

FISIOLOGIA VEGETALE

Il suolo e la nutrizione minerale

Il suolo è costituito da una **frazione inorganica** e da una **frazione organica**

frazione inorganica è preponderante e deriva dalla frammentazione della roccia madre a causa di fattori abiotici (erosione, gelo..) o biotici (microrganismi, licheni, radici etc.)

frazione organica è limitata alla parte superficiale ed è costituita da piante o animali morti o loro parti. **Lettiera, humus**

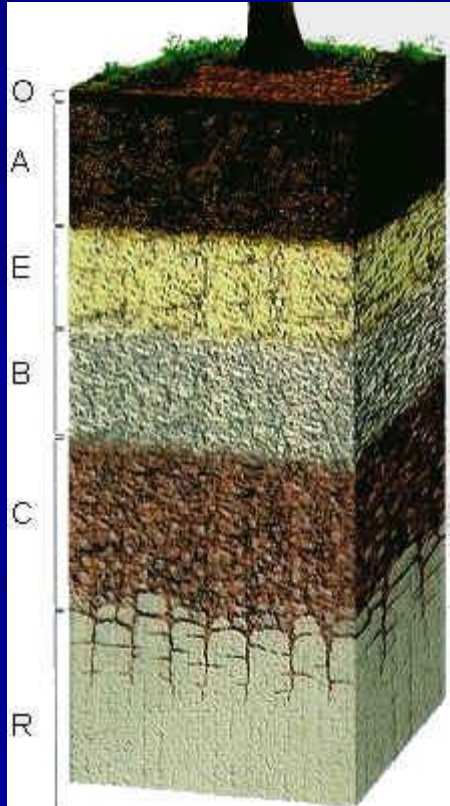
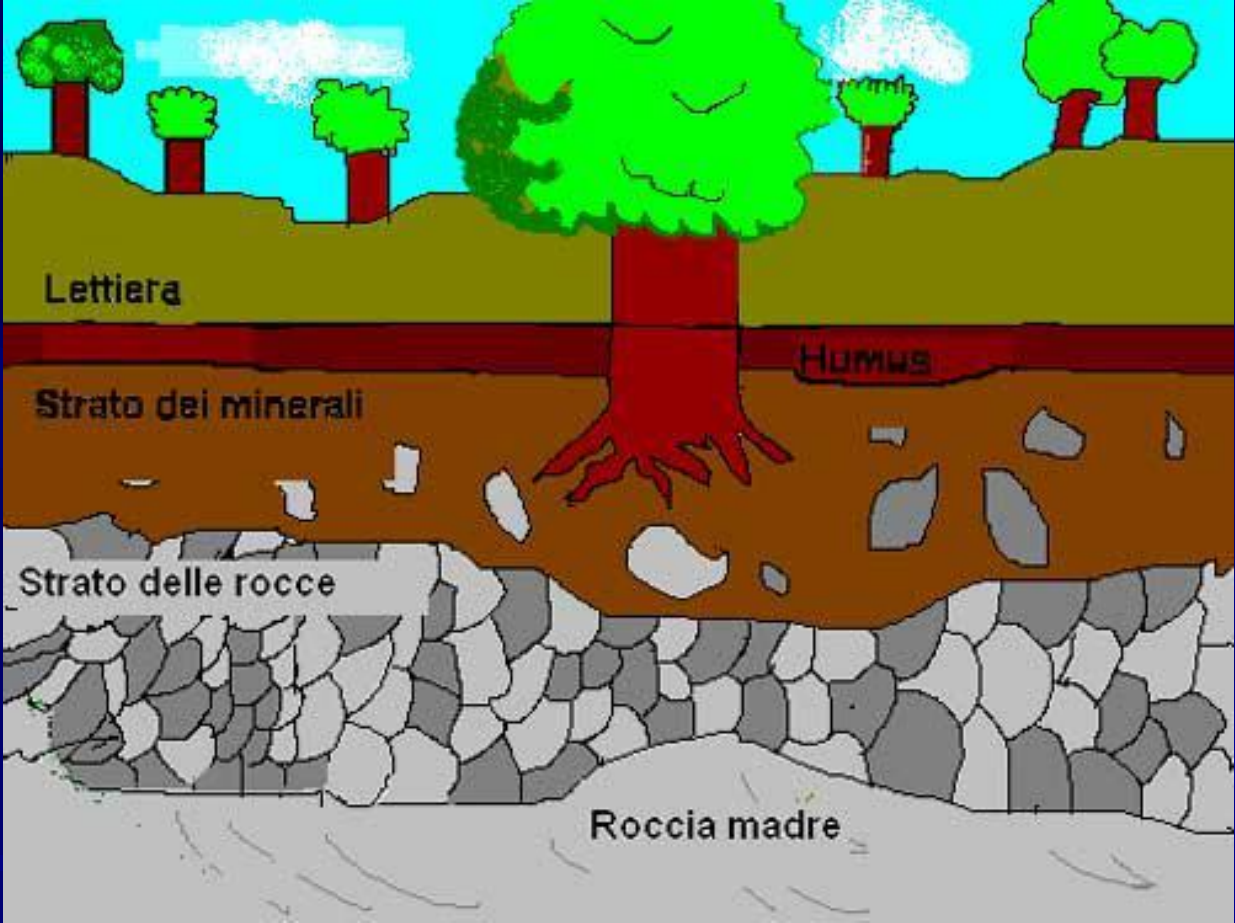
Nel suolo si ritrova anche l'**acqua** distribuita negli spazi tra le particelle e a formare sottili pellicole sulla superficie di esse

L'**aria** circola tra gli spazi delle particelle di suolo ed assicura l'apporto di ossigeno alle radici

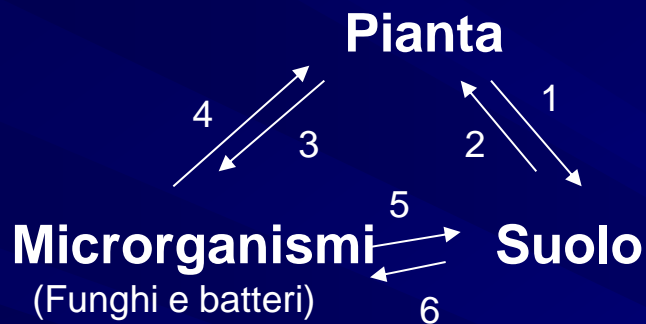
Parte vivente del suolo: batteri, funghi, protozoi, piccoli invertebrati
Organismi decompositori



Profili ed orizzonti dei suoli



INTERAZIONI SUOLO-PIANTA-MICRORGANISMI



1 – La pianta influenza le caratteristiche del suolo con l'apporto di materia organica (tessuti morti + essudati radicali) e con l'escrezione di H^+ ;

2 – Le caratteristiche del suolo influiscono sulle attività fisiologiche della pianta e sulla disponibilità di nutrienti;

3 – La pianta fornisce energia ai microrganismi;

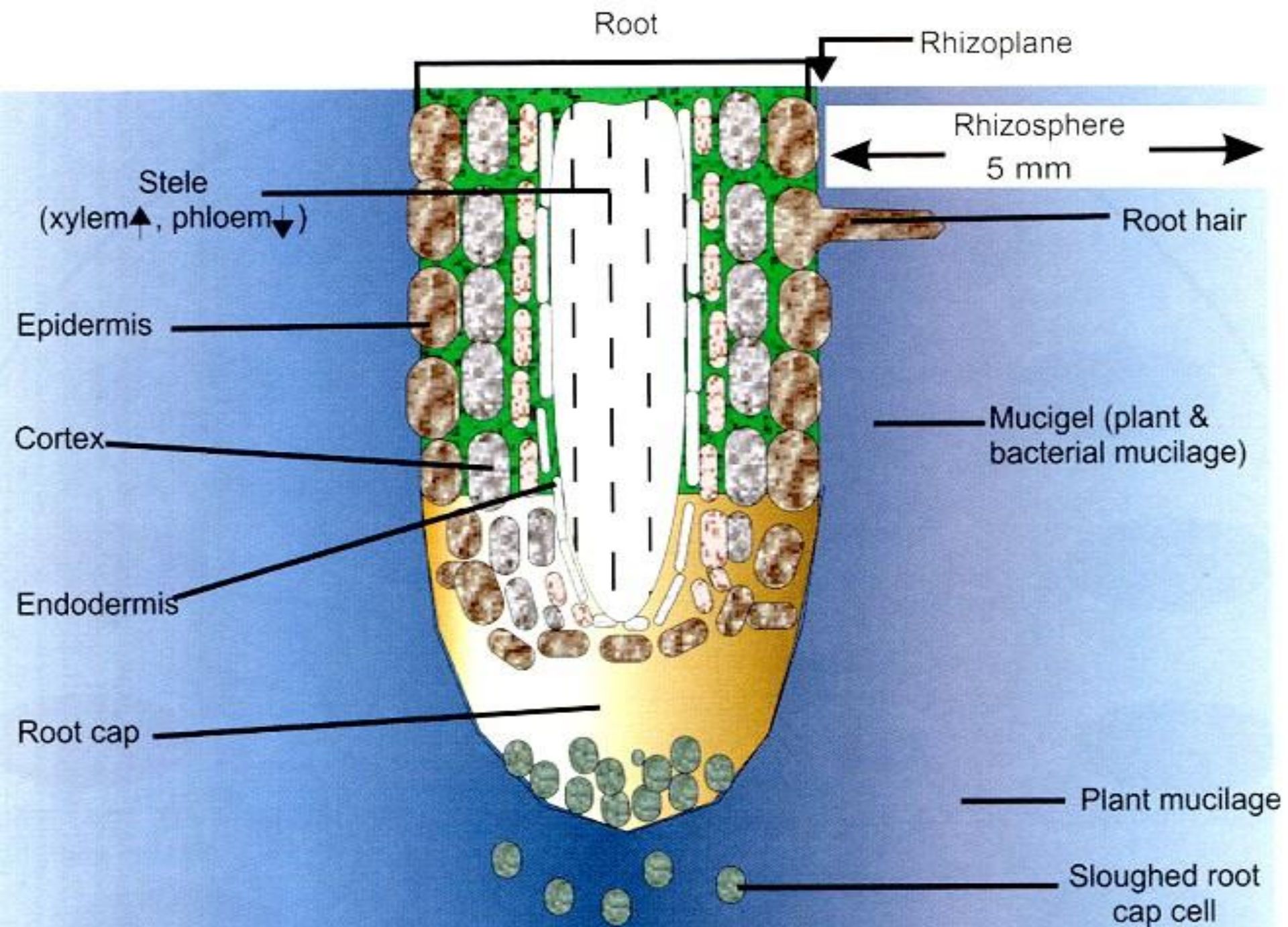
4 e 5 – L'abbondanza e la diversità dei microrganismi influisce sulle attività fisiologiche della pianta e sulla disponibilità di nutrienti in modo diretto (4) o in modo indiretto modificando le caratteristiche del suolo (5);

6 – Le caratteristiche del suolo modulano l'abbondanza e la diversità dei microrganismi.

RIZOSFERA

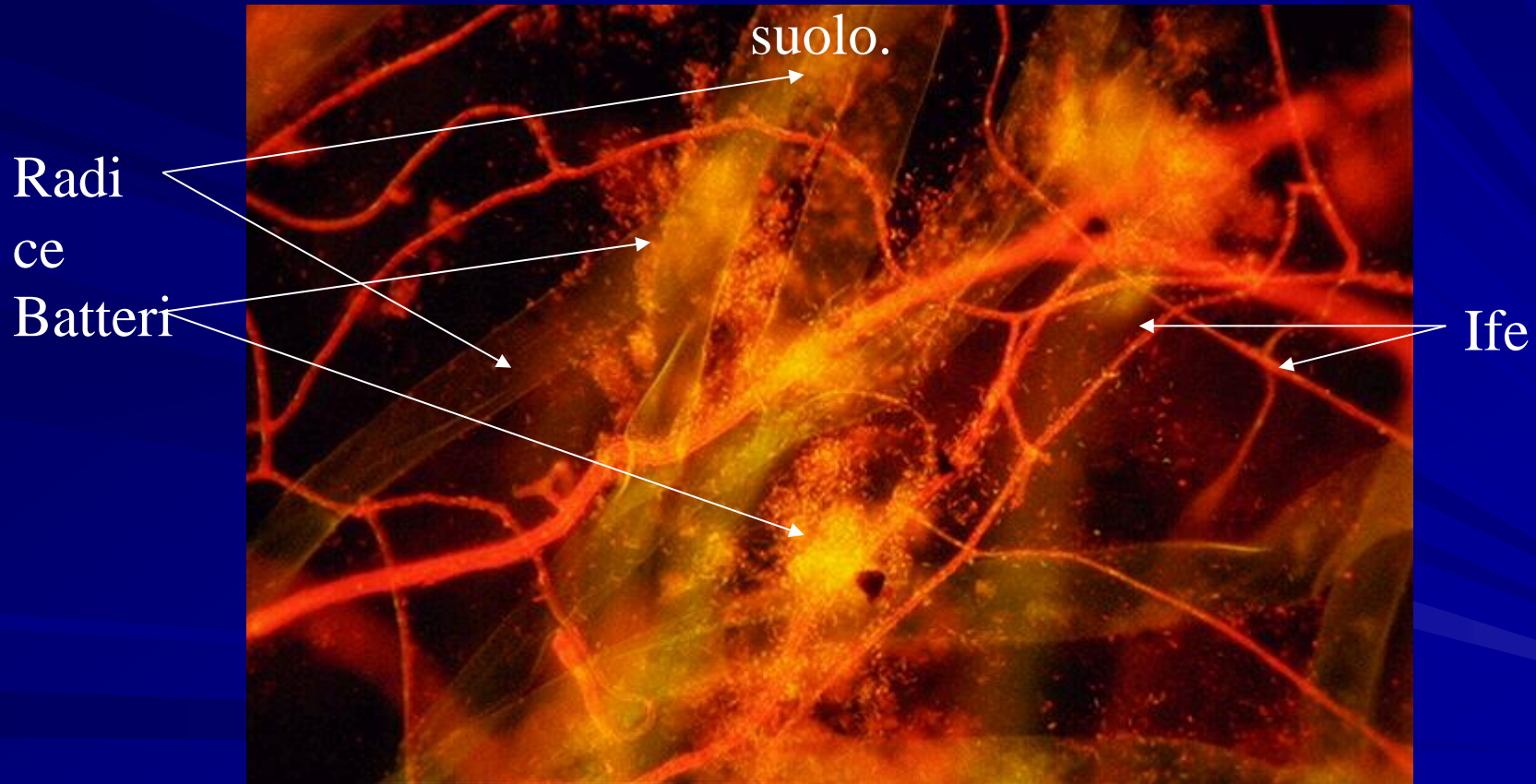
E

rizoplano



RIZOSFERA

La rizosfera è la zona del suolo circostante le radici per lo spessore di pochi millimetri (per lo più 2-5). In essa vi sono complesse relazioni tra pianta, microrganismi e suolo. Le radici e i biofilms associati possono influenzare profondamente la chimica del



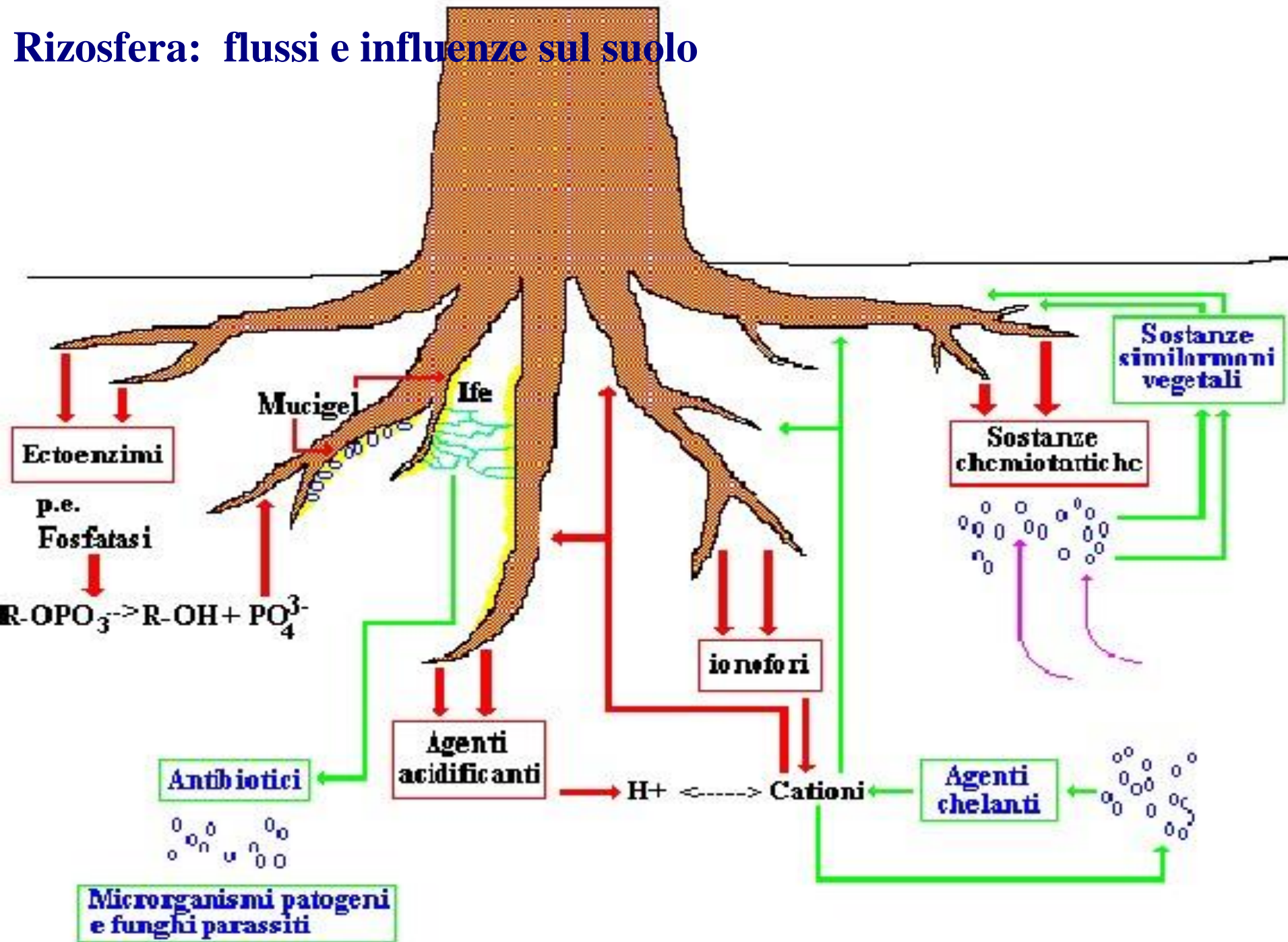
Rizosfera del grano al microscopio a fluorescenza: intreccio di ife fungine a batteri (100x)

Microrganismi nella rizosfera

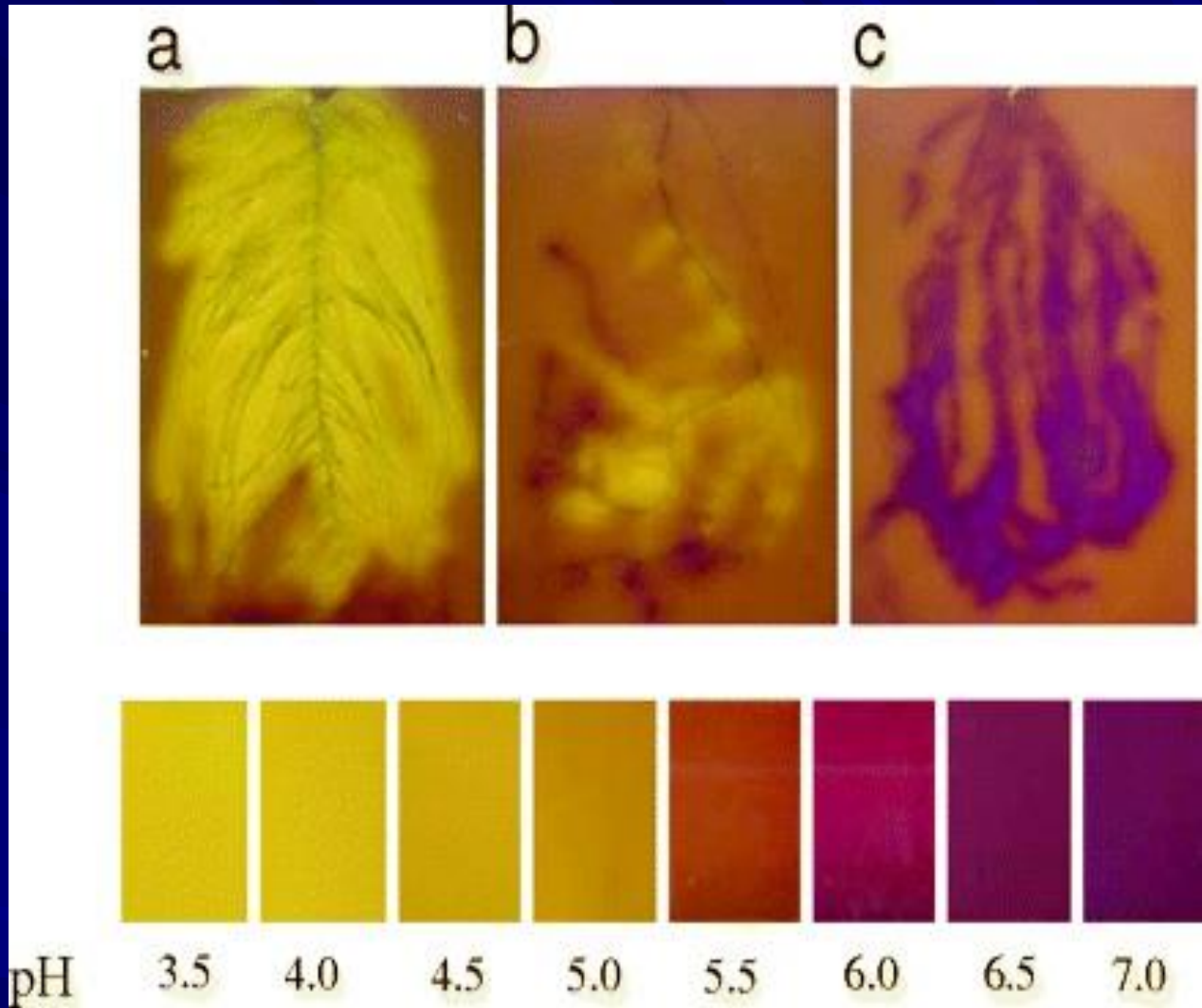
Numero di microrganismi (CFU) per grammo di suolo

<u>Microrganismi</u>	<u>Rizosfera</u>	<u>Suolo</u>	<u>Rapporto R/S</u>
Batteri	$1,2 \times 10^9$	$5,3 \times 10^7$	23
Attinomiceti	$4,6 \times 10^7$	$7,0 \times 10^6$	7
Funghi	$1,2 \times 10^6$	$1,0 \times 10^6$	12
Protozoi	$2,4 \times 10^3$	$1,0 \times 10^3$	2
Alghe	$5,0 \times 10^3$	$2,7 \times 10^4$	0,2
Ammonificanti	$5,0 \times 10^8$	$4,0 \times 10^6$	125
<u>Denitrificanti</u>	<u>$1,26 \times 10^8$</u>	<u>$1,0 \times 10^5$</u>	<u>1260</u>

Rizosfera: flussi e influenze sul suolo



Rizosfera: visualizzazione degli effetti sul pH



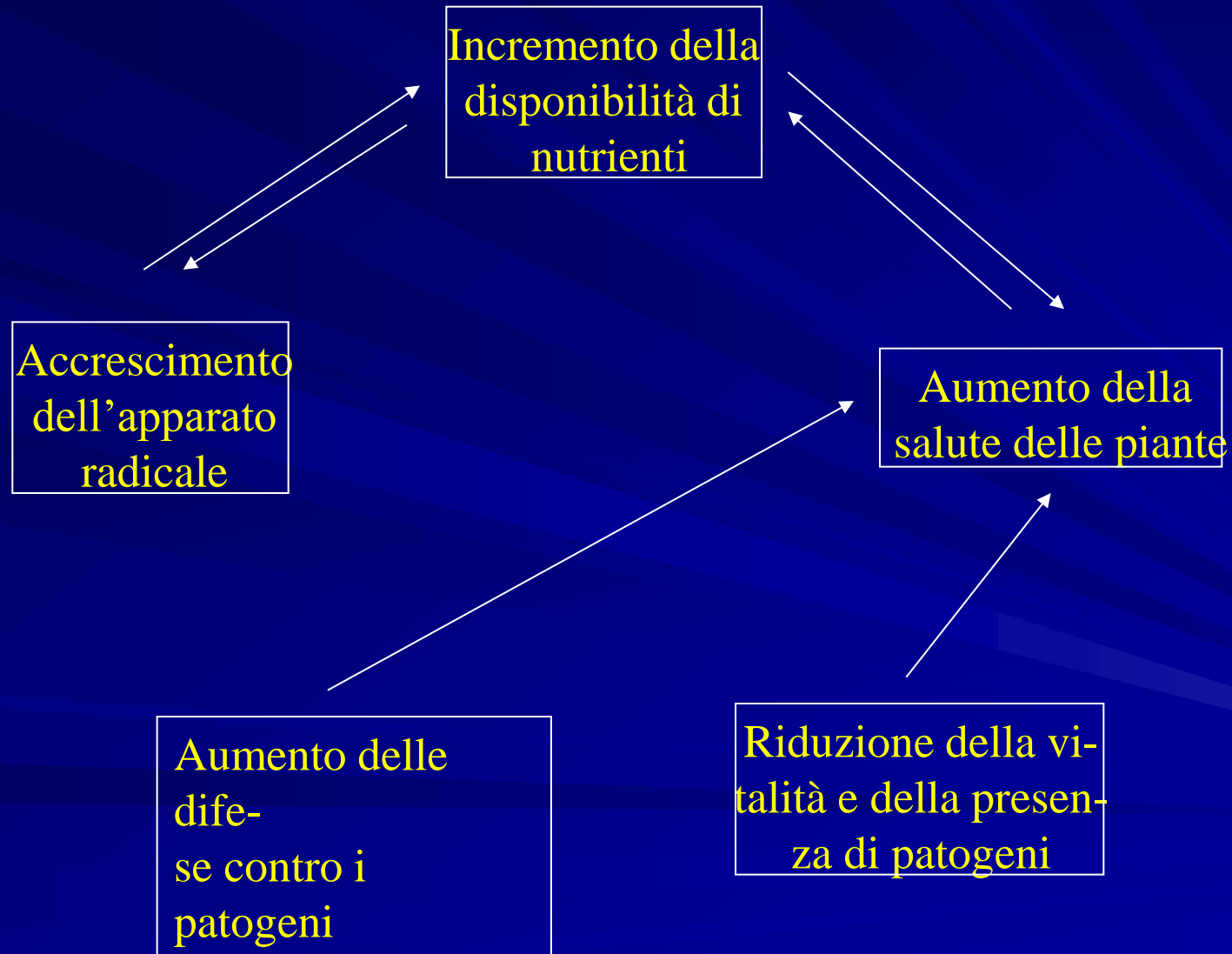
Colorazione con l'indicatore di pH bromocresolo porpora. Acidificazione in a) e b); alcalinizzazione in c).

a) *Vicia faba*; b) *Glycine max*; c) *Zea mays*.

Promotori della crescita delle piante

- Meccanismi di azione -

1/5

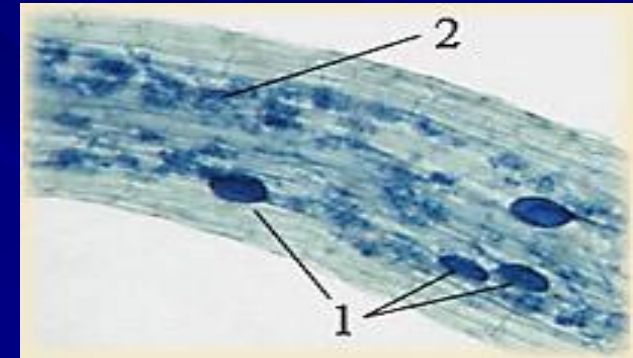
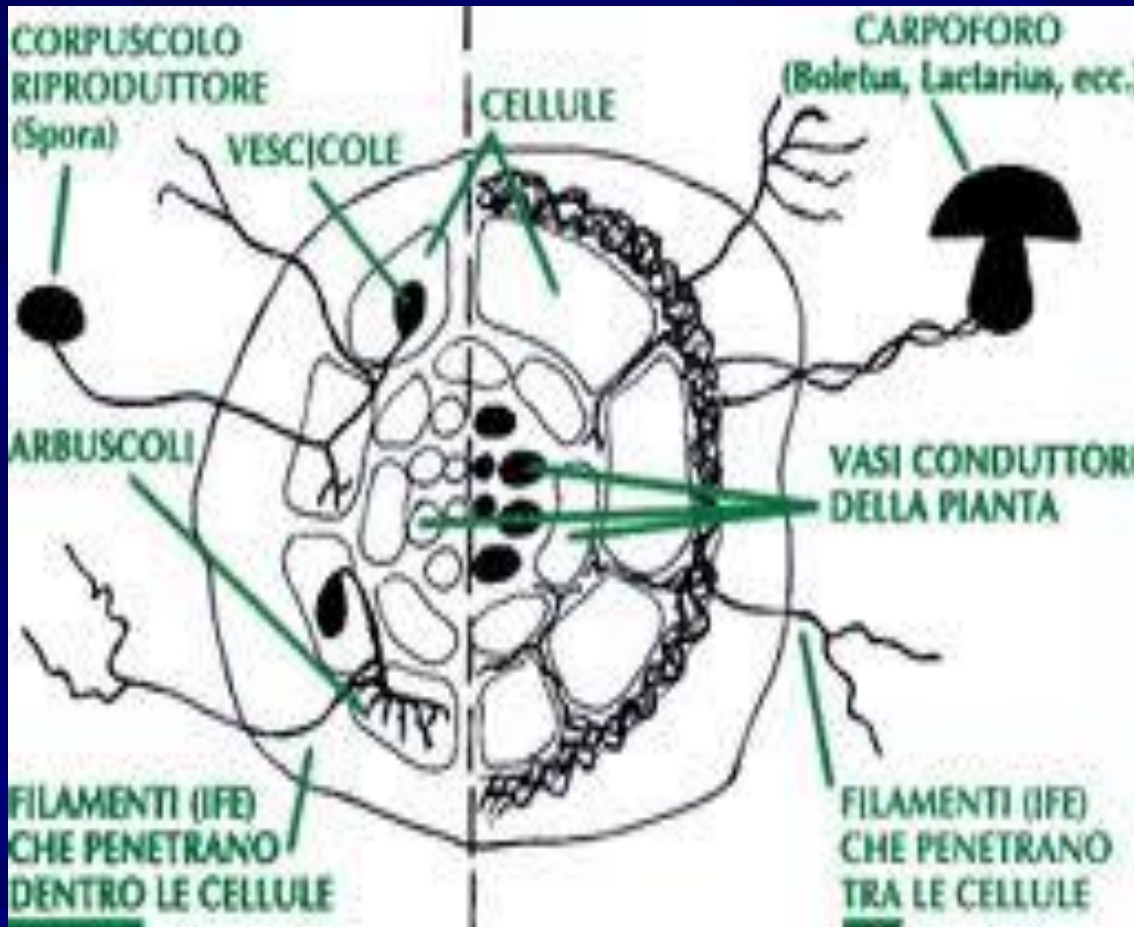


MICORRIZE

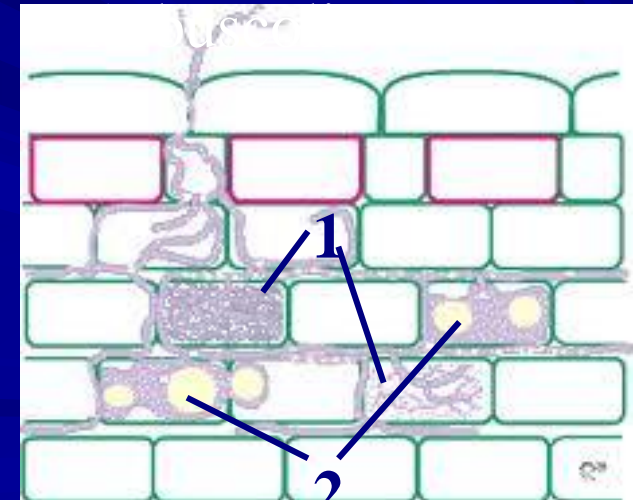
(SIMBIOSI FUNGHI / PIANTE)

Tipi di micorrize più comuni

(80-90% delle piante presenta micorrize)



1, Vescicole 2,



**Endomicorriza
Arbuscolare-
vescicolare (AV)**

ECTOMICORRIZE

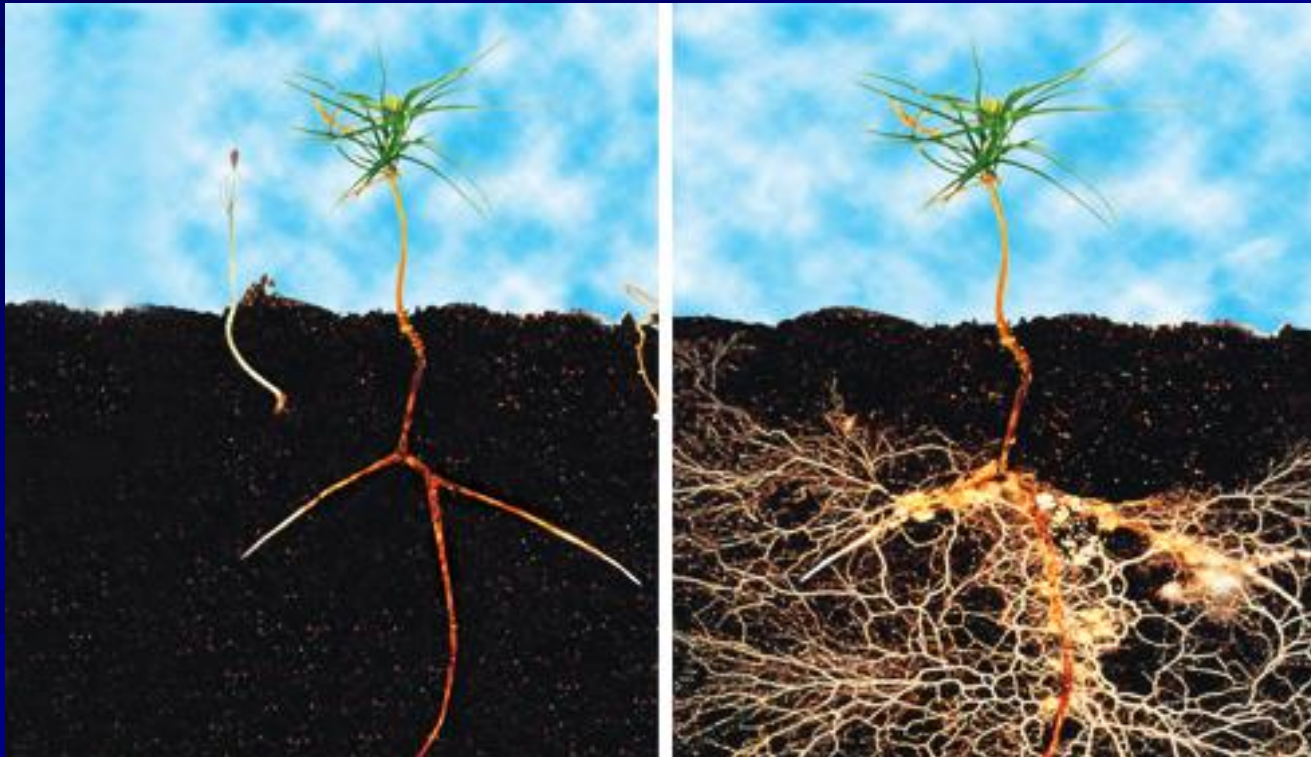
radici rivestite dalle guaine di ife



EFFETTI DELLA MICORRIZA SULLA PIANTA - 1

1 - AUMENTO DELLA CAPACITA' DI ESPOLAZIONE DEL SUOLO:

- Amplificazione della superficie radicale di ~ 600 volte (~ 1000 m di micelio per 1 m di radice micorrizzata);
- Esplorazione più fine del suolo poiché le ife hanno un diametro di ~ 1 μm e i peli radicali di 3-4 μm .



Senza micorriza

Con micorriza

EFFETTI DELLA MICORRIZA SULLA PIANTA - 2

2 – AUMENTO DELLA RESISTENZA AGLI STRESS IDRICI:

- Conseguenza del punto precedente;
- Capacità del micelio di estrarre H₂O dal suolo ad un potenziale idrico più basso rispetto a quello delle radici.

3 – MIGLIORAMENTO DELLE CONDIZIONI NUTRITIVE:

- Conseguenza dei punti precedenti;
- Escrezione di H⁺ ed enzimi che solubilizza gli elementi minerali e in special modo il fosforo;
- Permette alla pianta di utilizzare N organico e NH₄⁺.

4 – AUMENTO DELLA CAPACITA' FOTOSINTETICA:

- Conseguenza dei punti precedenti.

5 – RIDUZIONE DELLA SENSIBILITA' ALLE MALATTIE FUNGINE:

- Cambiamenti della fisiologia della pianta con radici più resistenti alla penetrazione dei patogeni con lignificazione e/o deposizione di callosio nelle pareti cellulari.

Azotofissazione
simbiotica

L'azoto e la sua fissazione

- L'atmosfera è il grande serbatoio di N della biosfera: il 78% dell'aria è costituito da N₂;
- La molecola N≡N è molto stabile e per romperla occorre molta energia;
- I principali processi naturali con cui il triplo legame è rotto sono:
 - La *fissazione atmosferica* (quantità relativamente piccola);
 - La *fissazione biologica* (quantitativamente rilevante).

Modalità di fissazione biologica	kg N/ha/year
Simbiosi Rhizobium-leguminosa	50 - 600
Simbiosi Cianobatteri-piante vascolari e non vascolari	10 - 300
Associazioni nella rizosfera	5 - 25
Liberi nel suolo	0.1 - 25

Fissazione simbiotica: Segnali pianta-batterio

Pianta - *Rhizobium*

Essudazione di flavonoidi* dalle radici (messaggeri per i batteri e specie-specifici)

Attivazione dei geni per la sintesi del Fattore Nod (=nodulazione)

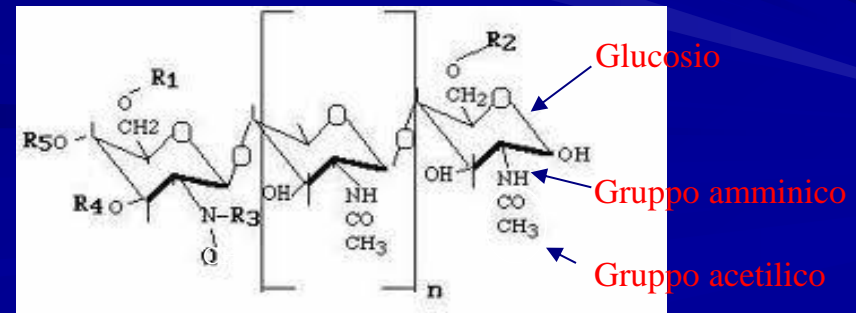
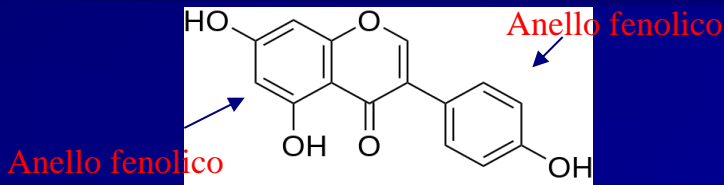
Contatto del *Rhizobium* con i peli radicali

Produzione del Fattore Nod** (specie-specifici)

Inizio del processo infettivo

*, Metaboliti della pianta caratterizzati da più anelli fenolici

**, Poliglucosammina acetilata; i gruppi R1- R5 sono acidi grassi e conferiscono la specie-specificità

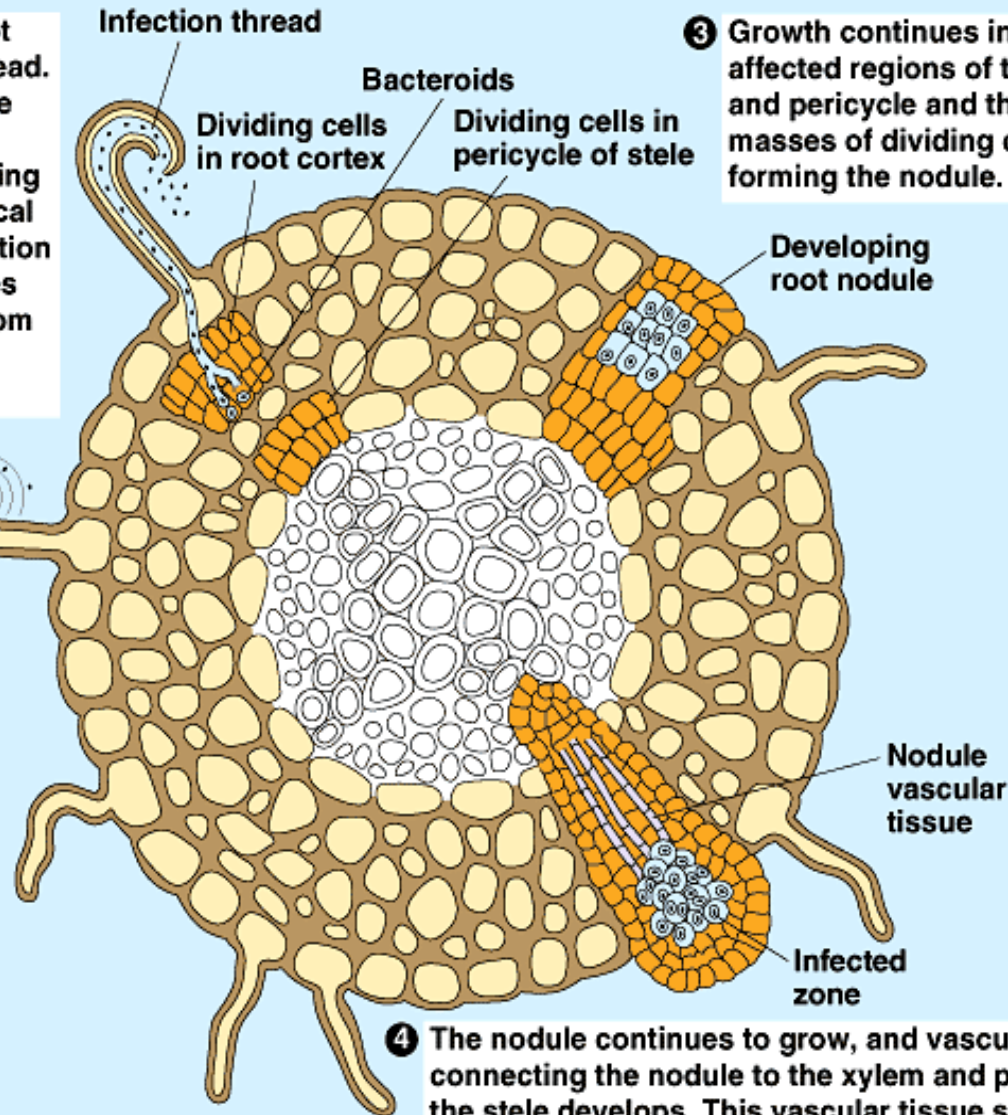


Infezione simbiotica

2 The bacteria penetrate the root cortex within the infection thread. Cells of the root cortex and the pericycle of the stele begin dividing, and vesicles containing the bacteria bud into the cortical cells from the branching infection thread. The vesicle membranes are derived by invagination from the plasma membranes of the root cells.

Rhizobium bacteria
Infected root hair

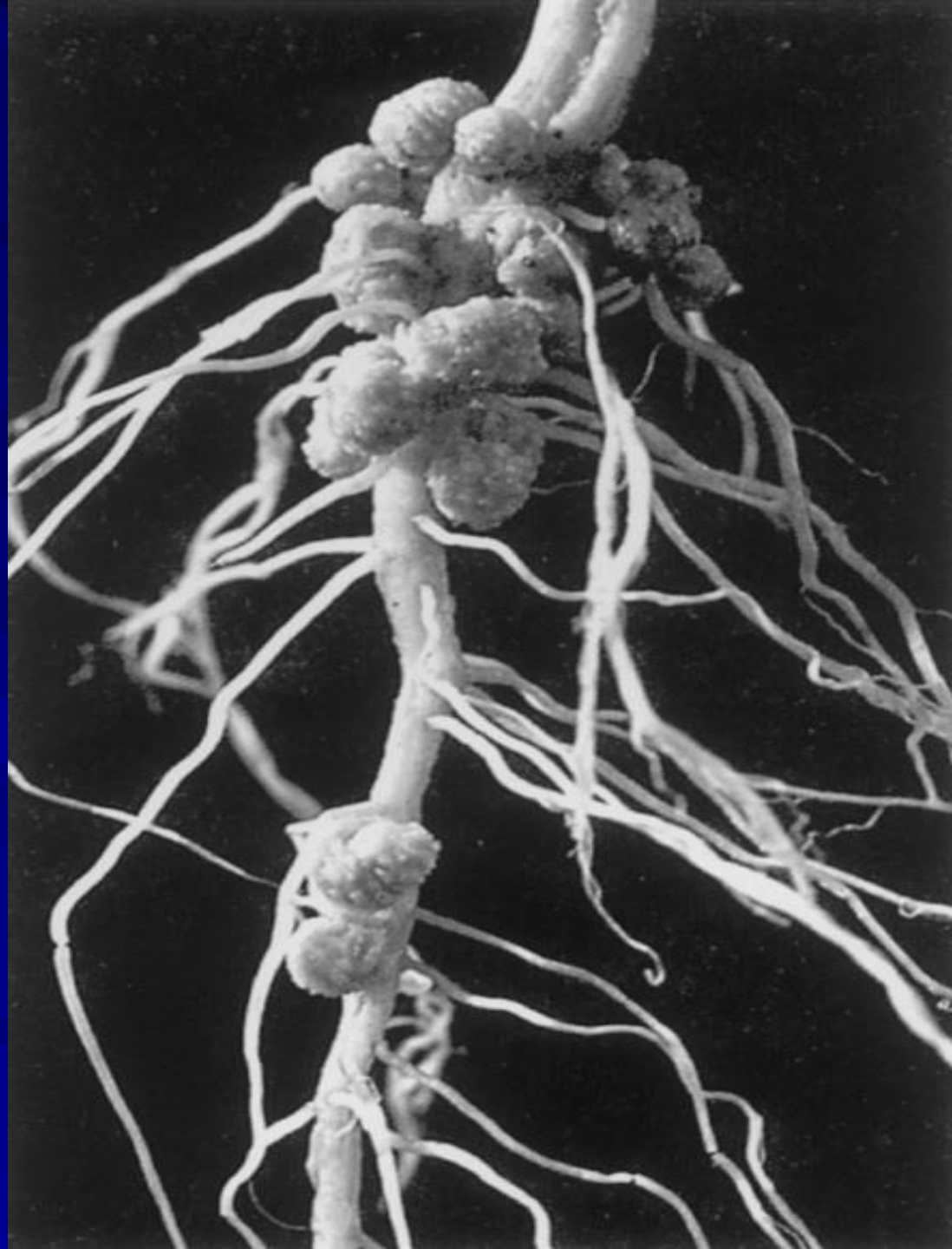
1 Roots emit chemical signals that attract Rhizobium bacteria. The bacteria then emit signals that stimulate root hairs to elongate, and to form an infection thread by an invagination of the plasma membrane.



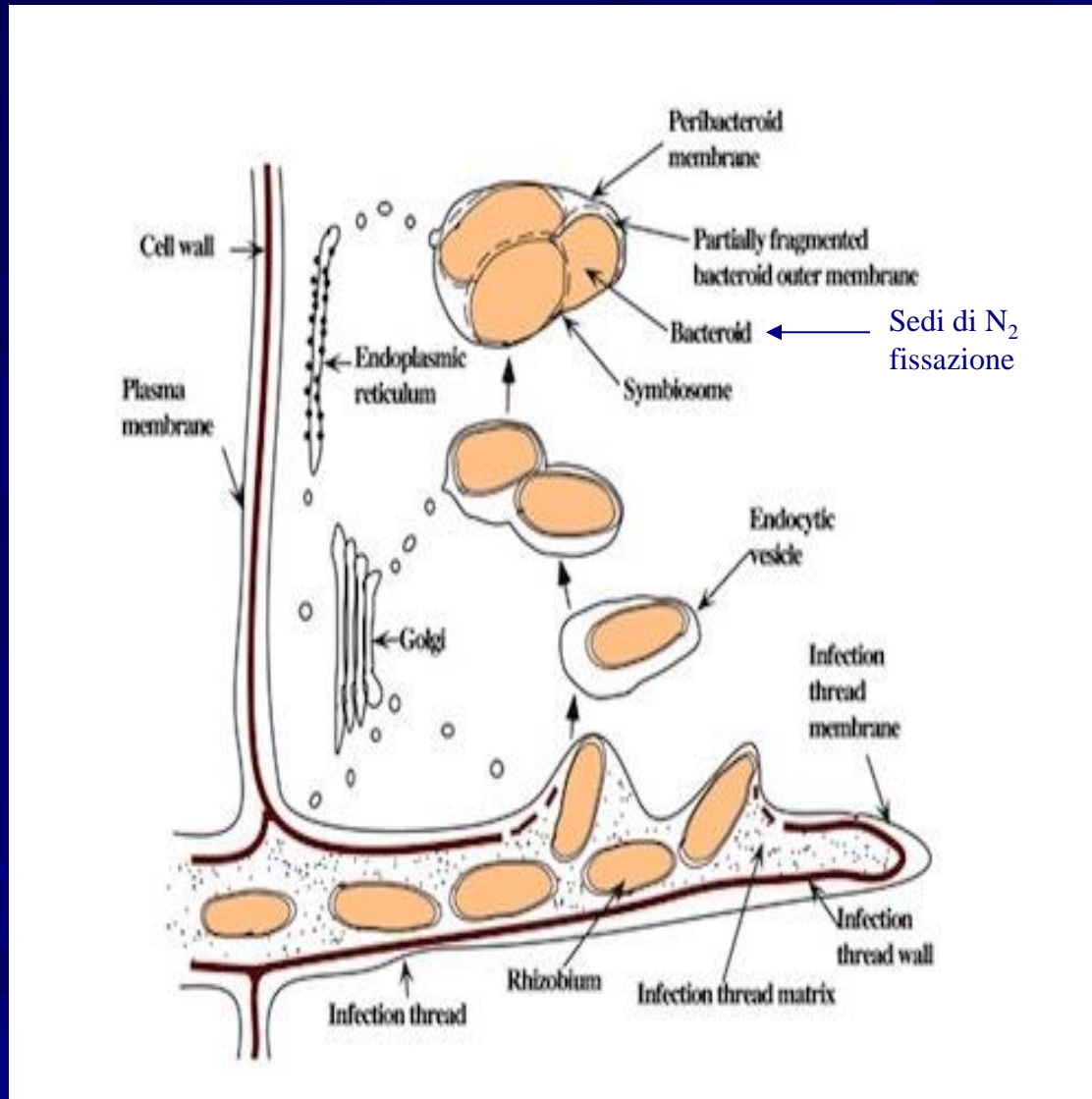
3 Growth continues in the affected regions of the cortex and pericycle and these two masses of dividing cells fuse, forming the nodule.

4 The nodule continues to grow, and vascular tissue connecting the nodule to the xylem and phloem of the stele develops. This vascular tissue supplies nutrients to the nodule and carries nitrogenous compounds from the nodule into the stele for distribution to the rest of the plant.

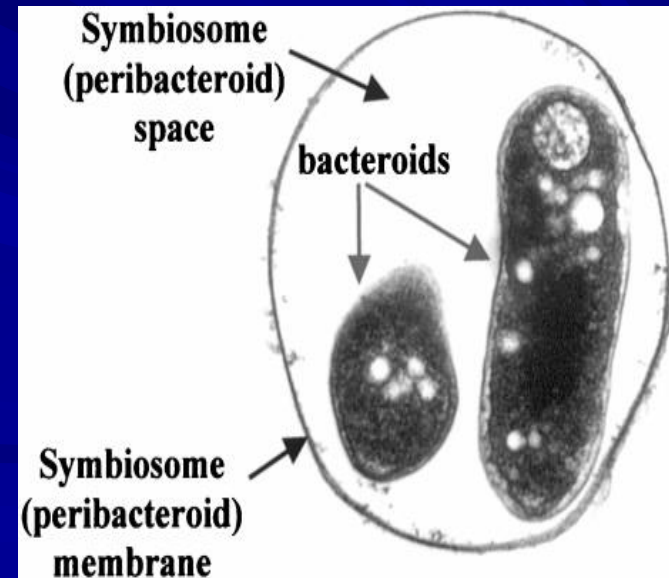
Noduli radicali nella soia
(*Glycine max* (L.) Merr.)



Il *Rhizobium* nel nodulo radicale



Struttura del simbiosoma



I SALI MINERALI

I **Sali minerali** vengono assorbiti dalla pianta sempre in soluzione, quindi come **ioni**

Elementi o nutrienti essenziali

macronutrienti $\geq 0,2\%$ del peso secco

Micronutrienti ppm del peso secco

Distinzione in **gruppi funzionali**

ESSENZIALITA' DEGLI ELEMENTI

Solo una parte degli elementi sono essenziali per le piante

Per tutte le specie:

N, P, K, Ca, Mg, S (macronutrienti; $\geq 0,2\%$ del peso secco)

Fe, Cu, Mn, Zn, Mo, B, Cl e Ni (micronutrienti; ppm del peso secco)

Per alcune specie:

Na, Se, Si, Co, I e V (macro- o micronutrienti)

Tabella 7.1
Concentrazioni adeguate di elementi nutritivi in tessuti vegetali

Elemento	Simbolo chimico	Peso atomico	Concentrazione nella sostanza secca		Numero relativo di atomi rispetto al molibdeno
			$\mu\text{mol g}^{-1}$	ppm o %	
OTTENUTI DAL SUOLO					
Macronutrienti				%	
Silicio	Si	28,09	30	0,1	30.000
Zolfo	S	32,07	30	0,1	30.000
Fosforo	P	30,98	60	0,2	60.000
Magnesio	Mg	24,32	80	0,2	80.000
Calcio	Ca	40,08	125	0,5	125.000
Potassio	K	39,10	250	1,0	250.000
Azoto	N	14,01	1.000	1,5	1.000.000
Micronutrienti				ppm	
Molibdeno	Mo	95,95	0,001	0,1	1
Nickel	Ni	58,69	0,002	0,1	2
Rame	Cu	63,54	0,10	6	100
Zinco	Zn	65,38	0,30	20	300
Sodio	Na	22,91	0,40	10	400
Manganese	Mn	54,94	1,0	50	1.000
Boro	B	10,82	2,0	20	2.000
Ferro	Fe	55,85	2,0	100	2.000
Cloro	Cl	35,46	3,0	100	3.000

Tabella 7.1
Concentrazioni adeguate di elementi nutritivi in tessuti vegetali

Elemento	Simbolo chimico	Peso atomico	Concentrazione nella sostanza secca		Numero relativo di atomi rispetto al molibdeno
			$\mu\text{mol g}^{-1}$	ppm o %	
OTTENUTI DALL'ACQUA O DALL'ANIDRIDE CARBONICA					
Ossigeno	O	16,00	30.000	45	30.000.000
Carbonio	C	12,01	40.000	45	40.000.000
Idrogeno	H	1,01	60.000	6	60.000.000

Da Epstein 1972, 1994.

Tabella 7.2
Classificazione degli elementi minerali vegetali secondo la funzione biologica

Elemento nutritivo	Funzioni
Gruppo 1	Nutrienti che costituiscono i composti organici vegetali
N	Costituente di amminoacidi, ammidi, proteine, acidi nucleici, nucleotidi, coenzimi, esoammine, ecc.
S	Componente di cisteina, cistina, metionina e delle proteine. Costituente di acido lipoico, coenzima A, tiammina pirofosfato, glutatione, biotina, adenosina-5-fosfato e 3-fosfoadenosina
Gruppo 2	Nutrienti importanti per l'accumulo dell'energia o per l'integrità strutturale
P	Componente di zuccheri fosfati, acidi nucleici, nucleotidi, coenzimi, fosfolipidi, acido fitico, ecc. Ha un ruolo fondamentale nelle reazioni in cui è coinvolto l'ATP.
B	Forma complessi con mannitolo, mannano, acido polimannuronico ed altri costituenti di pareti cellulari. È coinvolto nel processo di allungamento cellulare e nel metabolismo degli acidi nucleici.
Si	È depositato nelle pareti cellulari sotto forma di silice amorfa. Contribuisce alle proprietà meccaniche della parete cellulare, comprese rigidità ed elasticità.
Gruppo 3	Nutrienti che rimangono nella forma ionica
K	Richiesto come cofattore da più di 40 enzimi. Catione principale per l'ottenimento del turgore cellulare e per il mantenimento dell'elettroneutralità cellulare.
Na	Coinvolto nella rigenerazione del fosfoenolpiruvato nelle piante C ₄ e CAM. Sostituito dal potassio in certe funzioni.
Mg	Richiesto da numerosi enzimi coinvolti nel trasferimento del potassio. Costituente della molecola di clorofilla.
Ca	Costituente della lamella mediana nelle pareti cellulari. Richiesto come cofattore da alcuni enzimi coinvolti nell'idrolisi di ATP e di fosfolipidi. Agisce come secondo messaggero nella regolazione metabolica.
Mn	Richiesto per l'attività di alcune deidrogenasi, decarbossilasi, chinasi, ossidasi e perossidasi. Prende parte a processi enzimatici attivati da cationi e nello sviluppo di ossigeno.
Cl	Richiesto per le reazioni fotosintetiche coinvolte nello sviluppo di O ₂ .
Gruppo 4	Nutrienti coinvolti nel trasferimento di elettroni
Fe	Costituente di citocromi e ferro proteine non emiche coinvolte nel processo fotosintetico, nella fissazione dell'N ₂ e nella respirazione.
Cu	Componente di ascorbato ossidasi, tirosinasi, monoammina ossidasi, citocromo ossidasi, fenolasi, laccasi e plastocianina.
Zn	Costituente dell'alcool deidrogenasi, della glutammato deidrogenasi, della carbonio anidasi, ecc.
Mo	Costituente della nitrogenasi, della nitrato reductasi e della xantina deidrogenasi.
Ni	Costituente dell'ureasi. Presente nei batteri azoto-fissatori come costituente dell'idrogenasi.

Da Evans e Sorger 1996 e Mengel e Kirkby 1987.

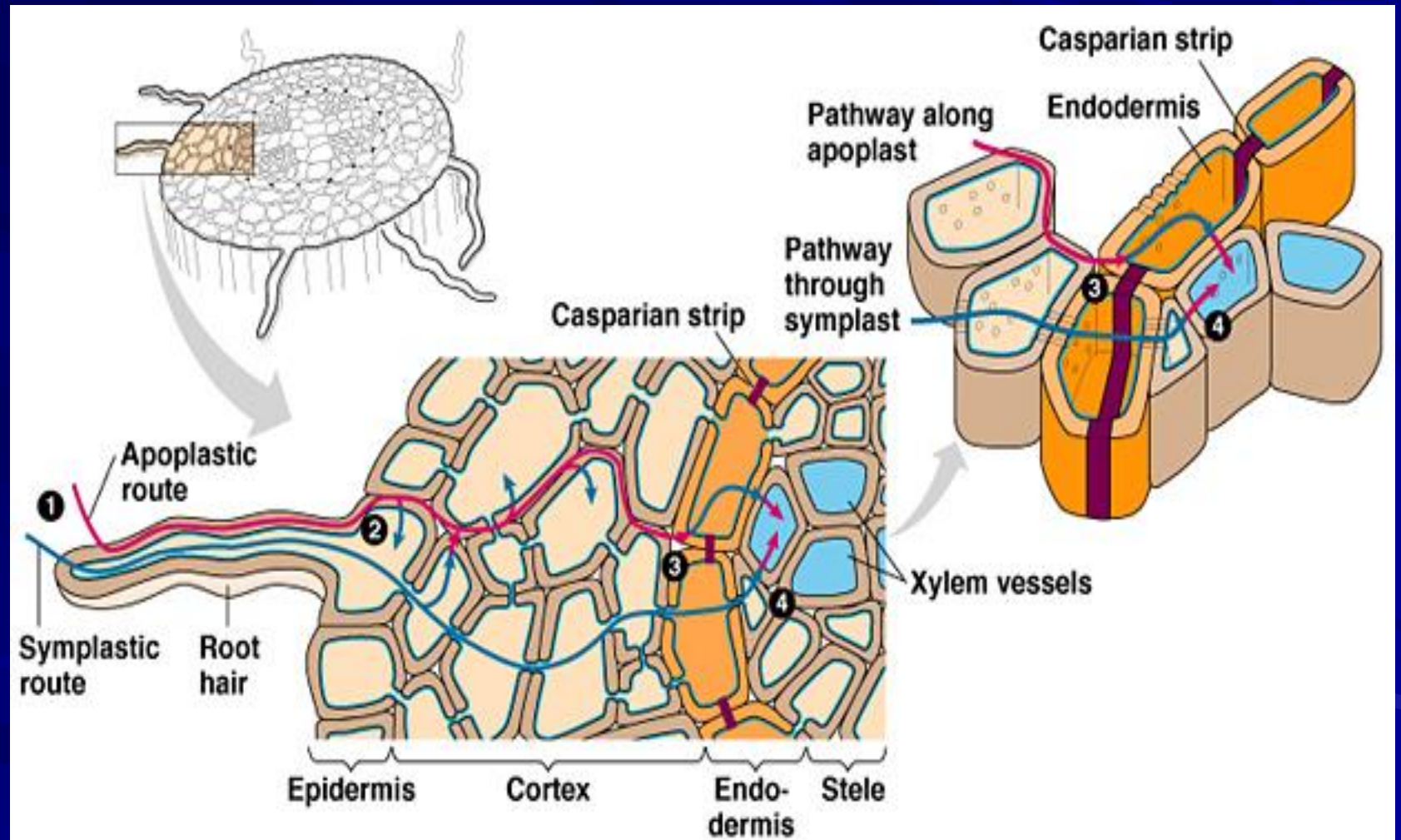
ASSORBIMENTO DEI SALI MINERALI

Le soluzioni circolanti nel terreno sono molto diluite rispetto a quelle presenti all'interno della radice. Quindi per la maggior parte gli ioni vengono assorbiti contro il loro gradiente di concentrazione tramite un **trasporto attivo** che **consuma ATP**

L'assorbimento attivo degli ioni dal terreno è facilitato dall'enorme superficie assorbente costituita dai peli radicali

Tra la radice e le particelle di terreno si instaura il fenomeno dello **scambio cationico**. I peli radicali liberano nel terreno ioni H^+ che si sostituiscono ai cationi legati alle particelle di terreno rendendoli disponibili per la pianta

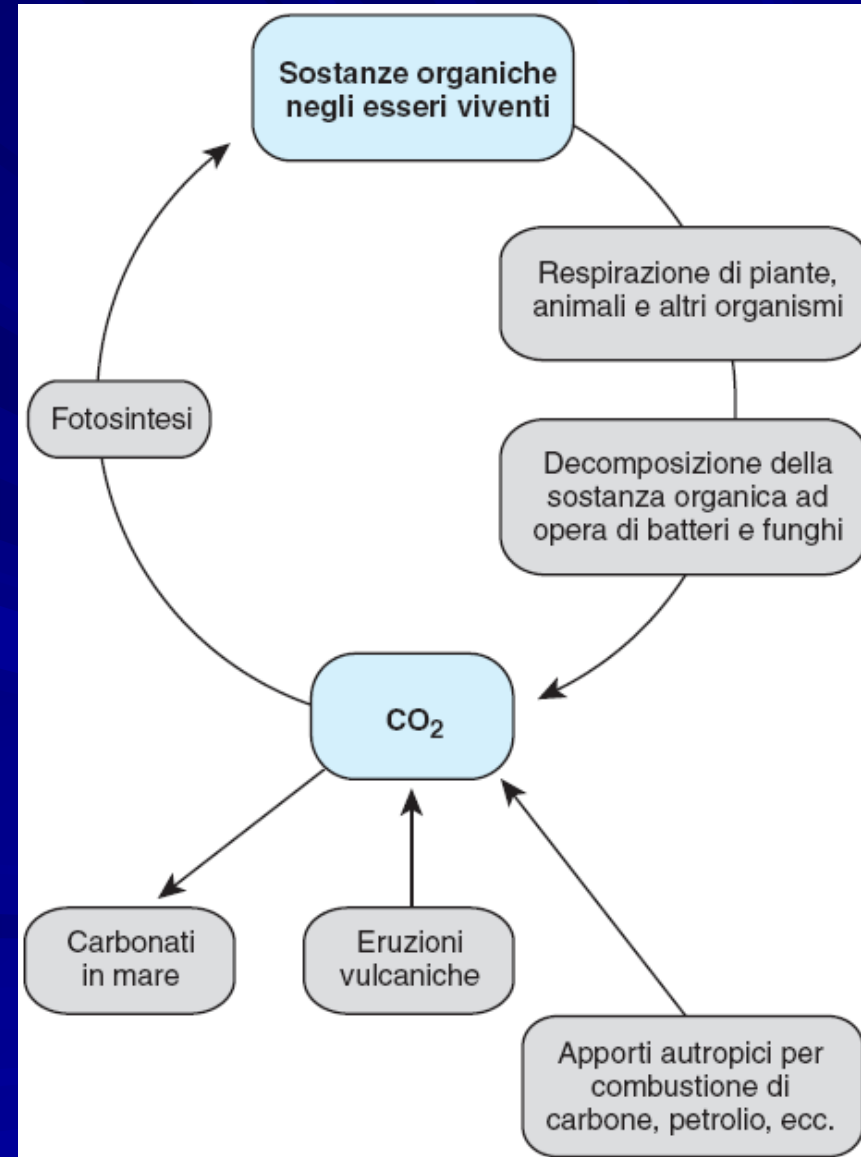
Assorbimento radicale



CICLI BIOGEOCHIMICI

Il riciclo esiste da sempre in natura. Gli **elementi essenziali** ad esempio vengono costantemente **riciclati** in natura.

CICLO DEL CARBONIO



CICLO DELL'AZOTO

L'AZOTO (N_2) è il gas più abbondante in atmosfera (80%). Le piante sono in grado di utilizzare l'azoto soprattutto in forma di **nitriti** (NO_2^-), ma anche in forma di **ammonio** (NH_4^+) e in misura minore in forma di **nitriti** (NO_2^-).

