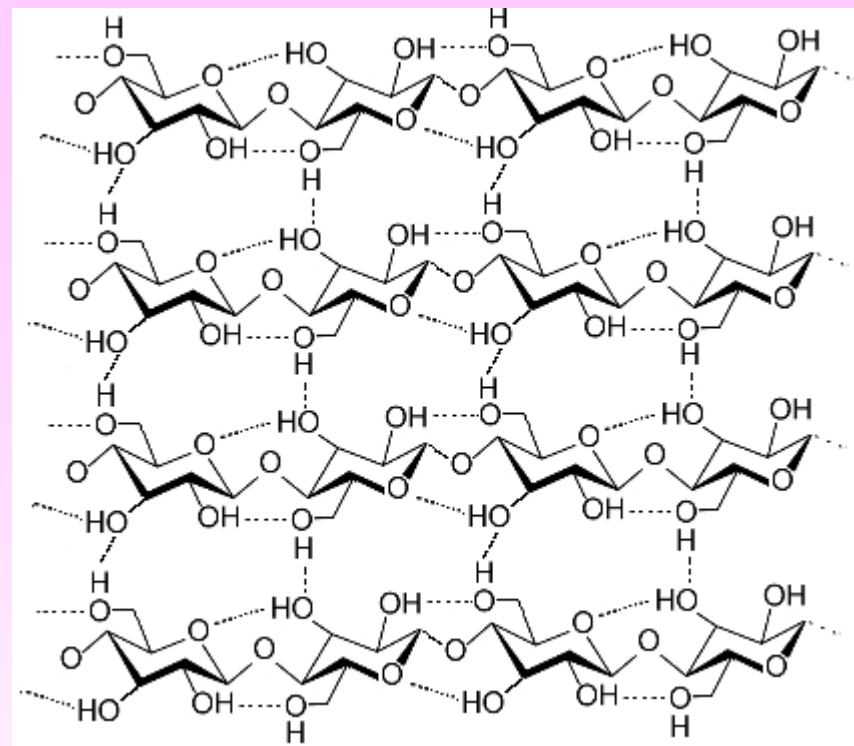
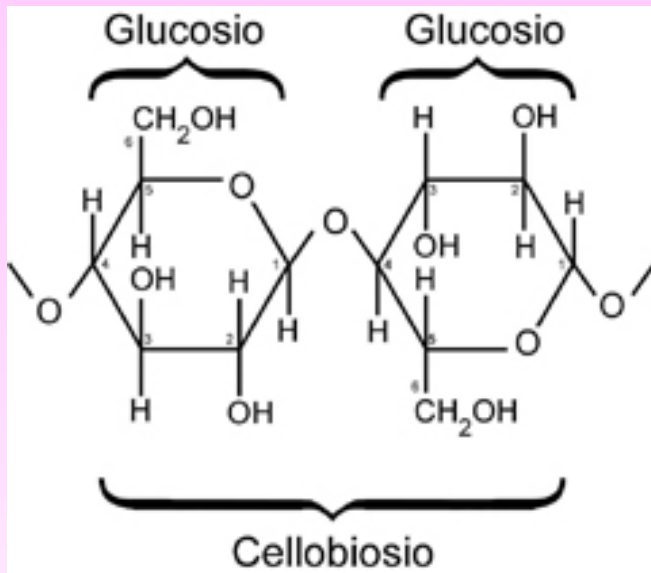
Film mucillaginoso all'interfaccia suolo-parete
cellulare continuamente liberato dallo strato esterno
dell'epidermide

Le mucillagini

favoriscono

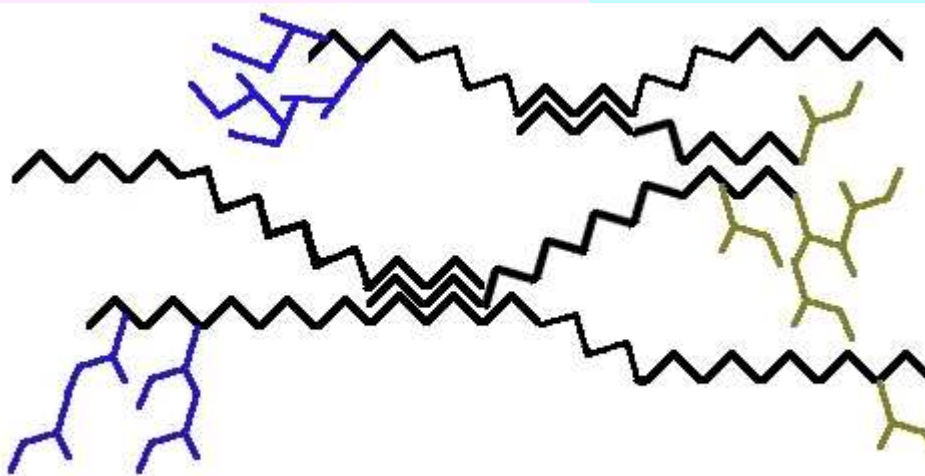
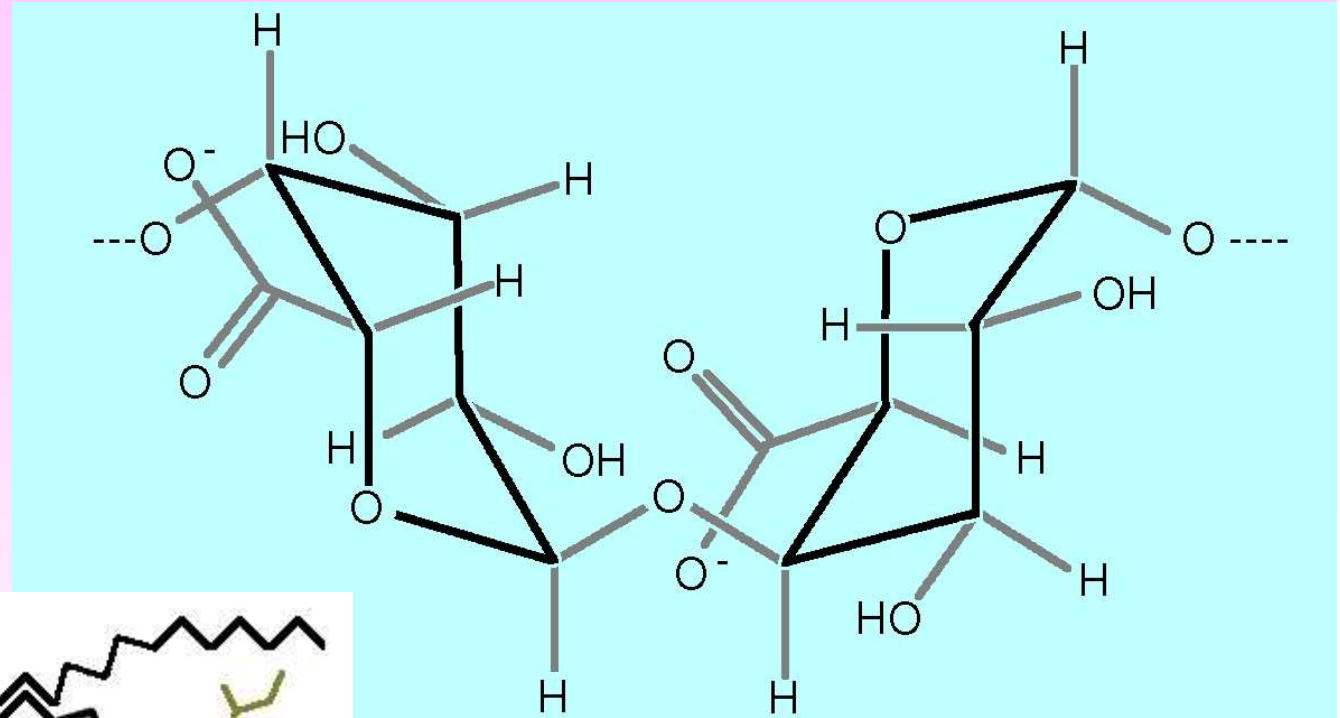
-
- Penetrazione delle radici
 - Processi di scambio
 - Accumulo di nutrienti
 - Colonizzazione microbica





PECTINA

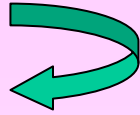
Due molecole di Acido- α -D-Galatturonico



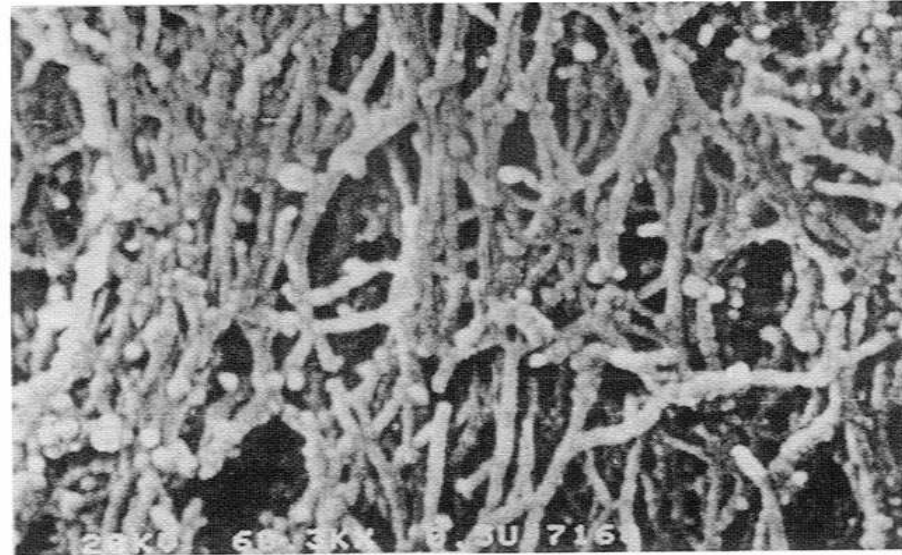
Sono polimeri lineari, costituiti in prevalenza da acido glucuronico e acido galatturonico legati da legami α -(1 \rightarrow 4), con interposte molecole di xilosio, ramnosio e galattosio.

L'interfaccia mucillaginosa ha struttura fibrillare

Le fibrille intrecciandosi



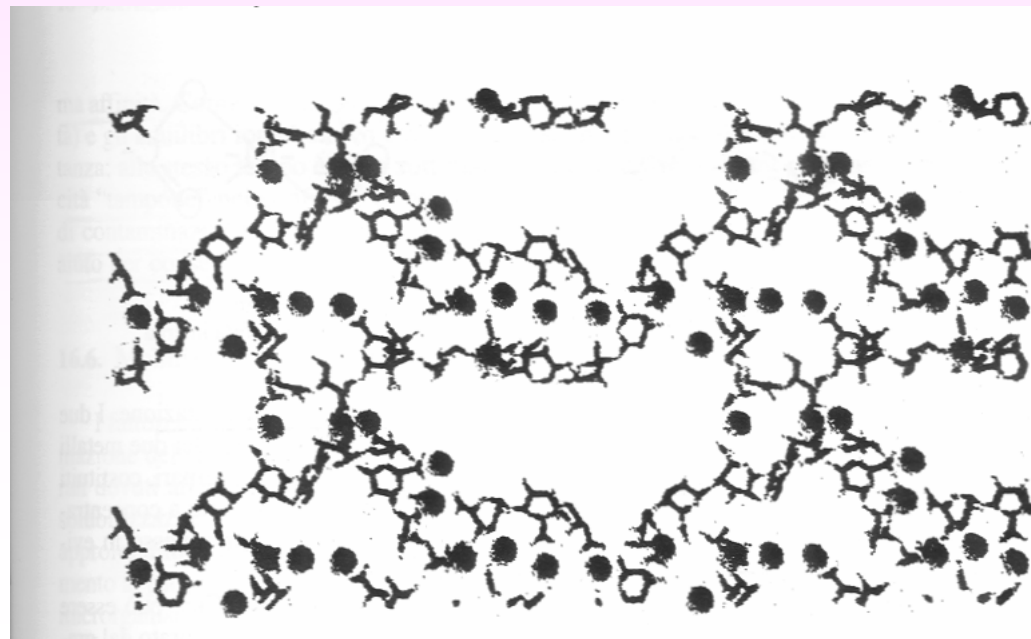
Corpo poroso
con spazi liberi e
comunicanti



- **Reticolazione dei biopolimeri**

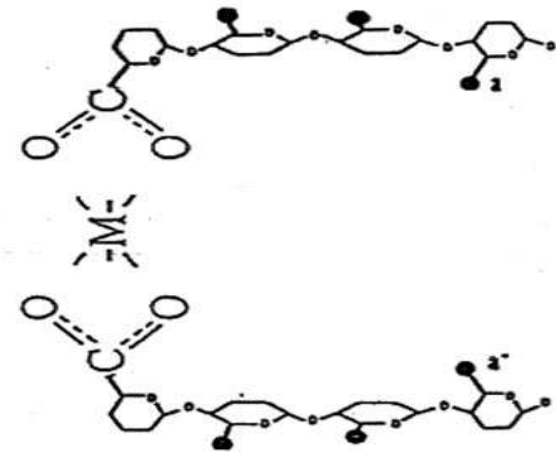
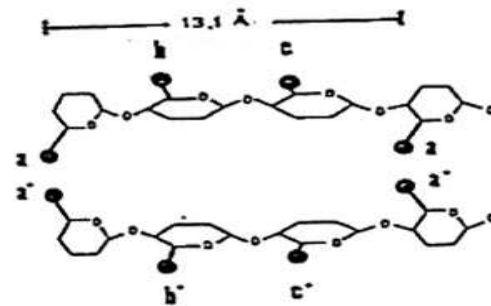


Strato spugnoso



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

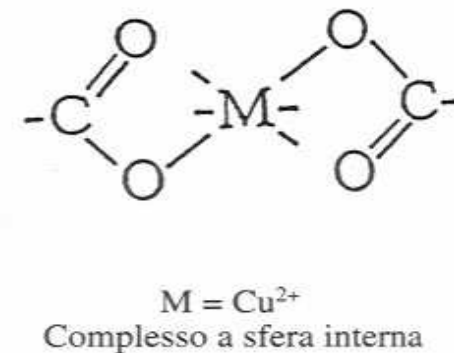
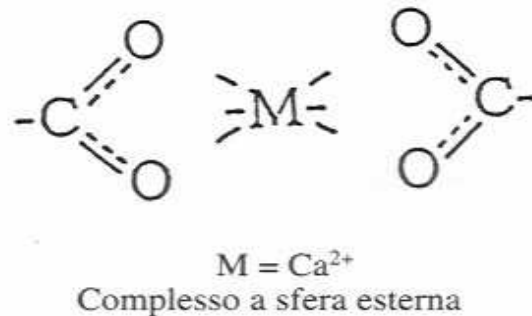
Formazione di **Ponti ionici** stabilizzati da legami H



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



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

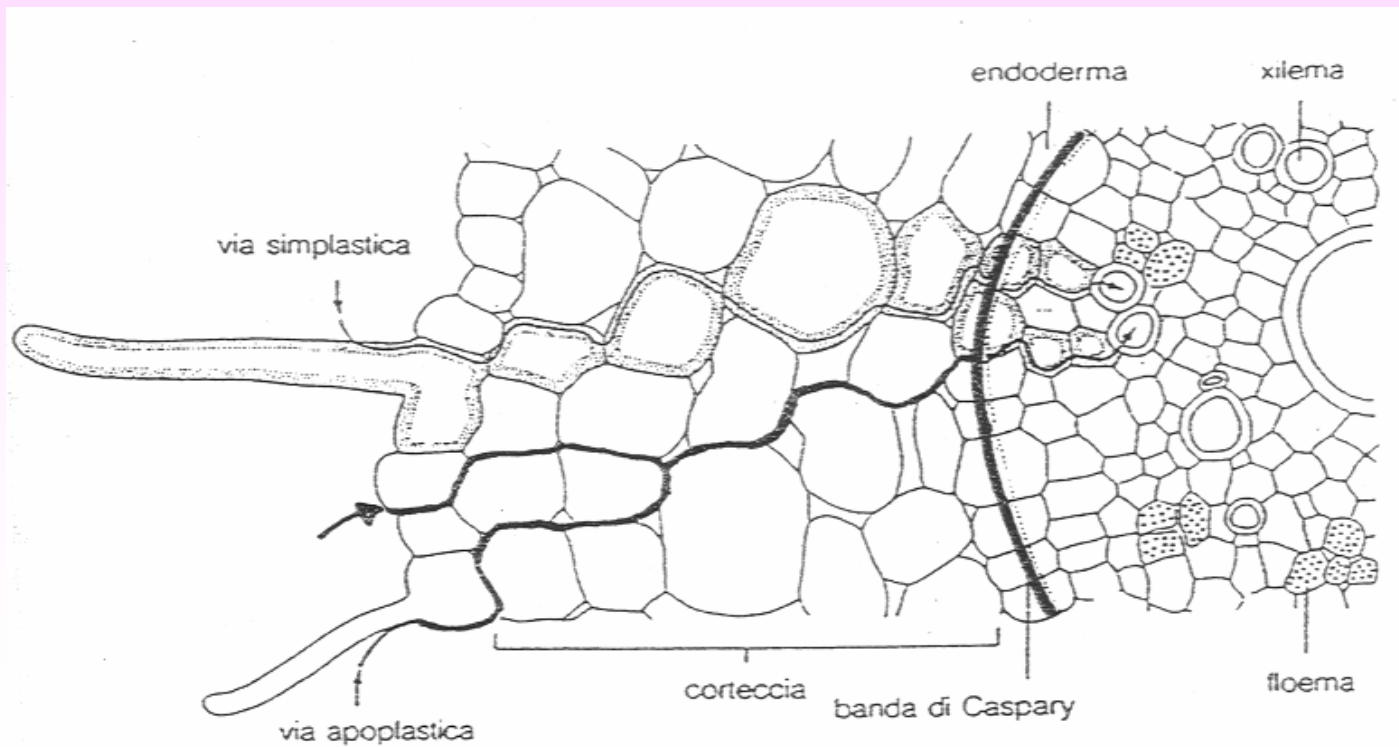
Il sistema poroso, degli spazi liberi non è un'esclusiva della Interfaccia suolo-radice , ma anche all'interno della radice :

Pareti cellulari + Spazi intercellulari



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

Sistema apoplastico di trasporto



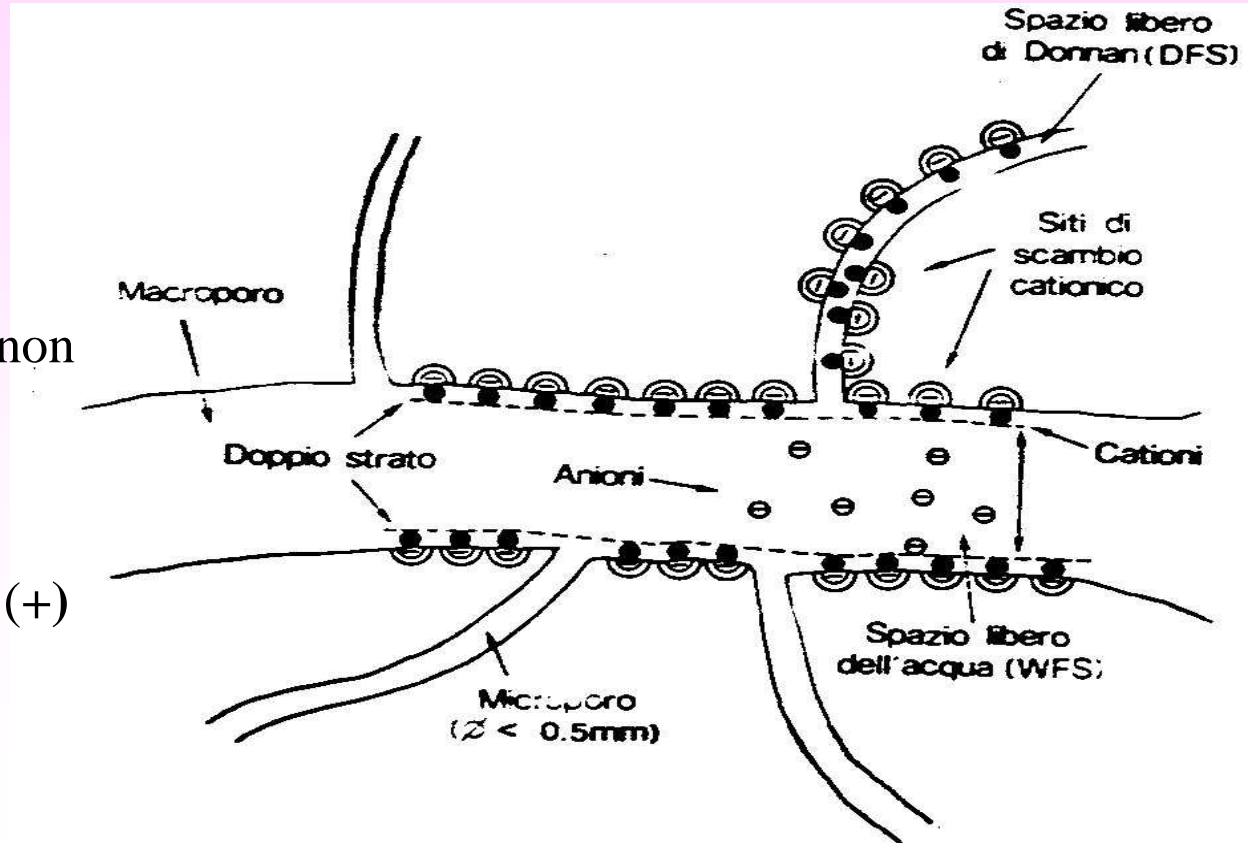
Il volume dello spazio libero ~ 10% del volume totale delle giovani radici

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

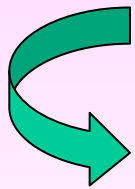
SPAZIO LIBERO APPARENTE :

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

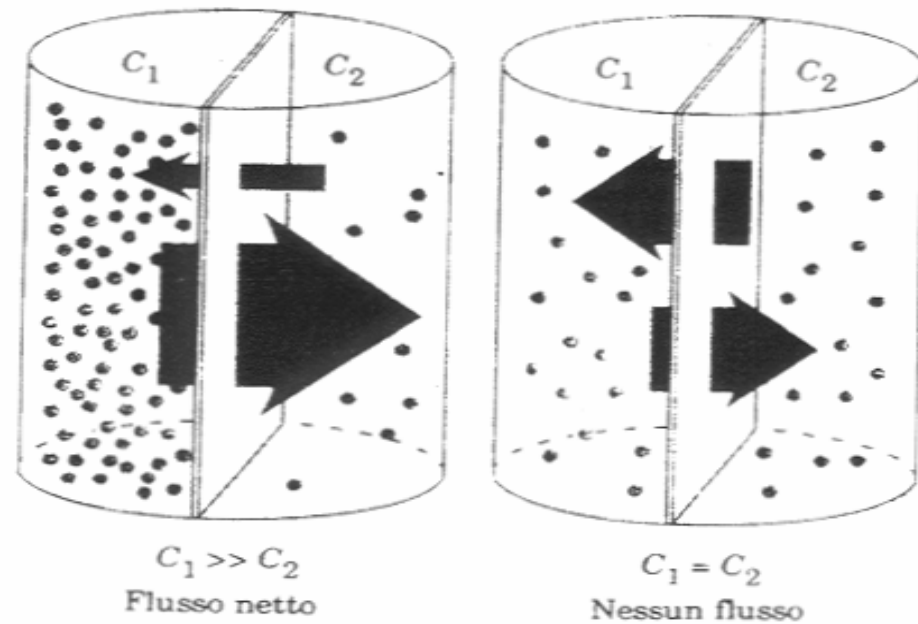
- 1. Spazio libero dell'acqua**
liberamente accessibile per molecole cariche e non
- 2. Spazio libero di Donnan** avviene scambio fra cationi (+) e repulsione degli anioni (-)



Attraverso una semplice membrana semipermeabile 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:

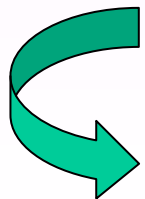
il Fe³⁺ è molto più abbondante ma meno solubile e meno assorbito dalle radici delle piante.

Nei terreni aerati **Fe²⁺ → ossidazione → Fe³⁺**

- **Fe³⁺ + 3 OH⁻ → Fe(OH)₃** formazione di ossidi idrati insolubili
- Forma ferrica ossidata **Fe₂O₃** (ruggine dà colorazione bruna)

Vengono tenuti in soluzione da **agenti leganti o chelanti**:

cedono un e⁻ al catione → formazione di un prodotto solubile



*Nei suoli calcarei, ricchi di Ca⁺⁺ e con pH ≥ 7,
più del 90% dei cationi metallici sono chelati con agenti
leganti di origine microbica.*

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 attuate **due differenti strategie** per l'acquisizione del Fe:

strategia I:

secrezione di potenti leganti organici (ac. caffeico) specifici per il Fe³⁺

Sulla superficie della radice :



Fe²⁺ si stacca dal legante e viene subito assorbito

strategia II: produzione e secrezione di siderofori:

leganti e *trasportatori del Fe³⁺* attraverso la membrana plasmatica.

STRATEGIA I attuata da *dicotiledoni e monocotiledoni non graminacee*

3 diverse risposte:

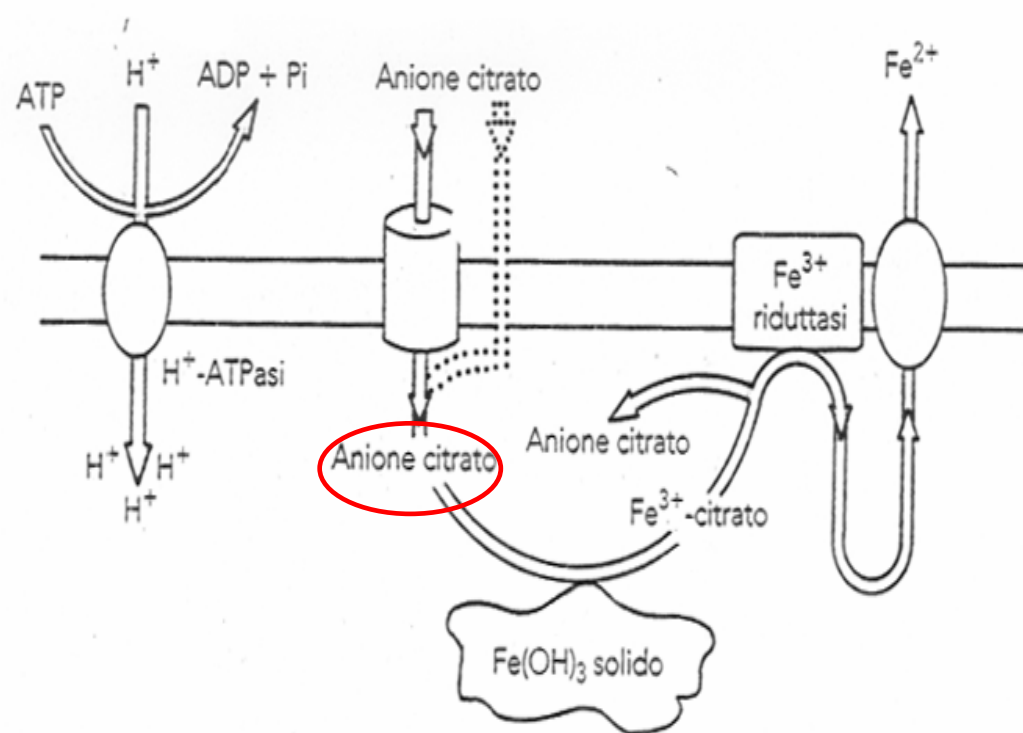
1) *Aumento della capacità reduttasica dell'E. Riduttasi*, legato alla membrana della cellula radicale.

2 distinte Reduttasi (Rd): 1 costitutiva a bassa capacità e un'altra Rd, indotta dalla Fe-carenza e con elevata capacità di riduzione $\text{Fe}^{3+} \longrightarrow \text{Fe}^{2+}$

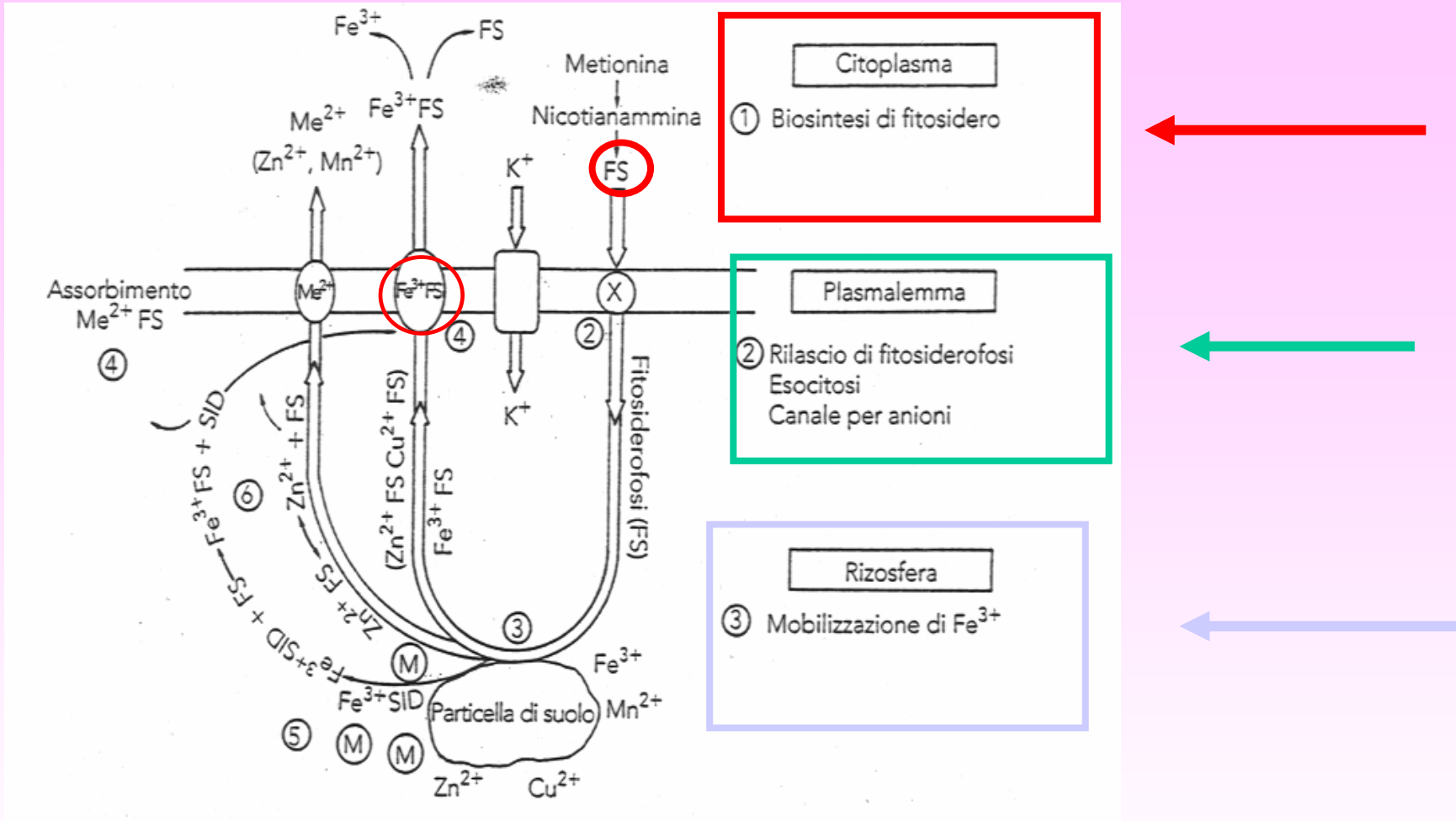
2) *Aumento dell'efflusso netto di H^+* . \longrightarrow In Fe-carenza, la pompa redox transmembrana aumenta l'escrezione di protoni $\text{H}^+ \longrightarrow$ diminuzione del pH \longrightarrow stimolazione dell'attività della Rd

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



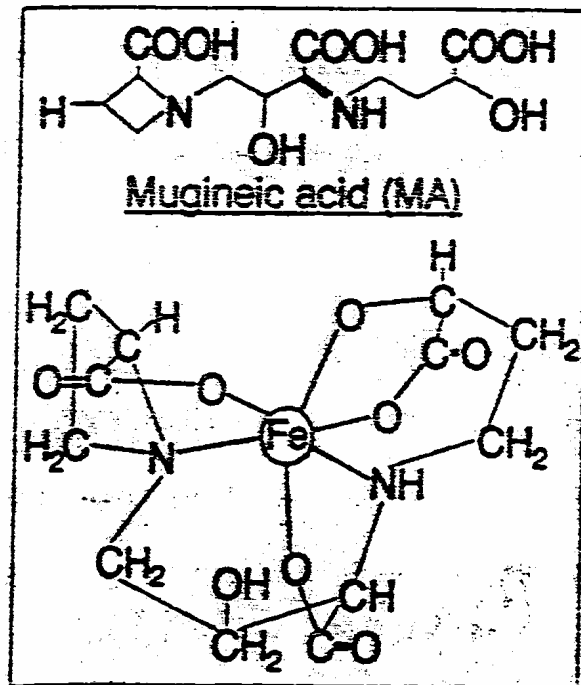
- La **Fe-carencia** induce il **rilascio di fitosiderofori** (FS) leganti specifici per il Fe, tramite esocitosi o mediante canali anionici
- Contemporaneo bilanciamento delle cariche per **liberazione di ioni K^+**
- Mobilizzazione nella rizosfera di Fe^{3+} (Zn^{2+} , Mn^{2+} , Cu^{2+}): Formazione **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)

• $Fe^{3+} \longrightarrow Fe^{2+}$ 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

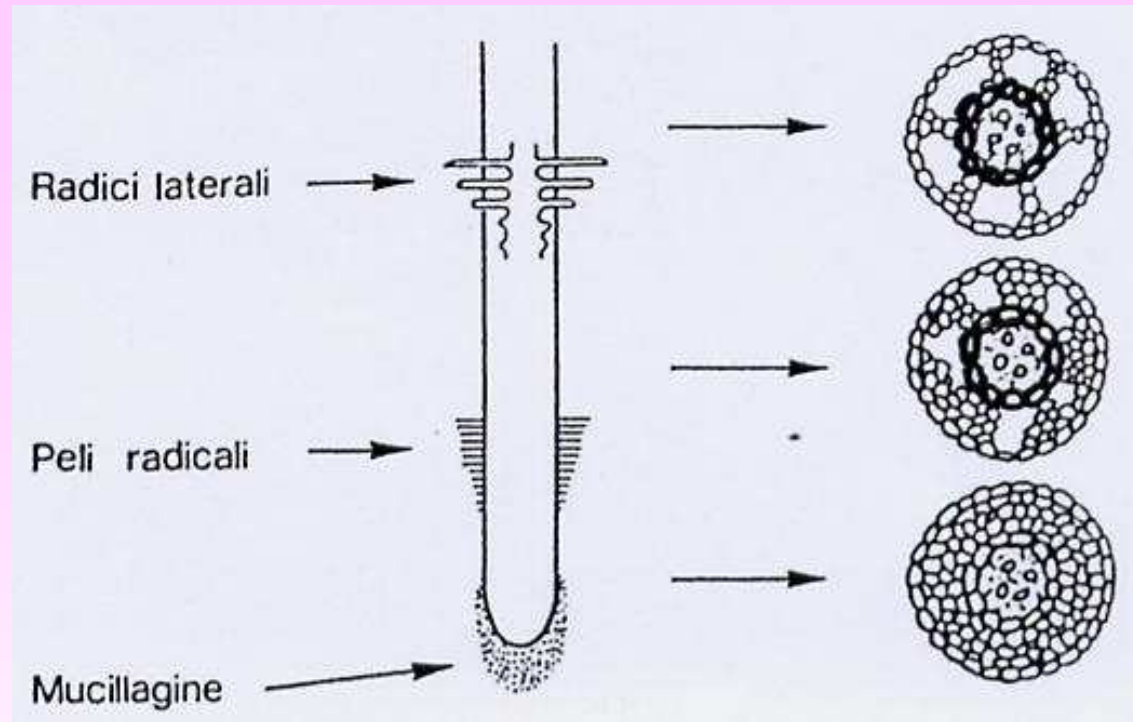
ASSORBIMENTO IONICO NELLE RADICI

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

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 (<u>distance</u> from root tip, <u>cm</u>)		
Pretreatment for 9 days	1	2	3
With phosphorus	2019	1558	970
Without phosphorus	3150	4500	4613

+ P
- P

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

- Il K^+ è poco assorbito nelle zone apicali ma è molto richiesto nelle zone meristematiche → Rifornimento e traslocazione via floema
- 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	4.6	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).

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

peli 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 :

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

La parte aerea declina mentre le **radici** continuano a crescere :

→ **traslocazione dei fotosintati alle radici**
traslocazione di P_{inorg} dalle foglie alle radici

Lupinus alba

P-carezza

P-nutrizione

Formazione di

radici proteoidi

(clusters di radici laterali)

- sono indotte anche da N e Fe carenza
- caratterizzate da:



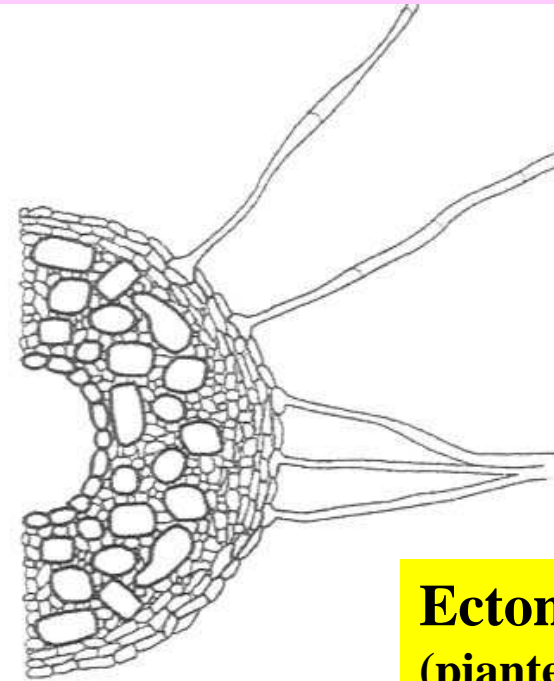
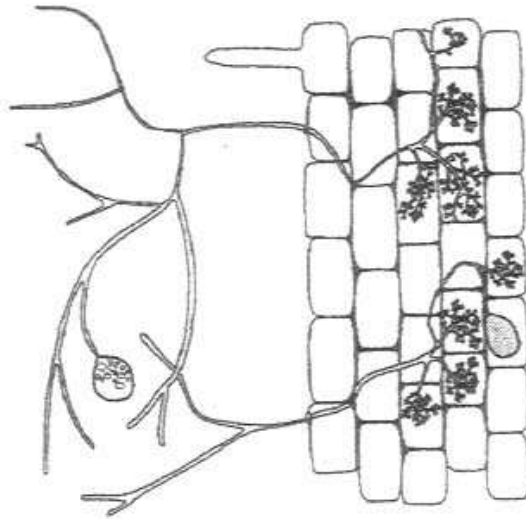
- ✓ Alte entità di respirazione → elevata domanda di O₂
- ✓ Capacità di mobilizzare P → estrusione di acidi organici e/o fenoli

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

MICORIZZE :

associazione
simbiontica
fungo-radice



Ectomicorizze
(piante arboree)

Endomicorizze
(angiosperme erbacee)

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

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

L'infezione è dipendente dalla **disponibilità di zuccheri** della pianta

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:

- \longrightarrow Basso Rapporto Radice / parte aerea
- Assenza o scarsa presenza di peli radicali (cipolla e carota)
 \longrightarrow migliore risposta alla micorizzazione
- Specie coltivate risposta maggiore delle specie selvatiche
 \longrightarrow minor fabbisogno di P nelle specie selvatiche?
- Risposta migliore con scarsa disponibilità di H_2O nel suolo
 \longrightarrow diffusione rallentata \longrightarrow aumento del deficit di P

Azione del fungo:

miglioramento dell'acquisizione di acqua e nutrienti

