

**LAUREA TRIENNALE IN  
SCIENZE BIOLOGICHE  
A.A 2020-2021**

**INSEGNAMENTO  
FISIOLOGIA E BIOCHIMICA VEGETALE  
MODULO: FISIOLOGIA VEGETALE  
DOCENTE: LORENZA BELLANI**

**DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA VITA  
UNIVERSITA' DI SIENA**  
[lorenza.bellani@unisi.it](mailto:lorenza.bellani@unisi.it)

0577 234404 (4404)

# **PROPEDEUTICITA'**

- L'esame di Fisiologia Vegetale deve essere sostenuto successivamente a quello di Biologia Vegetale**

# Appelli di Fisiologia Vegetale

- 1 appello a giugno
- 2 appelli a luglio
- 2 appelli a settembre
- Durante il silenzio didattico delle vacanze di Natale e di Pasqua
- A richiesta, appelli mensili **solo per studenti fuori corso**

# TESTI CONSIGLIATI

- TAIZ, ZEIGER, MOLLER, MURPHY 2016  
ELEMENTI DI FISIOLOGIA VEGETALE,  
PICCIN
- RASCIO et al. 2017  
ELEMENTI DI FISIOLOGIA VEGETALE,  
EDISES

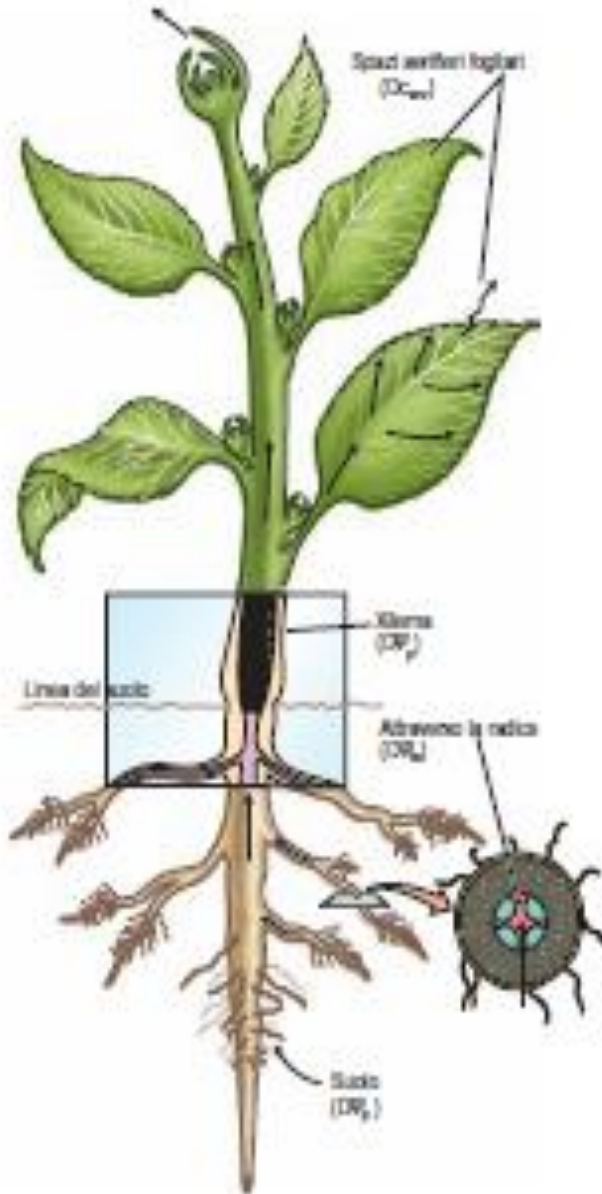
# Programma

- **La fisiologia dell'acqua**
- **La nutrizione minerale delle piante**
- **Le piante e l'azoto**
- **Il vacuolo e i metaboliti secondari**
- **La traslocazione floematica**
- **Gli ormoni vegetali**

# IMPORTANZA DELLE PIANTE

- Gli animali rappresentano solo lo 0,3% della biomassa mentre le piante l'85%, il resto sono funghi e batteri.
- Dalle piante è dipesa e dipende la nostra esistenza sulla terra.
- La comparsa dell'ossigeno nell'atmosfera in seguito all'evoluzione di organismi autotrofi fotosintetici ossigenici (2.8 miliardi di anni fa) ha permesso l'evoluzione di organismi aerobi e la successiva conquista della terraferma da parte delle piante (450 milioni di anni fa).
- *Homo sapiens* è comparso sulla terra solo 300.000 anni fa.

# LE PIANTE



- Sono il punto fondamentale per l'incorporazione di minerali nella biosfera

- Sintetizzano i composti organici a partire da composti ed elementi inorganici presenti nell'ambiente: CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> dall'aria, gli altri elementi e l'acqua dal suolo

- L'apparato fogliare e quello radicale sono collegati funzionalmente tra loro dal fusto

# **FISIOLOGIA DELL'ACQUA**



# L'acqua nella pianta

Principale costituente degli organismi viventi (fino al 90% del peso)

Nel vacuolo

Come acqua di imbibizione dei colloidi

Come acqua intercellulare

Nello xilema

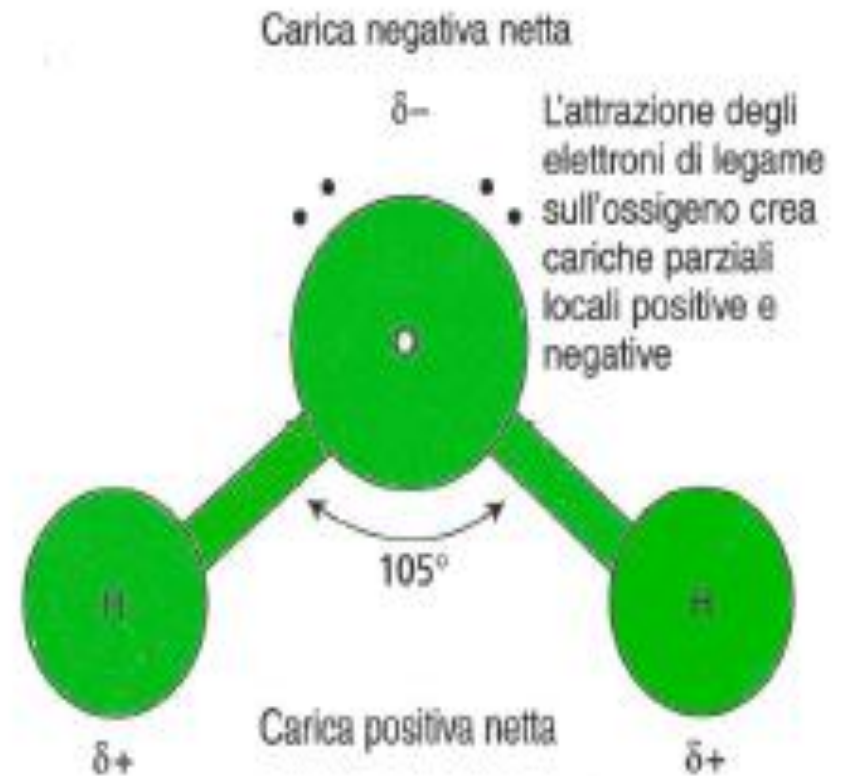
Nel floema

# **Caratteristiche della molecola di acqua**

# L'acqua è una molecola polare

L'acqua non ha carica netta, ma parziale carica negativa ( $\delta^-$ ) su ossigeno e positiva ( $\delta^+$ ) su idrogeno.

Le cariche parziali opposte la rendono polare, ma nel suo insieme è neutra perchè il n di cariche parziali è uguale.



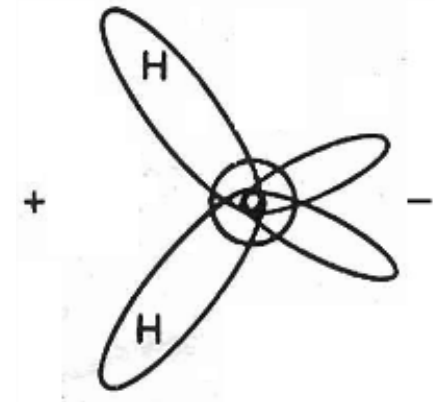
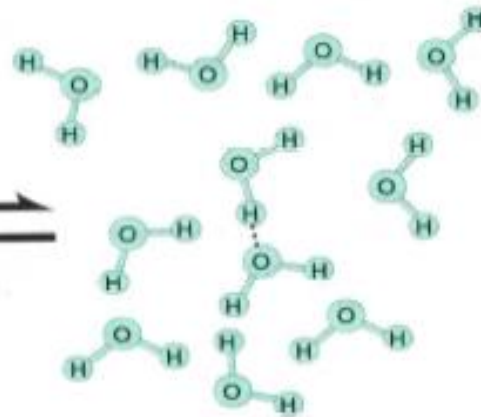
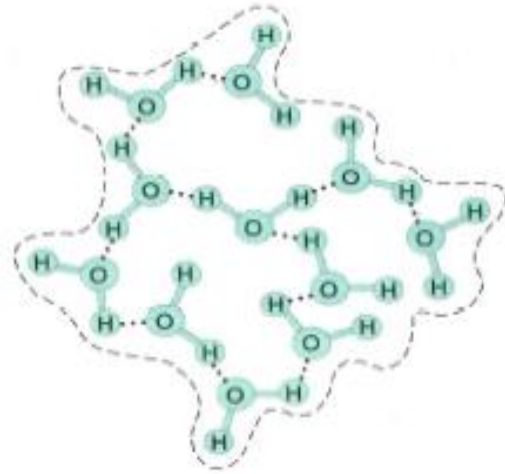
$\delta+$  e  $\delta-$  consentono la formazione di legami H tra:

- 1) molecole adiacenti di acqua
- 2) molecole contenenti residui -OH e  $\text{NH}_3$

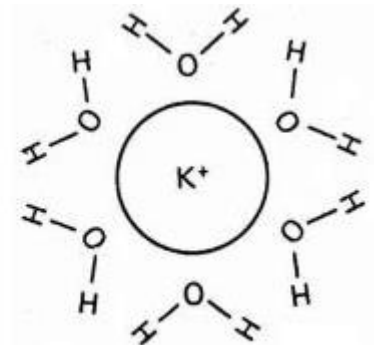
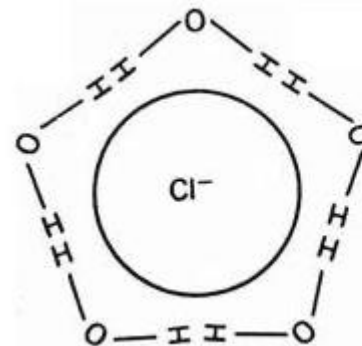
per cui è un ottimo solvente per zuccheri e proteine

(A) Acqua quasi cristallina

(B) Configurazione casuale



3) con cationi ed anioni, circondandoli con un velo liquido e mantenendoli in soluzione



# Proprietà dell'acqua

Ha un alto **calore specifico** (energia per innalzare di un grado la T di un g di acqua).

Quando la T si alza, le molecole dell'acqua vibrano.

I legami H si comportano come elastici ed assorbono una parte dell'energia dalla fonte di calore.

Quindi l'acqua necessita di maggior calore per aumentare la sua T rispetto all'aria.

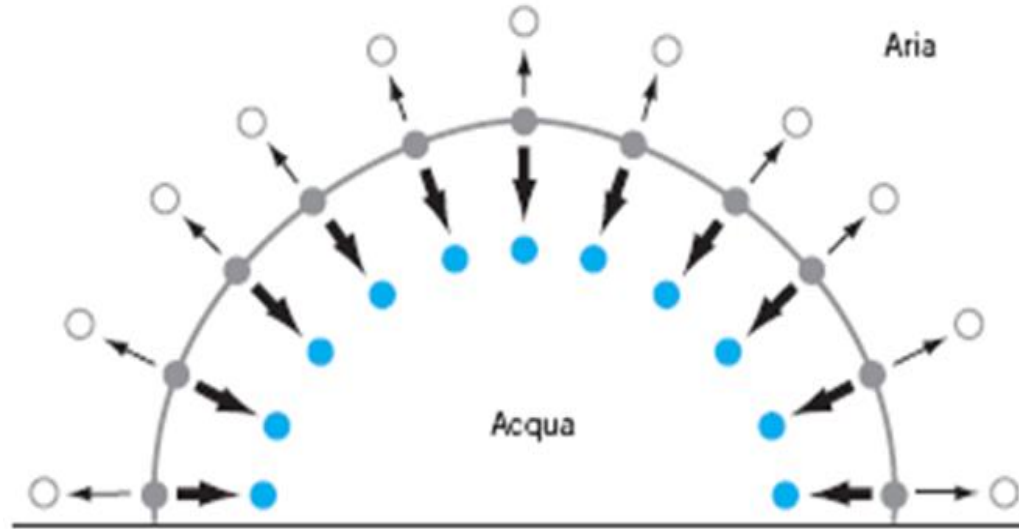
In questo modo le piante non cambiano T velocemente e le foglie mantengono la loro T al di sotto di quella dell'aria

# Proprietà dell'acqua

Ha un alto **calore latente di evaporazione** (energia per separare i legami H tra le molecole e far passare l'acqua dalla fase liquida a quella gassosa).

Questo consente all'acqua di rimanere allo stato liquido nell'intervallo di T compatibile con la vita, anche in condizioni estreme.

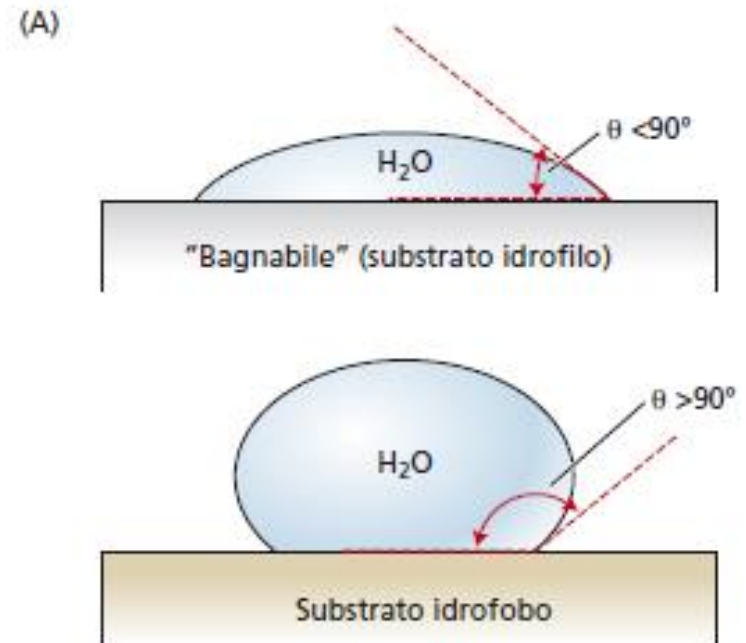
# Le molecole di acqua sono molto coesive



Grazie ai legami H, all'interfaccia aria-acqua le molecole sono più attratte tra loro (frecce grosse) verso la zona centrale del volume di acqua che dalla fase gassosa circostante (frecce sottili)

# Adesione

- Attrazione delle molecole di acqua nei confronti di una fase solida (es. parete cellulare)
- Superfici bagnabili (idrofile, angolo di contatto  $< 90^\circ$ )
- Superfici idrofobe (angolo di contatto  $> 90^\circ$ )





# Forza di tensione

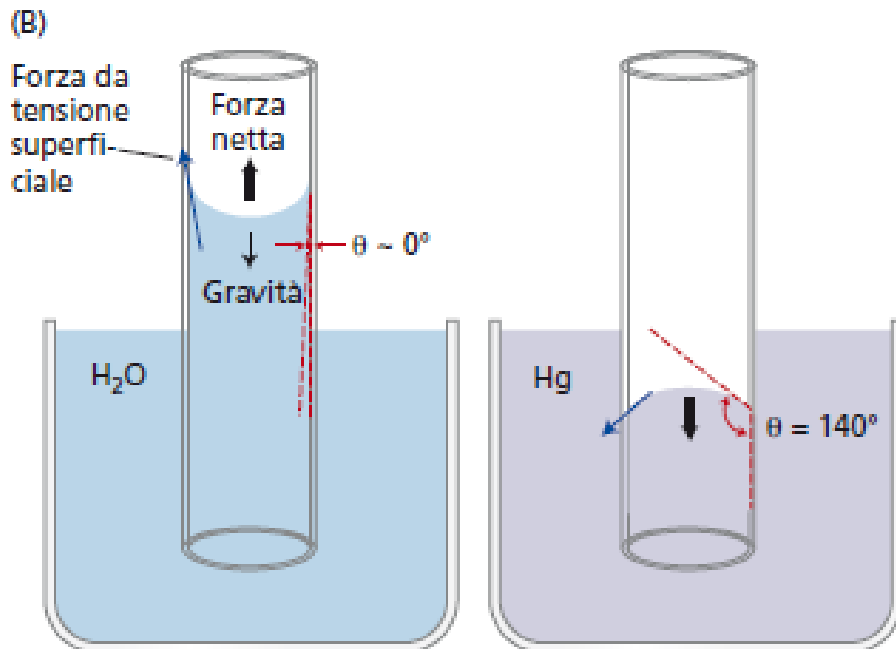
- La conseguenza della coesione tra le molecole di acqua e dell'adesione a particolari superfici, è una tensione superficiale elevata.
- Le molecole di acqua sono attratte verso il centro e la superficie si comporta come una membrana elastica.

# Capillarità

Tensione superficiale + coesione + adesione =  
= capillarità

cioè un movimento verso l'alto in un tubo, contro la forza di gravità;  
più piccolo il tubo, maggiore è la risalita;

la colonna si innalzerà fino a quando la forza sarà bilanciata dal peso stesso della colonna di acqua.



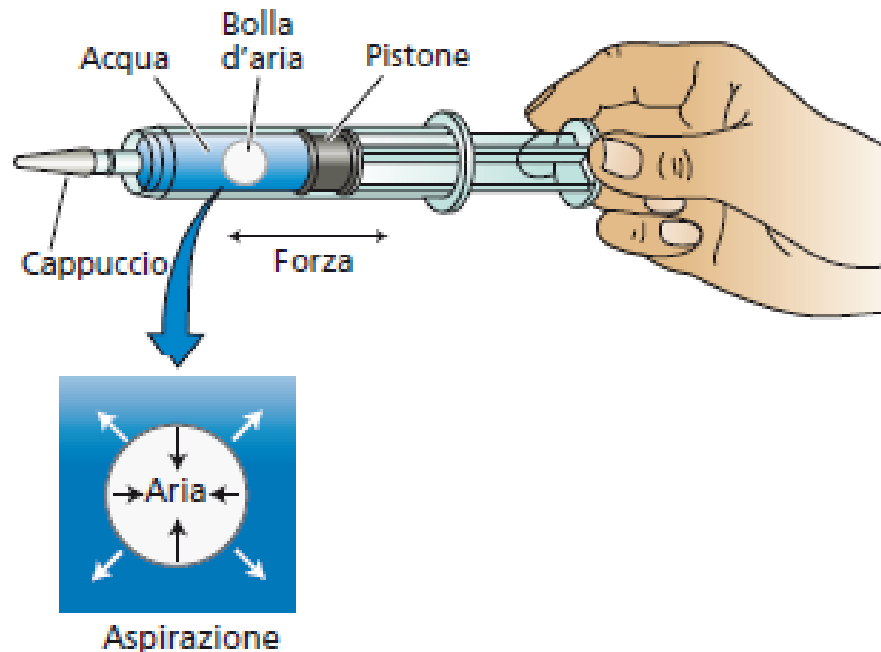
Se le pareti sono bagnabili la forza netta è verso l'alto e l'acqua tenderà a salire

Se il liquido non bagna le pareti (Hg), il menisco sarà verso il basso e la tensione superficiale abbasserà il livello del liquido nel tubo.

# Forza di tensione

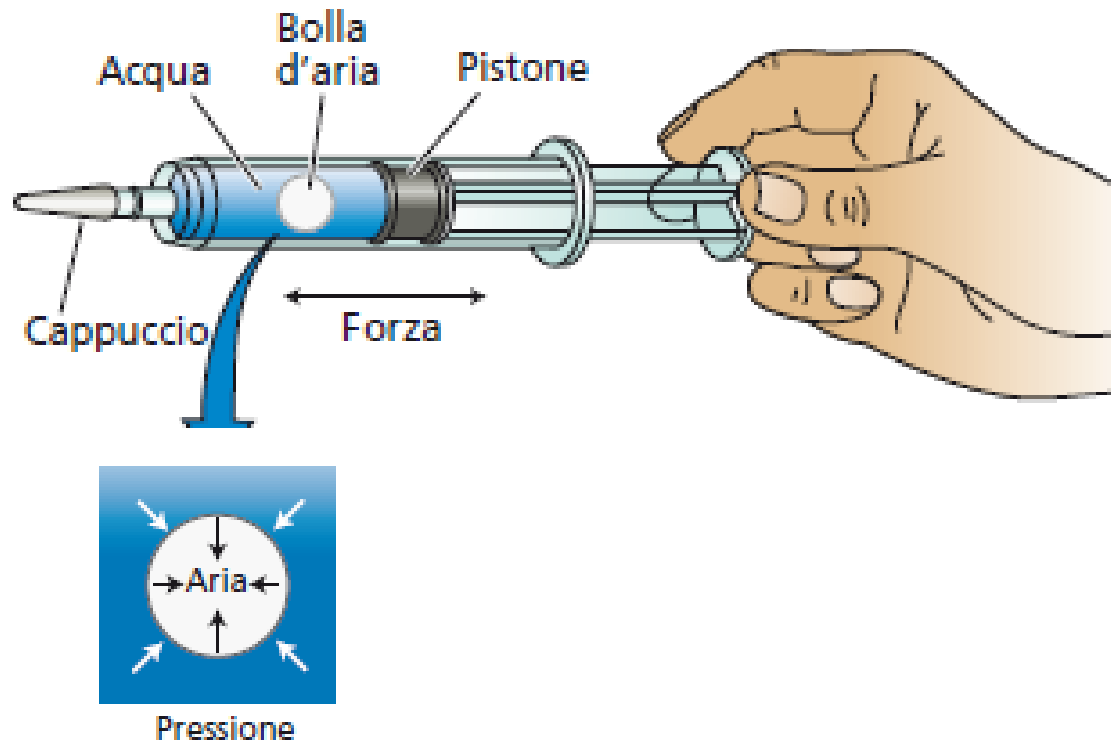
Se si tira il pistone si genera una **tensione** o pressione negativa.

La bolla d'aria si allarga se la forza verso l'esterno (freccette bianche) sarà maggiore di quella verso l'interno (freccette nere).



# Forza di pressione

Se si preme sul pistone si genera una **pressione idrostatica positiva (MPa)** e la bolla d'aria si restringe

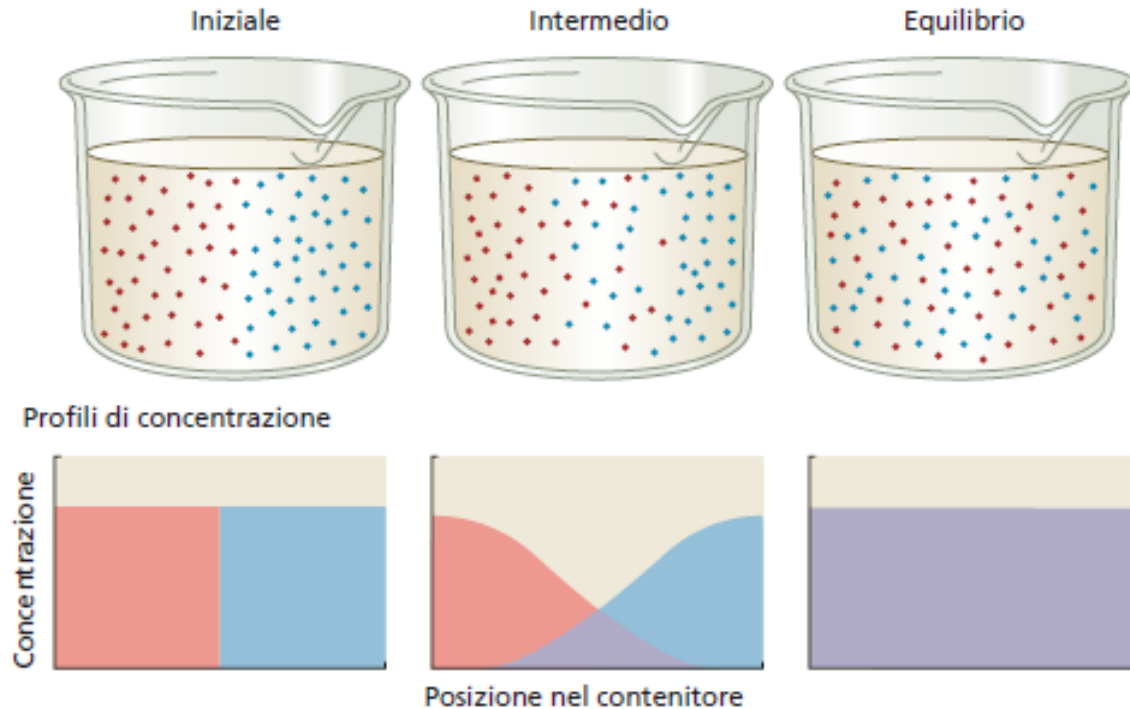


# Come avviene il movimento dell'acqua?

- Il movimento d'acqua può avvenire per:
- 1. **Diffusione**: gradiente di concentrazione
- 2. **Flusso di massa**: gradiente di pressione
- 3. **Osmosi**: diffusione di acqua attraverso una barriera selettivamente permeabile (membrana), gradiente di potenziale idrico

• **DIFFUSIONE**

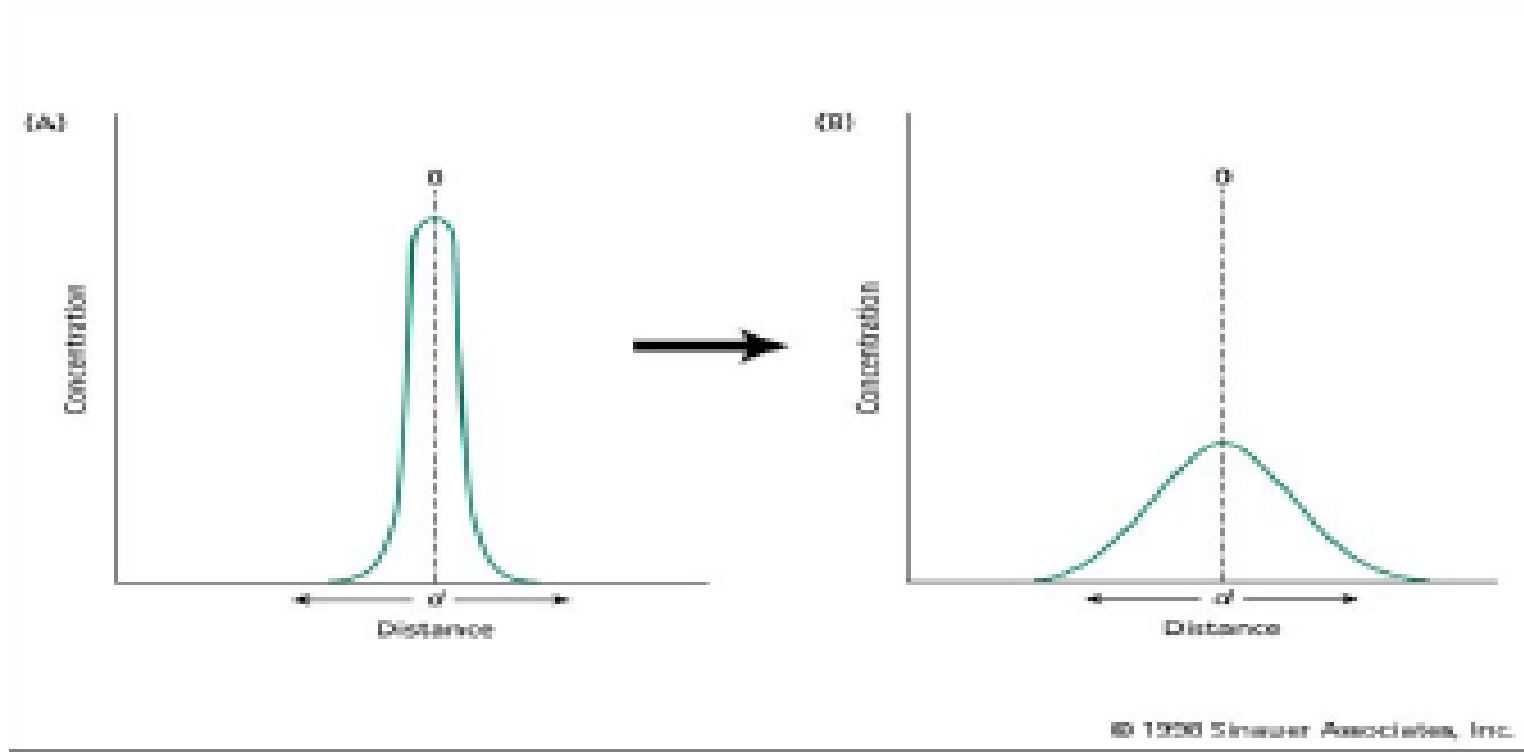
# Diffusione



Movimento **spontaneo** da zone a maggiore verso zone a minore concentrazione

Veloce nei gas, intermedia nei liquidi, lenta nei solidi

# Gradiente di concentrazione



- La velocità di trasporto per diffusione è direttamente proporzionale al gradiente di concentrazione: questa diminuisce nettamente all'aumentare della distanza (a).
- Ad un tempo successivo la distanza delle molecole dall'origine aumenta e la pendenza diminuisce (b).
- La diffusione è efficace a brevi distanze e molto lenta a lunghe distanze



# Trasporto attraverso una membrana

- Diffusione semplice
- Diffusione facilitata
- Trasporto attivo

- **Flusso di massa**

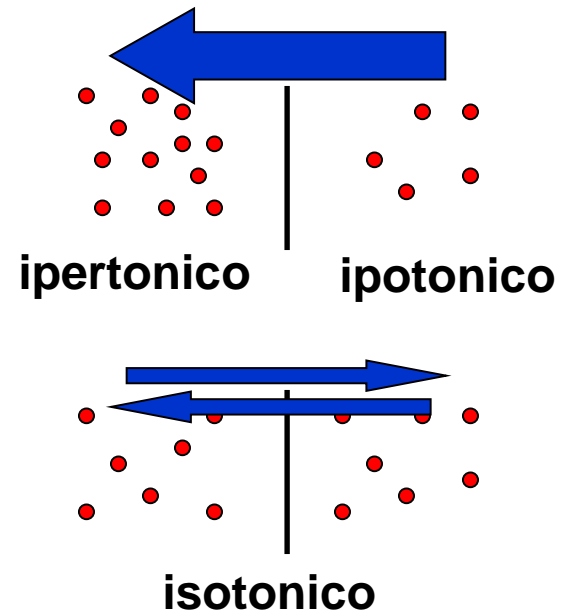
- Spostamento dell'acqua e dei soluti in essa disciolti in risposta ad un gradiente di pressione
  - nei pori del suolo
  - dal suolo alla pianta
  - nei vasi xilematici e nei tubi floematici.
- 
- Il flusso di massa è ideale per il trasporto a lunga distanza perchè è molto più veloce della diffusione

• **Osmosi**

# OSMOSI

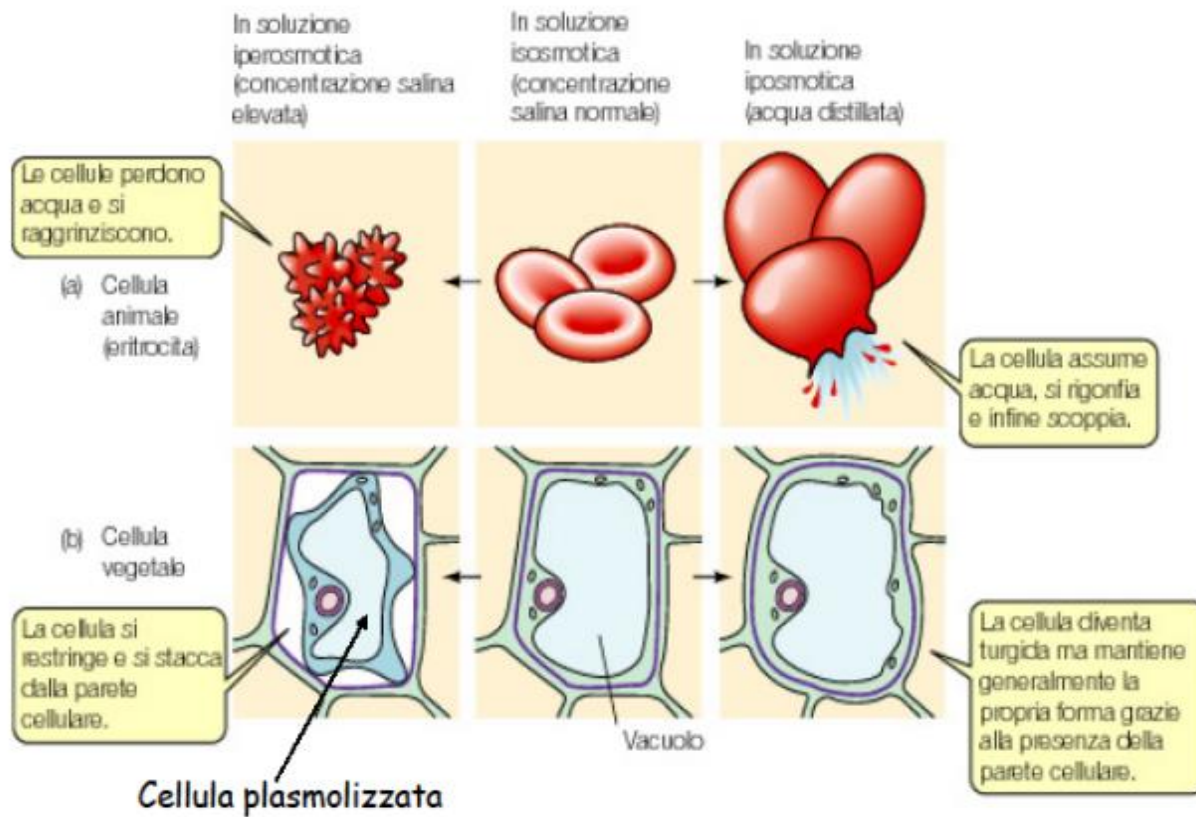
Diffusione dell'acqua attraverso una membrana semipermeabile tra l'interno e l'esterno di una cellula da una zona a più bassa concentrazione di soluti (alto potenziale idrico) ad una più alta (basso potenziale idrico), sino all'equilibrio.

- Non è importante il tipo di molecola che compone il soluto (ioni o grosse molecole), ciò che guida la diffusione dell'acqua è la loro quantità.
- Vi sono 3 condizioni:



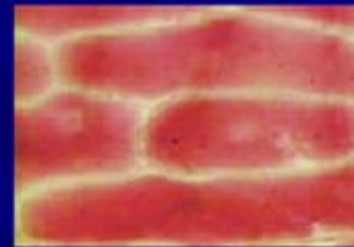
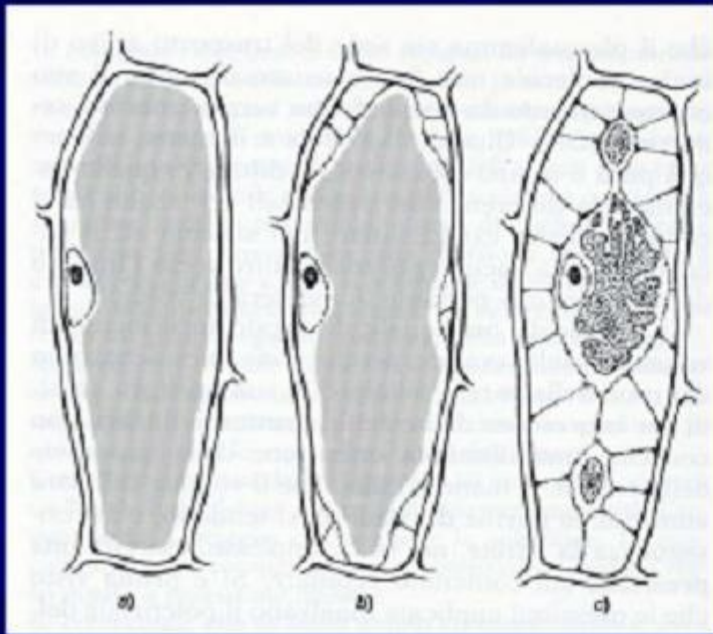
**Le cellule vegetali si comportano  
come osmometri naturali**

# PLASMOLISI



# PLASMOLISI

plasmolisi. Essa si determina quando la cellula è posta in una soluzione ipertonica



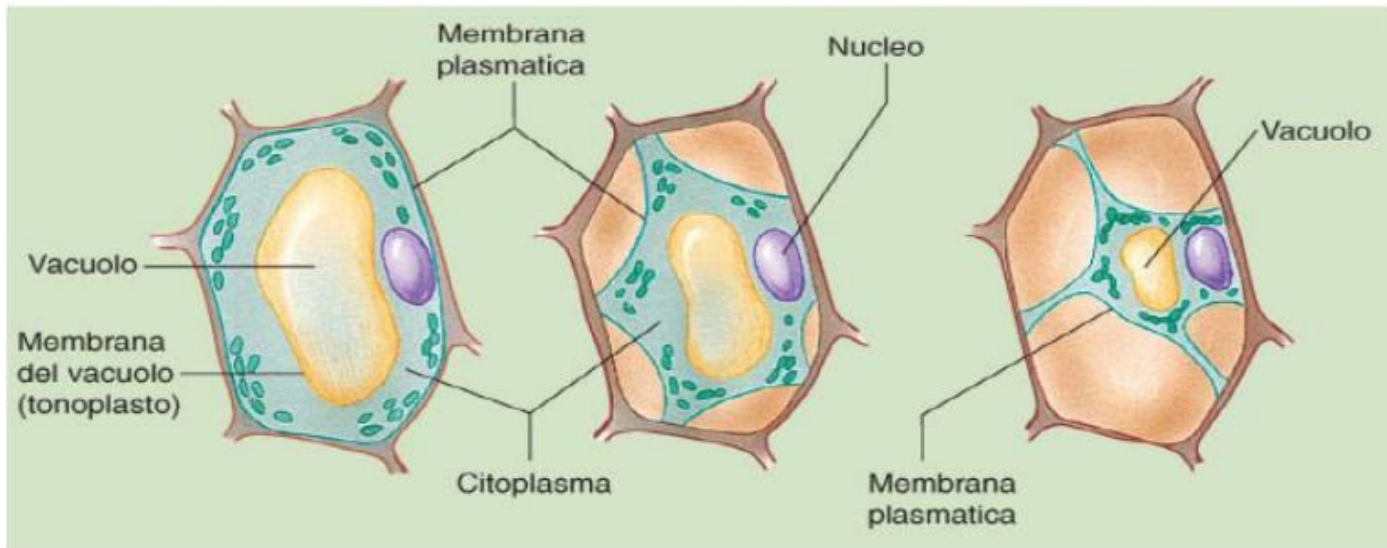
soluzione ipertonica





.Per una cellula vegetale la condizione di **turgore** costituisce lo stato ottimale per svolgere tutte le attività vitali

.La condizione opposta si dice **appassimento**. Una cellula appassita è in deficit di acqua



# • Potenziale idrico

# $\Psi_w$

- Il potenziale idrico è la differenza fra il potenziale chimico dell'acqua pura uguale a 0 in condizioni standard (p atm) e il potenziale chimico dell'acqua in ogni punto di un sistema.
- Aggiungendo soluti all'acqua, la soluzione avrà un potenziale più basso (più negativo)
- Potenziale dell'acqua pura = 0
- Potenziale dell'acqua non pura < 0

# A cosa serve la misura del $\Psi_w$

- . Serve a definire la direzione del flusso idrico attraverso le membrane cellulari, i tessuti e gli organi della pianta
- . Serve a valutare lo stato idrico della pianta
- . L'altezza di riferimento è la base della pianta (per studi su tutta la pianta) o il livello del tessuto (per studi sul movimento dell'acqua a livello cellulare)

$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p + \Psi_g$$

$\Psi_s$  potenziale dei soluti (osmotico)

$\Psi_p$  pressione idrostatica di una soluzione

$\Psi_g$  la pressione che spinge l'acqua verso il basso nel suolo è il potenziale di gravità ( $g$ ). E' trascurabile se si considera il trasporto dell'acqua a livello cellulare.

# Potenziale dei soluti $\Psi_s$

Considera l'effetto sul potenziale idrico della presenza dei soluti

Questi aumentano l'entropia, abbassano l'energia libera e rendono negativo il potenziale idrico

E' indipendente dalla natura del soluto

# Potenziale di pressione $\Psi_p$

- Rappresenta la pressione idrostatica della soluzione
- Pressioni positive innalzano  $\Psi_w$
- Pressioni negative lo abbassano
- Pressione positiva: turgore
- Pressione negativa: tensione

# Potenziale di gravità $\Psi_g$

- La gravità fa muovere l'acqua verso il basso, a meno che una forza opposta la contrasti
- Non è considerata nel trasporto dell'acqua a livello cellulare



# Potenziale idrico della cellula vegetale

- Il potenziale idrico complessivo di una cellula vegetale è dato dalla somma algebrica di due componenti:

$$\Psi_{w \text{ cell}} = -\Psi_s + \Psi_p$$

Se la cellula è completamente **turgida**

$\Psi_{w \text{ cell}} = 0$  in quanto  $\Psi_s = \Psi_p$  si equivalgono come valore assoluto, ma hanno segno opposto.

Il vacuolo ha l'importante compito di richiamare acqua

# Potenziale idrico del suolo

$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p + \Psi_g + \Psi_m$$

I soluti presenti nei liquidi circolanti nel suolo sono diluiti, pertanto il potenziale osmotico ( $\Psi_s$ ) è generalmente trascurabile ( $\approx -0,02$  MPa).

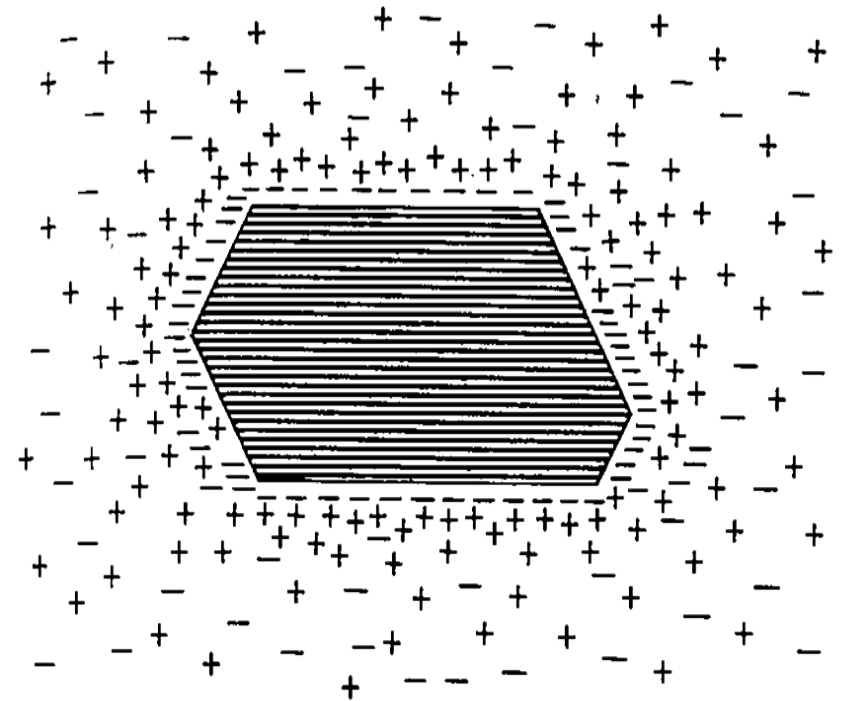
Nei suoli salini può essere significativo ( $-0,2$  MPa).

# Potenziale di matrice $\Psi_m$

Correlato a molecole di acqua adsorbite alla parete cellulare, alle strutture disidratate (semi) e alle particelle del suolo con superficie carica o polare

Esprime la tendenza della matrice ad assumere altre molecole di acqua

Dipende dal contenuto idrico del suolo ed è generalmente negativo ( $\Psi_m < 0$ ) (l'acqua del suolo è sotto tensione) tranne che nei suoli saturi di acqua, in cui  $\Psi_m = 0$  MPa



a

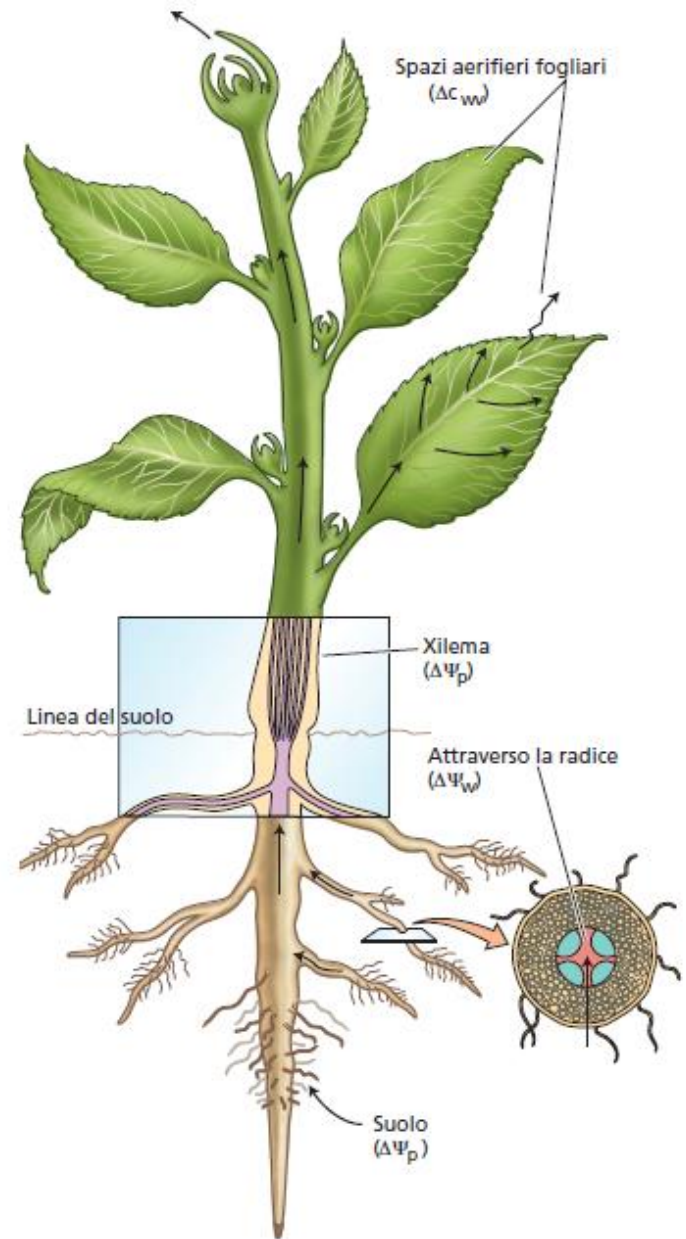
van der HONERT (1948)

CONTINUUM

SUOLO – PIANTA- ATMOSFERA

La pianta è un conduttore d'acqua fra  
suolo ed atmosfera

L'acqua si muove  
sempre verso  
potenziali idrici  
più negativi



**FIGURA 2.1** Principali forze motrici per il flusso d'acqua dal suolo all'atmosfera passando attraverso la pianta: differenze nella concentrazione del vapore d'acqua ( $\Delta C_{wv}$ ), pressione idrostatica ( $\Delta \Psi_p$ ) e potenziale idrico ( $\Delta \Psi_w$ ).

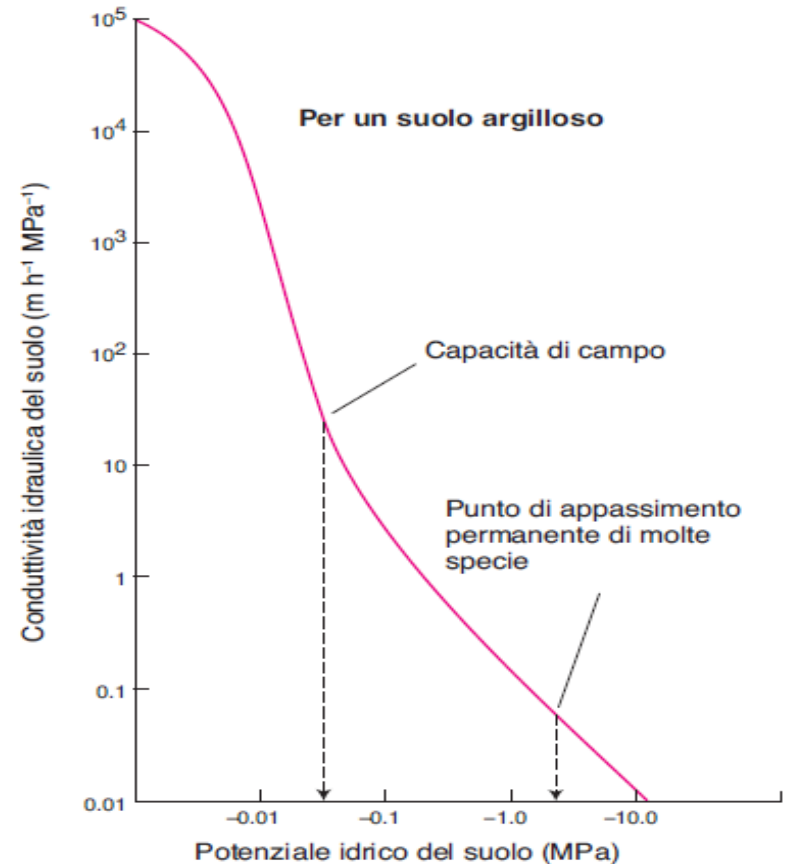
# **SUOLO, RADICI, ASSORBIMENTO**

# Composizione del terreno

- |   | <b>Dimensioni<br/>particelle</b>   |
|---|--|
| <b>Fase solida:</b><br>inorganica, humus,<br>organica         |  |
| <b>Fase liquida:</b><br>acqua con ioni disciolti              | Sabbia 2 mm-20 $\mu\text{m}$<br>Limi 20 $\mu\text{m}$ - 2 $\mu\text{m}$<br>Argille < 2 $\mu\text{m}$ |
| <b>Fase gassosa:</b><br>aria ( $\text{CO}_2$ , $\text{O}_2$ ) |  |

# Conduktivität idraulica

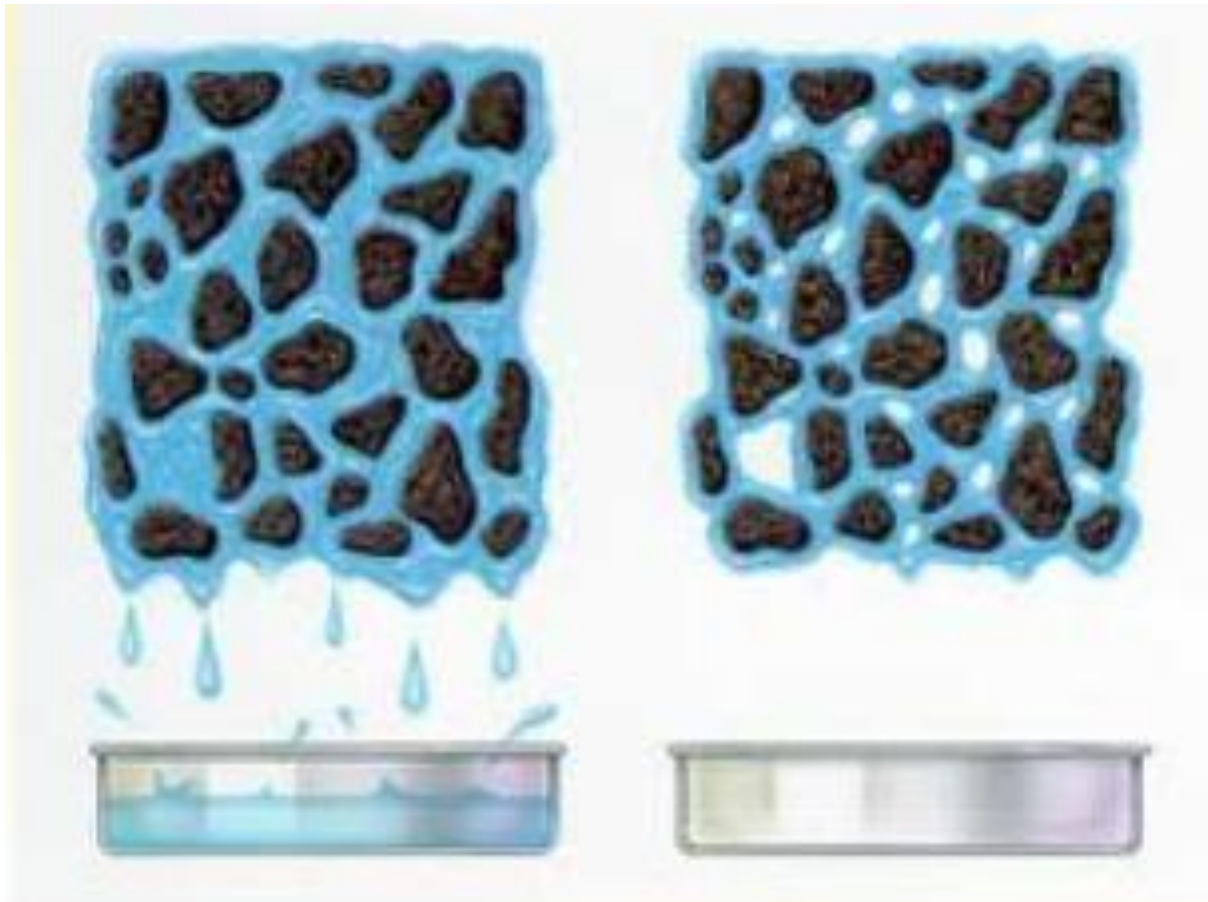
- Misura la facilità con la quale l'acqua si muove nel terreno
- Più elevata in suoli sabbiosi rispetto a quelli argillosi
- L'acqua aderisce alle particelle del suolo
- Se entra l'aria e il suolo tende alla siccità, l'acqua ha più difficoltà a muoversi e la conduktivität idraulica decade



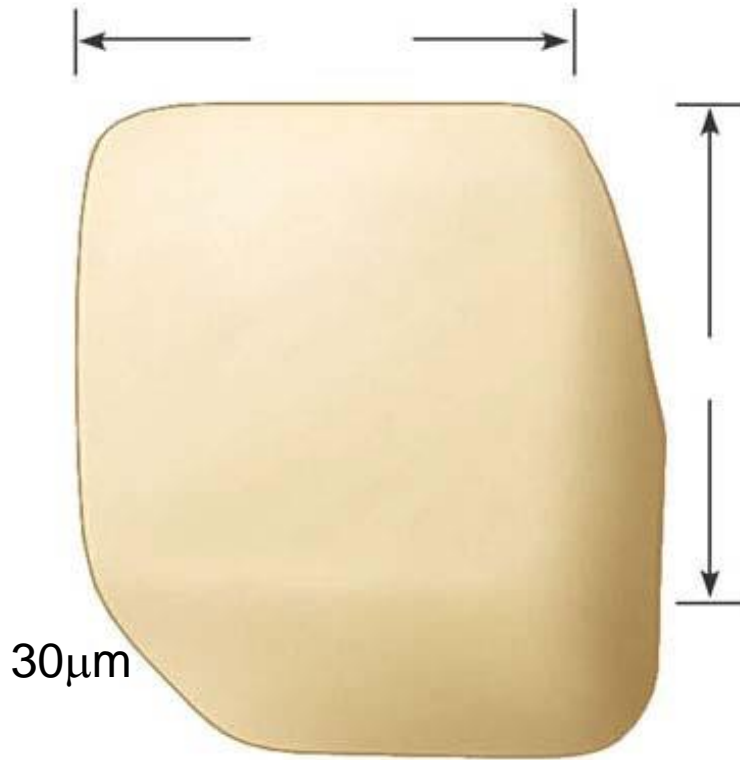


# Capacità di campo

Quantità di acqua trattenuta dal terreno dopo drenaggio per gravità dopo 2-3 giorni di pioggia abbondante

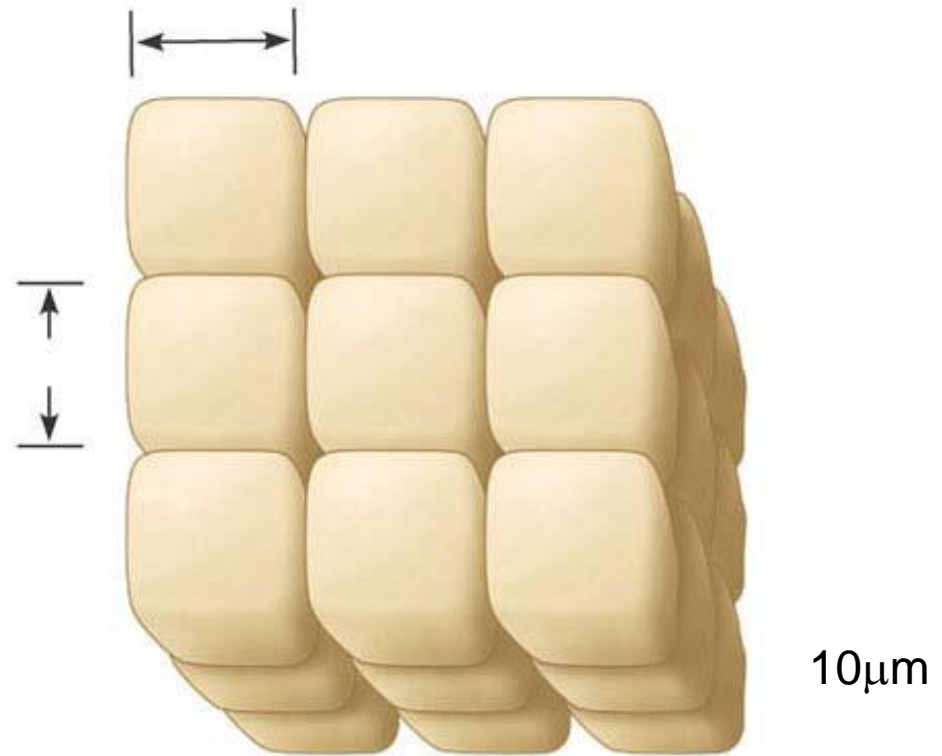


# I colloidi forniscono una grande area specifica superficiale



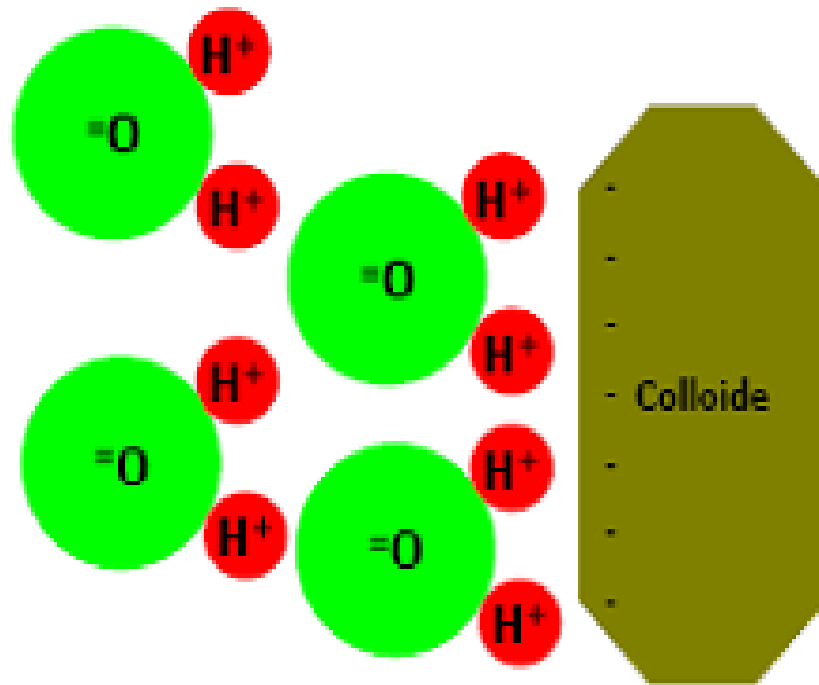
30 $\mu\text{m}$

Massa 1gr, lato 30  $\mu\text{m}$   
Area superficiale  
= 5400  $\mu\text{m}^2/\text{g}$   
(30x30x6)

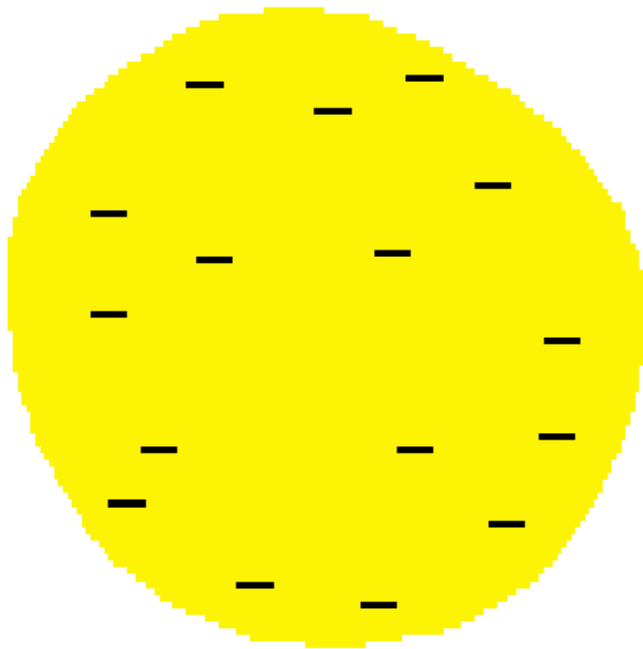


10 $\mu\text{m}$

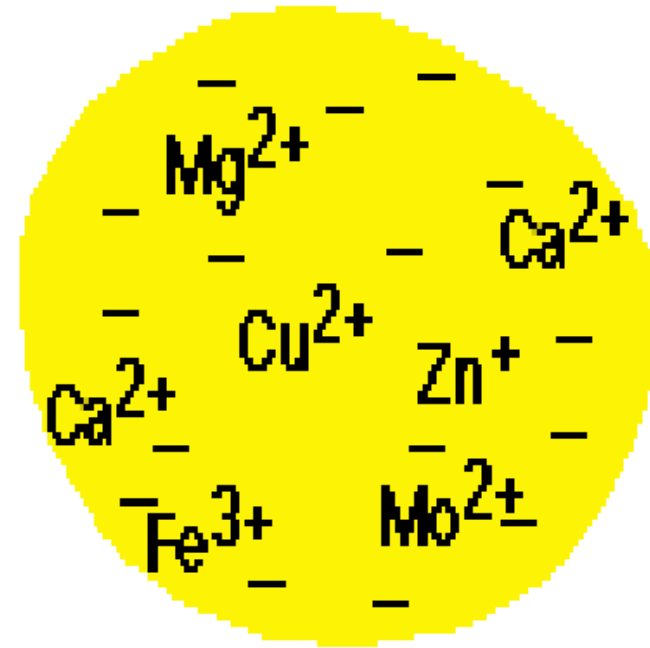
Cubo diviso in particelle colloidali  
di 10 $\mu\text{m}$  di lato  
Area superficiale complessiva  
16200  $\mu\text{m}^2/\text{g}$   
(10x10x6x27)



# I colloidi hanno un grande numero di cariche superficiali negative

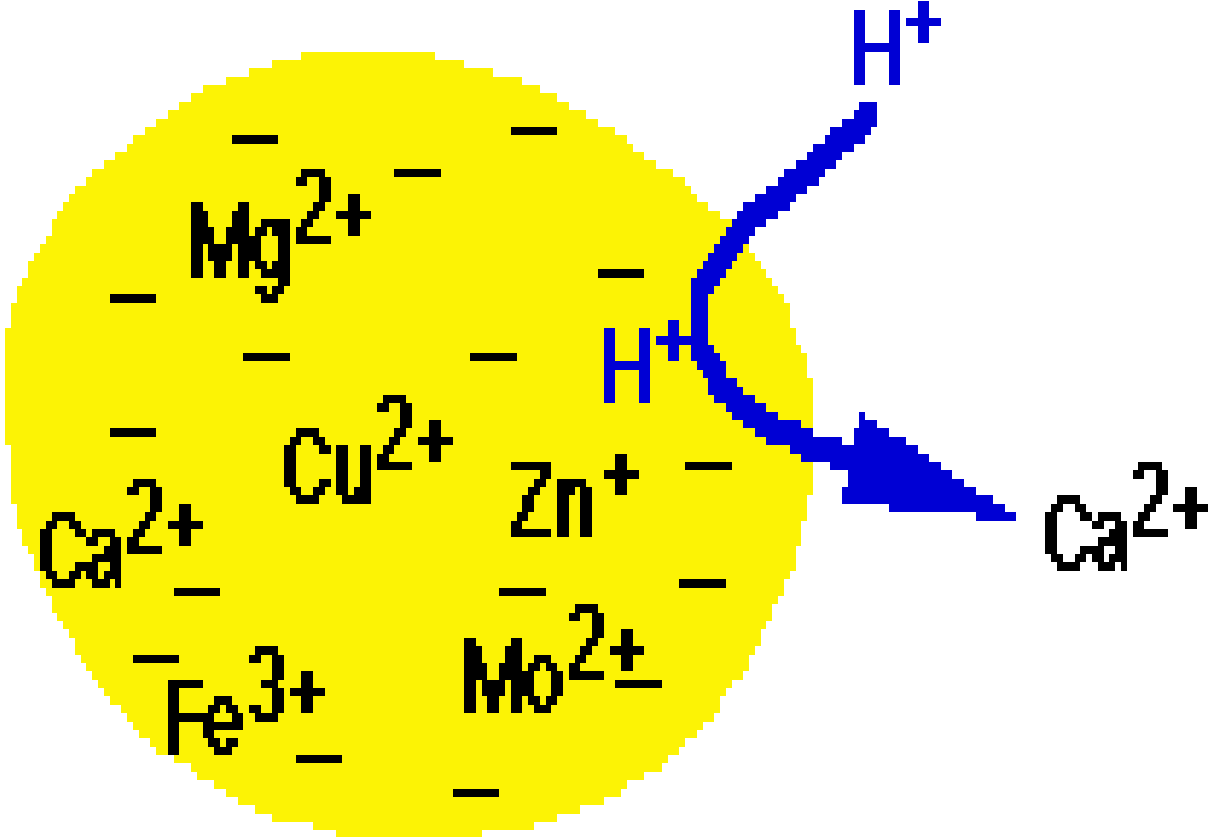


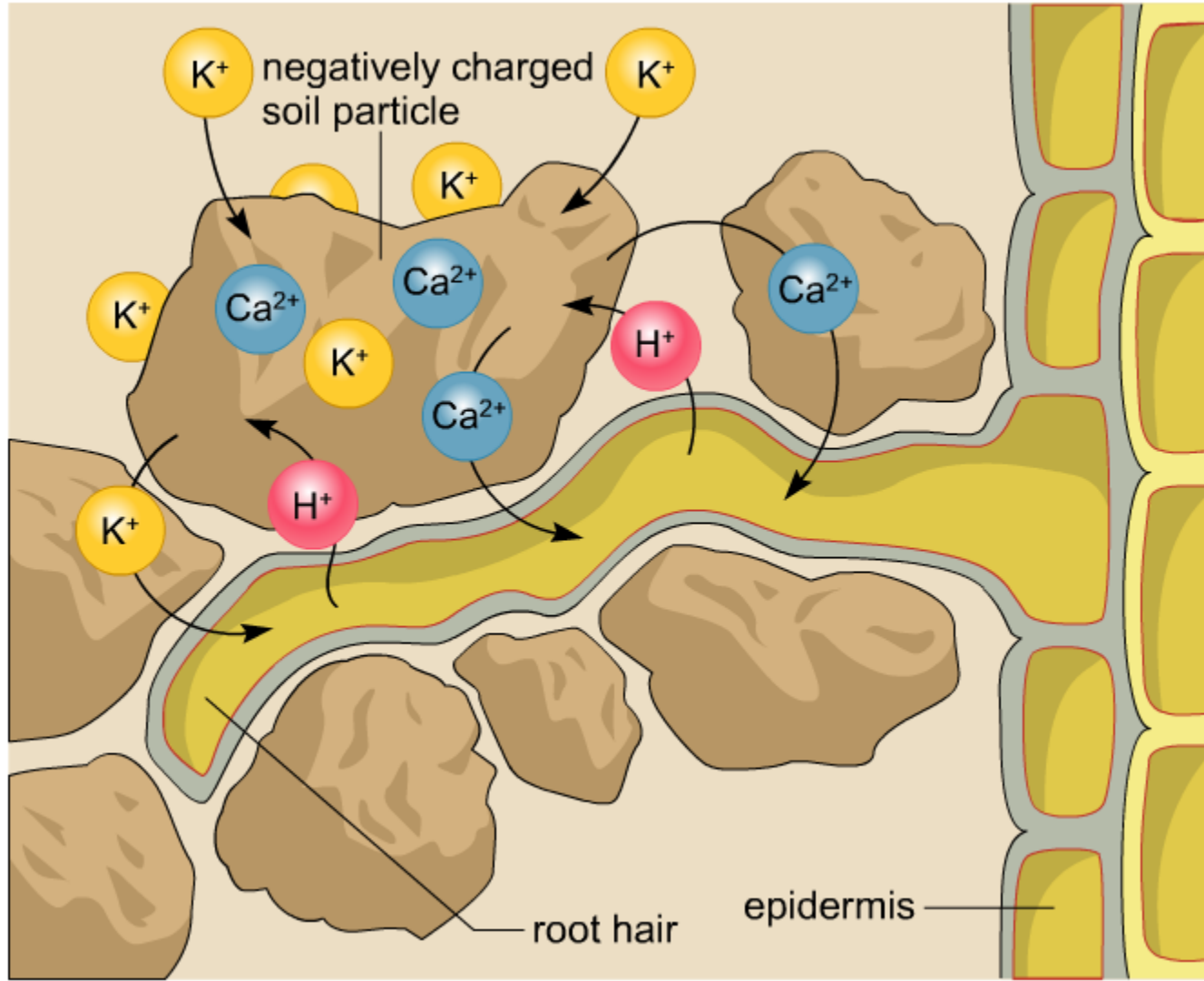
Le particelle di argilla del suolo sono rivestite da cariche negative



Gli ioni con cariche positive sono attratti sulla superficie delle particelle di argilla

# Acidificazione del suolo e scambio cationico





# I colloidi assorbono reversibilmente cationi

- L'affinità di legame dipende dalla serie liotropica:
- $\text{Al}_3^+ > \text{H}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+ = \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+$
- $\text{Al}_3^+$  maggiore affinità di legame
- $\text{Na}^+$  minore
- La scambiabilità dello ione è l'inverso della serie liotropica

# **ASSORBIMENTO NELLA RADICE**



# Movimento degli elementi nutritivi nel suolo

## Flusso di massa

- Elementi trascinati verso le radici dall'acqua che si muove nel suolo.
- L'assorbimento dell'acqua da parte delle radici determina una carenza di acqua e un abbassamento del  $\Psi_p$  che richiama acqua dalle zone vicine

## Diffusione

- Elementi si spostano da una zona ad elevata verso una a bassa concentrazione.
- L'assorbimento da parte delle radici genera un gradiente di concentrazione

# Assunzione elementi minerali

- Assorbimento da parte delle radici
- Associazione con funghi micorrizici
- Assorbimento da parte delle foglie (Cu, Fe, Mn)

# Funzioni delle radici

- Ancoraggio
- Accumulo carboidrati e altre molecole organiche
- Sito di sintesi (composti azotati, alcaloidi, ormoni)
- Assorbimento e trasporto di acqua e sali minerali per il resto della pianta

# Complessità dell'apparato radicale

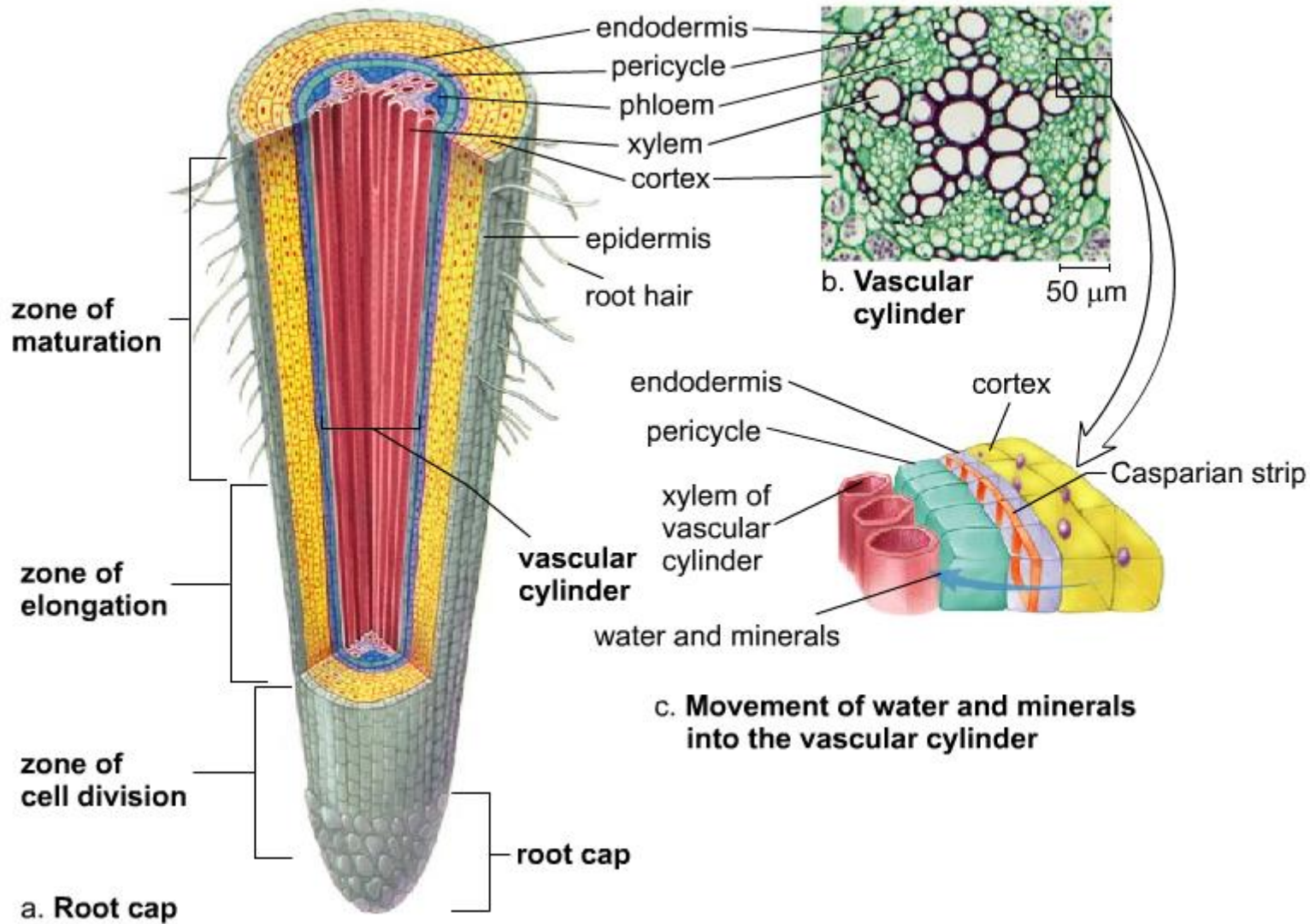
Decine di milioni in piante piccole, centinaia di milioni in alberi che possono sviluppare fino a 600 km di terminazioni

Lavorano in rete (come una rete informatica) in modo che la distruzione di una parte non incida sulla sopravvivenza della pianta

Rete fisica in cui le radici sono collegate anatomicamente e producono segnali.

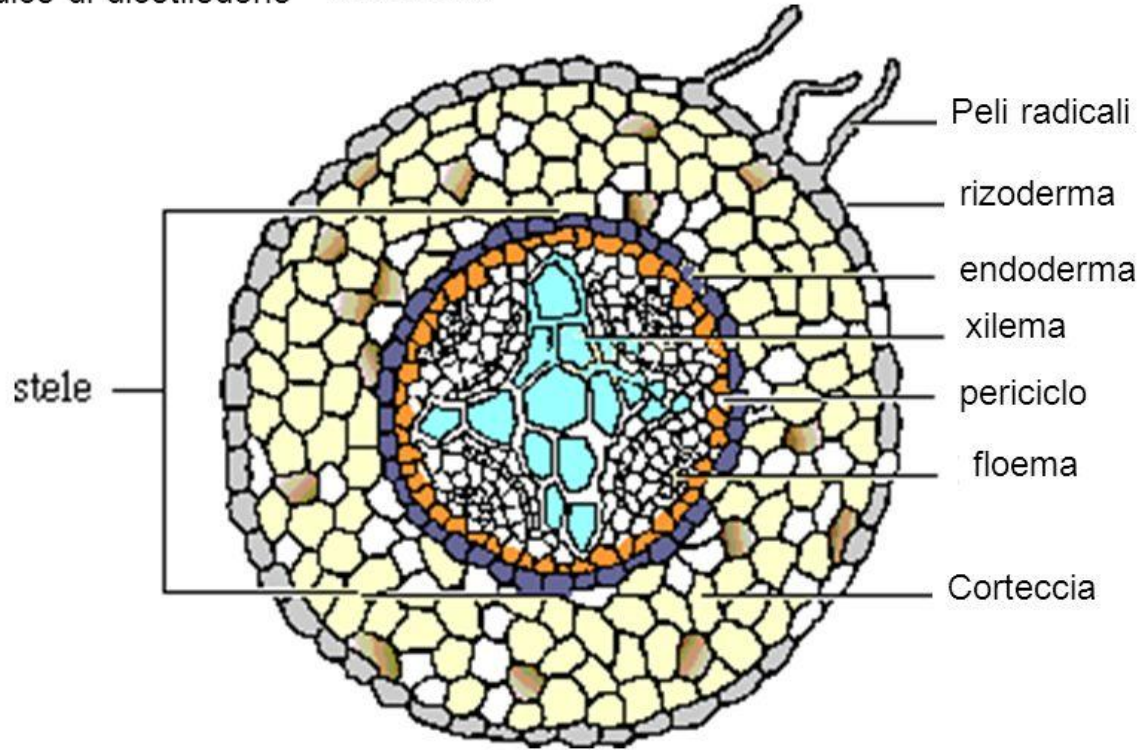
Sono **sensibili a un numero elevato di fattori**, tra cui la gravità, i campi elettromagnetici, misurano un numero elevatissimo di gradienti chimici, sono in grado di sentire la presenza di sostanze tossiche alla crescita a diversi metri di distanza.

# Molte specie investono più del 50% del loro peso in radici



# STRUTTURA TRASVERSALE DELLA RADICE

Radice di dicotiledone actinostele



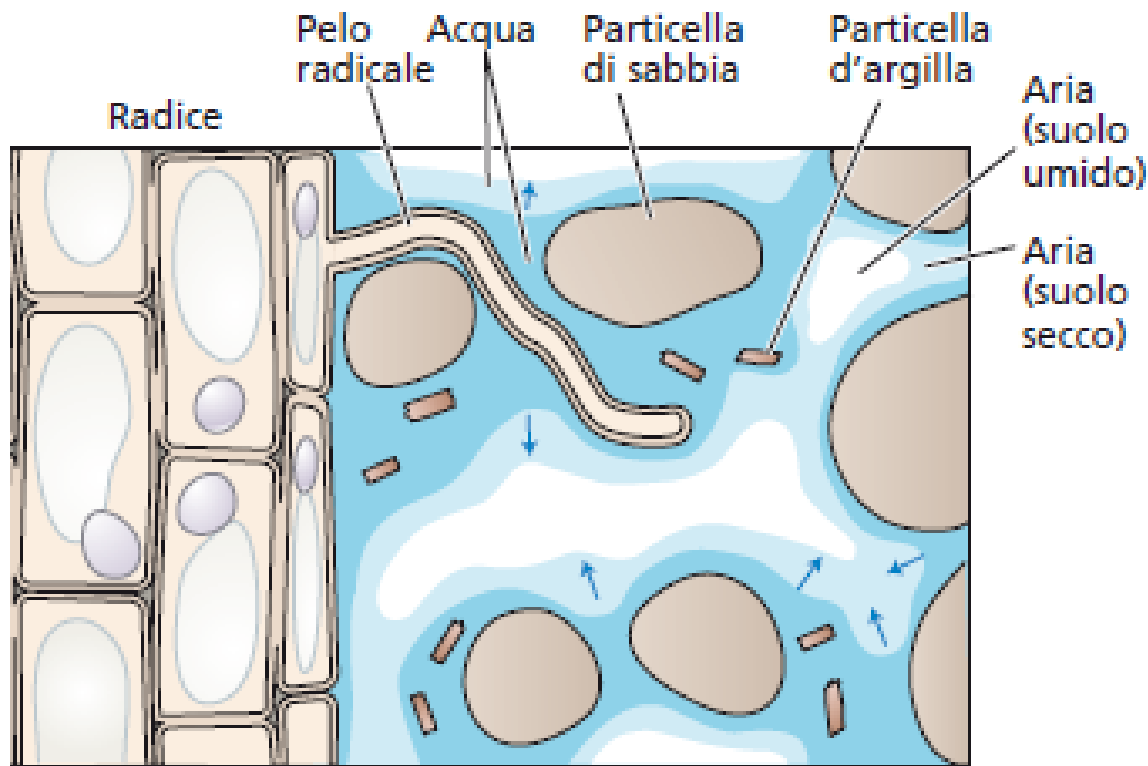
# I peli radicali



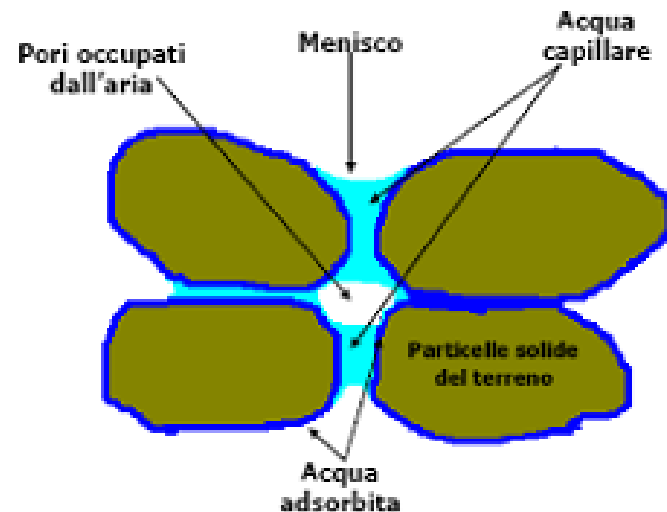
L'acqua entra nella radice attraverso i peli radicali (70% dell'area)

La superficie assorbente può aumentare di 1,5 - 20 volte

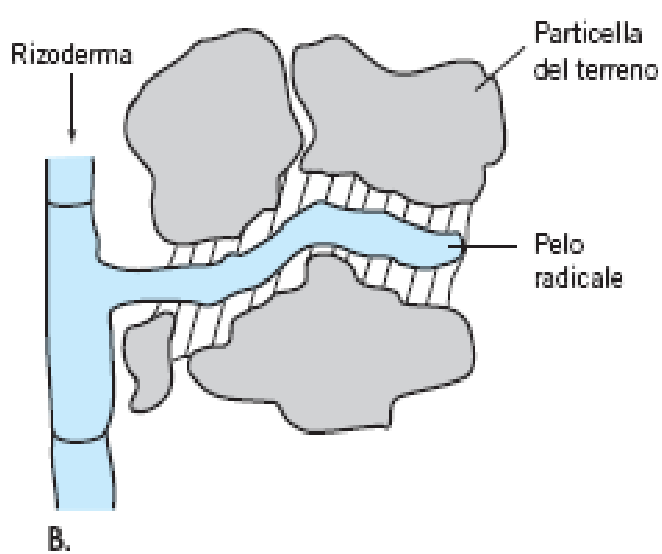
Assorbimento di elementi minerali a bassissime concentrazioni



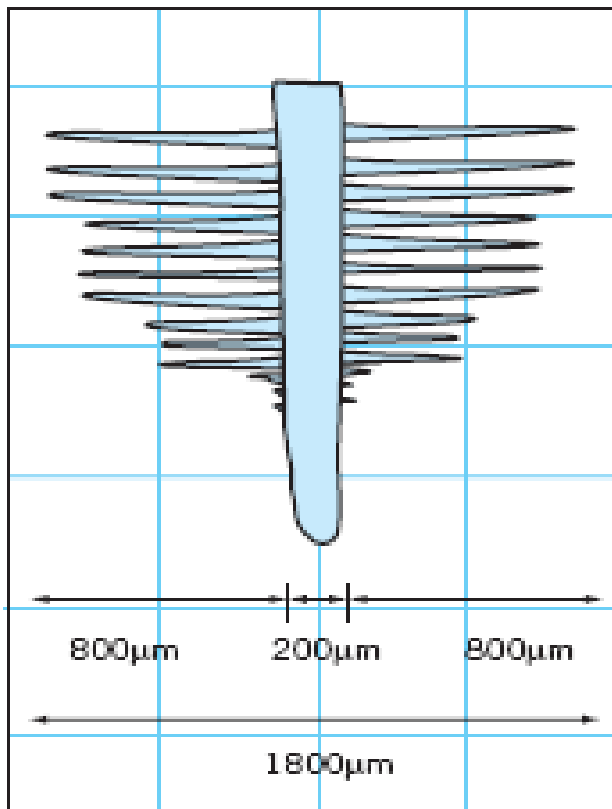
- Se il contenuto di acqua diminuisce, l'acqua arretra negli spazi intercellulari sempre più e sviluppa uno  $\Psi_p$  molto negativo







- Penetrano negli spazi capillari



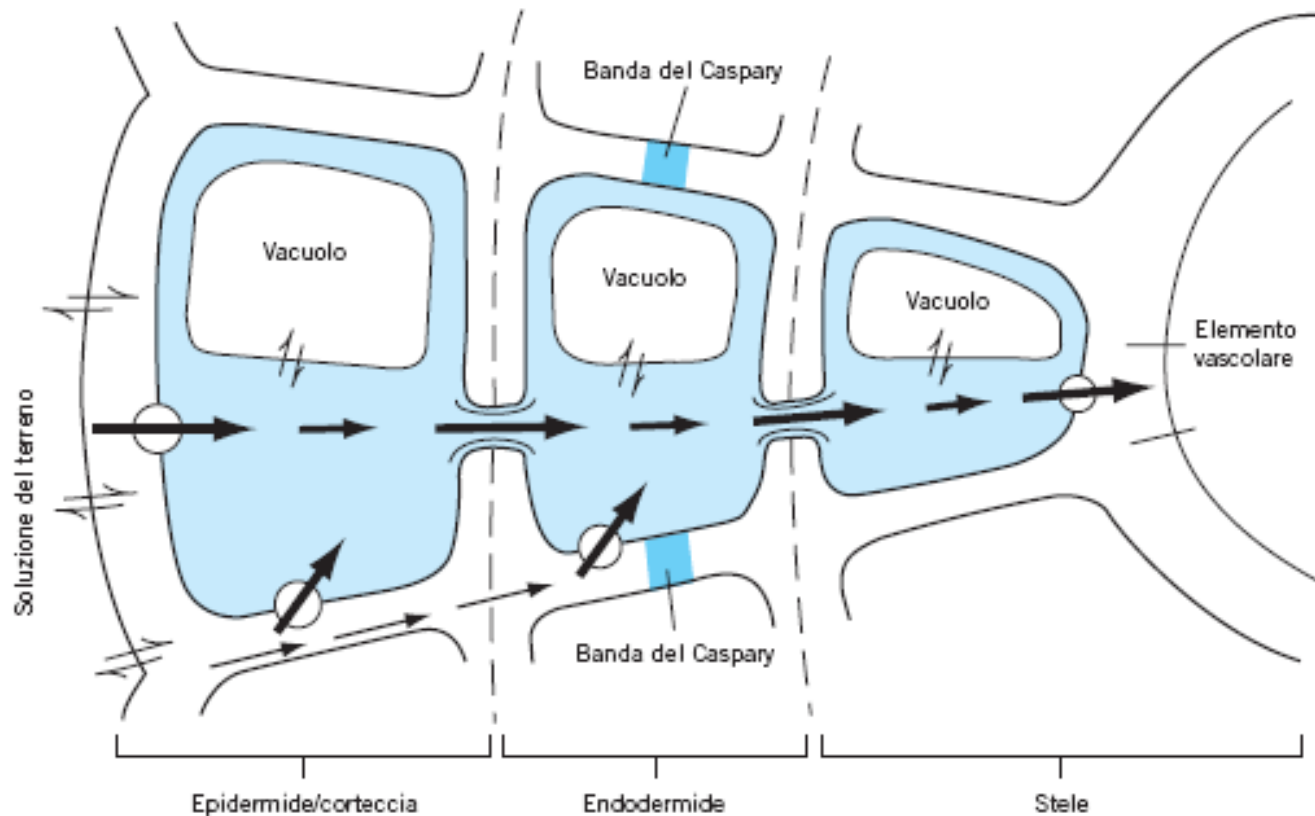
- Aumentano di diverse volte il volume da cui la radice può estrarre acqua e sali minerali

- L'assorbimento di acqua ( $A_w$ ) da parte della radice è possibile solo se esiste un'adeguata differenza di potenziale idrico ( $\Delta\psi$ ) fra il terreno e i tessuti della radice

$$A_w = S \frac{\psi_{\text{radice}} - \psi_{\text{suolo}}}{\Sigma \text{ resistenze}}$$

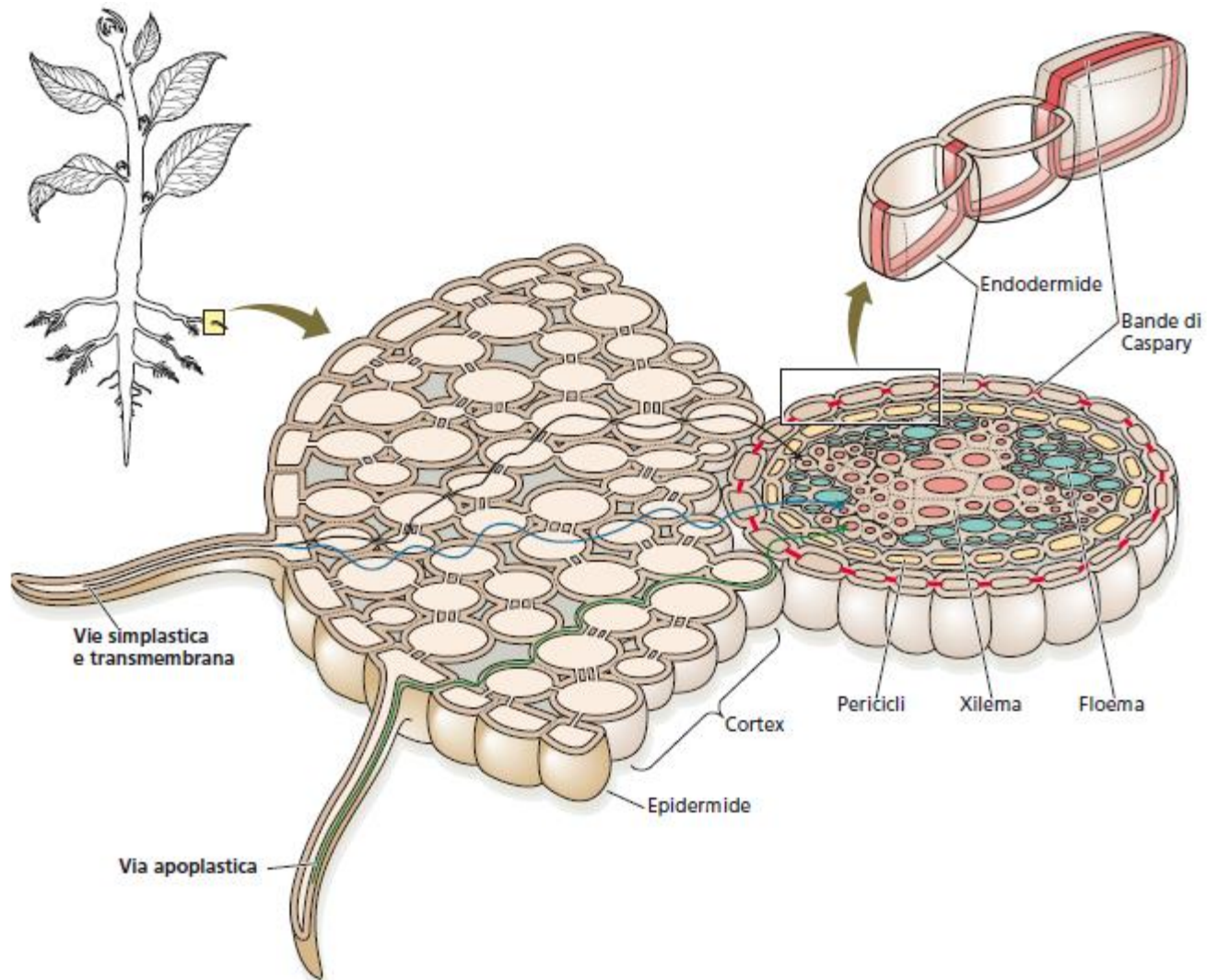
è inversamente proporzionale alla  $\Sigma$  delle resistenze e proporzionale all'area della superficie radicale assorbente (S)

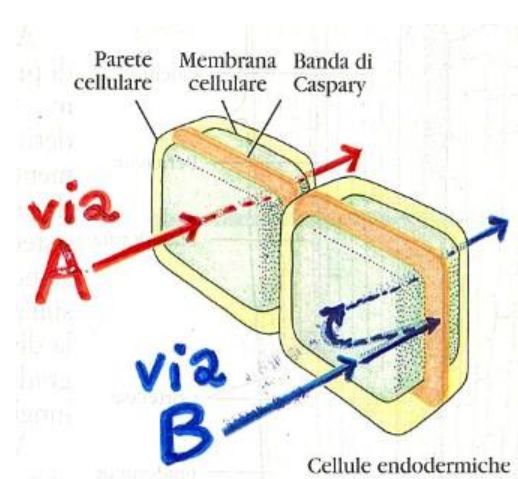
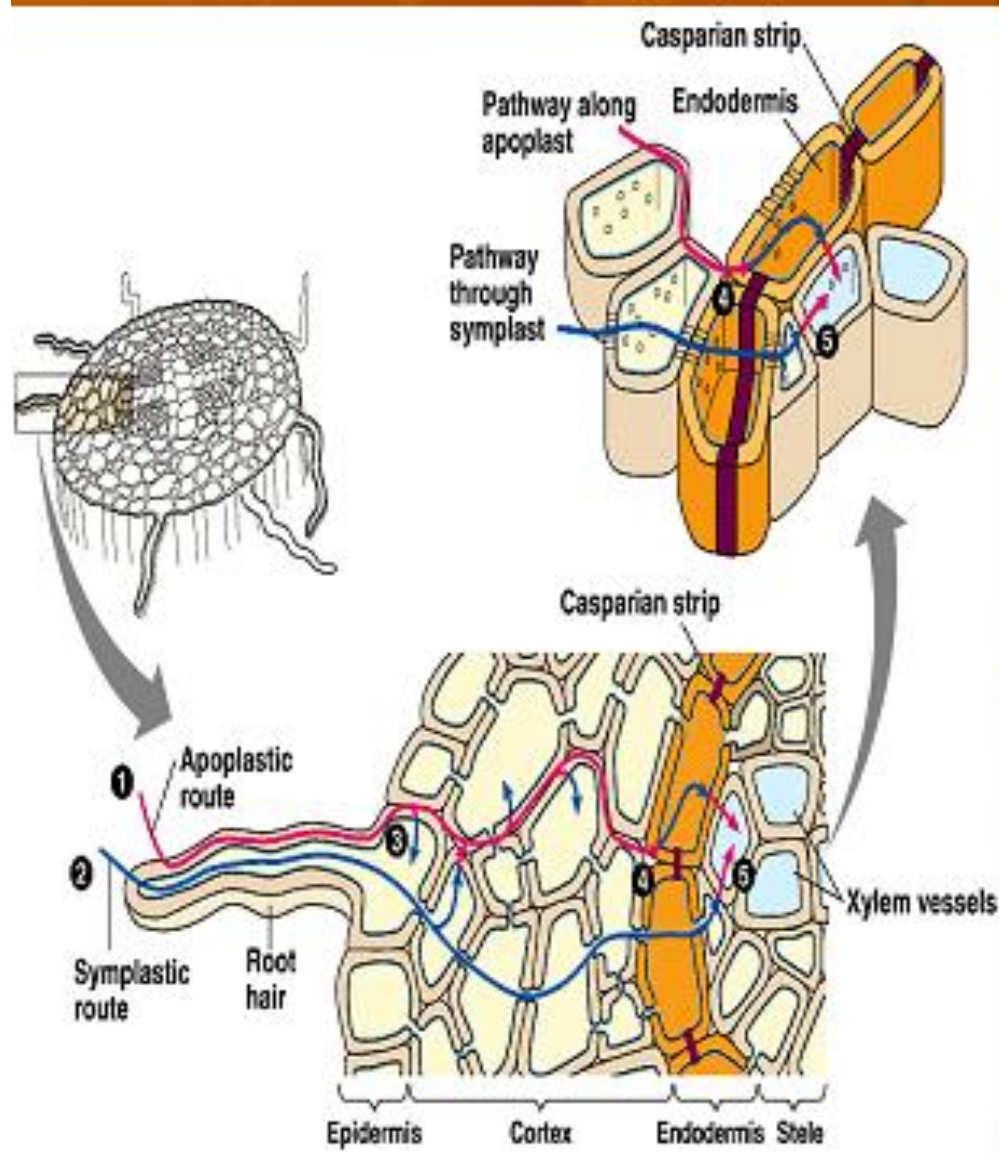
# Movimento di acqua e ioni all'interno della radice



**FIGURA 13.13** Le vie radiali del movimento degli ioni attraverso la radice. Le frecce indicano le vie alternative che possono essere seguite dagli ioni nutritivi durante il loro movimento dalla soluzione del terreno agli elementi vascolari nella stele. Le frecce con il circolo indicano un trasporto attivo di ioni attraverso le membrane plasmatiche.

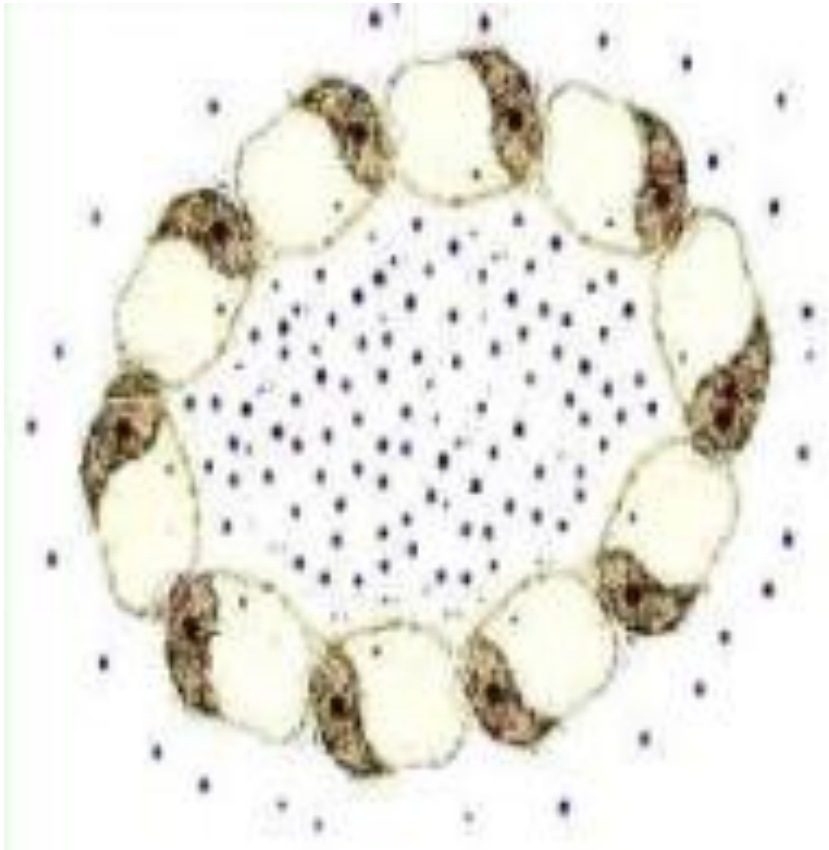
# Via apoplastica, simplastica e transmembrana





Ioni minerali e soluti vengono concentrati nello xilema e lo rendono ipertonico rispetto ai tessuti esterni in modo da garantire un flusso continuo di acqua

# Funzione della Banda del Caspary



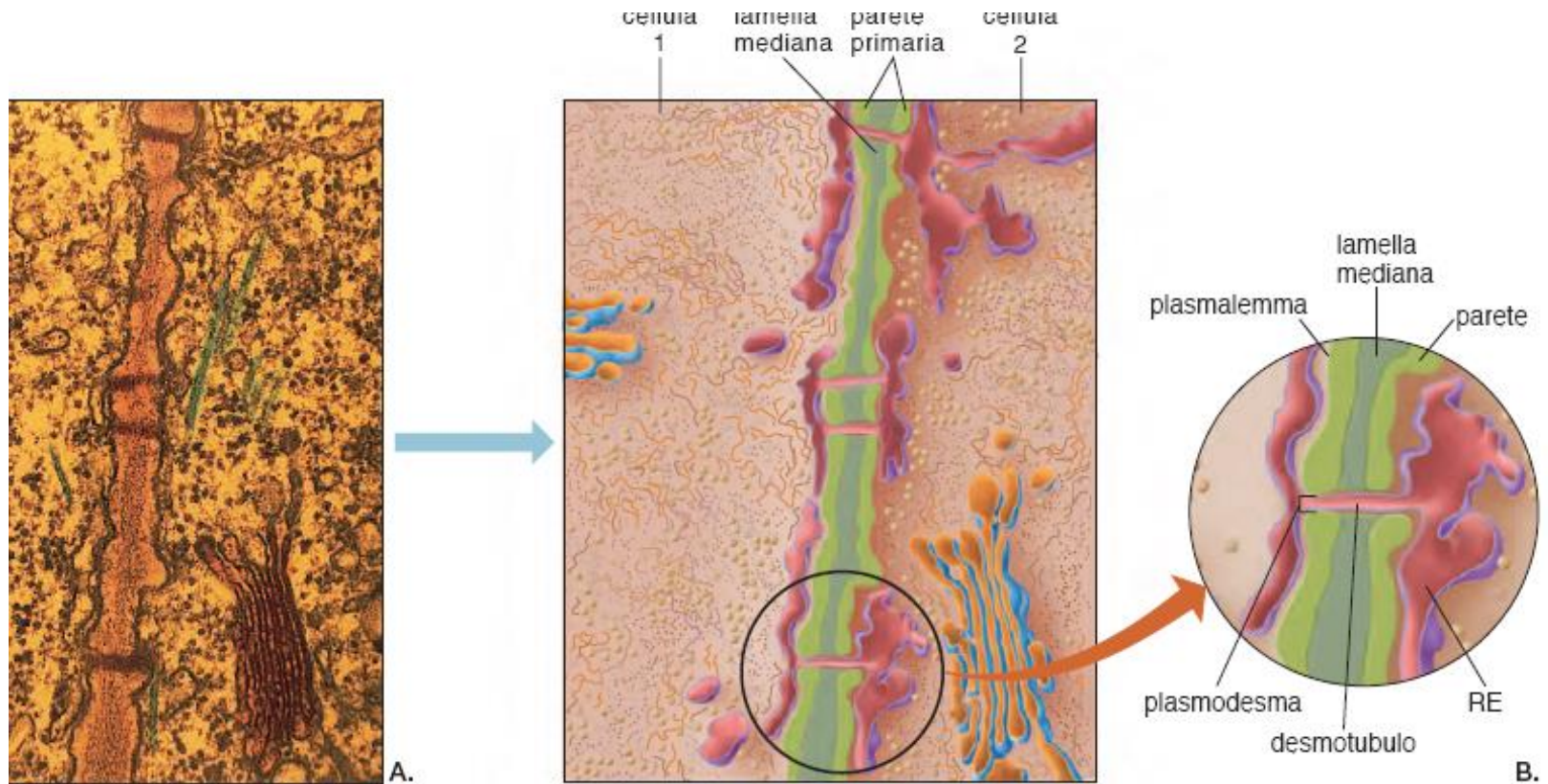
. Accumulo contro gradiente



. Filtro selettivo



# Plasmodesmi



**Figura 3.20** A. Schema rappresentante due cellule adiacenti connesse da un plasmodesma. B. Schema delle due cellule adiacenti che descrive la localizzazione del reticolo endoplasmatico e un desmotubulo. (A. *Biophoto Assoc/Photo Researchers, Inc.*)

Ruolo: far comunicare cellule adiacenti

# **Nutrizione minerale**



# Nutrizione minerale

- Studio di come la pianta si procura, metabolizza e utilizza gli elementi minerali
- MINERALE: elemento inorganico
- NUTRIENTE: sostanza necessaria alla pianta per sopravvivere o per sintetizzare composti organici

- La membrana plasmatica delle cellule della radice è la prima barriera che gli elementi minerali devono superare per entrare nella pianta ed essere poi distribuiti a tutti gli organi

# Trasporto di anioni

- Entrano attraverso un meccanismo di trasporto attivo grazie a proteine carrier in un simporto con  $H^+$
- Azoto: Nitrato simporto  $2H^+/NO_3^-$
- Zolfo: Solfato simporto  $3H^+/SO_4^{2-}$
- Fosforo: Ione ortofosfato simporto  $3H^+/PO_4^{3-}$

# Trasporto di cationi

- A basse concentrazioni nella rizosfera  $K^+$  entra nelle cellule radicali mediante un trasporto attivo con un carrier ad alta affinità (**simporto**  $H^+/K^+$ ) che porta a concentrazioni citoplasmatiche più elevate dell'ambiente esterno
- $Na^+$  entra attraverso il plasmalemma ed il tonoplasto mediante un **antiporto**  $Na^+/H^+$  e così può essere accumulato nel vacuolo

# Destino degli ioni nella pianta

- Essere organicati
- Rimanere in forma inorganica (Na, Cl)
- Essere in parte organicati, in parte restare inorganici (fosforo inorganico: ortofostato, organico: ATP)
- Se sono organicati devono ritornare in forma inorganica alla morte dell'organismo
- Se restano inorganici possono entrare ed uscire dall'organismo

# **METODI DI CLASSIFICAZIONE DEGLI ELEMENTI NUTRITIVI**

- Quantità richiesta o presente in un tessuto
- Necessità metabolica del nutriente
- Funzione biochimica del nutriente
- Mobilità nella pianta

# (Epstein 1972)

Elemento senza il quale la pianta non compie il ciclo vegetativo e riproduttivo

Elemento non sostituibile da un altro in un costituente essenziale della pianta (Mg nella clorofilla)

Elemento di cui la pianta ha necessità diretta in un processo metabolico e non può essere sostituito dallo stesso presente ad es. in un sale impuro

# **Gli elementi essenziali si possono distinguere in**

Macronutrienti (% , > 1000 ppm;  
1% = 10000 ppm)

Micronutrienti (< 100 ppm, cioè di  
0,01%)

ppm =  $\mu\text{g g}^{-1}$  peso secco



**TABELLA 3.1****Concentrazioni adeguate di elementi nutritivi che possono essere richieste dai tessuti vegetali**

Elemento	Simbolo chimico	Concentrazione nella sostanza secca (% o ppm) <sup>a</sup>	Numero relativo di atomi rispetto al molibdeno
<b>Ottenuto dall'acqua o dal biossido di carbonio</b>			
Idrogeno	H	6	60.000.000
Carbonio	C	45	40.000.000
Ossigeno	O	45	30.000.000
<b>Ottenuto dal suolo</b>			
<b>Macronutrienti</b>			
Azoto	N	1,5	1.000.000
Potassio	K	1,0	250.000
Calcio	Ca	0,5	125.000
Magnesio	Mg	0,2	80.000
Fosforo	P	0,2	60.000
Zolfo	S	0,1	30.000
Silicio	Si	0,1	30.000
<b>Micronutrienti</b>			
Cloro	Cl	100	3.000
Ferro	Fe	100	2.000
Boro	B	20	2.000
Manganese	Mn	50	1.000
Sodio	Na	10	400
Zinco	Zn	20	300
Rame	Cu	6	100
Nickel	Ni	0,1	2
Molibdeno	Mo	0,1	1

Fonte: da Epstein, 1972, 1999.

<sup>a</sup>I valori degli elementi non minerali (H, C, O) e dei macronutrienti sono in percentuale. I valori dei micronutrienti sono espressi in parti per milione.

# RUOLO DEGLI ELEMENTI ESSENZIALI

N	Costituente di amminoacidi, proteine, acidi nucleici, nucleotidi
P	Componente di zuccheri fosfati, acidi nucleici, nucleotidi, reazioni in cui è coinvolto ATP
K	Cofattore per più di 40 coenzimi. Coinvolto nei movimenti stomatici
S	Componente di alcuni amminoacidi, del Coenzima A
Ca	Costituente della lamella mediana e delle pareti cellulari. Agisce da messaggero secondario nella regolazione metabolica

Mg	Componente della clorofilla. Richiesto da alcuni enzimi
Fe	Costituente di citocromi e di ferro proteine coinvolte nella fotosintesi, nella fissazione dell'azoto e nella respirazione
Mn	Richiesto per l'attività di alcuni enzimi e per lo sviluppo fotosintetico dell'ossigeno
Mo	Costituente della nitrogenasi e della nitrato riduttasi. Fondamentale per la fissazione dell'azoto
Cl	Richiesto per le reazioni fotosintetiche che riguardano lo sviluppo dell'ossigeno

# **Gli elementi non essenziali si dividono in:**

- Stimolanti
- Nocivi
- Indifferenti

# Elementi stimolanti

- **Cobalto:** fa parte della cobalammina (Vit B12 e derivati), componente degli enzimi in microorganismi azoto-fissatori
- **Selenio:** esistono specie accumulatrici da foraggio.

# Elementi tossici

- Un eccesso di un elemento può indurre carenze di altri: un eccesso di Mn determina carenze di Fe, Mg e Ca perché Mn compete con Fe e Mg per l'assorbimento e con Ca perché ne impedisce la traslocazione verso l'apice.
- Un eccesso di Cu e di Zn inibisce la crescita radicale

# Studio nutrizione minerale

1) **Analisi del suolo:** indica le concentrazioni degli elementi potenzialmente disponibili

2) **Analisi dei tessuti vegetali:** permette di stabilire la relazione tra l'accrescimento della pianta e il contenuto di minerali in un tessuto

# Studio della nutrizione minerale

**.Metodi analitici**

**.Metodi sintetici**

Colture idroponiche

Colture a pellicola

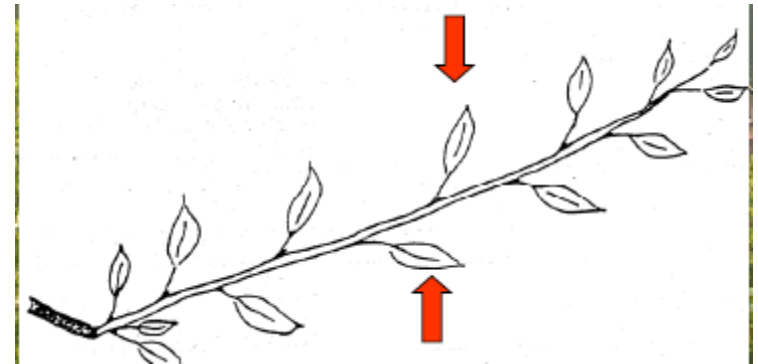
Colture aeroponiche



# **Metodi analitici**

# Analisi del contenuto di una pianta

- Foglie fresche (100 g)
- Stufa 80°C 24h
- Peso secco (18 g; 50% zuccheri, sostanze organiche)
- Stufa 250°C
- Ceneri (1,5 g)
- (no C,H,O; macroelementi, microelementi)



# Analisi delle ceneri

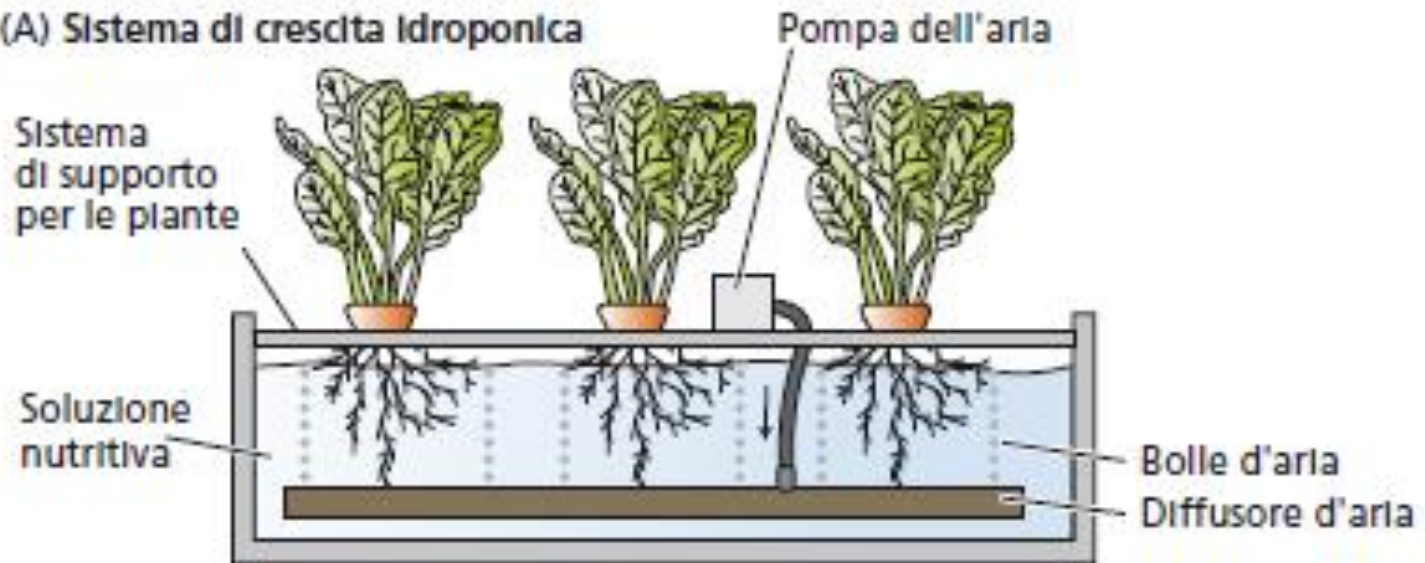
Influenzate da:

- Porzione della pianta
- Età
- Cambiamenti stagionali
  
- Tutti gli elementi chimici si rinvencono nelle ceneri, ma solo 30 in tutte le piante

# Metodi sintetici

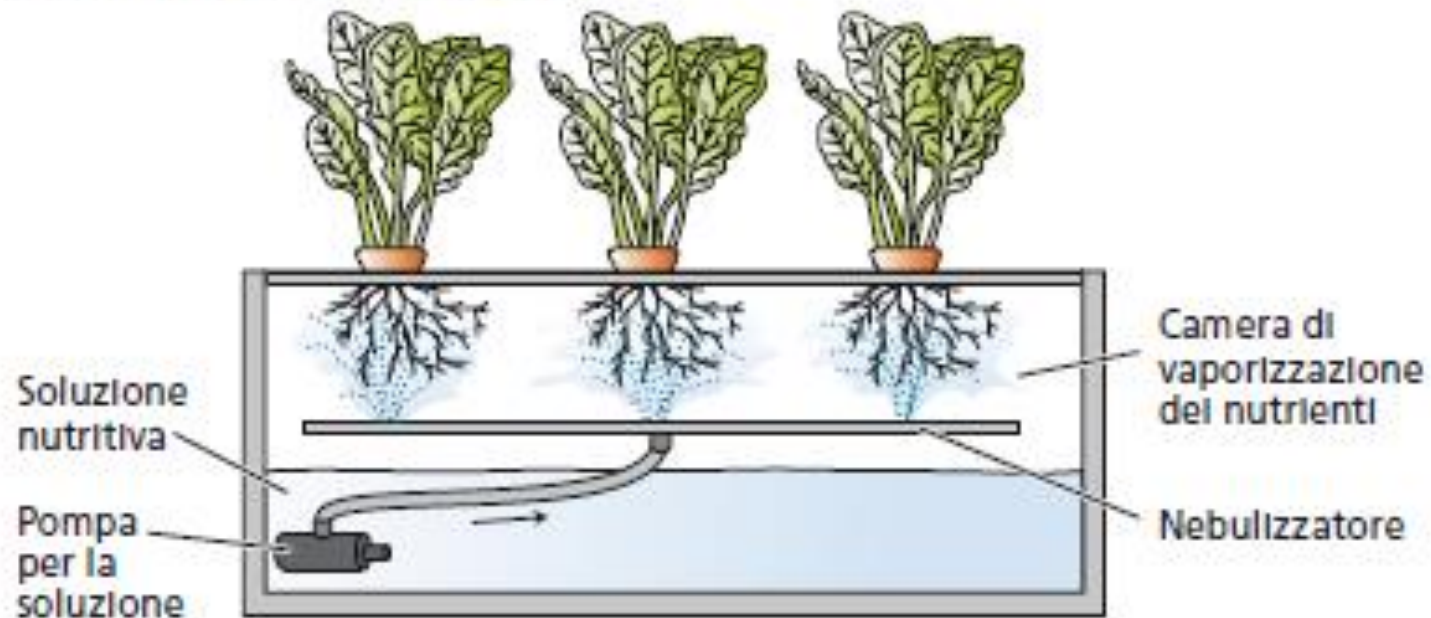
# Colture idroponiche

(A) Sistema di crescita idroponica



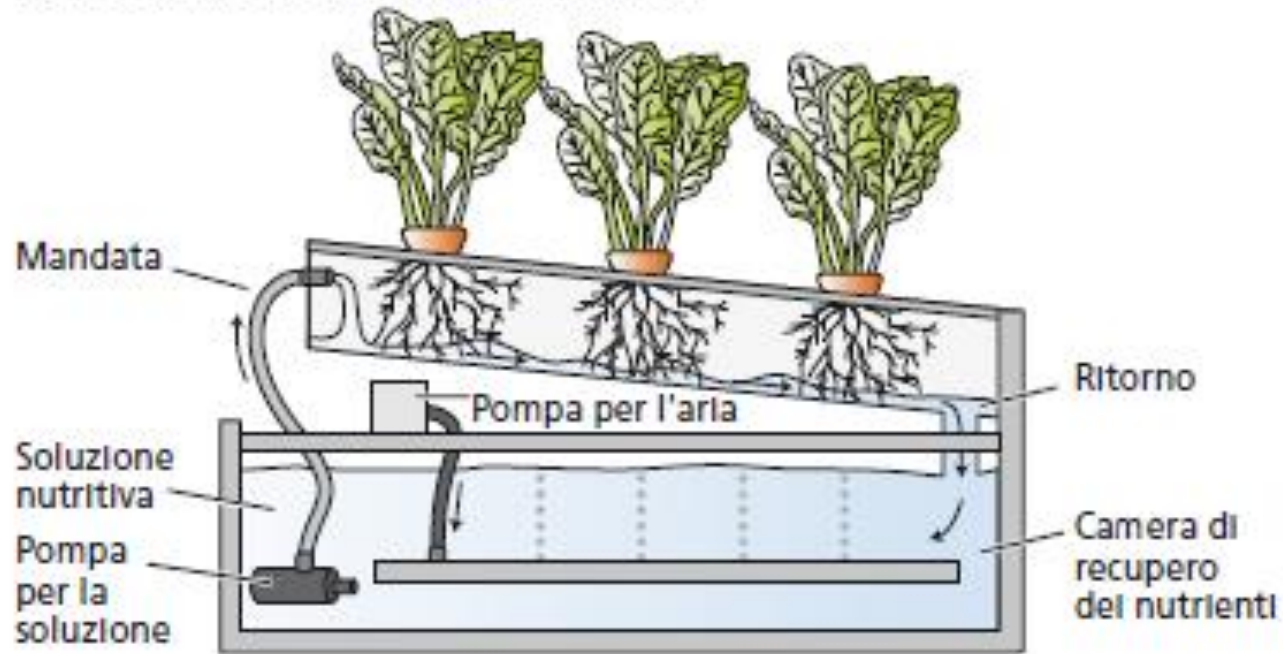
# Colture aeroponiche

(C) Sistema di crescita aeroponica



# Colture a pellicola

(B) Sistema di crescita a pellicola nutritiva



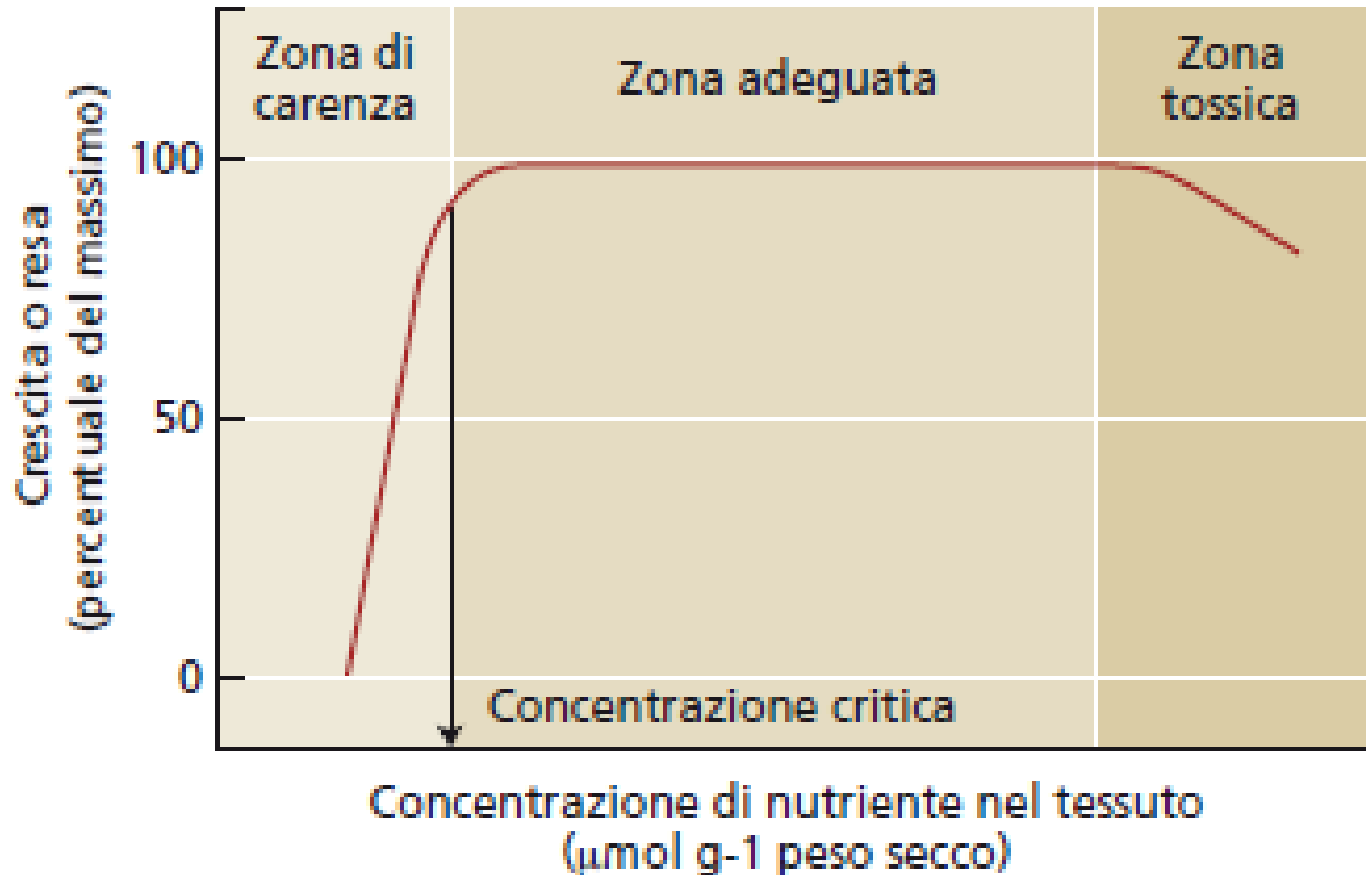
# **CARENZE MINERALI**

Derivano dall'insufficiente rifornimento di un elemento

Portano a disordini metabolici collegati al ruolo degli elementi essenziali nel metabolismo della pianta



# Crescita delle piante in funzione della concentrazione dei nutrienti



# MOBILITA' DEGLI ELEMENTI

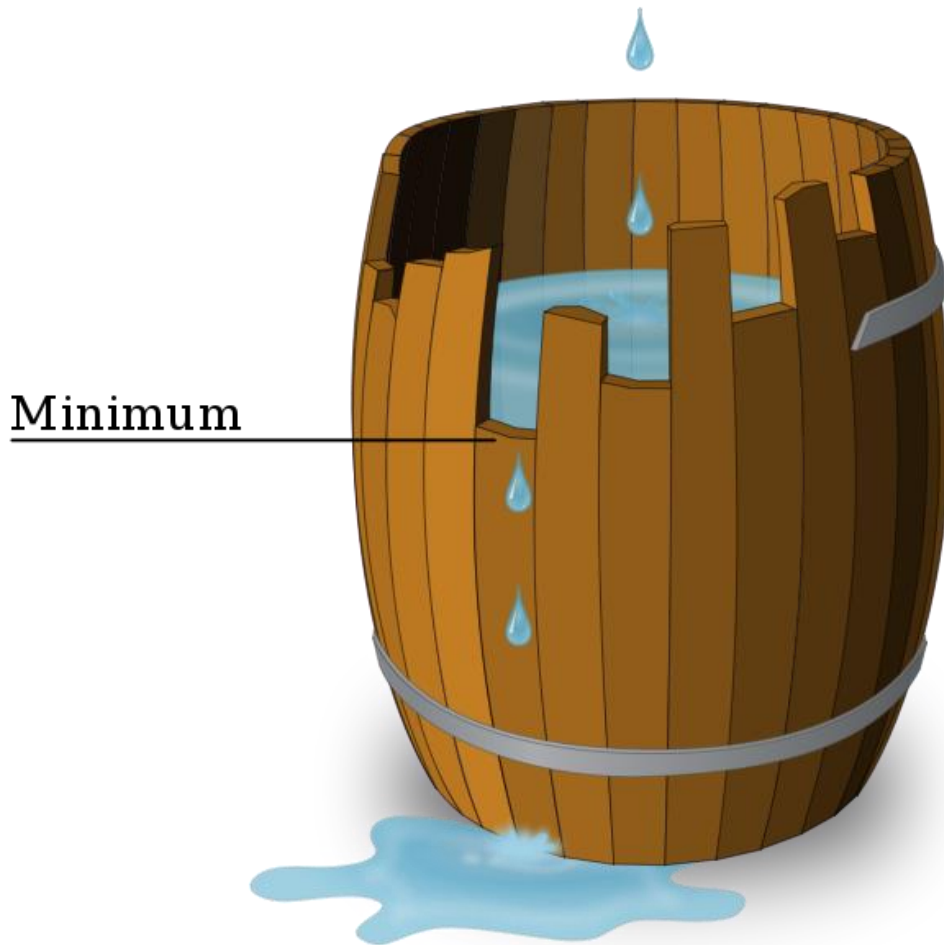
- I sintomi di carenza di un elemento mobile si verificano per primi nelle foglie più adulte
- I sintomi di carenza di un elemento immobile si verificano per primi nelle foglie più giovani

**TABELLA 3.4**  
Elementi minerali classificati in base alla loro mobilità nella pianta e alla loro tendenza ad essere rimossi durante gli stati di carenza

Mobile	Immobile
Azoto	Calcio
Potassio	Zolfo
Magnesio	Ferro
Fosforo	Boro
Cloro	Rame
Sodio	
Zinco	
Molibdeno	

*Nota:* Gli elementi sono elencati secondo la loro abbondanza nella pianta.

# Liebig: legge dei fattori limitanti o del minimo



- In caso di necessità le piante rallentano il proprio sviluppo in funzione dell'elemento più carente

# **Sintomi di carenza**

# AZOTO



- Componente di AA, acidi nucleici
- Mobile
- Allunga il ciclo vegetativo
- **Carenza:** crescita stentata e lenta con ingiallimento a partire dalle foglie vecchie fino a necrosi
- **Eccesso:** eccessivo rigoglio vegetativo a scapito della fase riproduttiva; accumulo nitrati
- La carenza è facilmente reversibile

# FOSFORO

- Componente di zuccheri, fosfolipidi, nucleotidi, ATP
- Mobile
- Favorisce la fioritura e la fruttificazione
- **Carenza:** crescita stentata, foglie vecchie deformi, ridotto sviluppo radici; scarsa allegagione
- **Eccesso:** eccessiva allegagione



# ZOLFO

- Componente di alcuni AA
- **Carenza:** sintomi simili a quelli da carenza di azoto, ma con un colore rossastro nella pagina inferiore.
- Le foglie spesso si incurvano



# POTASSIO



- Coinvolto nel trasporto attraverso le membrane
- Attivatore di enzimi di fotosintesi e respirazione
- Molto mobile
- **Carenza:** clorosi marginali dall'apice alla base delle foglie vecchie e poi giovani
- Nella radice suscettibilità all'attacco di funghi



# CALCIO



- Non entra nelle molecole organiche, è utilizzato per la sintesi di pareti cellulari, nella lamella mediana e per il funzionamento delle membrane
- Immobile
- Carenza: necrosi apici e margini foglie nelle zone meristematiche
- Crescita stentata

# MAGNESIO



- Molto mobile
- Attivatore di enzimi (respirazione, rubisco, organizzazione di S e N)
- Componente della clorofilla
- Carenza: clorosi tra le venature delle foglie vecchie; clorofilla dei fasci vascolari inalterata

# MOLIBDENO

- Componente di nitrogenasi e nitrato riduttasi
- Carenza: clorosi intervenaturale e necrosi delle foglie vecchie
- Mancata formazione del fiore o precoce caduta
- Carenza di azoto



# FERRO



- Componente di enzimi coinvolti nella catena redox, dove viene ossidato reversibilmente da  $Fe^{2+}$  a  $Fe^{3+}$ .
- Indispensabile per la sintesi della clorofilla.
- E' scarsamente mobile e può precipitare come ossidi o fosfati insolubili nelle foglie vecchie e così non può essere più traslocato a distanza per via floematica.
- **Carenza:** clorosi intervenuturale a partire dalle foglie giovani





# BORO



- Regola l'attività di molti enzimi. E' coinvolto nella moltiplicazione cellulare e nella formazione di fiori e frutti
- **Carenza:** in particolare nei frutti

**. ASSOCIAZIONE CON FUNGHI MICORRIZZICI**

# Le micorrize

- Associazioni di funghi con il sistema radicale
- Sono micorrizzate l'80% delle angiosperme, le briofite e tutte le gimnosperme
- Amplificano il sistema radicale

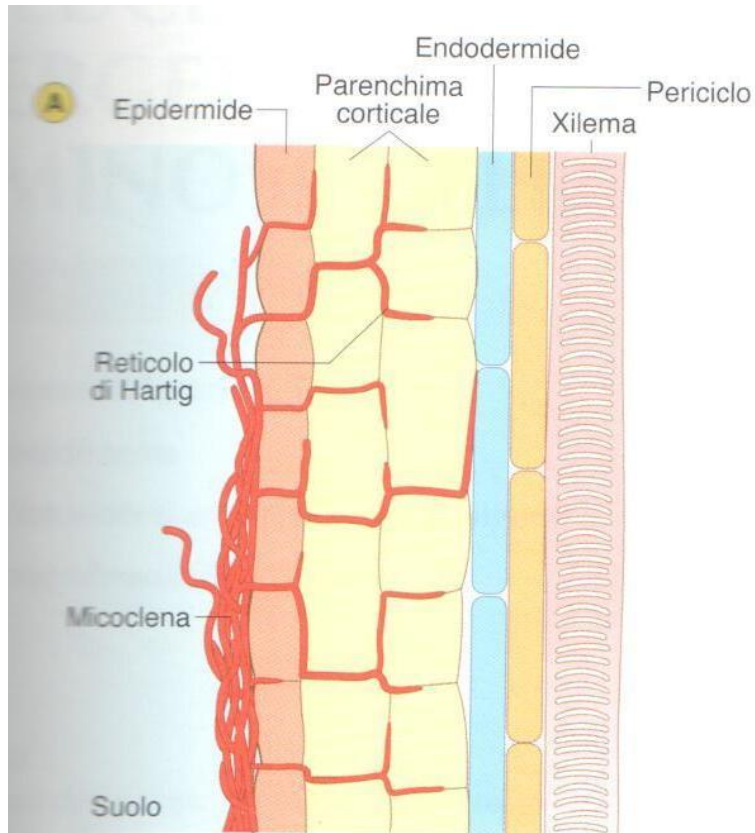
# Rifornimento di nutrienti

- Nell'associazione micorrizica il fungo è rifornito di nutrienti organici ed in cambio fornisce alla pianta nutrienti inorganici principalmente P, ma anche  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$   $\text{K}^+$  e micronutrienti scarsamente mobili come  $\text{Zn}^{++}$ .
- Anche i funghi secernono acidi organici che spostano il fosfato nel terreno e lo rendono disponibile.
- Il fosfato nella pianta aumenta da 4-5 fino a 50-60 volte!

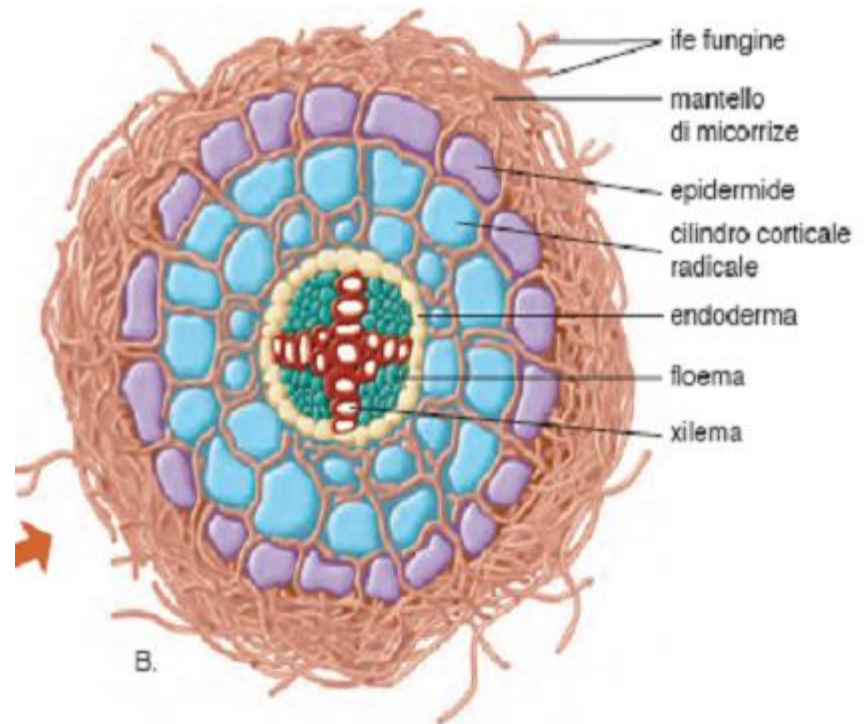


# Micorrize ectotrofiche

Sono le meno comuni, presenti in specie forestali (Pinaceae e Fagaceae), producono corpi fruttiferi macroscopici  
Dalla guaina che circonda la radice penetrano negli spazi intercellulari del parenchima e formano il reticolo di Hartig  
Esternamente formano un manicotto (micoclina)



Ectomicorriza



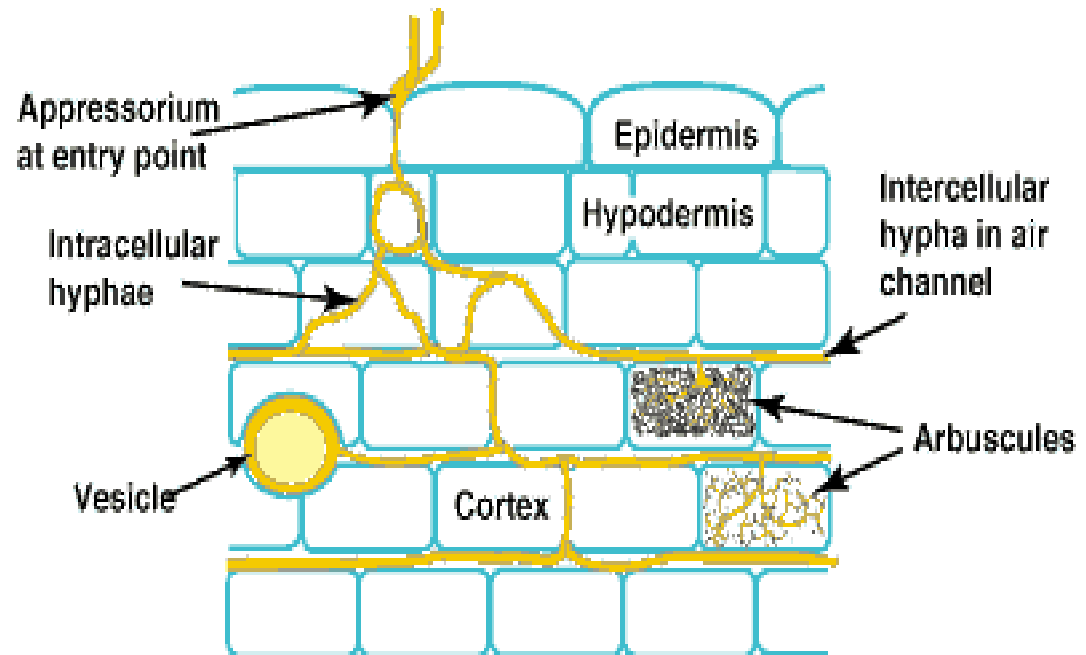
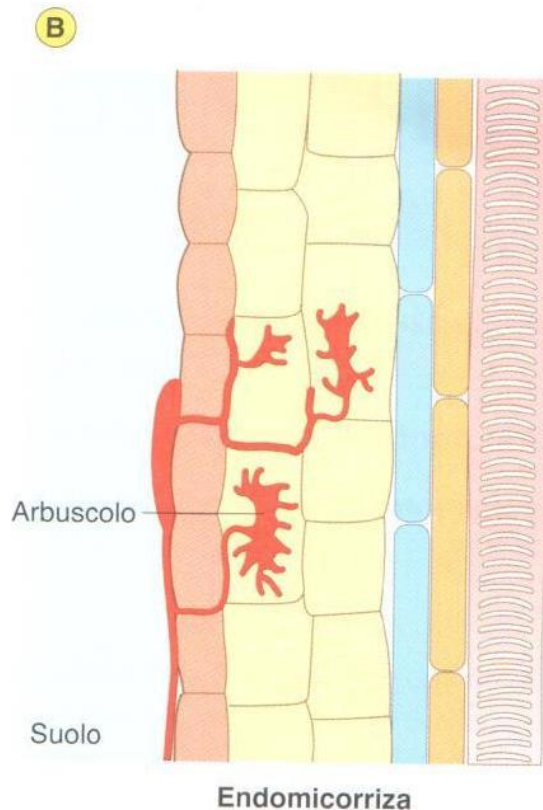
B.

# Micorrize endotrofiche

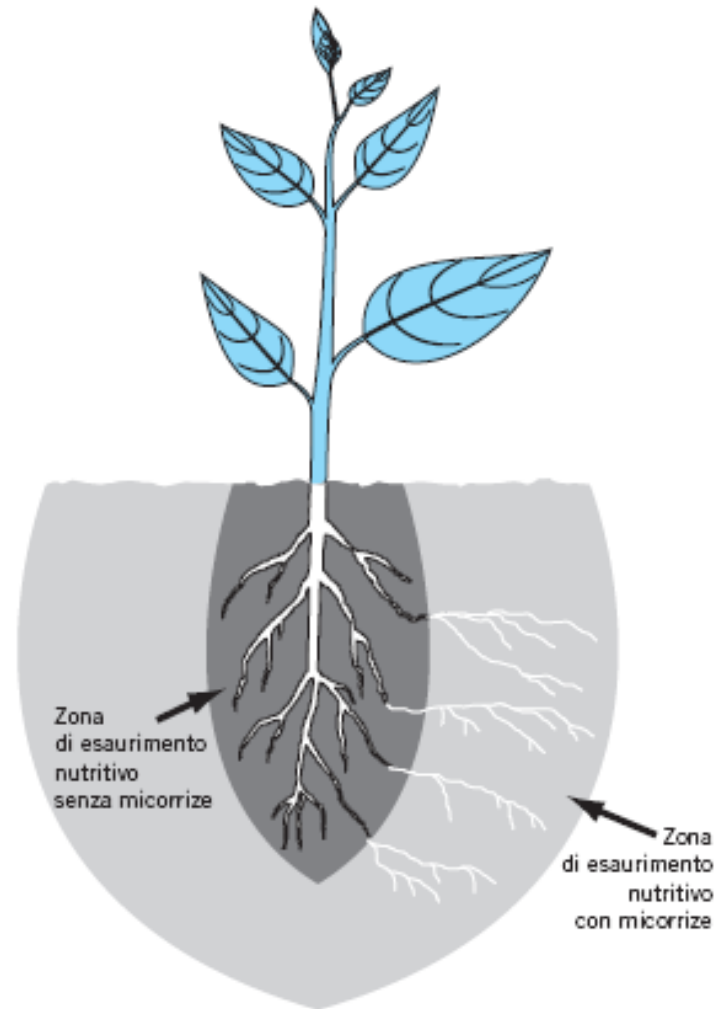
Più diffuse (specie coltivate, arbusti, alberi da frutto)

Non hanno corpi fruttiferi macroscopici

Crescono tra gli spazi intercellulari del parenchima, penetrano nelle cellule e formano vescicole o arbuscoli.



# Vantaggio dell'associazione micorrizica



**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.

# Esaurimento nutritivo



- Si estende da 0,2 a 2 mm dalla superficie
- Diminuisce con l'aumentare della distanza dalla radice

# FATTORI CHE INFLUENZANO LA NUTRIZIONE MINERALE

1. Temperatura
2. Luce
3. Disponibilità di acqua
4. Ossigeno
5. Tessitura del suolo
6. Contenuto di minerali
7. pH del suolo

# 1. Temperatura

- Alle nostre latitudini è ottimale a 25°C.
- Una temperatura inferiore comporta:
- minore respirazione, minore ATP, ridotta attività enzimatica dei trasportatori con minore assunzione ioni

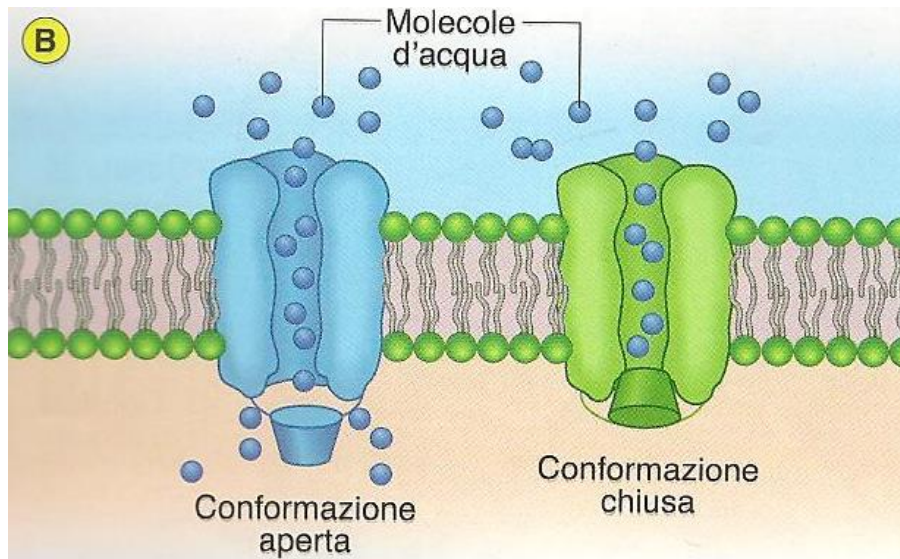
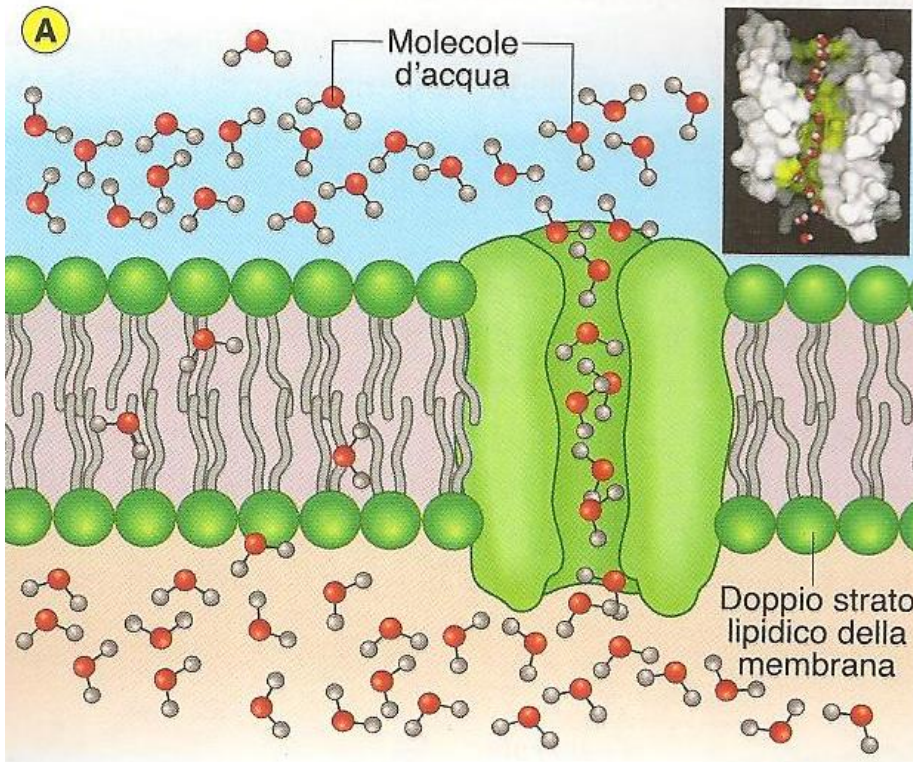
## 2. Luce

- Influenza l'attività fotosintetica, quindi la produzione di zuccheri
- Il saccarosio che arriva alle cellule radicali determina l'attivazione dei trasportatori attivi e facilita l'assunzione di ioni

### **3. Acqua nel terreno**

- Favorisce la solubilizzazione dei sali del terreno, il trasporto degli elementi minerali in prossimità della radice ed il loro ingresso nella cellula.





# Acquaporine

- Appartengono alle MIP (Major Intrinsic Protein)
- Unica molecola con 6 domini  $\alpha$ -elica.
- Passaggio di acqua ma non di ioni.
- Conformazione aperta per fosforilazione: passaggio  $10^9$  molecole/sec.
- Conformazione chiusa per defosforilazione.
- La scarsità di acqua ma anche l'allagamento determinano la chiusura delle acquaporine

# INTERFERENZA IONICA

- Può esistere tra ioni che hanno lo stesso trasportatore
- Es:
- $\text{Ca}^{++} \text{-----} \text{> Mg}^{++}$
- $\text{Li}^{+} \text{-----} \text{> Na}^{+}$
- $\text{K}^{+} \text{-----} \text{> Rb}^{+}$
- $\text{Cl}^{-} \text{-----} \text{> Br}^{-}$

# Adattamenti alla disponibilità di acqua



## IDROFITE – IGROFITE

- Piante adattate a vivere in ambiente acquatico o con umidità atmosferica satura di vapore acqueo

## MESOFITE

- Piante tipiche di climi temperati, con buona disponibilità di acqua

## XEROFITE

- Piante adattate a vivere in ambienti aridi e secchi

# Idrofite



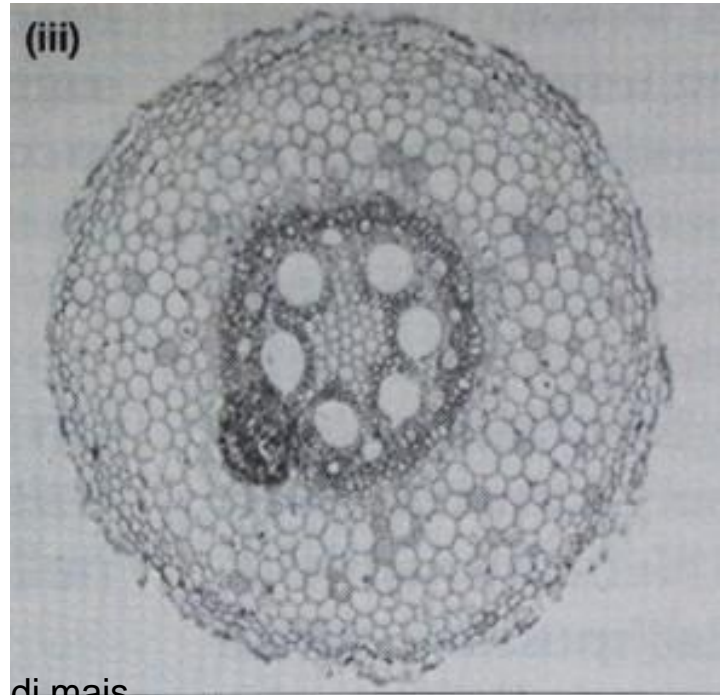
Composizione dell'aria:

- $O_2$ : 21%
- $CO_2$ : 0,03%

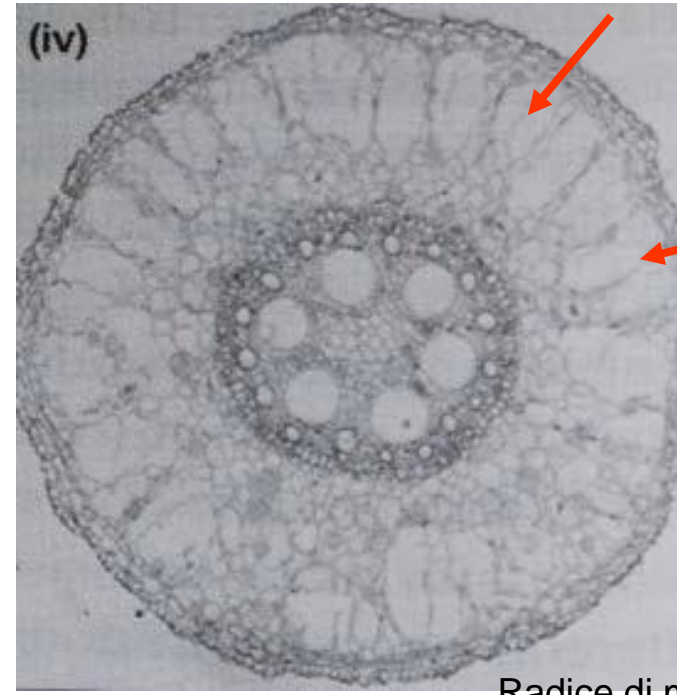
Composizione dei gas disciolti in acqua

- $O_2$ : 0,6%
- $CO_2$ : 0,03%
- Se la pianta non è in grado di adattarsi alla scarsa presenza di  $O_2$  va incontro a stress

# Adattamento delle piante acquatiche



Radice di mais



Radice di mais cresciuta con  
 $O_2$  al 3%

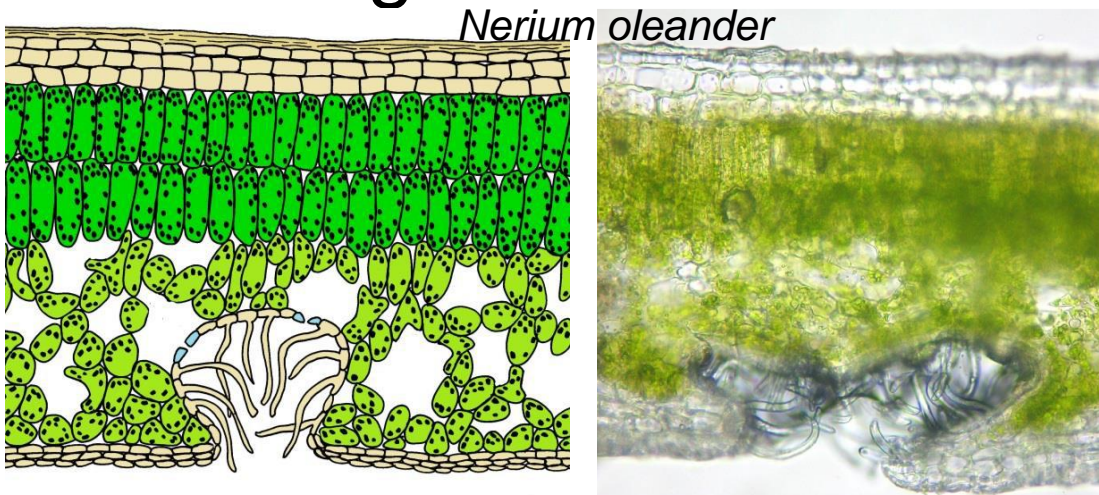
- Ispessimento con un ipoderma radicale che riduce la perdita di  $O_2$  verso l'esterno
- Sviluppo di particolari tessuti (aerenchimi) per il trasporto e il contenimento dell'ossigeno



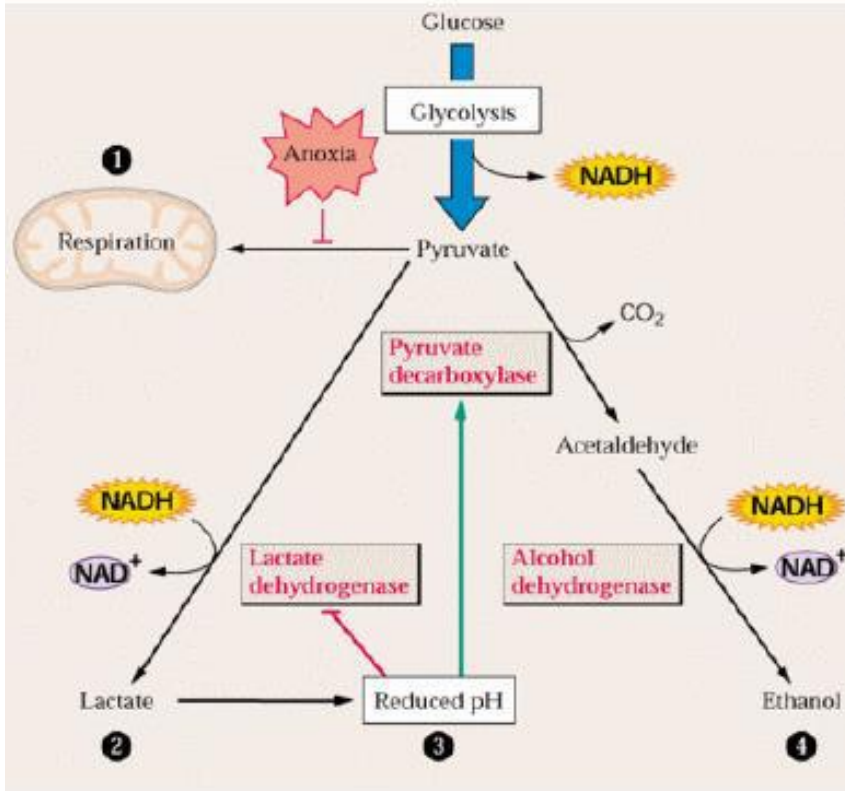
# Adattamenti alla disponibilità di acqua:

## Xerofite

- Le xerofite vivono in ambienti aridi, in terreni con scarsa disponibilità di acqua.
- Riduzione della lamina fogliare, mesofillo compatto ed epidermide pluristratificata protetta da cuticola e con stomi protetti
- A volte foglie trasformate in spine



# 4. Ossigeno



- La concentrazione ottimale è quella atmosferica
- 1) Una concentrazione inferiore comporta minore respirazione, ridotta produzione di ATP (2 moli invece delle 32 prodotte mediante la respirazione) e mancanza di energia per tutti i processi metabolici
- 2) Insorgenza di processi fermentativi che portano alla produzione di acido lattico
- 3) Abbassamento del pH: l'acidosi inibisce i processi metabolici e anche la fermentazione lattica
- 4) Attiva gli enzimi coinvolti nella fermentazione alcolica con produzione di etanolo
- Nel terreno sopravvento di microrganismi anaerobi, ambiente fortemente riducente con H<sub>2</sub>S e acido butirrico in concentrazioni tossiche

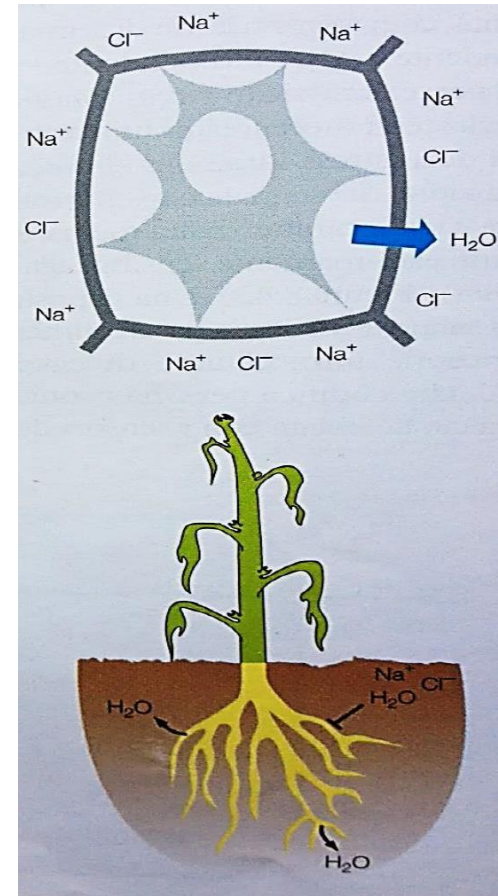
# 5. Tessitura del suolo

- Le particelle più grosse sono meno aderenti tra di loro e lasciano spazi attraverso cui possono passare acqua e aria perciò una pianta che vive in un terreno sabbioso ha un apparato radicale molto più sviluppato di quello aereo
- Le particelle piccole e cariche negativamente come quelle dell'argilla trattengono l'acqua e gli ioni che quindi non sono disponibili per la pianta

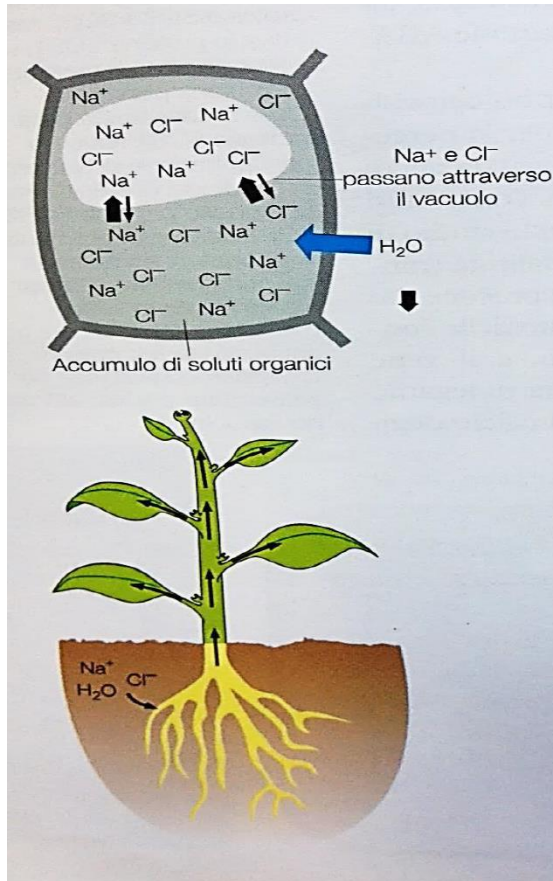


## 6. Contenuto in minerali

- Il suolo troppo ricco in nutrienti (es cloruro e solfato di sodio) è detto salino
- Può limitare la disponibilità di acqua e la crescita della pianta
- La pianta va incontro a stress idrico



# Alofite



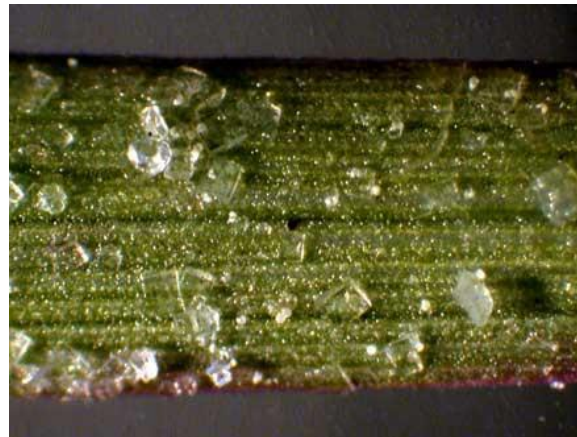
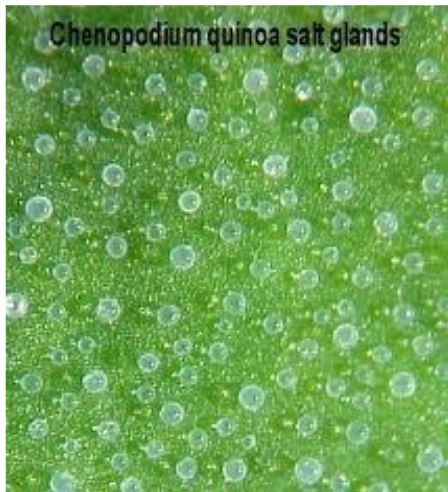
Riescono ad estrarre acqua dall'acqua salata grazie al loro alto contenuto interno di soluti e alla produzione di **osmoliti compatibili** nel citosol.

Molecole fisiologiche, piccole, idrosolubili, neutre, chimicamente inerti

- PROLINA
- GLICINA BETAINA
- MONOSACCARIDI (glucosio e fruttosio derivanti dall'idrolisi di amido e fruttani)
- POLIOLI (pinitolo)

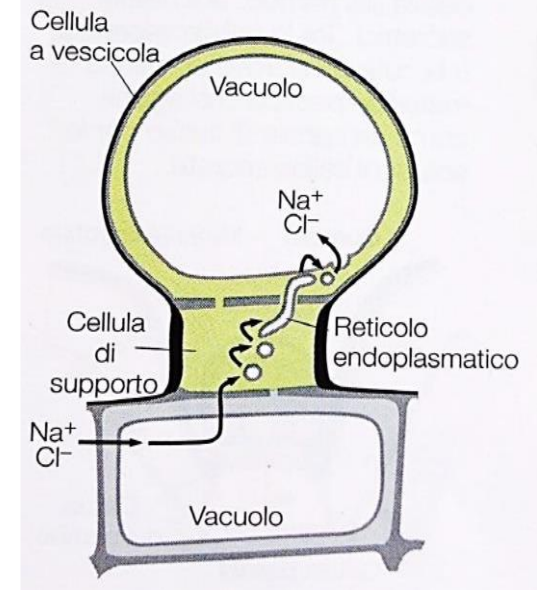
# Alofite

- Riescono ad accumulare i sali in eccesso tossici in ghiandole del sale
- O a secernerli all'esterno mediante peli escretori o cristalli di sale
- Cellula epidermica basale: accumula sali all'interno del vacuolo mediante un meccanismo di trasporto attivo
- Cellule di supporto: pareti spesse e cutinizzate, prive di vacuoli. Queste modificazioni permettono il mantenimento monodirezionale del flusso di acqua e di sali verso la cellula terminale
- Cellula terminale «a vescicola»: presenta un vacuolo di grandi dimensioni all'interno del quale vengono accumulati i sali che provengono dalle cellule di supporto



**Figura 8.48**

La ghiandola del sale di *Atriplex lentiformis*. Gli ioni  $\text{Cl}^-$ , e gli ioni  $\text{Na}^+$  associati, passano, mediante il trasporto di membrana e poi tramite il trasporto vescicolare, nel vacuolo della cellula a vescicola.

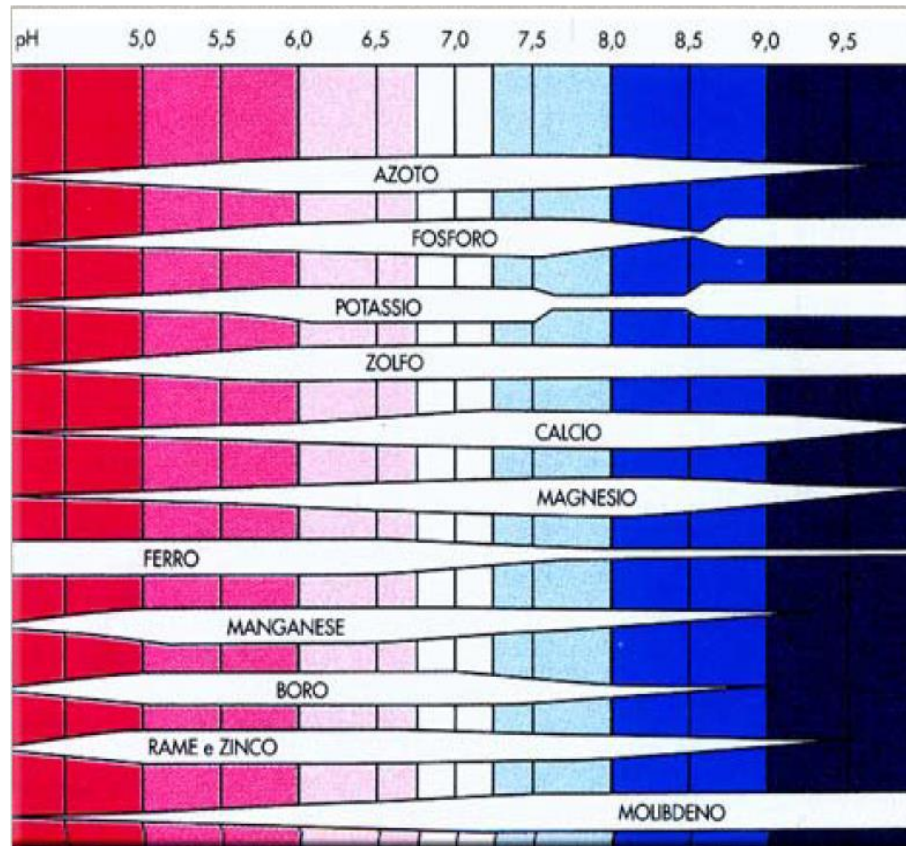


Le ghiandole del sale rappresentano anche una protezione dall'attacco degli erbivori

# 7. pH del suolo

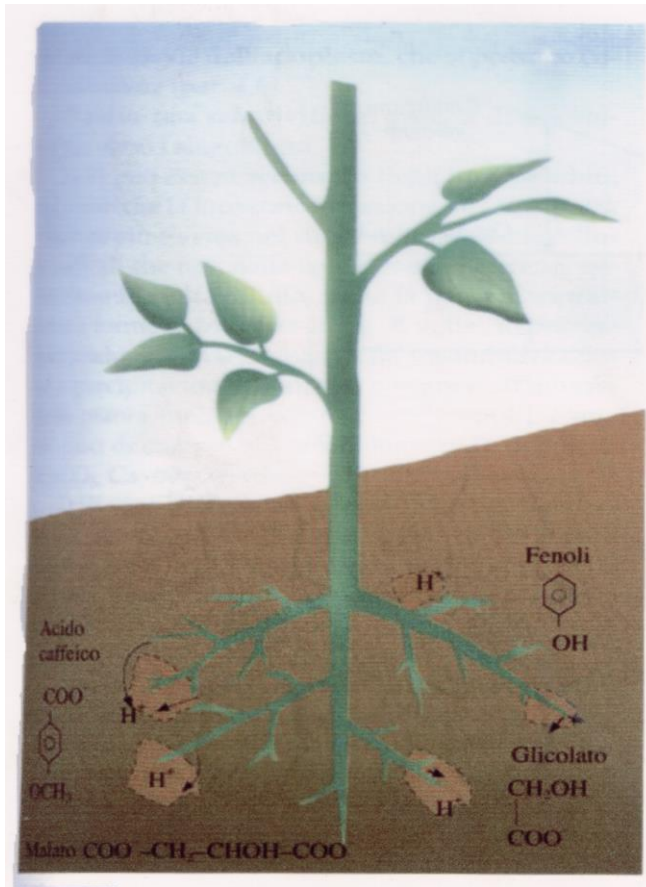
- La crescita delle radici è favorita da un pH tra 5.5 e 6.5
- (patata: pH 6; grano pH 7)
- Il pH è influenzato dall'acidità delle precipitazioni e dalla decomposizione della materia organica
- L'ammoniaca e l' $\text{H}_2\text{S}$  prodotti possono essere ossidati e a formare acido nitrico e solforico
- I funghi predominano in suoli acidi; i batteri in suoli basici
- In suoli acidi è promosso il rilascio di ioni come  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$  ed è aumentata la solubilità di carbonati, fosfati e solfati in seguito allo scambio cationico

# pH e disponibilità degli ioni





# Rilascio nel terreno da parte delle radici



## Acidificazione

### Rilascio di acidi organici

riduce la crescita di piante competitive per luce, acqua ed elementi nutritivi