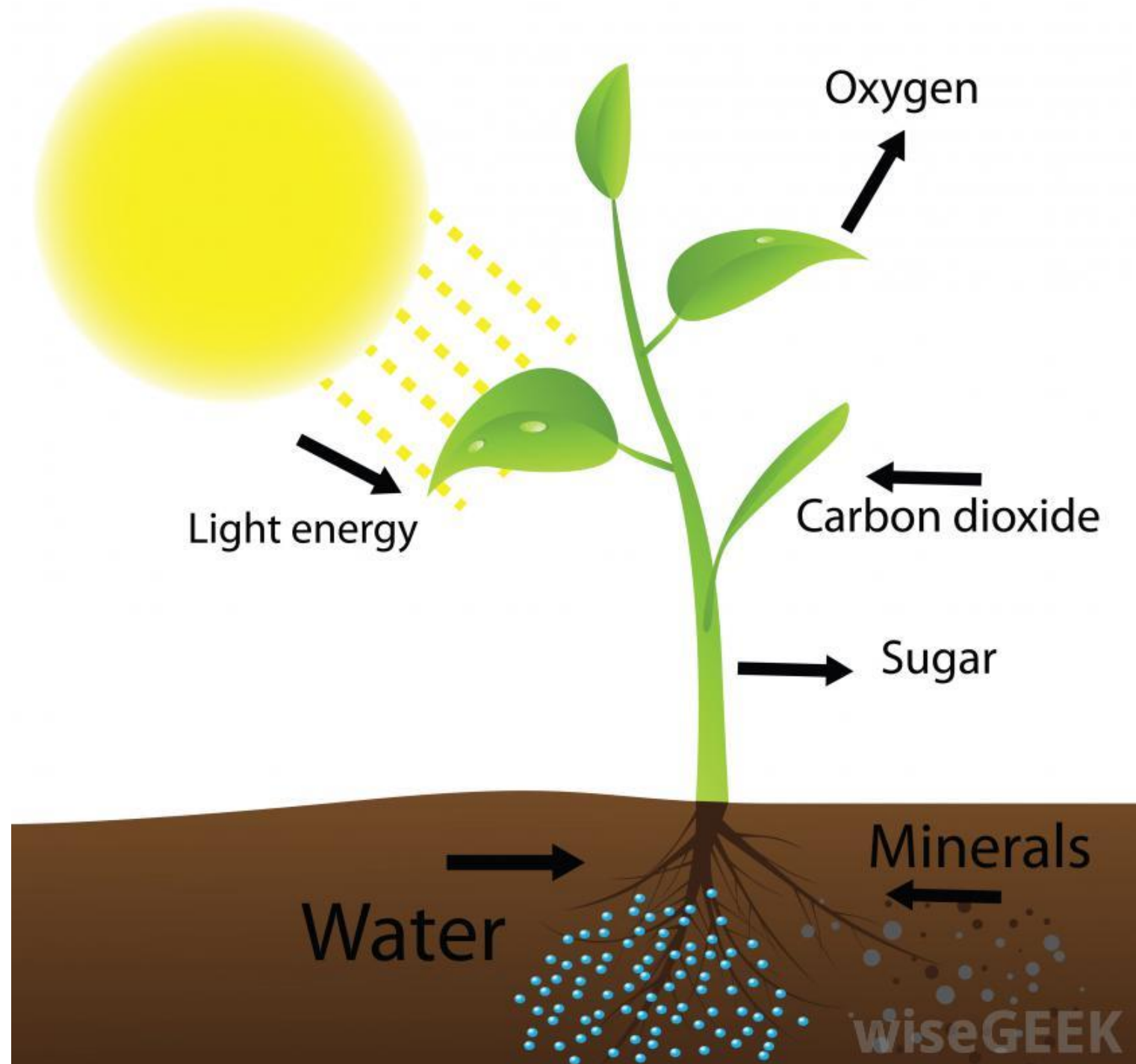


Piante e nutrienti inorganici



Nutrizione minerale:
assunzione dei nutrienti minerali da parte delle piante

- Meccanismi di acquisizione
- Processi regolativi

Sito principale di assorbimento dei nutrienti minerali: **le radici**

In parte minoritaria, anche le foglie possono essere sede di assorbimento di nutrienti minerali

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Period 1	1 H																		2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
6	55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	
7	87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo	

58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

Periodic Table Key

X
Synthetic
Elements

X
Liquids or
melt at close
to room temp.

X
Solids

X
Gases

Alkali Metals

Alkali Earth
Metals

Transition
Metals

Other Metals

Metalloids

Other Non
Metals

Halogens

Noble Gases

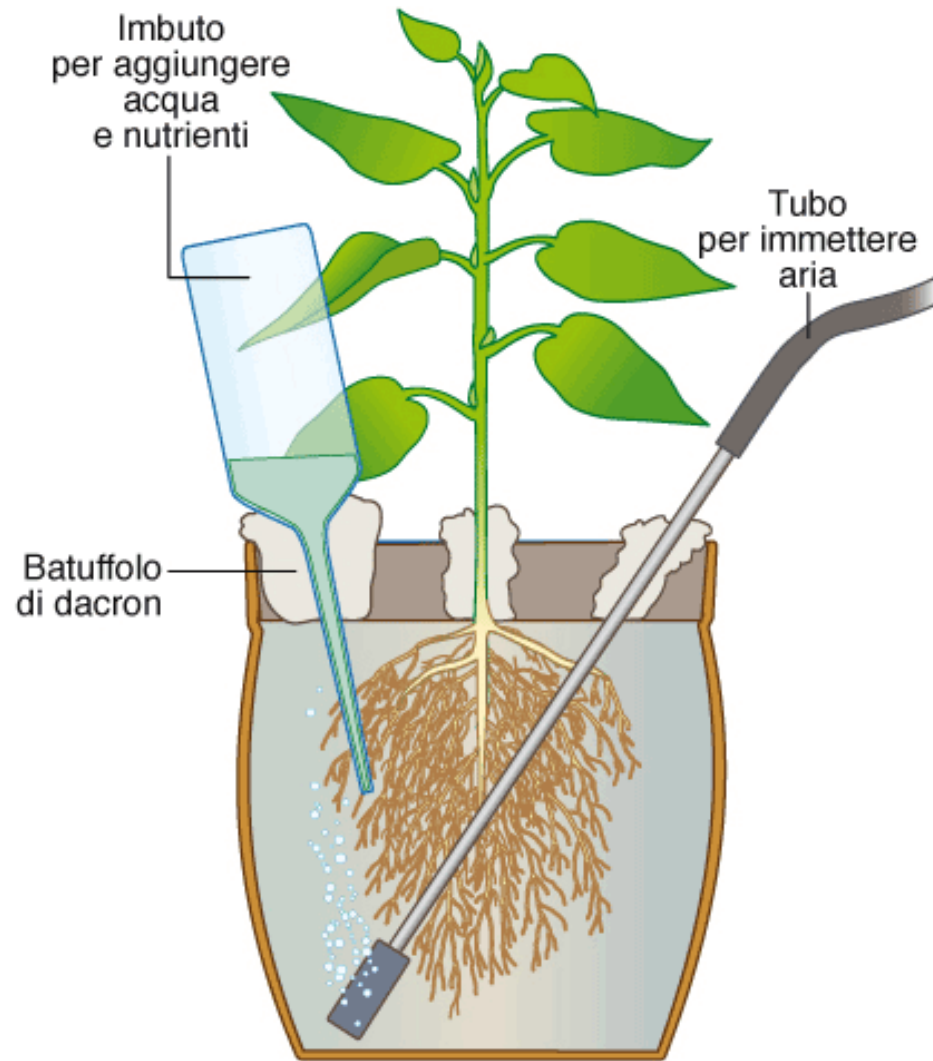
Lanthanides
& Actinides

Elemento essenziale: elemento la cui assenza impedisce il completamento del ciclo biologico (sviluppo, riproduzione) della pianta.

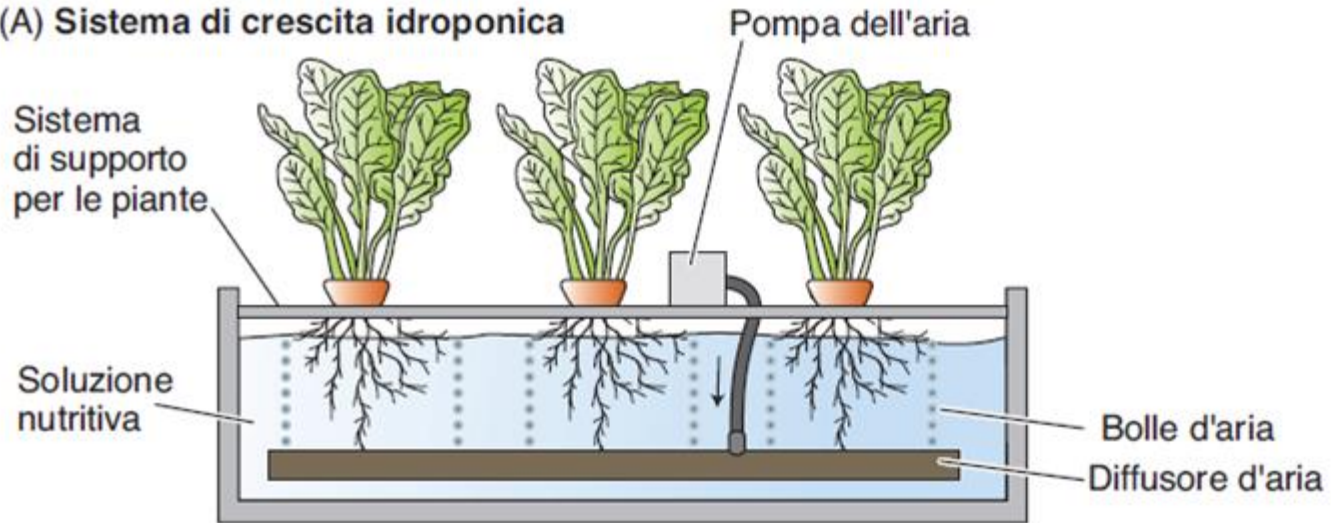
Gli elementi essenziali vengono classificati in:

- **Macronutrienti:** elementi richiesti in notevole quantità
- **Micronutrienti** (o elementi in traccia): elementi richiesti in tracce o piccole quantità

Coltura idroponica



(A) Sistema di crescita idroponica



(C) Sistema di crescita aeroponica

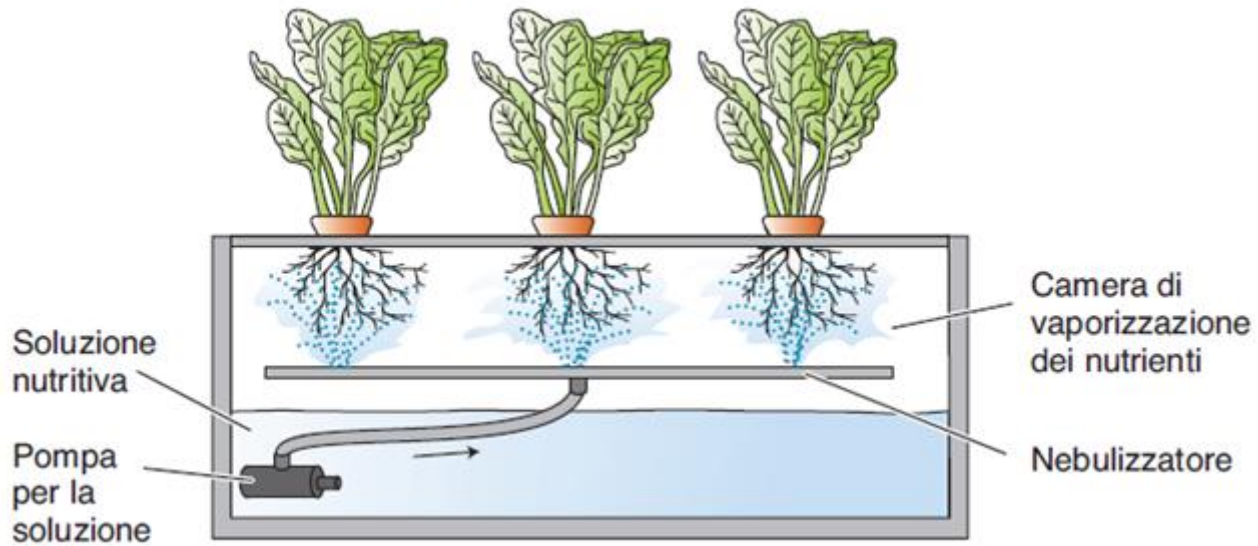


TABELLA 12.4 Gli elementi nutritivi essenziali per le piante superiori e loro concentrazioni considerate adeguate per una normale crescita

Elemento	Simbolo chimico	Forma disponibile	Concentrazione nella sostanza secca (mmol/Kg)
Macronutrienti			
Idrogeno	H	H ₂ O	60 000
Carbonio	C	CO ₂	40 000
Ossigeno	O	O ₂ , CO ₂	30 000
Azoto	N	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	1000
Potassio	K	K ⁺	250
Calcio	Ca	Ca ²⁺	125
Magnesio	Mg	Mg ²⁺	80
Fosforo	P	HPO ₄ ⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻	60
Zolfo	S	SO ₄ ²⁻	30
Micronutrienti			
Cloro	Cl	Cl ⁻	3,0
Boro	B	BO ₃ ⁻	2,0
Ferro	Fe	Fe ²⁺ , Fe ³⁺	2,0
Manganese	Mn	Mn ²⁺	1,0
Zinco	Zn	Zn ²⁺	0,3
Rame	Cu	Cu ²⁺	0,1
Nichel	Ni	Ni ²⁺	0,05
Molibdeno	Mo	MoO ₄ ⁻	0,001

Nutrienti minerali

Elementi benefici:

Sodio (es. *Atriplex vesicaria*, piante C4)

Silicio (es. *Zea mays*, *Equisetum* sp.)

Cobalto (es. leguminose in simbiosi con batteri azoto-fissatori)

Anche elementi non essenziali (es. Al) possono essere accumulati in notevole quantità da alcune piante (iperaccumulatrici)

Classificazione sulla base delle funzioni biochimiche e fisiologiche dei nutrienti essenziali: 4 gruppi

Gruppo 1	Nutrienti che costituiscono i composti organici vegetali
N	Costituenti 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.

Assimilati tramite reazioni di ossido-riduzione, per formare legami covalenti con il carbonio e incorporarli nei composti organici

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 coinvolta l'ATP.
Si	È depositato nelle pareti cellulari sotto forma di silice amorfo. Contribuisce alle proprietà meccaniche della parete cellulare, comprese rigidità ed elasticità.
B	Complessa con mannitolo, mannano, acido polimannuronico e altri costituenti di pareti cellulari. È coinvolto nel processo di allungamento cellulare e nel metabolismo degli acidi nucleici.

Presenti nelle piante come fosfati, silicati, borati

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.
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.
Mg	Richiesto da numerosi enzimi coinvolti nel trasferimento del fosfato. Costituente della molecola di clorofilla.
Cl	Richiesto per le reazioni fotosintetiche coinvolte nello sviluppo di O ₂ .
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 O ₂ .
Na	Coinvolto nella rigenerazione del fosfoenolpiruvato nelle piante C ₄ e CAM. Sostituto del potassio in certe funzioni.

Disciolti nelle soluzioni cellulari o legati elettrostaticamente a componenti strutturali (es. pectine di parete) o enzimatici (co-fattori). Ruolo anche nell'osmoregolazione.

Gruppo 4	Nutrienti coinvolti nelle reazioni redox
Fe	Costituente di citocromi e ferro proteine non emiche coinvolte nel processo fotosintetico, nella fissazione dell' N_2 e nella respirazione.
Zn	Costituente dell'alcool deidrogenasi, della glutammato deidrogenasi, della carbonato anidraasi ecc.
Cu	Componente di ascorbato ossidasi, tirosinasi, monoammina ossidasi, uricasi, citocromo ossidasi, fenolasi, laccasi e plastocianina.
Ni	Costituente dell'ureasi. Presente nei batteri azoto-fissatori come costituente dell'idrogenasi.
Mo	Costituente della nitrogenasi, della nitrato reductasi e della xantina deidrogenasi.

Metalli coinvolti in reazioni di ossidoriduzione (comprese catene di trasporto degli elettroni)

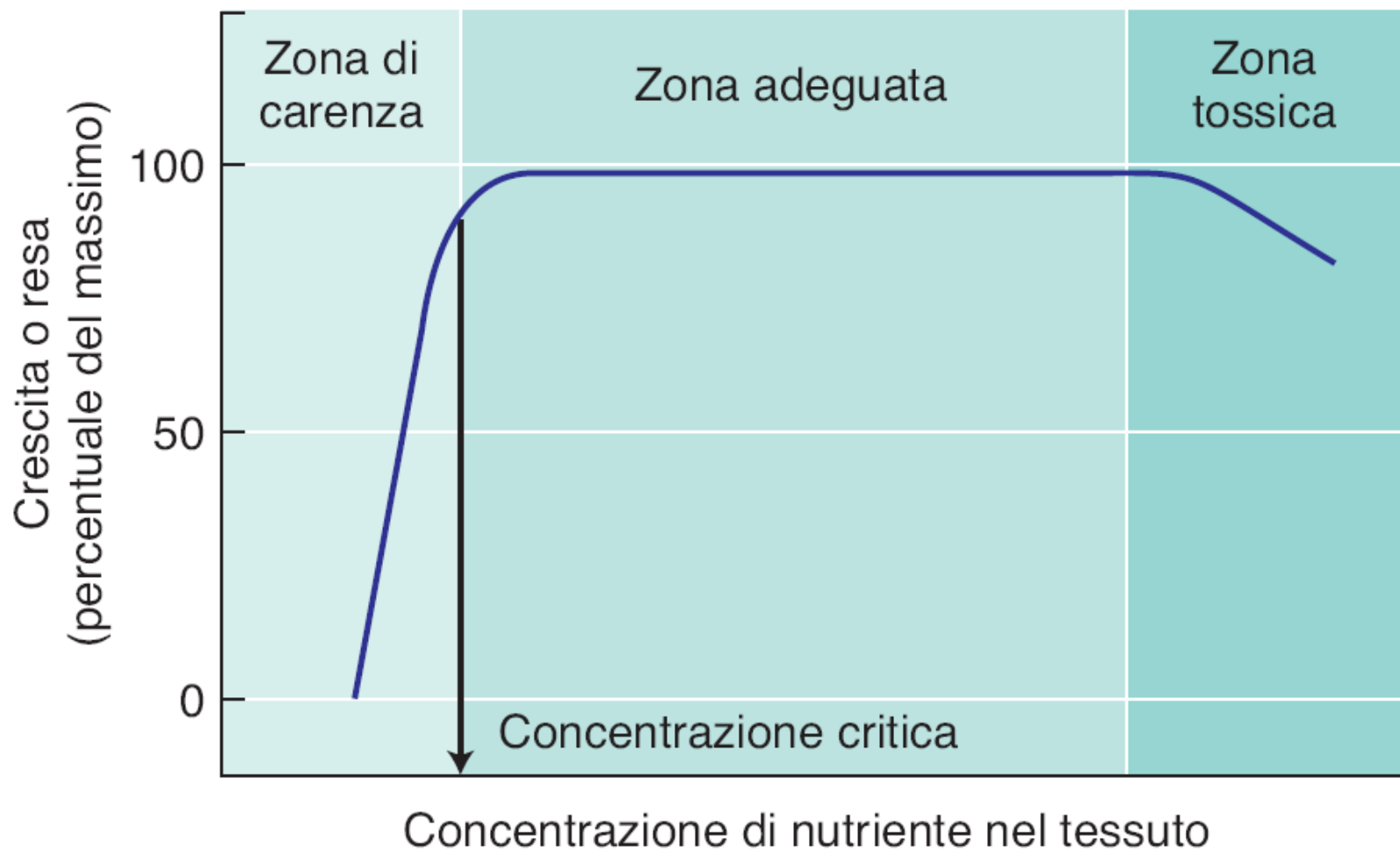


TABELLA 5.4

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.

Gruppo 1: carenze nei nutrienti minerali che fanno parte dei composti carboniosi



Inibizione accrescimento, clorosi diffusa (prima nelle foglie vecchie), appassimento, fusti legnosi, colorazione rosso-porpora (sintesi antocianine)

Figura S5.1D Sintomi da carenza d'azoto nel pomodoro (Epstein e Bloom 2004).



Inibizione accrescimento, clorosi diffusa (foglie giovani), venature e piccioli di colore rosso, lesioni necrotiche ai margini della foglia

Figura S5.1F Sintomi da carenza di zolfo nel pomodoro (Epstein e Bloom 2004).

Gruppo 2: carenze nei nutrienti minerali importanti nell'accumulo di energia o per l'integrità strutturale



Crescita stentata, foglie verde scuro, a volte deformi e con macchie necrotiche, colorazione violacea, morte delle foglie vecchie

Figura S5.1E Sintomi da carenza di fosforo nel pomodoro (Epstein e Bloom 2004).



Necrosi di giovani foglie (alla base) e gemme terminali, fusti rigidi e fragili, ramificazione eccessiva (perdita dominanza apicale)

Figura S5.1H Sintomi da carenza di boro nel pomodoro (Epstein e Bloom 2004).

Gruppo 3: carenze nei nutrienti minerali che rimangono in forma ionica



Clorosi marginali che sviluppano in necrosi, soprattutto agli apici, sintomi più evidenti nelle foglie vecchie e basali. Arroccamento foglie

Figura S5.1M Sintomi da carenza di potassio nel pomodoro (Epstein e Bloom 2004)



Necrosi di regioni meristematiche (apici vegetativi del fusto e della radice), clorosi generale, ripiegamento delle foglie giovani (alterazioni proprietà meccaniche della parete cellulare)

Figura S5.1I Sintomi da carenza di calcio nel pomodoro (Epstein e Bloom 2004).

Gruppo 4: carenze nei nutrienti minerali coinvolti in reazioni redox



Clorosi intervenaturale nelle foglie giovani, colorazione biancastra della pianta

Figura S5.1L Sintomi da carenza di ferro nel pomodoro (Epstein e Bloom 2004).



Produzione di foglie verde scuro con macchie necrotiche (a partire dall'apice), foglie ruotate o deformi

Figura S5.1K Sintomi da carenza di rame nel pomodoro (Epstein e Bloom 2004).

TABLE 36.1**Mineral Elements Required by Plants**

ELEMENT	ABSORBED FORM	MAJOR FUNCTIONS
MACRONUTRIENTS		
Nitrogen (N)	NO_3^- and NH_4^+	In proteins, nucleic acids, etc.
Phosphorus (P)	H_2PO_4^- and HPO_4^{2-}	In nucleic acids, ATP, phospholipids, etc.
Potassium (K)	K^+	Enzyme activation; water balance; ion balance; stomatal opening
Sulfur (S)	SO_4^{2-}	In proteins and coenzymes
Calcium (Ca)	Ca^{2+}	Affects the cytoskeleton, membranes, and many enzymes; second messenger
Magnesium (Mg)	Mg^{2+}	In chlorophyll; required by many enzymes; stabilizes ribosomes
MICRONUTRIENTS		
Iron (Fe)	Fe^{2+} and Fe^{3+}	In active site of many redox enzymes and electron carriers; chlorophyll synthesis
Chlorine (Cl)	Cl^-	Photosynthesis; ion balance
Manganese (Mn)	Mn^{2+}	Activation of many enzymes
Boron (B)	B(OH)_3	Possibly carbohydrate transport (poorly understood)
Zinc (Zn)	Zn^{2+}	Enzyme activation; auxin synthesis
Copper (Cu)	Cu^{2+}	In active site of many redox enzymes and electron carriers
Nickel (Ni)	Ni^{2+}	Activation of one enzyme
Molybdenum (Mo)	MoO_4^{2-}	Nitrate reduction

LIFE 8e, Table 36.1

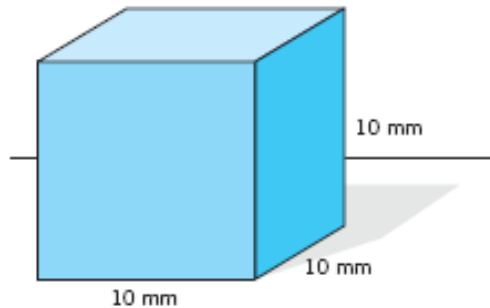
Tutti gli elementi essenziali (tranne il Boro) sono assorbiti in forma ionica

Quindi, per tutti gli elementi essenziali sono necessari sistemi di trasporto di membrana!

Colloidi:

- Argille: particelle inorganiche del suolo, contengono alluminati e silicati (Al^{3+} o Si^{4+} legati ad atomi di O). Cationi di valenza inferiore possono sostituire Al o Si e le particelle diventano cariche negativamente.
- Particelle organiche del suolo (humus), cariche negative dovute ai gruppi carbossilici ed idrossilici esposti alla superficie

Area specifica superficiale = $600 \text{ mm}^2 \text{ g}^{-1}$



Area specifica superficiale = $6000000 \text{ mm}^2 \text{ g}^{-1}$

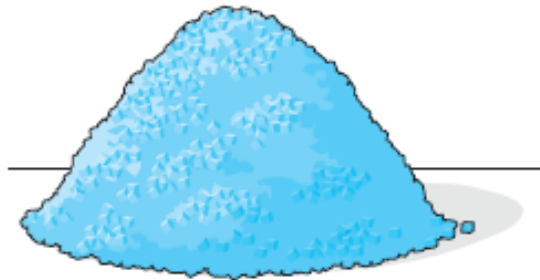


FIGURA 13.1 Le particelle di dimensioni colloidali hanno una grande superficie per unità di massa, o area specifica superficiale.

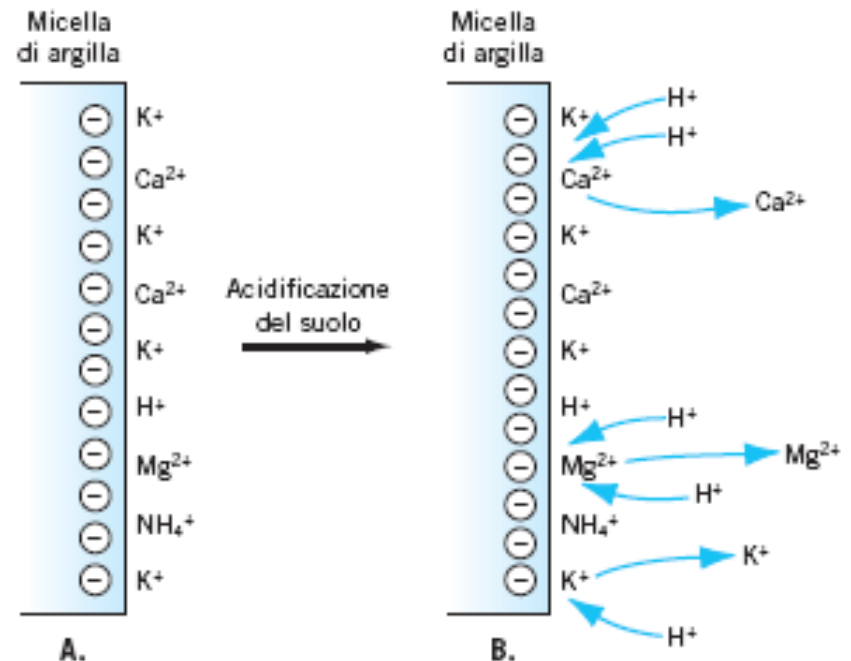


FIGURA 13.2 Scambio ionico nel suolo. (A) I cationi sono adsorbiti, per attrazione elettrostatica, dalle particelle cariche negativamente. (B) L'acidificazione del suolo aumenta la concentrazione di ioni idrogeno che, avendo una forte attrazione per le cariche colloidali superficiali, spostano gli altri cationi liberandoli nella soluzione del terreno.

TABELLA 5.5

Confronto fra le proprietà di tre principali tipi di argille di silicato presenti nel suolo

Proprietà	Tipo di argilla		
	Montmorillonite	Illite	Caolinite
Grandezza (μm)	0,01-1,0	0,1-2,0	0,1-5,0
Forma	Fiocchi irregolari	Fiocchi irregolari	Cristalli esagonali
Coesione	Alta	Media	Bassa
Capacità di rigonfiamento nell'acqua	Alta	Media	Bassa
Capacità di scambio di cationi (milliequivalenti 100 g^{-1})	80-100	15-40	3-15

Nota: un milliequivalente è la millesima parte del peso atomico di uno ione (espresso in g) diviso il numero di cariche elettriche presenti nello ione stesso. Quindi, 1 meq/l contiene sempre lo stesso numero di ioni.

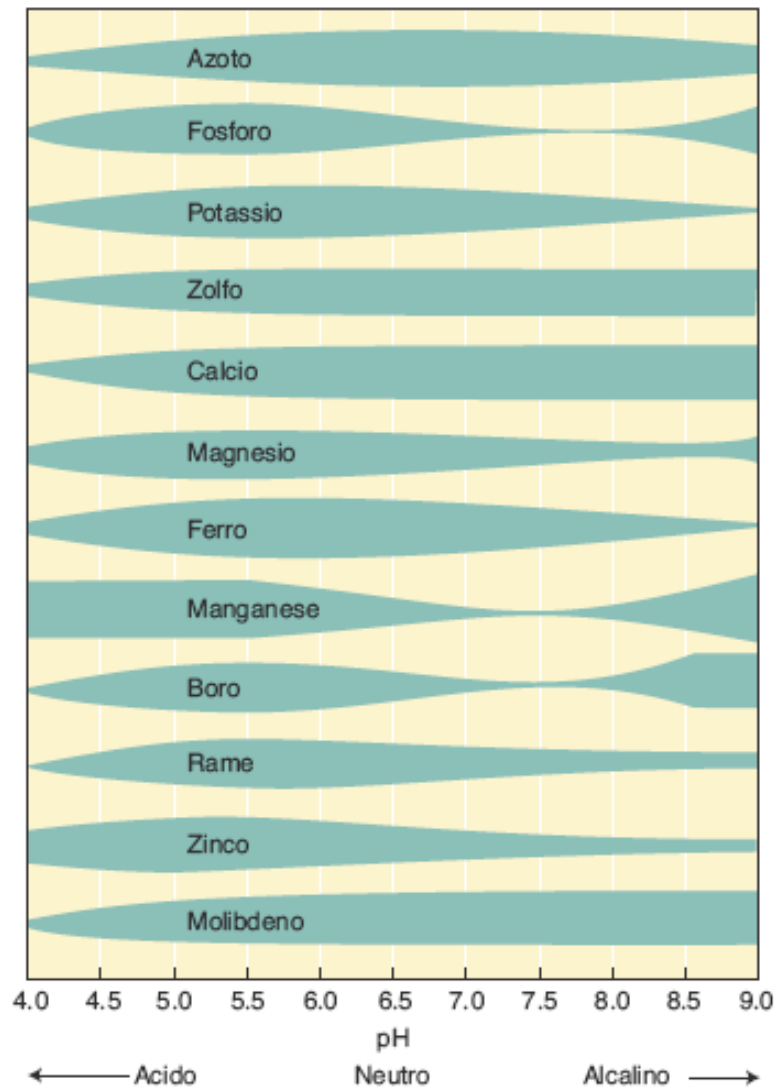


Figura 5.4 Effetto del pH del suolo sulla disponibilità degli elementi nutritivi nei suoli organici. L'ampiezza delle aree ombreggiate indica il grado di disponibilità per la radice della pianta dell'elemento nutritivo. Tutti questi nutrienti sono disponibili nella gamma di pH da 5,5 a 6,5. (Da Lucas e Davis 1961).

Disponibilità di un nutriente per le radici dipende da:

- Concentrazione
- Solubilità e mobilità del nutriente (dipendono soprattutto dal pH del suolo)

Le interazioni con le componenti del suolo (v. adsorbimento su particelle colloidali) influenzano la mobilità

Assorbimento radicale

TABELLA 13.2 Assorbimento e traslocazione di potassio e calcio in funzione della posizione lungo una radice di mais

Zona di applicazione ¹	Ione	Totale assorbito ²	Percentuale trattenuta	Percentuale traslocata a:	
				Apice radice	Germoglio
0-3	K ⁺	15,3	75	–	25
	Ca ²⁺	6,3	63	–	37
6-9	K ⁺	22,7	17	19	64
	Ca ²⁺	3,8	42	–	58
12-15	K ⁺	19,5	10	10	80
	Ca ²⁺	2,8	14	–	86

¹ Distanza dall'apice della radice in cm.

² Assorbimento espresso come microequivalenti per 24 ore. (Basato su dati di H. Marschner e C. Richter, 1973, Z. Pflanzenernaeh, Bodenkd, 135:1-15.)

I soluti assorbiti a livello dell'apice vengono trattenuti nell'apice

I soluti assorbiti a 6-15 cm di distanza dall'apice vengono traslocati sia verso l'apice radicale che verso il germoglio

La zona preferenziale di assorbimento dipende dalla specie e dal nutriente

Calcio

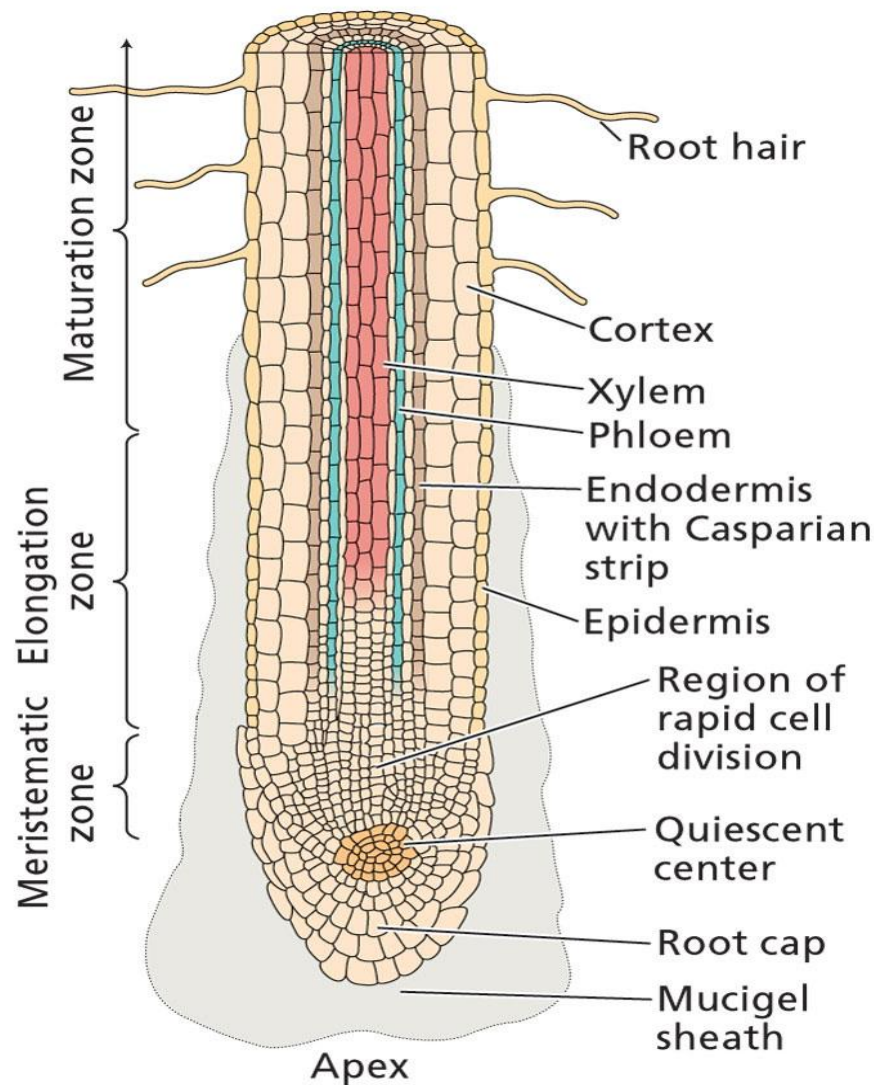
- Regione apicale

Ferro

- Regione apicale (orzo)
- Tutta la radice (mais)

Potassio, nitrato, ammonio, fosfato

- Tutta la radice, ma:
 - Nel mais, la zona di allungamento ha il massimo assorbimento di potassio e nitrato
 - In mais e riso, l'apice radicale assorbe ammonio più velocemente della zona di allungamento
 - In molte specie, i peli radicali sono più attivi nell'assorbimento di fosfato



Fattori che influiscono sulla capacità di assorbimento dei nutrienti da parte della pianta

Fattori intrinseci al nutriente:

- Dimensioni
- Valenza
- Concentrazione

Fattori ambientali/fisiologici:

- pH
- Temperatura
- Acqua
- O₂

Zona di esaurimento:

Varia da un nutriente all'altro (solubilità e mobilità)

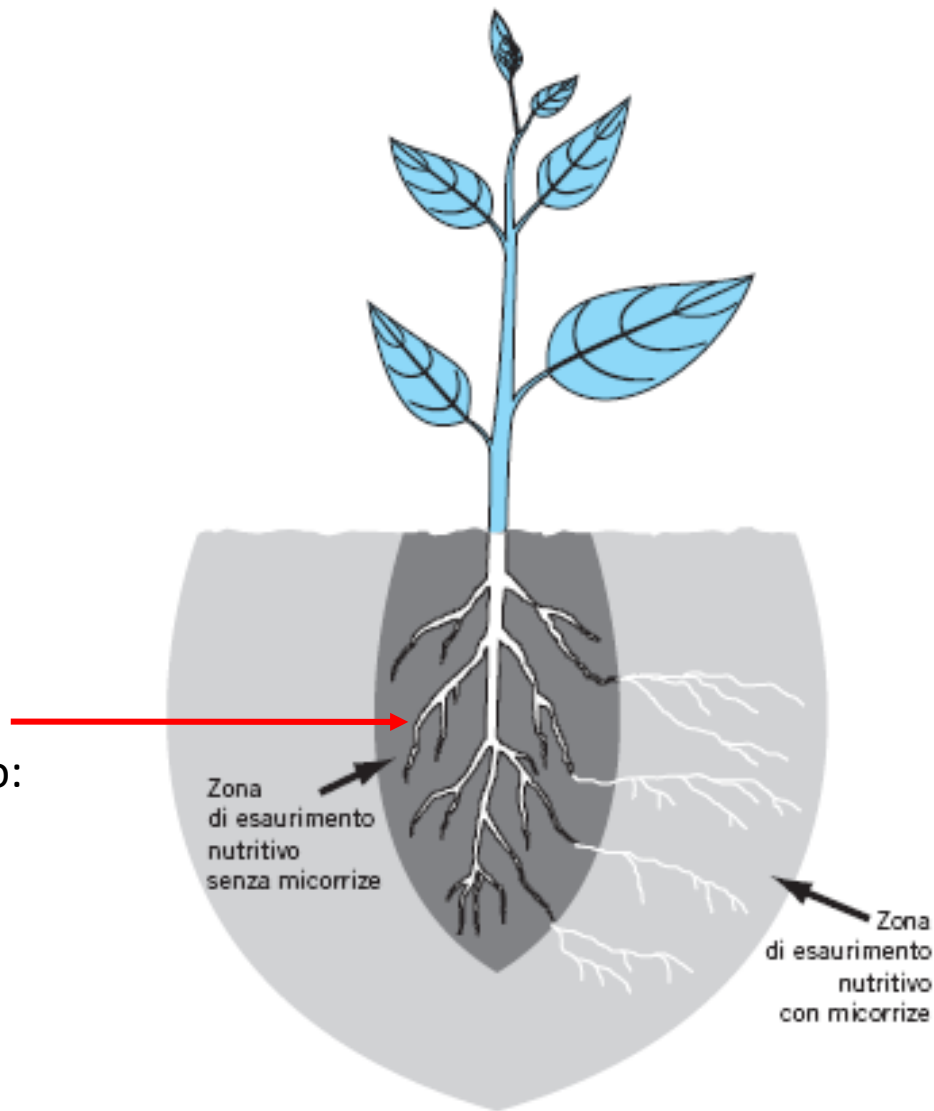


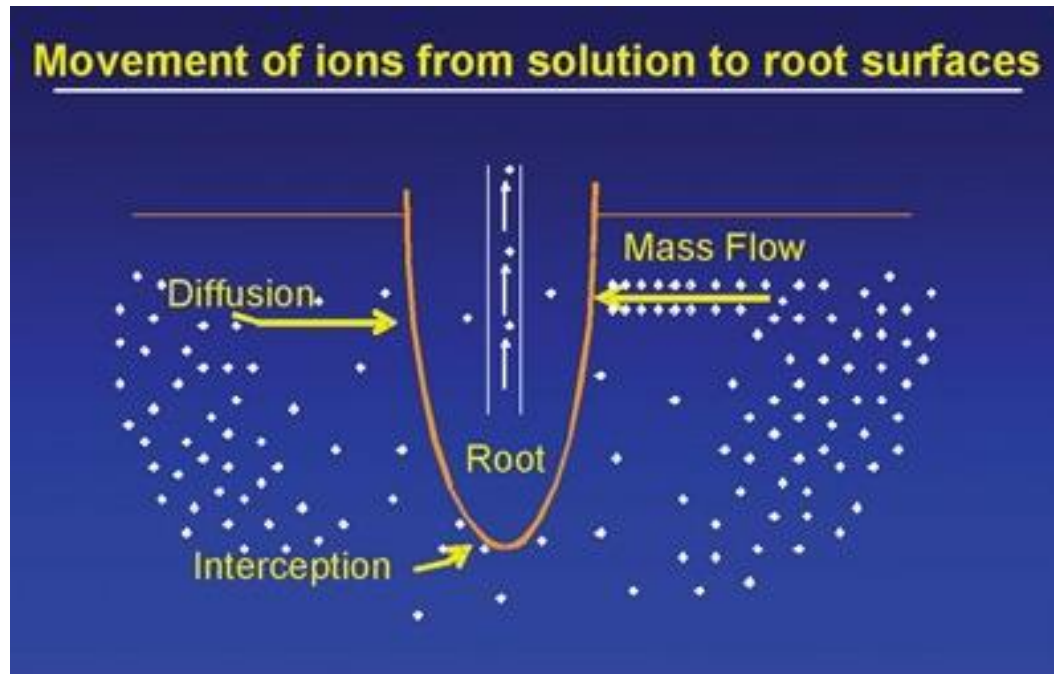
FIGURA 13.16 Una infezione di radici con funghi micorrizici estende la zona di esaurimento nutritivo per una pianta. Questa zona rappresenta il volume di terreno da cui il sistema radicale trae i nutrienti.

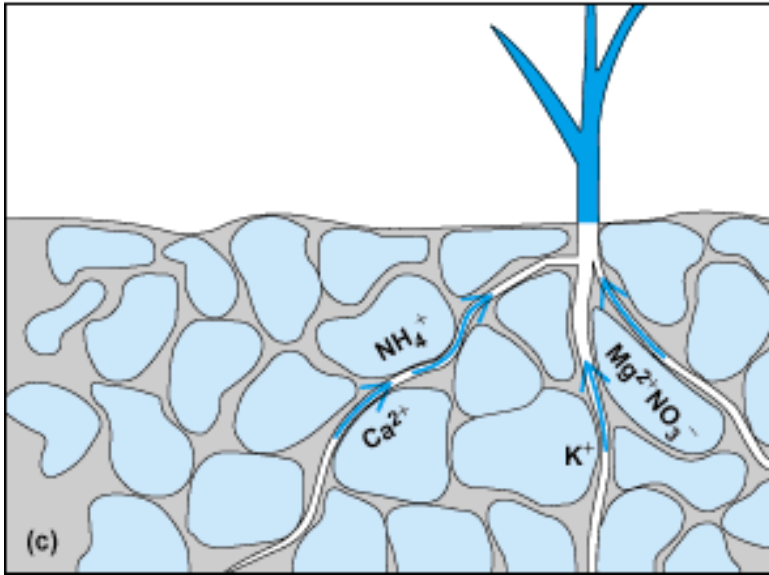
Come arrivano i nutrienti in prossimità della radice?

Accrescimento e intercettazione da parte delle radici

Diffusione

Flusso di massa





Intercettazione

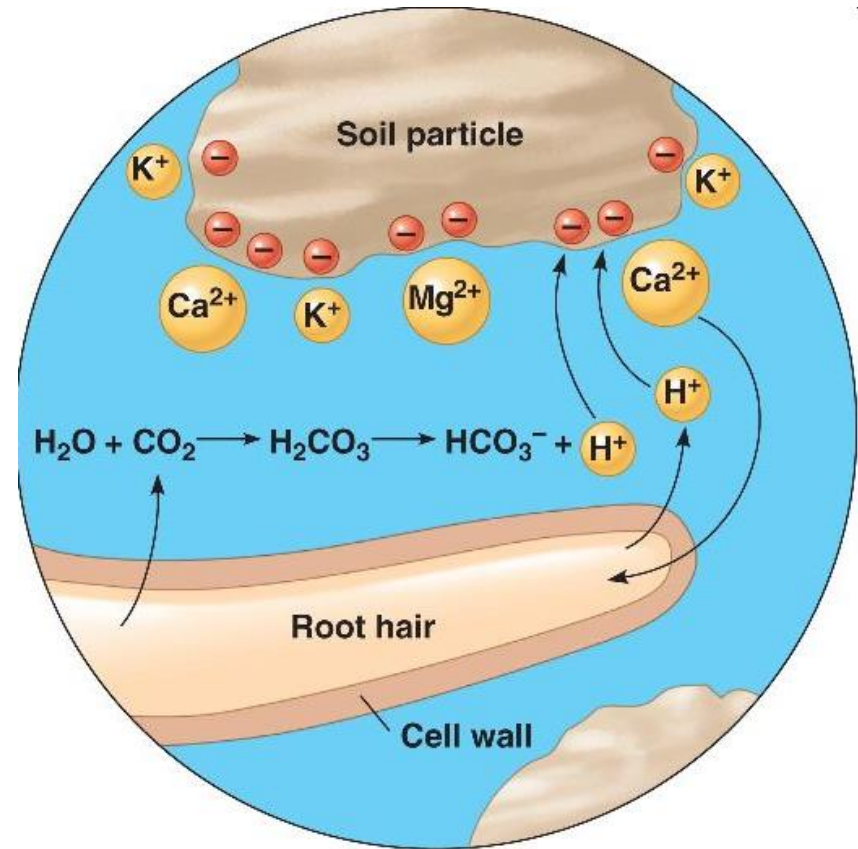


Table 3. Percent of nutrients taken up by a corn crop normally supplied by root interception, mass flow and diffusion

Nutrient	Root interception	Mass flow	Diffusion
	% of uptake possible		
Nitrogen	<1	80	19
Phosphorous	2	5	93
Potassium	2	18	80

Diffusione

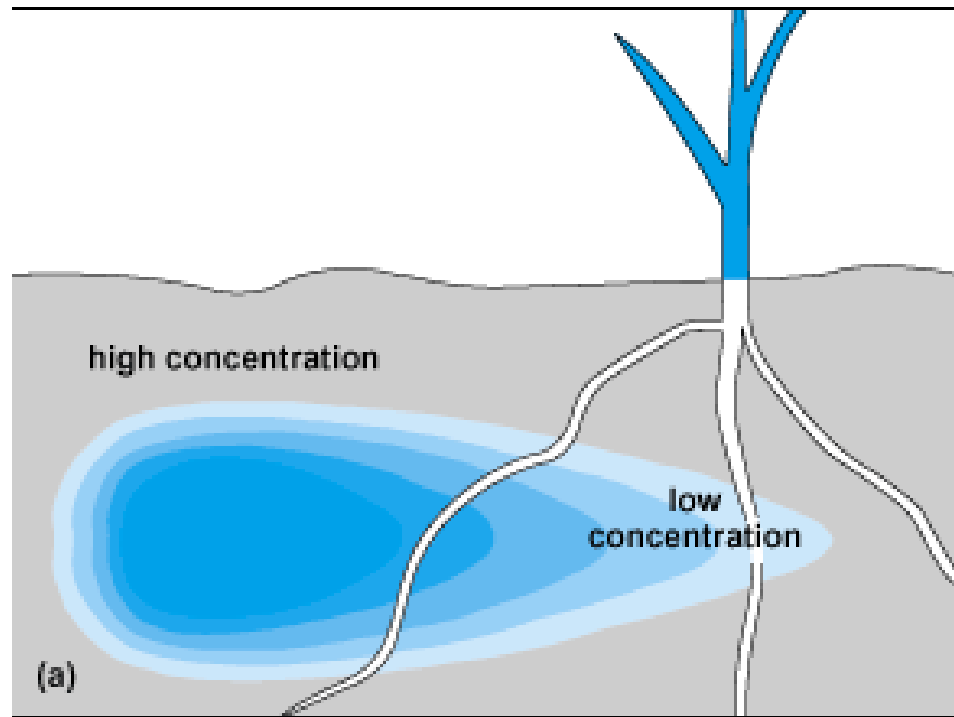


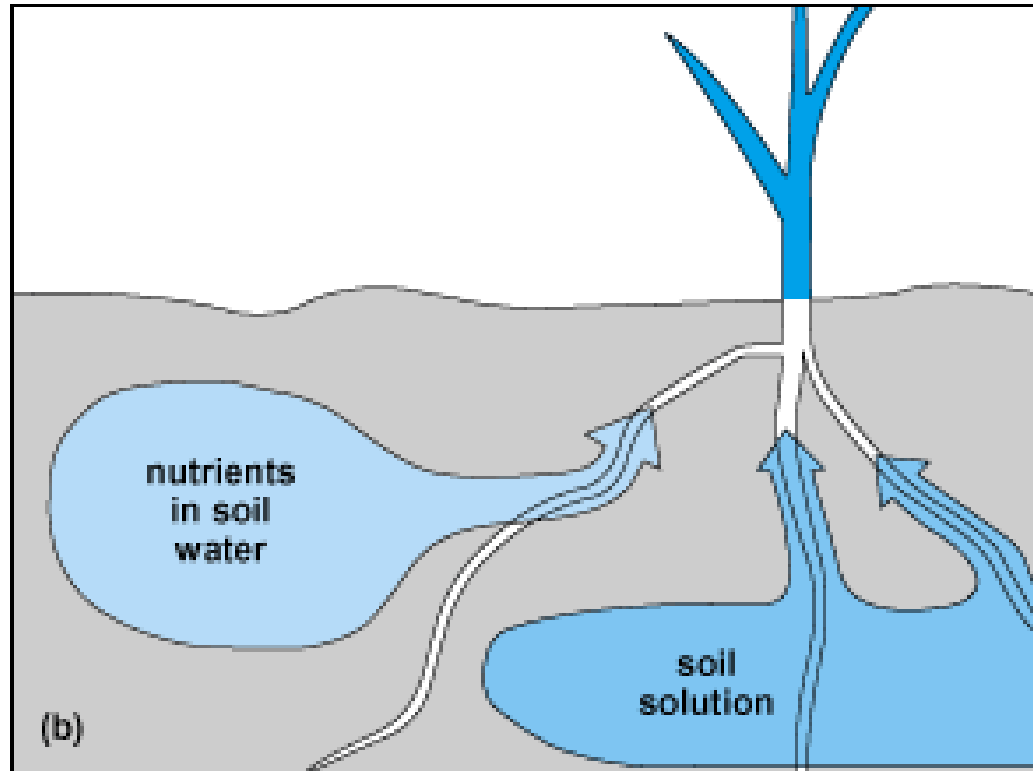
TABLE 3. Typical values for diffusion coefficients for ions in moist soil.*

Ion	Diffusion coefficient ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$)
Cl^-	$2-9 \cdot 10^{-10}$
NO_3^-	$1 \cdot 10^{-10}$
SO_4^{2-}	$1-2 \cdot 10^{-10}$
H_2PO_4^-	$0.3-3.3 \cdot 10^{-13}$
K^+	$1-28 \cdot 10^{-12}$

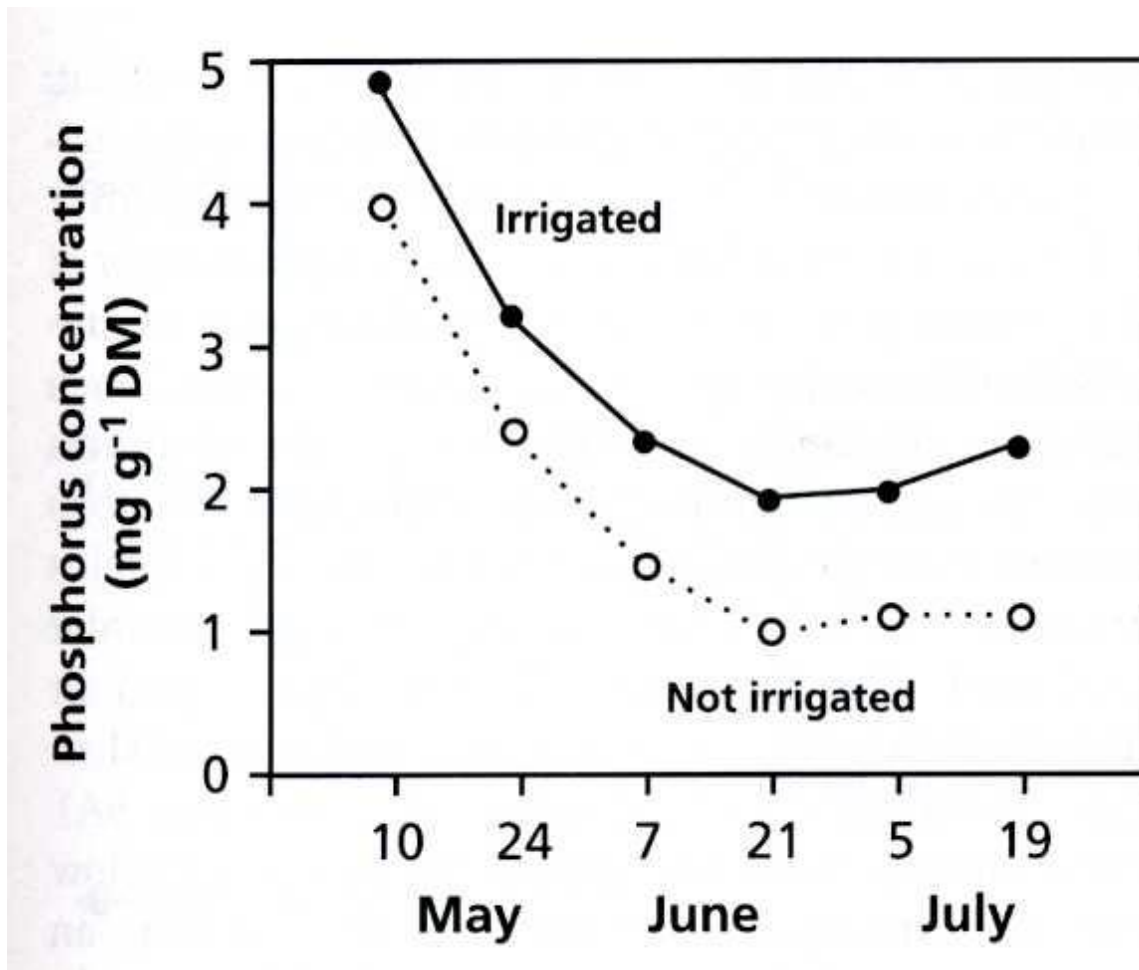
Source: Clarkson 1981.

*The range of values represents values for different soil types.

Flusso di massa

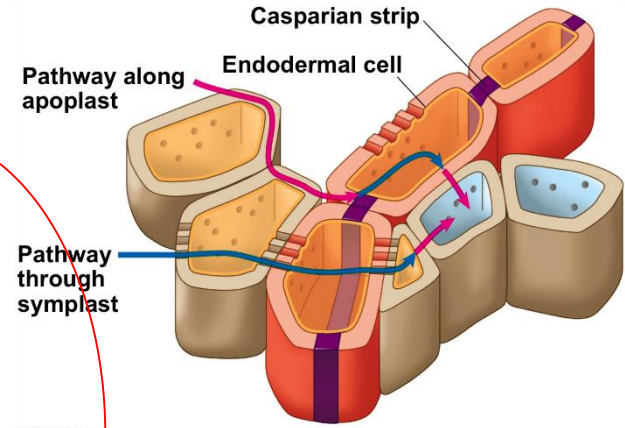
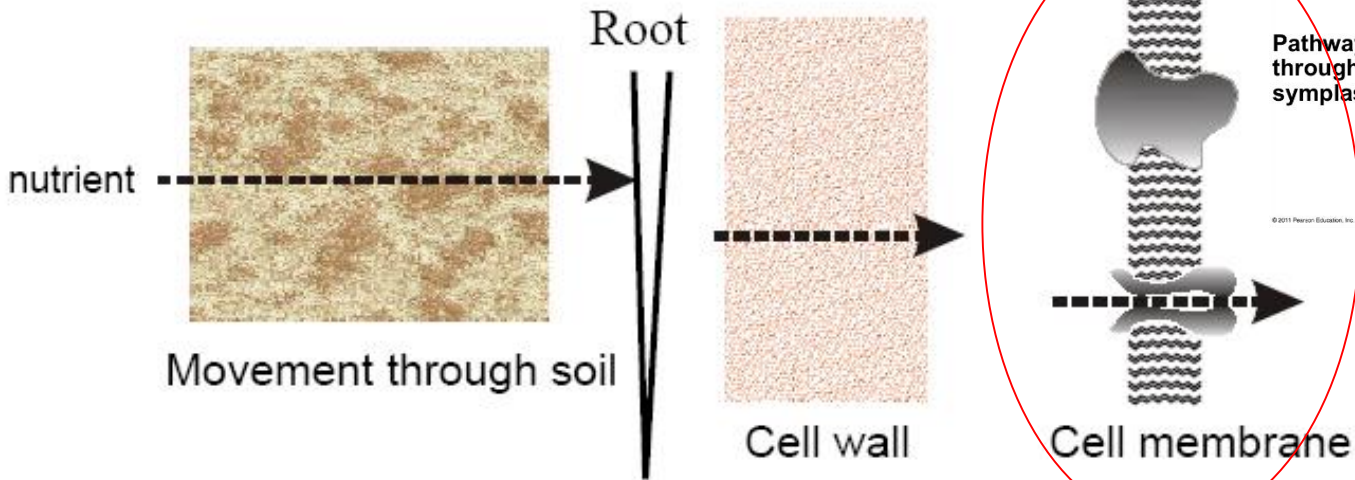


Il contenuto idrico del suolo influisce sull'assorbimento di nutrienti

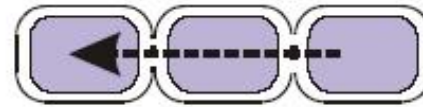
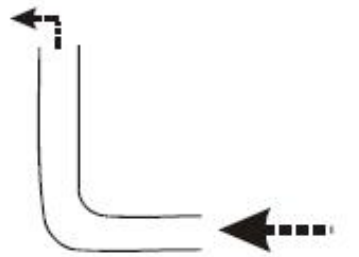


Riduzione del contenuto idrico: ridotto tasso di diffusione influenza l'assorbimento di nutrienti che limitano maggiormente la crescita delle piante (es. fosforo)

Nutrient uptake steps



unloading



Cell to cell transport

Scaricamento xilematico

Caricamento xilematico:

es SKOR (stelar outwardly rectifying K^+ channel), canali anionici, carrier (es. antiportatore $SOS1 Na^+-H^+$), etc..

