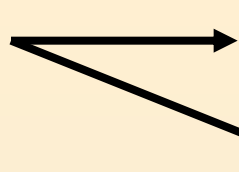


**SUOLO**



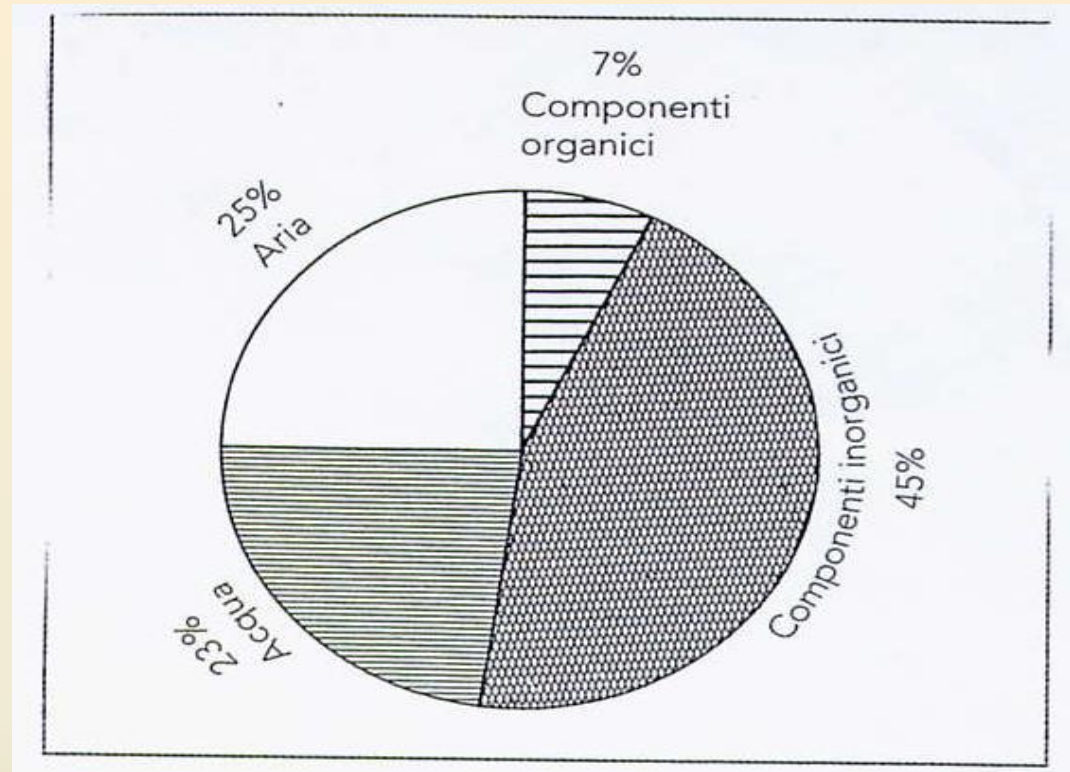
**Mezzo nutritivo per la pianta**

**Materiale eterogeneo** costituito da tre fasi:

**1. Fase solida** = principale riserva nutritiva

- sostanze organiche da spoglie animali e vegetali
- sostanze inorganiche derivanti dai minerali

Gli elementi nutritivi del terreno sono nel terreno sottoforma disciolta o chimicamente legata.



**2. Fase liquida** è la **soluzione del suolo** = l'acqua circolante nel suolo con disciolti gas ( $O_2$  e  $CO_2$ ) e solidi presenti nel suolo

I nutrienti trasportati sono presenti soprattutto in forma **ionica**.

*La soluzione del suolo non è omogenea*

*la sua concentrazione e composizione varia facilmente*

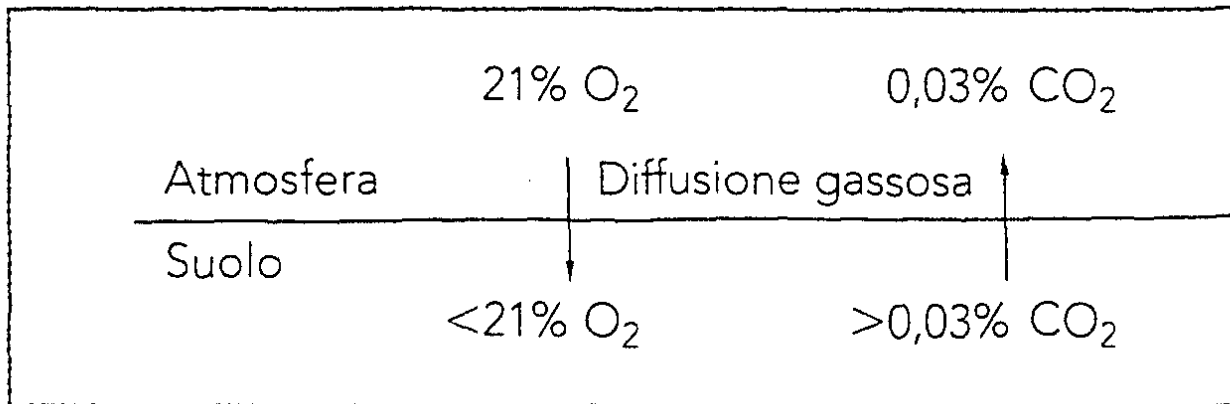
### 3. Fase gassosa del suolo = aria tellurica

responsabile dello scambio gassoso

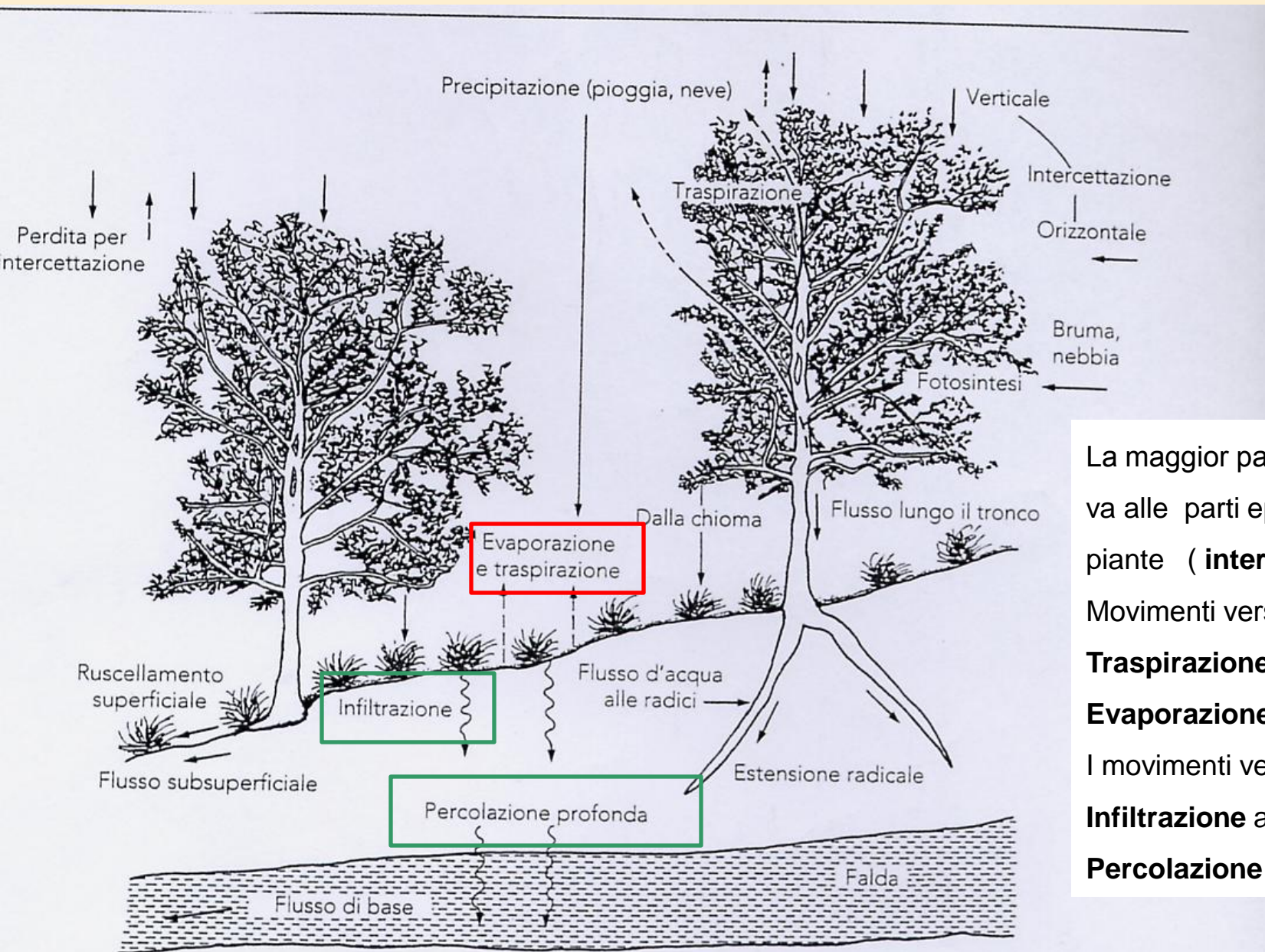
fra gli organismi viventi del suolo e l'atmosfera

( batteri, funghi, animali)

#### *Direzione della diffusione gassosa tra suolo e atmosfera*



# CICLO IDROLOGICO = Movimenti dell'acqua



La maggior parte dell'acqua va alle parti epigee delle piante (**intercettazione**)

Movimenti verso l'alto:

**Traspirazione**

**Evaporazione**

I movimenti verso il basso

**Infiltrazione** a cui segue

**Percolazione**

La **disponibilità** di acqua nel suolo dipende da :

- Quantità di acqua presente ( concentrazione)
- Forza con cui le molecole di acqua sono trattenute dalle particelle del suolo



## RITENZIONE

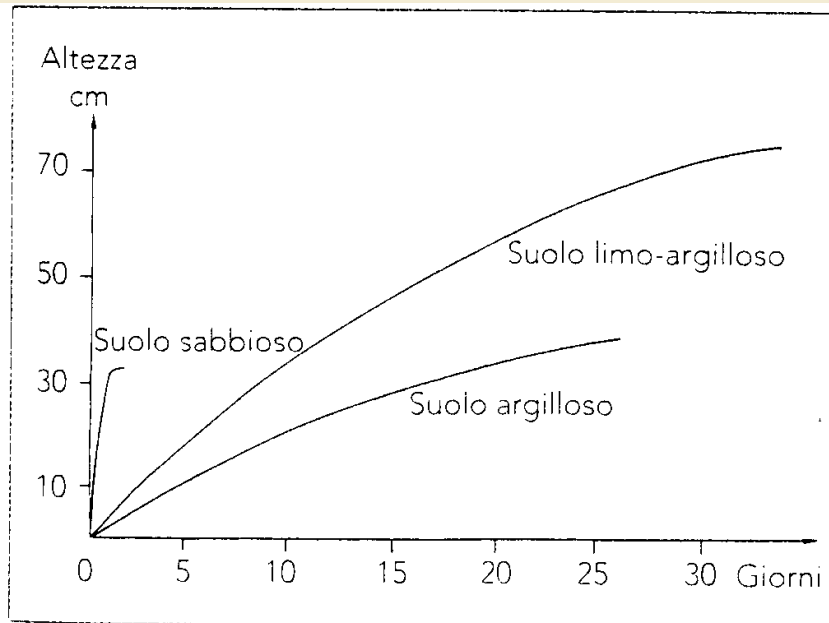
**Forze di adesione**

Con cui le superfici solide attraggono le molecole di acqua

**Forze di coesione**

Con cui i dipoli di acqua si legano reciprocamente

*L'acqua fissata per adesione è in grado di legare per coesione dipoli H<sub>2</sub>O a distanza crescente dalla superficie solida*



**Acqua CAPILLARE** è presente nei pori capillari e può risalire

- L'altezza della risalita è inversamente proporzionale al diametro dei pori
- La risalita presuppone esistenza di acqua libera, cioè in presenza di falda.

# PUNTI CARATTERISTICI NEL RAPPORTO

## ACQUA – SUOLO dopo un apporto idrico

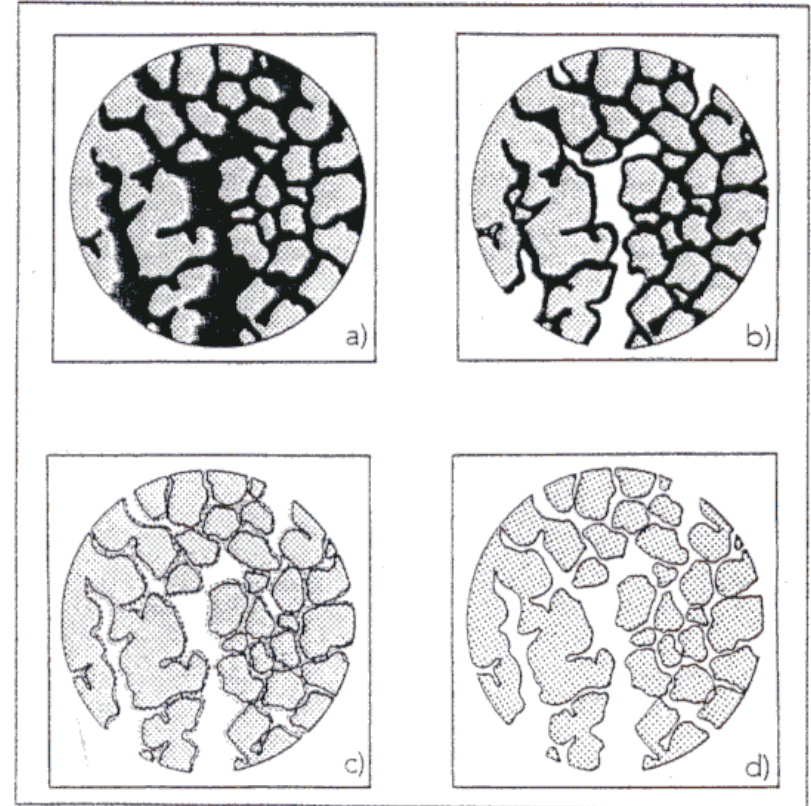
1. **Capacità idrica massima**  $U_{max}$   
quantità massima di acqua che un suolo può contenere ma non trattenere

2. **Capacità di campo**  $U_{cc}$   
quantità di acqua trattenuta quando viene meno acqua gravitazionale e movimenti verso il basso

3. **Punto di Appassimento**  $U_{pa}$   
Umidità percentuale immobilizzata nei micropori più piccoli

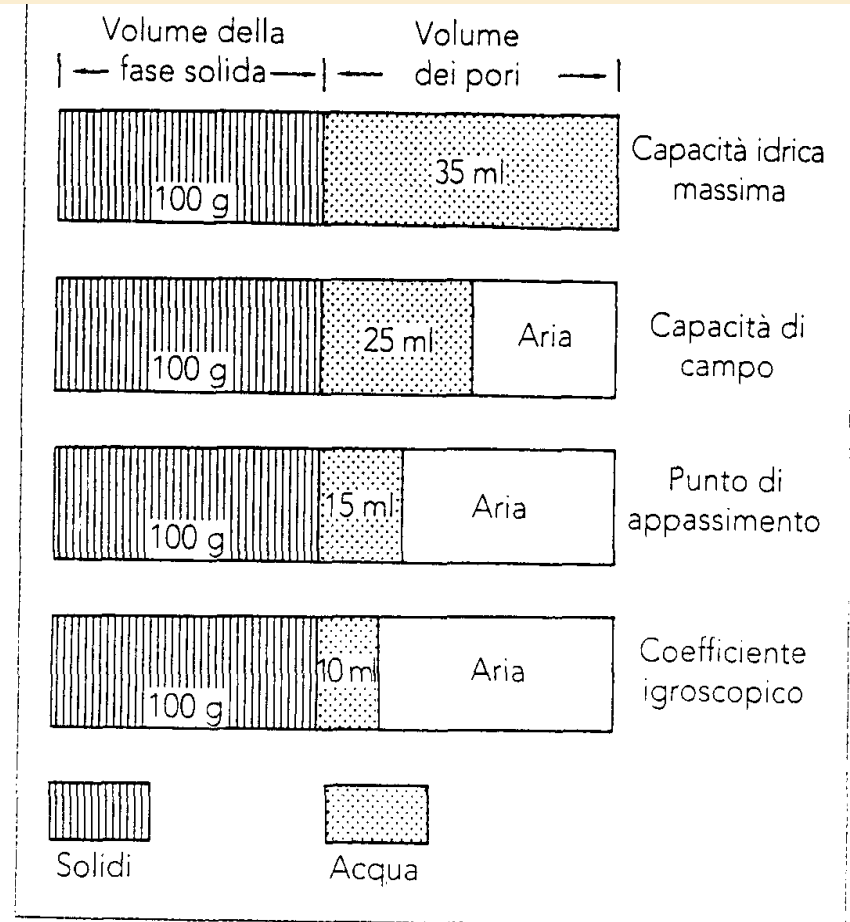
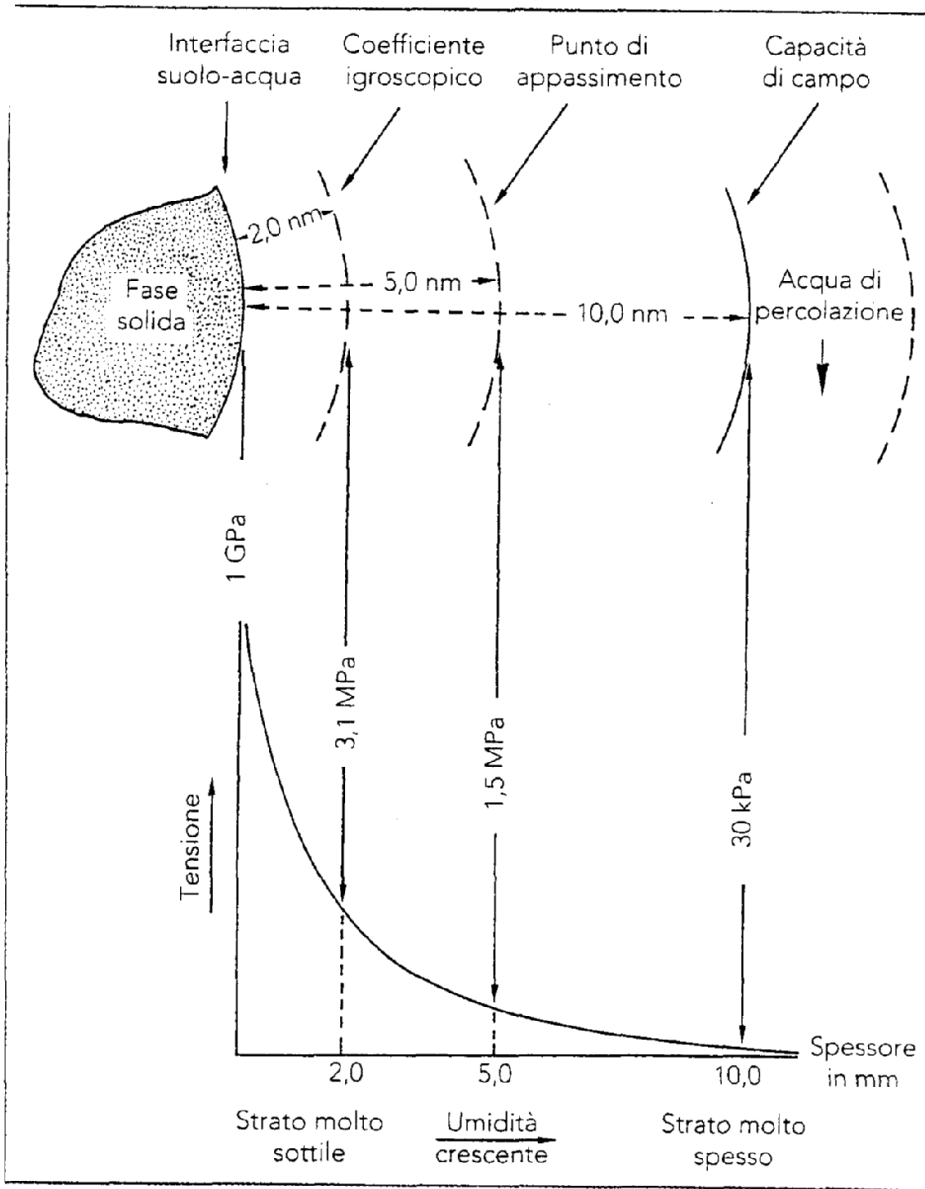
4. **Coefficiente Igroscopico**  $C.I.$   
residuo di acqua allontanabile solo con riscaldamento in stufa a  $105^{\circ}C$

*Schematizzazione di un suolo*



- a) Suolo completamente saturo
- b) Alla capacità di campo
- c) Al punto di appassimento
- d) Secco in stufa a  $105^{\circ}C$

## Volumi occupati dalle fasi solida, liquida e gassosa ai punti caratteristici del rapporto acqua - suolo



Rapporto tra **spessore** degli strati e **tensione** con cui questi sono trattenuti sulle superfici dei costituenti solidi

La quantità di acqua compresa fra quella alla capacità di campo e quella al punto di appassimento, costituisce la **RISERVA UTILE ( RU )** del suolo,

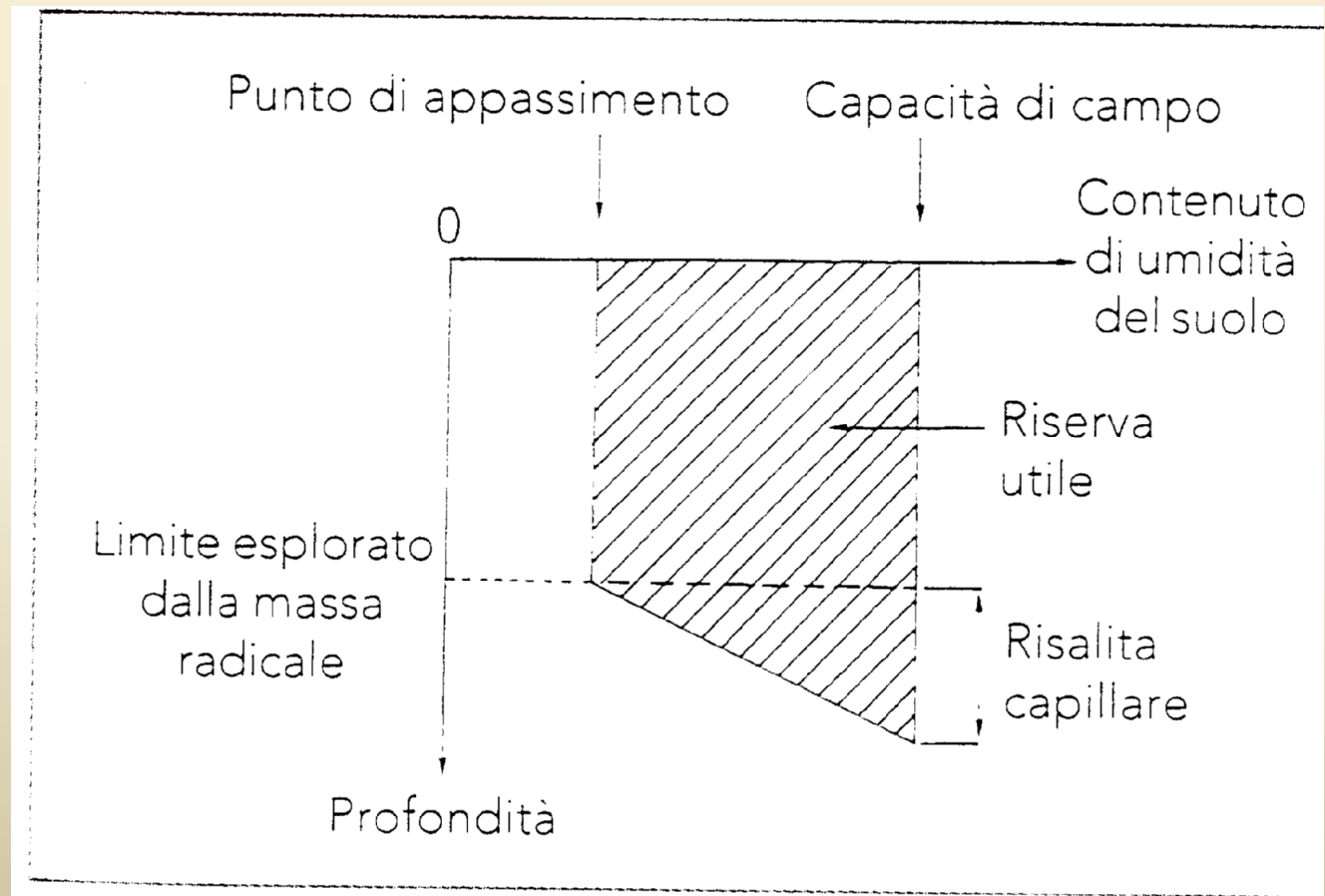
espressa in mm di acqua

$$RU = ( U_{cc} - U_{pa} ) P$$

**è l'acqua disponibile per la pianta.** **P** rappresenta la profondità raggiunta dall'apparato radicale delle piante (mm)

La riserva utile :

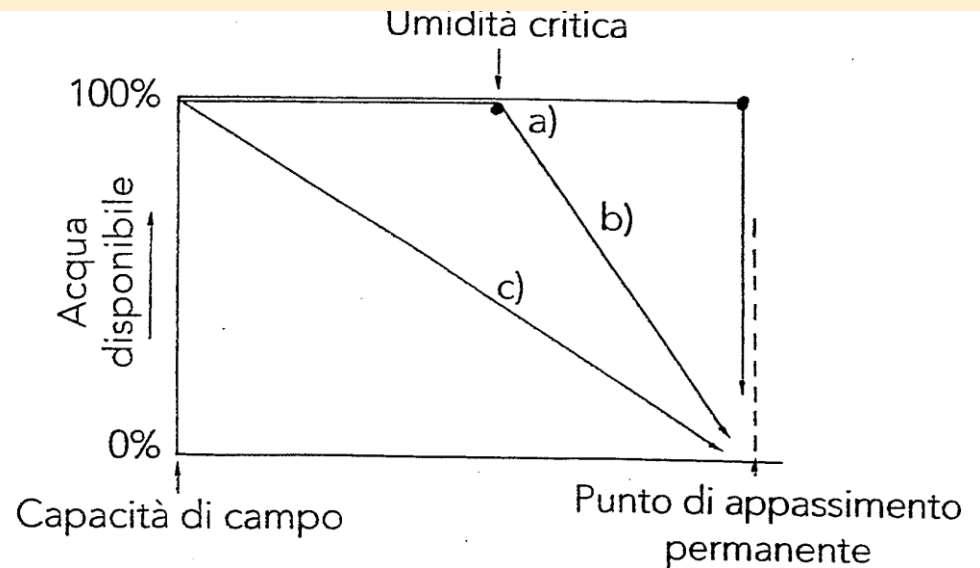
- Consente alle colture di soddisfare più o meno il loro fabbisogno idrico anche in periodi di difficoltà climatiche
- **varia con la tessitura del suolo**



*Le piante non riescono a utilizzare con uguale facilità la riserva utile.*

Si distinguono 3 casi determinati da :

a) Identica disponibilità per le piante per la quantità di acqua compresa fra capacità di campo e punto di appassimento



- b) Identica disponibilità fino all'umidità critica ( contenuto di acqua al di sotto del quale si verifica una diminuzione di produzione)
- c) Disponibilità gradualmente decrescente con il diminuire della quantità di acqua del suolo

Distinzione fra una **Riserva Facilmente Utilizzabile (RFU)** e una frazione delle RU più difficilmente accessibile (curva b )

$$RFU = \alpha RU$$

$\alpha$  = coefficiente numerico compreso fra 1/3 e 2/3 in funzione della coltura e del valore di evapotraspirazione del suolo considerato



I **MOVIMENTI** dell'  $H_2O$  nel suolo si esprimono come

$\psi_t =$  **Potenziale idrico** = *energia potenziale* = capacità di compiere lavoro

$\psi_t =$  **Potenziale idrico** = Potenziale totale dell'  $H_2O$  nel suolo è una misura riferita a uno standard:

L'  $H_2O$  pura  $\longrightarrow$   $\psi_t = 0$  a  $p = 1$  atm libera da ogni forza di repulsione e attrazione

$\psi_t$  di un suolo ha sempre valore negativo  $\psi_t < 0$

$$\psi_t = \psi_m + \psi_g + \psi_s < 0$$

$\psi_m =$  **potenziale di matrice**

espressione delle forze di ritenzione esercitate dalle particelle del suolo

$\psi_g =$  **potenziale gravitazionale**

lavoro necessario per mantenere l'acqua a una certa  $h$  contro forza di gravità

$\psi_s =$  **potenziale osmotico o di soluto** determinato dalle specie ioniche presenti

$\psi_t =$  **Potenziale idrico**

il potenziale idrico è espresso da un valore di pressione, in **bar**

$$1 \text{ bar} = 0,1 \text{ MPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm} = 1,01325 \text{ bar} \text{ e } 1 \text{ bar} = 0,9869 \text{ atm}$$

- il **potenziale matriciale** è dovuto alla pressione negativa che la matrice solida del terreno esercita sull'acqua (acqua adsorbita sui colloidi o trattenuta per capillarità);

la tensione matriciale si esercita quando la porosità del terreno è occupata dall'acqua solo in parte (**terreno non saturo**)

*quando il **terreno è saturo**, la pressione esercitata è positiva:*

***pressione idrostatica***

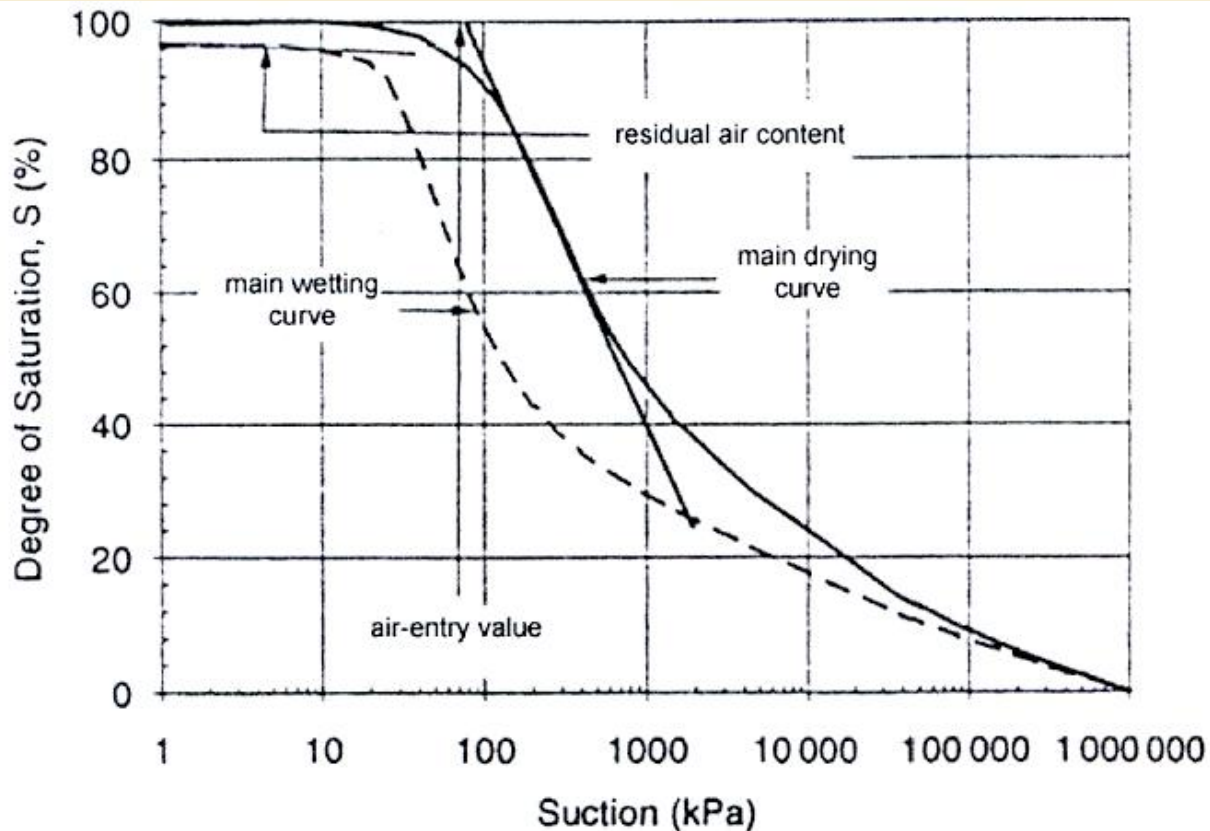
L'energia con cui l'  $H_2O$  è trattenuta dal suolo è la :

**Tensione dell' $H_2O$  o Suzione del suolo.**

**Tensione dell' $H_2O$  e Potenziale idrico del suolo** sono numericamente uguali ma di segno opposto.

Si può costruire un grafico in cui il *contenuto di umidità del suolo* viene messo in relazione con la *tensione di ritenzione*

**CURVE DI RITENZIONE**



**-Al diminuire del contenuto di acqua aumenta la tensione**  
**- si abbassa il valore del potenziale idrico**

*L' H<sub>2</sub>O si muove nel suolo verso strati più secchi con  $\Psi$*

Quando fra due punti  $\Delta \Psi = 0$   $\longrightarrow$  non c'è movimento di H<sub>2</sub>O

*Alla capacità di campo, il potenziale dell' H<sub>2</sub>O è compreso fra - 0.1 e - 0.5 bar*

Il valore varia in funzione della tessitura e composizione del suolo:

*A parità di tensione, il contenuto di H<sub>2</sub>O è più alto nei suoli argillosi rispetto ai sabbiosi*

Costituzione del terreno	Contenuto di acqua (g di H <sub>2</sub> O per 100 g di terreno secco)		
	Cap. idrica ritenzione	Capacità di campo	Punto di appassimento
Torboso	120-150	80-90	45-50
Argilloso	50-60	30-35	15-20
Medio impasto	25-30	12-15	8-10
Sabbioso	10-20	5-10	1-3

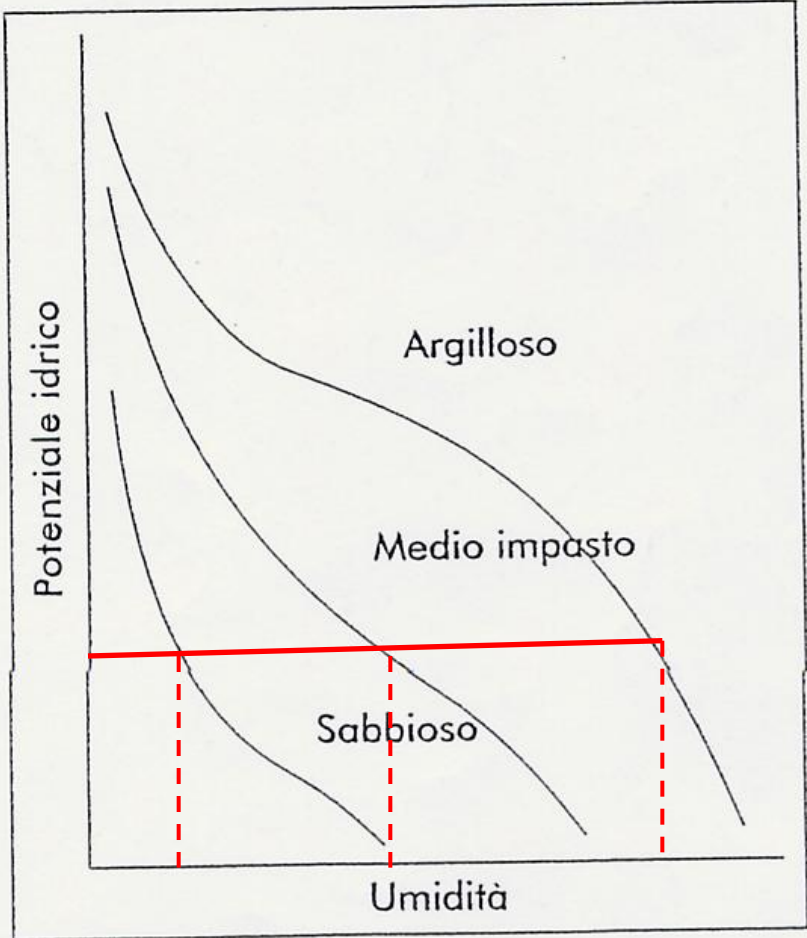
*Nei terreni a più elevata capacità di ritenzione, le piante possono soffrire di aridità anche quando vi sia ancora H<sub>2</sub>O in notevole quantità, ma non disponibile.*

Per uno stesso valore di  $\psi$



Diverso contenuto di H<sub>2</sub>O

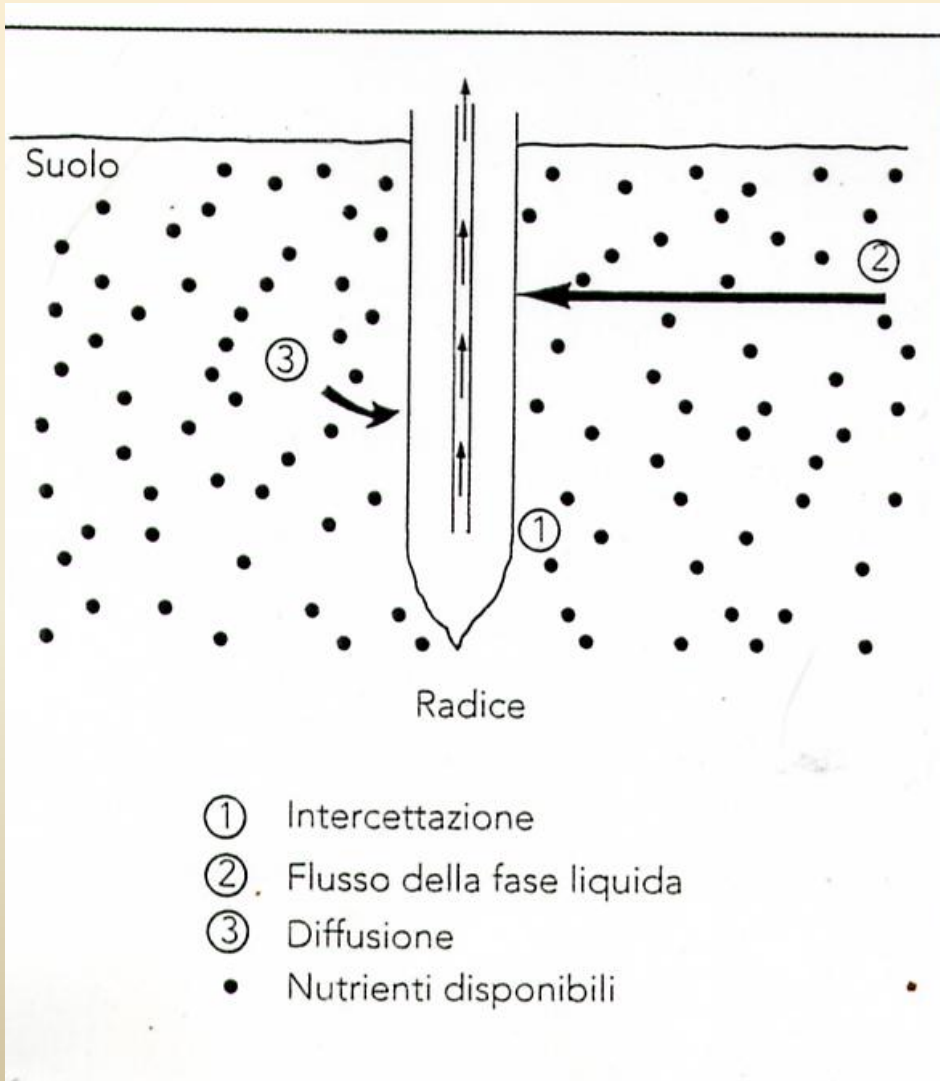
Le piante all'inizio assorbono acqua debolmente legata, bassi valori di tensione poi quella trattenuta più fortemente fino al punto di appassimento



- reversibile → Elevati valori di tensione
- permanente → Le radici non assorbono più H<sub>2</sub>O

# MOBILIZZAZIONE DEI NUTRIENTI verso le superfici radicali

Gli elementi effettivamente disponibili si muovono fino alle radici  
tramite 3 meccanismi :

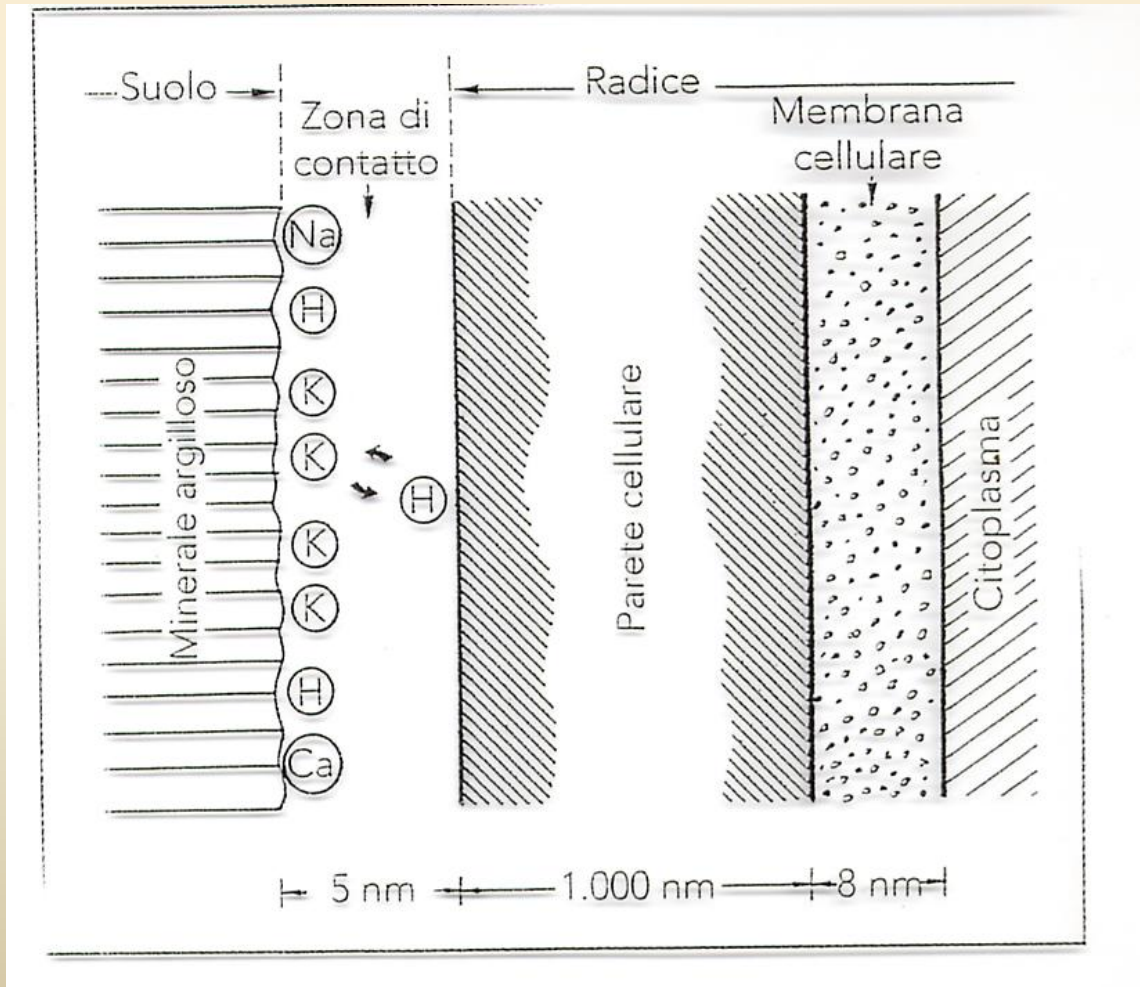


- 1) INTERCETTAZIONE RADICALE
- 2) DIFFUSIONE
- 3) FLUSSO DI MASSA

# Intercettazione radicale = scambio per contatto fra 2 superfici solide

Dipende da:

- Quantità di nutrienti disponibili nel volume di suolo esplorato dalle radici
- Densità della massa radicale rispetto al volume del suolo



La **mobilità** dei nutrienti si esprime meglio con gli altri 2 meccanismi

# DIFFUSIONE = movimento molecolare in un mezzo statico

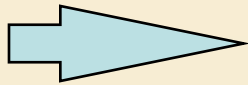


Tendenza ad annullare ogni differenza nella concentrazione degli elementi presenti nel mezzo

Le radici assorbendo



abbassamento della concentrazione ionica in prossimità della superficie radicale

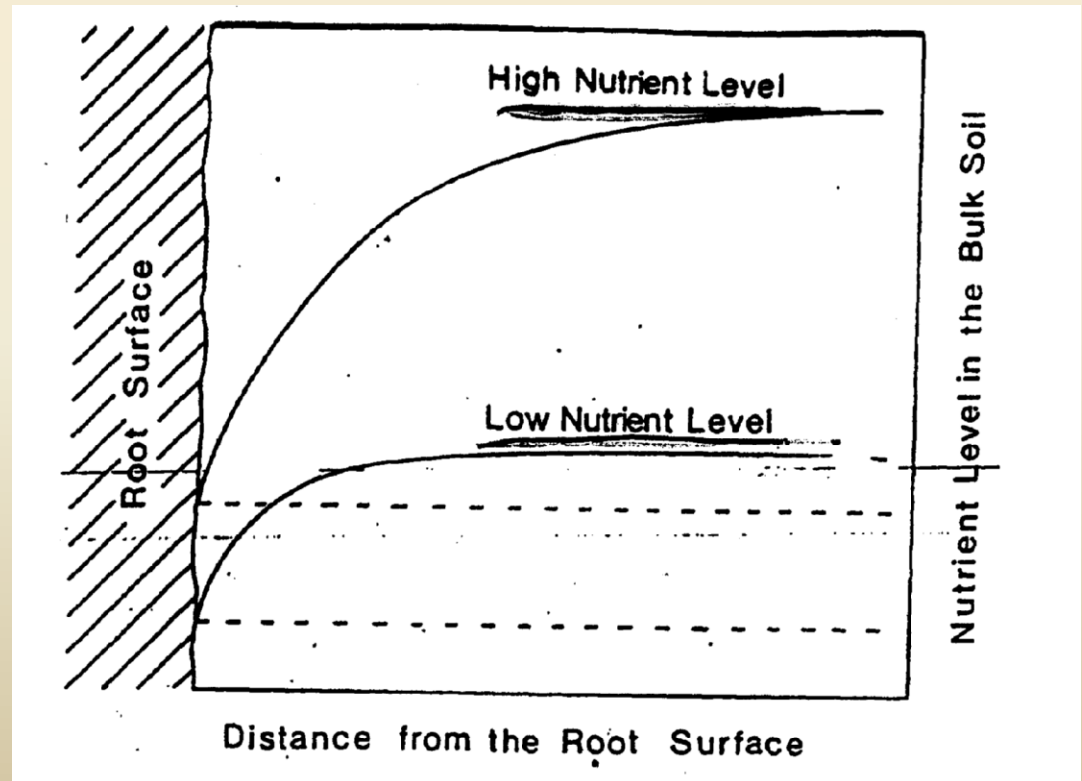


**Creazione della ZONA DI CARENZA** = zona di gradiente ionico

L'**esistenza** della zona di carenza garantisce il flusso ionico verso la radice

L'**estensione** della zona di carenza (4 – 10 nm) dipende dal livello dei nutrienti presenti nel suolo

La **velocità del movimento di diffusione** è direttamente proporzionale al gradiente ionico e inversamente proporzionale alla distanza





## ASPETTO QUANTITATIVO

La diffusione segue la I<sup>a</sup> legge di Fick

$$J = -D \frac{dC}{dx}$$

**J** è la **quantità di soluto** diffusa x unità di sezione x unità di tempo

La costante di proporzionalità **D** si chiama **coefficiente di diffusione** dipende da :

- Natura della specie chimica diffusibile
- Contenuto di acqua nel suolo
- Tortuosità del cammino di diffusione

**dC/ dx = gradiente di concentrazione nella direzione x**

Il segno negativo in questa espressione indica che la direzione della diffusione è opposta a quella del gradiente di concentrazione

- Tanto maggiore è la concentrazione ionica iniziale



Maggiore è il gradiente di concentrazione

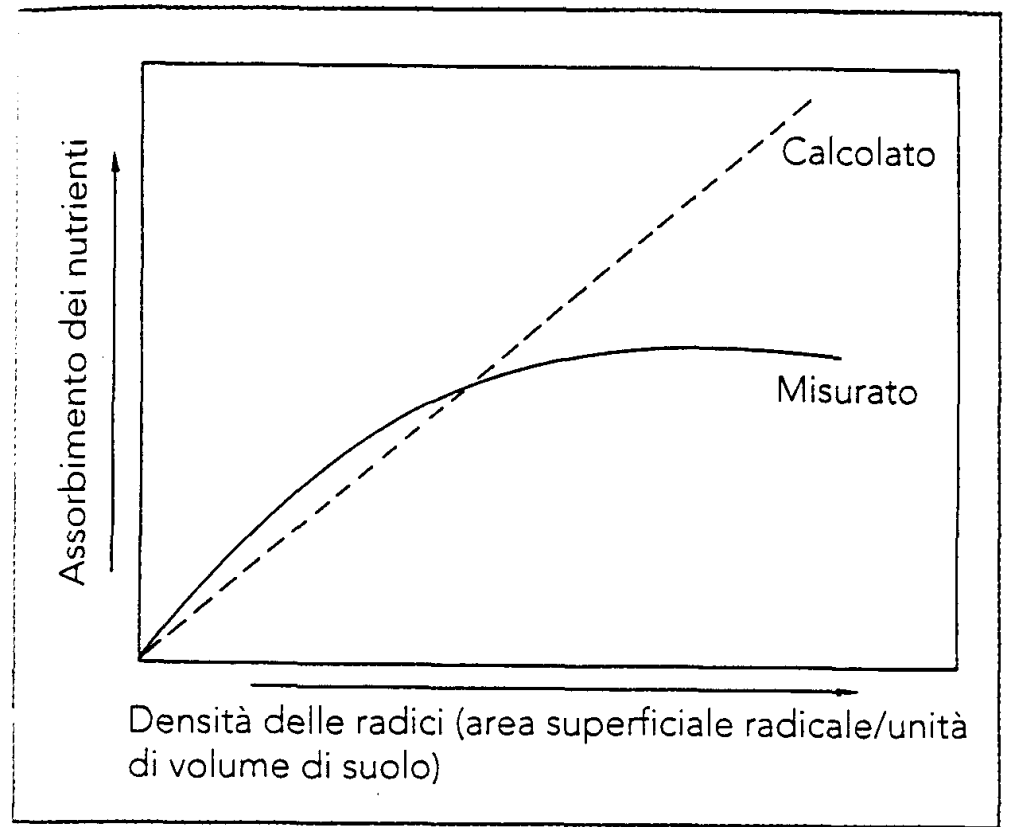
- Se la velocità di assorbimento radicale >> Velocità di rifornimento dal suolo



Elevato gradiente di concentrazione

**L'estensione della zona di carenza corrisponde al massimo sviluppo radicale**

*Non c'è linearità fra densità delle radici e assorbimento dei nutrienti:*



Elevata densità radicale



Sovrapposizione delle zone di carenza competizione per i nutrienti



Diminuzione dell'assorbimento

**FLUSSO DI MASSA** = movimento della fase liquida con le sostanze in essa disciolte

Dipende:

- **Concentrazione di ogni specie ionica in soluzione**

- **Coefficiente di traspirazione =**

*quantità di H<sub>2</sub>O utilizzata dalla pianta per la produzione di 1 Kg di sostanza secca*

In un suolo alla **capacità di campo** :


**elevato valore di  $\psi$**

Flusso di H<sub>2</sub>O continuo

**approvvigionamento idrico uniforme**



Una **diminuzione di  $\psi$**  comporta:

La quantità di H<sub>2</sub>O assorbita  Quantità di H<sub>2</sub>O apportata per flusso di massa

**Essiccamento della superficie del suolo**



**Impedimento del flusso**

Le condizioni di umidità influenzano i rapporti fra **diffusione e flusso di massa**

In generale:

*Il flusso dei nutrienti verso le radici avviene contemporaneamente per flusso di massa e per diffusione*

Il **flusso di massa** fornisce elevate quantità di elementi mobili e con elevata concentrazione in soluzione

La **diffusione** è il processo dominante quando:

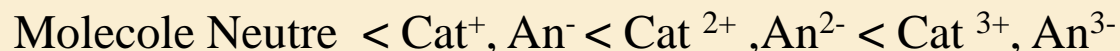
- La traspirazione è bassa
- La richiesta di un elemento è elevata e la sua concentrazione in soluzione è bassa

Nutriente	Quantità necessaria per realizzare una produzione di 9.500 kg/ha di granella	Quantità mediamente disponibile per		
		Intercettazione	Flusso della fase liquida	Diffusione
Azoto	190	2	150	38
Fosforo	40	1	2	37
Potassio	195	4	35	156
Calcio	40	60	150	0
Magnesio	45	15	100	0
Zolfo	22	1	65	0

## Caratteristiche chimico-fisiche delle specie ioniche

che influenzano l'assorbimento:

1. VALENZA dello ione                      Diminuzione dell'assorbimento:



2. DIMENSIONE dello ione :

Correlazione negativa fra *raggio ionico* e *velocità di assorbimento*

**- Relazione tra valore del raggio ionico e velocità di assorbimento di alcuni cationi monovalenti.**

Catione	Raggio ionico (*) (nm),	Velocità di assorbimento $\mu\text{mol/g}$ di sostanza fresca $\cdot$ 3 ore)
Litio	0.380	2
Sodio	0.360	15
Potassio	0.330	26
Cesio	0.310	12

\* Il raggio ionico idratato

# Meccanismi di interazione ionica

- 1. COMPETIZIONE :**     **inibizione** dell'assorbimento  
di uno ione in seguito alla presenza di un altro ione

## fra *CATIONI*:

- **$Rb^+$  e  $K^+$  competizione specifica** per il sistema di trasporto :  
Il raggio del  $Rb^+$  idratato e del  $K^+$  sono simili
- **$NH_4^+$  e  $K^+$**      La selettività dei siti di legame della membrana è  
funzione solo di caratteristiche chimico-fisiche degli ioni
- **$Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  competizione aspecifica** per le cariche negative all'interno

## fra *ANIONI*

- **$SO_4^{=}$  e  $MoO_4^{=}$**
- **$SO_4^{=}$  e  $SeO_4^{=}$**      ***stesso sistema di trasporto***
- **$PO_4^{=}$  e  $AsO_4^{=}$**
- **$Cl^-$  e  $NO_3^-$**

- Competizione  $PO_4^{3-}$  e  $AsO_4^{3-}$

Piante As tolleranti hanno sviluppato un sistema di uptake del P ad alta affinità e indotto dalla carenza di P:

→ **Soppressione dell'uptake di As per competizione con P**

- Competizione fra  $Cl^-$  e  $NO_3^-$

Nei terreni salini un aumento di  $NO_3^-$

Miglioramento dello stato nutrizionale della pianta

Previene la tossicità da  $Cl^-$  in piante sensibili

- **Competizione fra  $NH_4^+$  e  $NO_3^-$**

**L'ammonio** reprime velocemente l'assorbimento di nitrato

**Il nitrato** non ha effetto sull'assorbimento di ammonio

## 2. SINERGISMO :

**stimolazione** dell'assorbimento di uno ione grazie alla presenza di un altro ione

Il **Calcio** è un esempio di sinergismo

## 3. RELAZIONI CATIONI-ANIONI

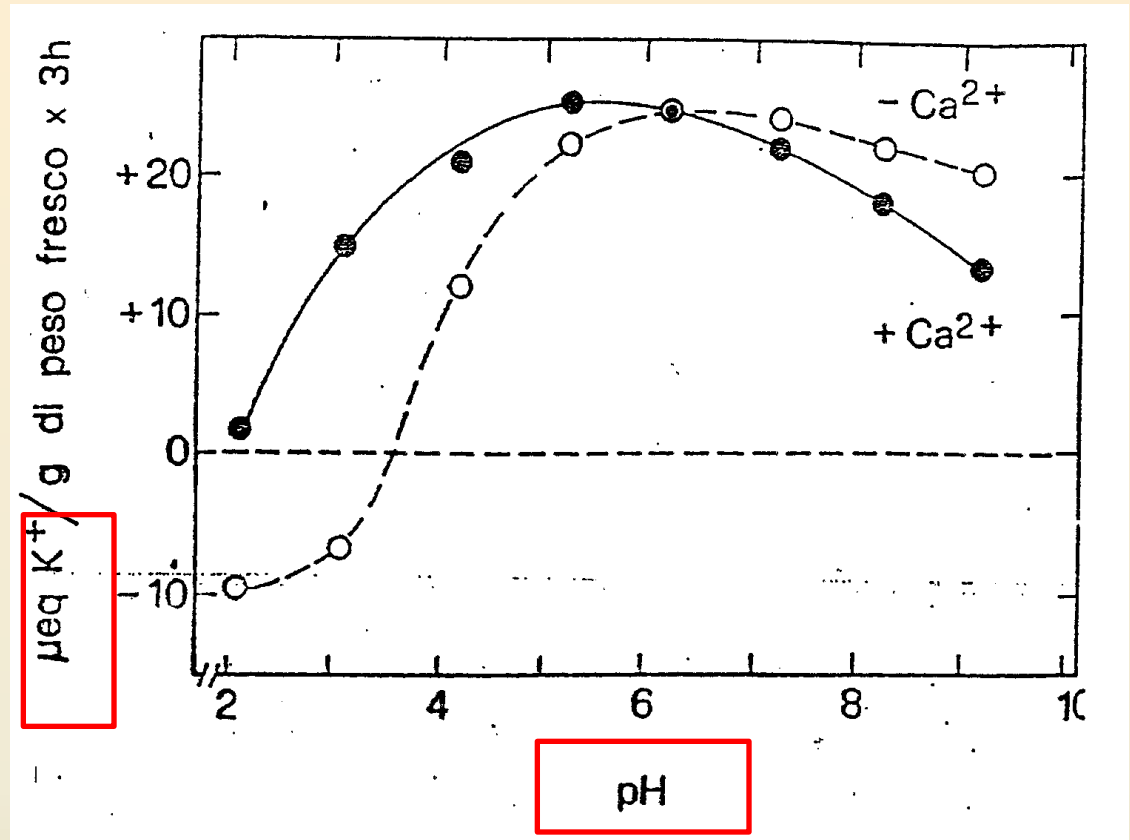
## Il $\text{Ca}^{2+}$ è un esempio di sinergismo: stimola l'assorbimento di cationi e anioni

### • a basso pH

Favorisce l'uptake di  $\text{K}^+$   
Contrasta l'effetto negativo degli  $\text{H}^+$  sull'integrità di membrana  
e sul funzionamento della pompa protonica

### • a pH elevati

competizione fra  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{++}$   
• Il valore di pH che segna la transizione da effetto sinergico a effetto competitivo sull'assorbimento del  $\text{K}^+$  non è un valore fisso ma dipende dalla specie vegetale





Nel rapporto  $K^+ / Na^+$   $\longrightarrow$

il  $Ca^{++}$  favorisce il  $K^+$

È importante nei suoli salini

Viene favorito l'antiporto  $K^+ / Na^+$   $\longrightarrow$

efflusso di  $Na^+$

Tab. 15.3 - Effetto di  $Ca^{2+}$  sulla selettività radicale  $K^+/Na^+$  in piante di mais e di barbabietola da zucchero (modificata da Marschner, 1986).

Soluzione esterna (10 meq/l di NaCl e KCl)	Velocità di assorbimento ( $\mu\text{eq/g}$ di sostanza fresca $\cdot$ 4 ore)					
	Mais			Barbabietola da zucchero		
	$Na^+$	$K^+$	$Na^+ + K^+$	$Na^+$	$K^+$	$Na^+ + K^+$
- Calcio	9.0	11.0	20.0	18.8	8.3	27.1
+ Calcio (1 meq/l di $CaCl_2$ )	5.9	15.0	20.9	15.4	10.7	26.1



# COMPETIZIONE IONICA

*Il  $Mg^{2+}$  ha un legame debole sui siti di scambio della membrana  
a causa di un elevato mantello di idratazione*

**Effetto di  $K^+$  e  $Ca^{2+}$  sull'assorbimento di  $Mg^{2+}$  marcato ( $^{28}Mg$ ) in  
piantine di orzo (\*) (modificata da Marschner, 1986).**

	Assorbimento di $Mg^{2+}$ ( $\mu eq Mg^{2+} / 10g$ di sostanza fresca · 8 ore)		
	$MgCl_2$	$MgCl_2 + CaSO_4$	$MgCl_2 + CaSO_4 + KCl$
Radici	165	115	15
Germogli	88	25	6.5



**La velocità di assorbimento dipende:**

- ❖ Dalla concentrazione delle specie cationiche
- ❖ Dalla concentrazione **individuale** di ogni catione
- ❖ Dall'efficienza del meccanismo di uptake

## Competizione efficace di $K^+$ e $Ca^{2+}$ con il $Mg^{2+}$

The effect of an increasing Mg application on the content of various species in sunflower plants (SCHARRER and JUNG [1955])

	K	Na	Ca	Mg	Sum
			me/100 g DM		
Mg <sub>1</sub> .....	49	4	42	49	144
Mg <sub>2</sub> .....	57	3	31	61	152
Mg <sub>3</sub> .....	57	2	23	68	150

**Aumentando la concentrazione di  $Mg^{2+}$  :**

Aumento del  $Mg^{2+}$  interno

Diminuzione di  $Ca^{2+}$  e  $Na^+$

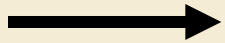
Il  $K^+$  resta invariato

**La somma totale dei cationi resta costante**

## Competizione $\text{NH}_4^+$ - $\text{NO}_3^-$

L'  $\text{NH}_4^+$  è assorbito di preferenza ritardando e inibendo  
l'uptake del  $\text{NO}_3^-$

Il rapido influsso di  $\text{NH}_4^+$  nel citoplasma:

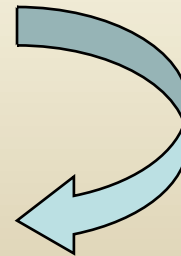


Soddisfa l'esigenza di N della pianta



Depolarizzazione della membrana

Soppressione uptake di  $\text{NO}_3^-$   
tramite **simporto**  $\text{NO}_3^- / \text{H}^+$




## RELAZIONI CATIONI-ANIONI

Effect of the Accompanying Ion on the Rate of  $K^+$  and  $Cl^-$  Uptake by Maize Plants"

Concentration (meq l <sup>-1</sup> )	Uptake rate ( $\mu\text{eq g}^{-1}$ fresh wt h <sup>-1</sup> )			
	$K^+$ from		$Cl^-$ from	
	KCl	<u>K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></u>	KCl	<u>CaCl<sub>2</sub></u>
0.2	1.6	1.6	0.8	0.7
2.0	2.7	1.9	2.0	1.0
20.0	5.7	2.2	4.3	2.1

"Recalculated from Lüttge and Laties (1966).

Le Piante tramite l'assorbimento radicale rimuovono cationi e anioni in modo disuguale


 necessità di
 

- Compensazione di cariche elettriche
- Regolazione del pH cellulare

Bilanciamento ionico e regolazione del pH cellulare si realizzano con

1. **Accumulo o degradazione all'interno di anioni di acidi organici**
2. **Invio all'esterno di  $H^+$  o  $OH^-$  ( $HCO_3^-$ )**

Relationship between Cation–Anion Uptake and Organic Acid Content in Isolated Barley Roots<sup>a</sup>

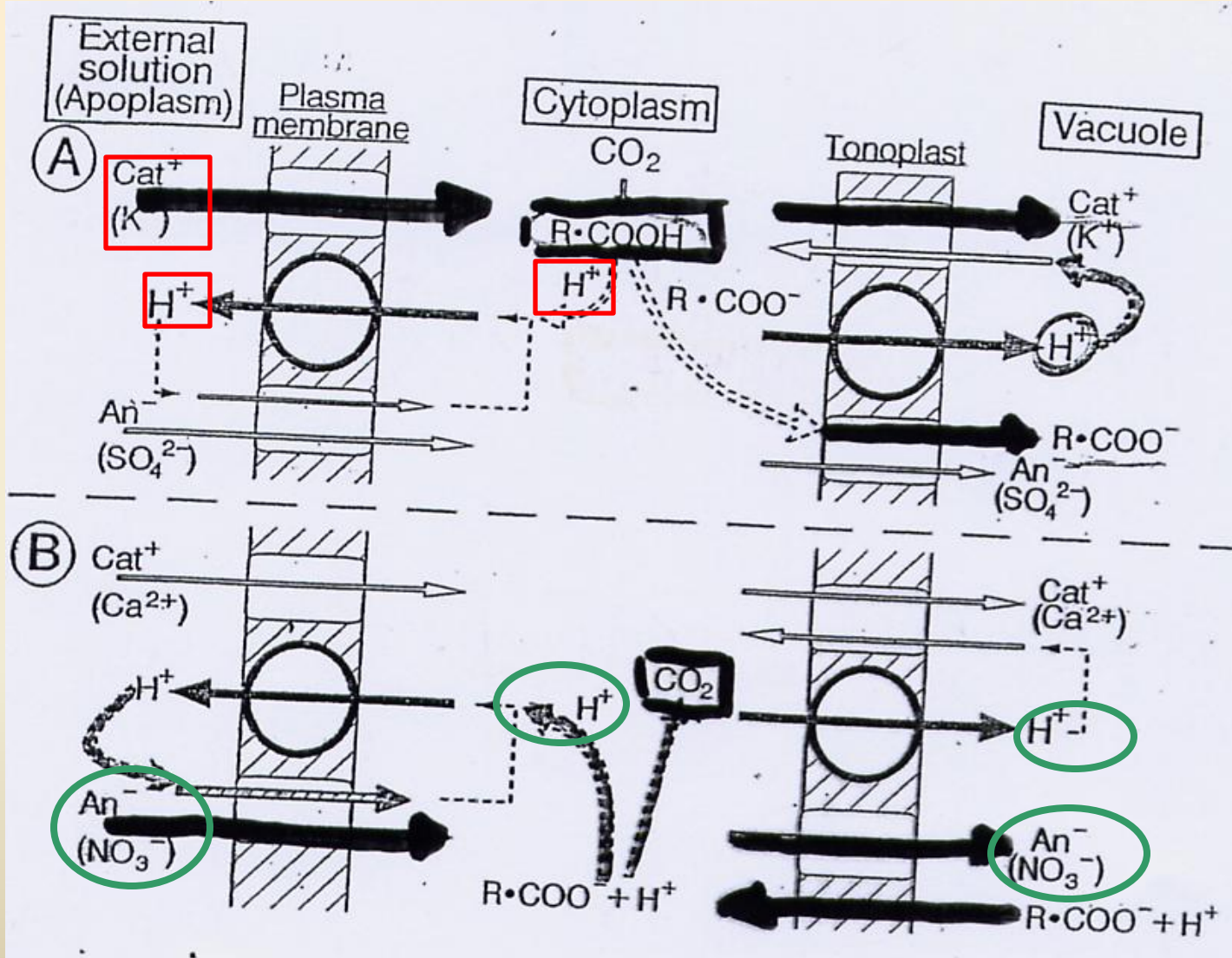
External solution (meq l <sup>-1</sup> )	Uptake ( $\mu\text{eq g}^{-1}$ fresh wt)		Change in organic acid ( $\mu\text{eq g}^{-1}$ fresh wt)	<sup>14</sup> CO <sub>2</sub> Fixation (relative)
	Cations	Anions		
2 <u>K</u> <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	17 ↑	1	+15.1 ↑	145 ↑
1 <u>K</u> Cl	28	29	-0.2	100
1 <u>Ca</u> Cl <sub>2</sub>	1	15 ↑	-9.7	60 ↓

<sup>a</sup>Based on Hiatt (1967a, b) and Hiatt and Hendricks (1967).

Il malato svolge un ruolo importante come anione che compensa gli squilibri ionici:


- si accumula nel *vacuolo* dove entra come contro-ione nel

**trasporto di +**



Esce dal vacuolo come contro-ione nel **trasporto di -**  
 Decarbossilazione del malato e fuoriuscita di HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>

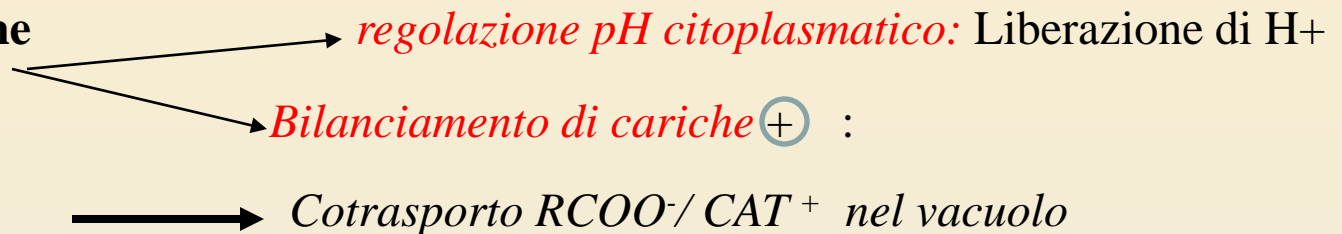
## Assorbimento di Cationi > Anioni

-  - Aumento del pH citoplasmatico  
- Aumento delle cariche +○

Sintesi e traslocazione

di Acidi Organici

(RCOO<sup>-</sup>)



## Assorbimento di Anioni > Cationi

- Diminuzione pH citoplasmatico
- Aumento cariche ⊖ all'interno

*Bilanciamento di cariche* ⊖ *Controtrasporto*: AN<sup>-</sup> nel vacuolo /RCOO<sup>-</sup> nel citoplasma

*Decarbossilazione degli acidi organici*

