

Gli elementi della nutrizione minerale delle piante

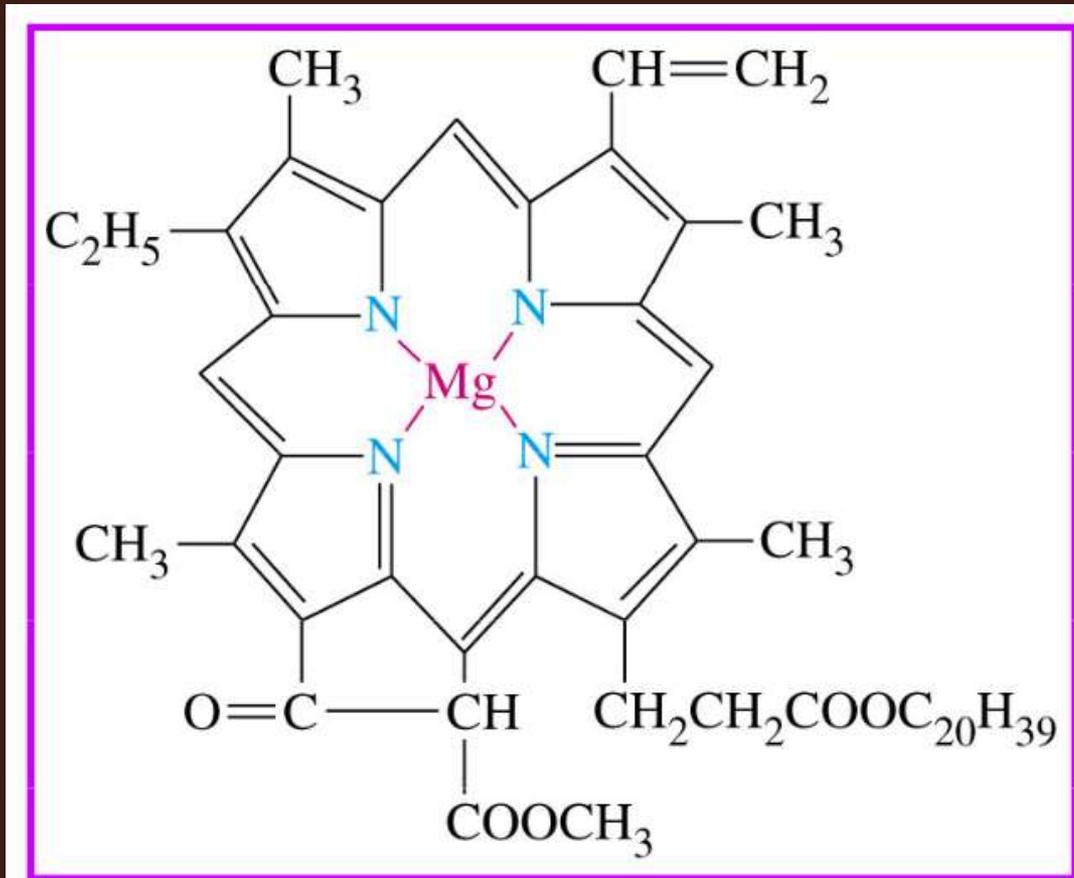
Elemento	Ruolo
<u>Carbonio</u>	Componente dell'organizzazione molecolare di tutte le biomolecole (carboidrati, proteine, lipidi, acidi nucleici, alcaloidi, etc.).
<u>Ossigeno</u>	Come il carbonio partecipa alla costituzione molecolare di tutte le biomolecole.
<u>Idrogeno</u>	Componente della costituzione molecolare di tutte le biomolecole. Svolge un ruolo funzionale nel controllare il bilancio ionico, il potenziale di membrana, i processi redox. Fondamentale nel trasferimento dell'energia.
<u>Azoto</u>	Componente della costituzione molecolare di biomolecole quali proteine, acidi nucleici, ormoni, clorofilla, vitamine, enzimi.
<u>Fosforo</u>	Coinvolto nei processi di trasferimento dell'energia. Componente della costituzione molecolare di lipidi, acidi nucleici e, negli organi di riserva, della fitina.
<u>Zolfo</u>	Componente della costituzione molecolare di biomolecole quali amminoacidi, enzimi, cofattori e vitamine. Coinvolto nei processi biosintetici e di trasferimento dell'energia.
<u>Potassio</u>	Ruolo funzionale, stabilizza la conformazione di molti enzimi. Partecipa ai meccanismi di regolazione osmotica e di controllo del bilancio idrico, ionico e del turgore cellulare. Coinvolto nella traslocazione dei prodotti della fotosintesi. Contrasta gli effetti di stress.
<u>Calcio</u>	È necessario per la distensione e la divisione cellulare. Mantiene l'integrità della cellula e la permeabilità delle membrane. Coinvolto nella traslocazione dei carboidrati. Mitiga l'azione tossica dei metalli pesanti. Favorisce l'infezione nodulare dei rizobi.
<u>Magnesio</u>	Componente della clorofilla. Cofattore enzimatico coinvolto nei processi di trasferimento di energia e del fosfato. Stabilizza i ribosomi nella sintesi delle proteine.
<u>Ferro</u>	Cofattore enzimatico nelle ossidoriduttasi partecipa al trasferimento di energia. Coinvolto nella biosintesi della clorofilla nei cloroplasti e nella riduzione di S e N.

Il magnesio nella pianta

Il magnesio nella pianta

Il magnesio è assorbito dalle piante in quantità inferiore rispetto al calcio e al potassio. Il contenuto del nutriente nei tessuti vegetali è pari, in genere, allo 0.5% del peso secco. E' componente strutturale della molecola della **clorofilla**. Quantità più elevate di magnesio si trovano negli apici vegetativi e nelle foglie, senza che vi sia relazione con il contenuto di clorofilla, nella quale si accerta solo il 15-20% del magnesio presente nei tessuti vegetali. E' cofattore di quasi tutti gli enzimi legati al metabolismo del fosforo e risulta determinante per le attività legate agli scambi energetici dell'ATP. Indirizza le trasformazioni dei glucidi, la biosintesi dei lipidi, la formazione dei carotenoidi, l'andamento della respirazione e della fotosintesi. Agisce sulla nutrizione azotata, favorendo la sintesi delle proteine. Per antagonismo ionico, altri cationi, il potassio in particolare, impediscono adeguato assorbimento del nutriente.

As a primary constituent of chlorophyll,
 Mg^{2+} is essential for photosynthesis



Struttura molecolare della clorofilla

Il magnesio nel suolo

Il contenuto di Mg totale nel suolo è molto variabile da ~0.15% (suoli sciolti in climi umidi) a 4% (suoli argillosi in climi aridi/semiaridi) (mediamente è del 2.1%) in relazione a:

- ❖ il tipo di matrice litologica che ha originato il suolo
- ❖ il grado di alterazione
- ❖ il contenuto ed i tipo di minerali argillosi
- ❖ le condizioni climatiche
- ❖ erosione e ruscellamento
- ❖ la gestione agronomica

Il Mg non subisce variazioni nello stato redox ed è presente sempre come ione magnesio (Mg^{2+}).

Il magnesio nel suolo

Il Mg è presente nel suolo in tre frazioni a diversa mobilità e disponibilità per la pianta:

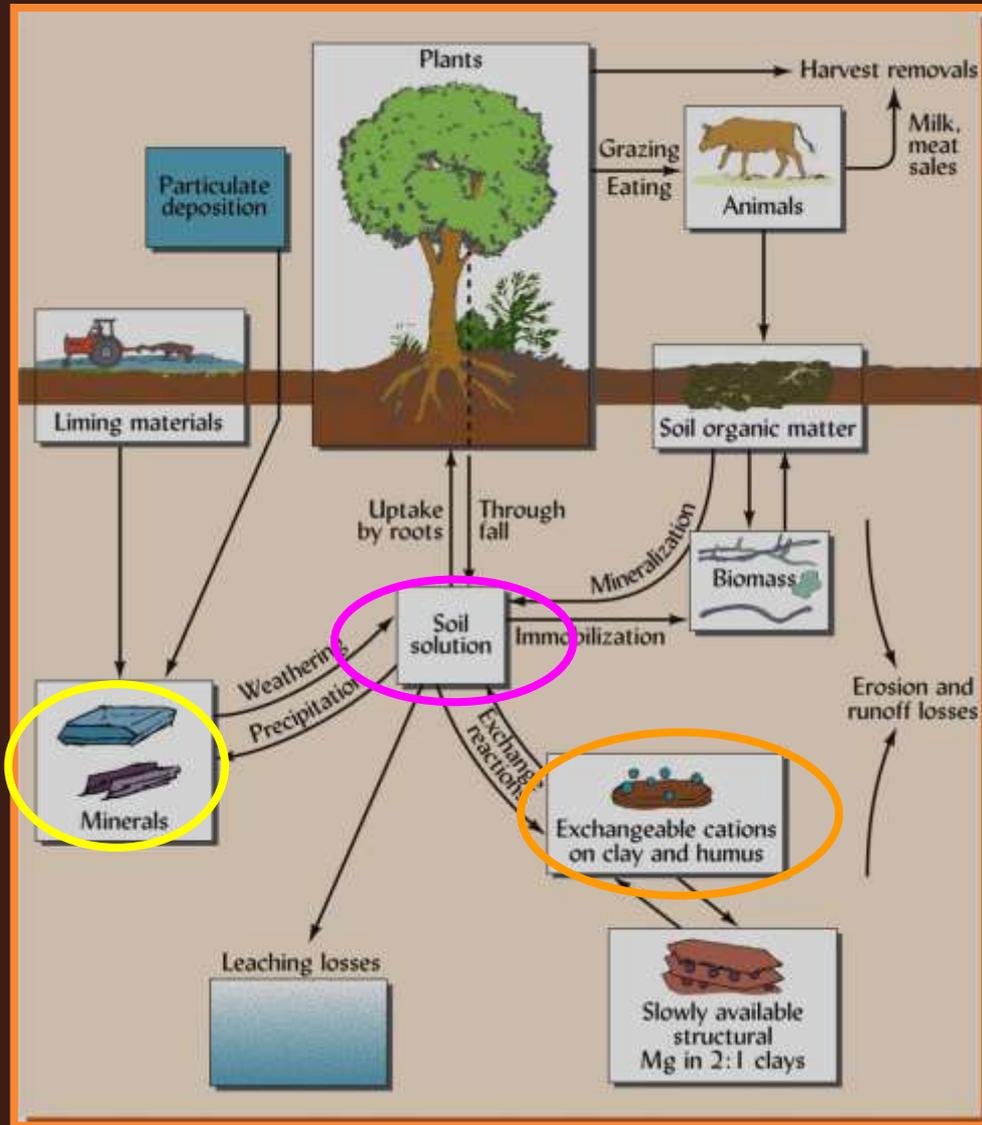
- ✓ combinato (minerale), nella struttura cristallina di minerali ferro-magnesiacci alterabili, di minerali argillosi, di carbonati
- ✓ scambiabile, sulla superficie degli scambiatori
- ✓ solubile, come Mg^{2+} nella fase liquida

Le tre forme sono in equilibrio tra loro.

La frazione più abbondante del magnesio presente nel suolo è quella combinata. Una quantità inferiore all'1% del contenuto totale è presente nei costituenti organici.

La frazione di magnesio presente in soluzione o sulle superfici degli scambiatori rappresenta di solito il 5% del contenuto totale.

Il ciclo globale del magnesio



Apporti

Alterazione dei costituenti minerali
Deposizioni atmosferiche
Acque irrigue e superficiali
Interramento dei residui colturali
Concimazione/ammendamento/correzione

Perdite

Asportazioni colturali
Lisciviazione
Erosione e ruscellamento

Pool solubile
(Mg soluzione)

Pool scambiabile
(Mg adsorbito)

Pool combinato
(Mg minerale)

(da Weil & Brady, 2017)

Il magnesio ha un ciclo biogeochimico sedimentario

Apporti di Mg per alterazione pedogenetica

Il Mg combinato (minerale) è rappresentato dal Mg presente nella struttura cristallina dei minerali primari e secondari (in particolare minerali argillosi).

Il suo rilascio è legato all'intensità dei processi di pedogenesi a carico di:

Minerali	Formula	Contenuto di Mg (g · kg ⁻¹)
Biotite	$K(Mg,Fe)_3(Al,Si_3)O_{10}(OH)_2$	125
Orneblenda	$Ca_2(Mg, Fe, Al)_5 (Al, Si)_8 O_{22}(OH)_2$	85
Magnesio solfato	$MgSO_4$	200
Magnesio carbonato	$MgCO_3$	290
Serpentino (modificazioni polimorfe)	$Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$	490
Dolomite	$CaMg(CO_3)_2$	130
Montmorillonite	$(Na,Ca)_{0,3}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot n(H_2O)$	fino a 60
Illite	$K_{0,6}Mg_{0,25}Al_{2,3}Si_{3,5}O_{10}(OH)_2$	20
Vermiculite	$(Mg,Fe^{II},Al)_3(Al,Si)_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4(H_2O)$	120-170
Olivina (serie isomorfa)	$(Mg,Fe)_2SiO_4$	250
Clorite	$(Mg,Fe^{III},Al)_{12}(SiAl)_8O_{20}(OH)_{16}$	Fino a 230
Brucite	$Mg(OH)_2$	410

Apporti di Mg con le deposizioni atmosferiche

Anno	Pioggia	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	PO ₄ ⁻
	m ³ · ha ⁻¹	kg · ha ⁻¹ · anno ⁻¹								
1988	7360	15.9	48.9	14.9	28.2	6.9	71.7	40.8	113.5	2.1
1989	8130	11.7	38.3	14.8	44.5	7.3	65.1	60.5	114.3	2.3
1990	7540	12.7	44.8	13.1	28.6	6.9	51.3	43.0	84.7	1.0
1991	7390	7.6	45.4	9.5	24.6	5.9	35.0	46.2	95.9	0.9

Valori medi degli apporti di nutrienti al suolo in agro di Castelvolturno (CE)
(modificato da Palmieri, 1992)

(da Violante, 2013)

Apporti di Mg con acque irrigue e superficiali

Tab.11.3 - Sali che normalmente si accertano presenti nell'acqua d'irrigazione

Sale	Formula chimica	Contributo alla definizione del contenuto salino totale
Sodio cloruro	NaCl	Modesto-Elevato
Sodio solfato	Na ₂ SO ₄	Modesto-Elevato
Calcio cloruro	CaCl ₂	Modesto
Calcio solfato (gesso)	CaSO ₄ · 2H ₂ O	Modesto-Scarso
Magnesio cloruro	MgCl ₂	Modesto
Magnesio solfato	MgSO ₄	Modesto-Scarso
Potassio cloruro	KCl	Scarso
Potassio solfato	K ₂ SO ₄	Scarso
Sodio bicarbonato	NaHCO ₃	Scarso
Calcio carbonato	CaCO ₃	Molto scarso
Sodio carbonato	Na ₂ CO ₃	Quasi nullo
Borati	BO ₃ ³⁻	Quasi nullo
Nitrati	NO ₃ ⁻	Quasi nullo-Scarso

(da Violante, 2013)

L'acqua di irrigazione contiene disciolti, in quantità variabile con le caratteristiche pedogenetiche e climatiche del sito, sali solubili costituiti dai cationi Na⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺, dagli anioni Cl⁻, SO₄²⁻ e HCO₃⁻ ed in quantità ridotta da K⁺, NH₄⁺, NO₃⁻, CO₃²⁻ e pochi altri ioni (BO₃³⁻).

Apporti di Mg con i fertilizzanti

I concimi minerali spesso contengono quantità dichiarabili di Mg che, insieme agli elementi nutritivi principali, apportano quantitativi significativi del nutriente al suolo.

Meno rappresentato nelle matrici organiche e nei correttivi.

Perdita di Mg per lisciviazione

Nutriente	kg di nutriente · ha ⁻¹ · anno ⁻¹	
	Suolo non coltivato	Suolo coltivato
N	142	62
P	0.3	0.3
K	46	24
Ca	310	230
Mg	24	18

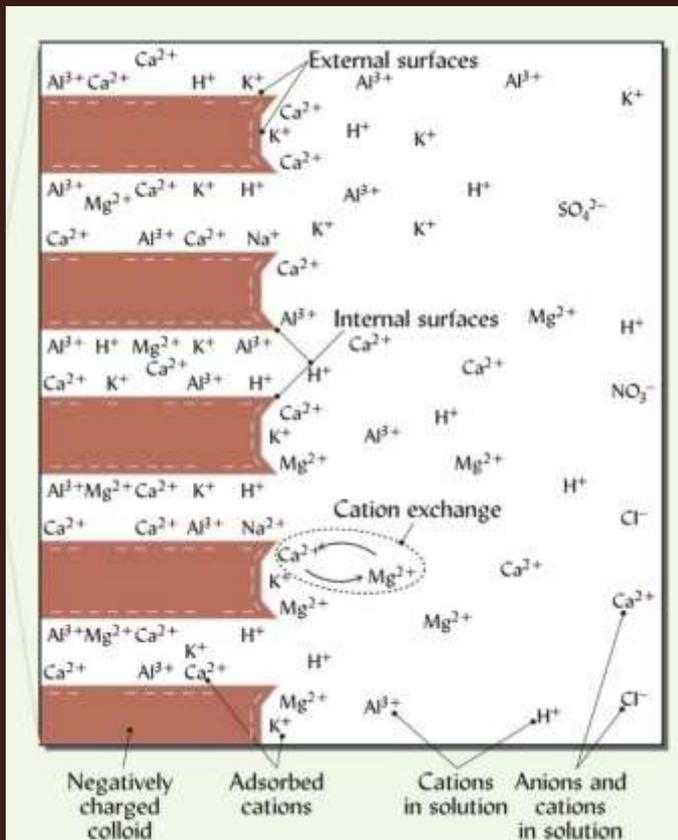
Quantità di nutrienti perdute per lisciviazione da un suolo di tessitura franco argillosa (18 % di argilla) coltivato e non coltivato (modificata da Coppenet, 1969)

(da Violante, 2013)

La quantità di Mg perduto annualmente con le acque di drenaggio oscilla mediamente tra **6 e 80 kg Mg²⁺ ha⁻¹**, in relazione alle caratteristiche pedoclimatiche del sito. Le deposizioni acide, la mineralizzazione della sostanza organica, la nitrificazione, le concimazioni ammoniacali e potassiche, l'assorbimento radicale di nutrienti in forma cationica incrementano la perdita di Mg²⁺.

Il magnesio scambiabile

Il Mg può essere trattenuto come ione idratato dalle superfici di scambio elettronegative dei colloidi del suolo costituiti da minerali argillosi e composti organici.



(da Weil & Brady, 2017)

	cmol _e · kg ⁻¹	
ione scambiabile	pH _{acq} < 6, n = 1027 ^a	pH _{acq} > 7, n = 249
Ca^{2+}	3.80 ± 5.65	25.18 ± 16.28
Mg^{2+}	1.65 ± 2.49	10.06 ± 8.49
Na^+	0.249 ± 1.487	1.21 ± 4.31
K^+	0.234 ± 0.324	0.737 ± 0.684
Al^{3+}	8.76 ± 11.71	0

^a n = numero dei campioni di suolo prelevati da orizzonti A e B
 Composizione media (valore medio ± deviazione standard) dei cationi di scambio presenti in suoli di diverse parti del Mondo (modificata da Essington, 2004)

(da Violante, 2013)

Mediante si accertano i seguenti contenuti percentuali di Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ sul complesso di scambio:

- grado di saturazione in calcio: 60-80%
- grado di saturazione in magnesio: 5-20%
- grado di saturazione in potassio: 1-5%

Il magnesio solubile

- Gli apparati radicali delle piante assorbono Mg^{2+} dalla **fase liquida del suolo** nella quale lo ione è presente ad una concentrazione variabile tra 5 e 50 mg/L, in relazione alle proprietà pedochimiche e climatiche.
- I meccanismi che portano il nutriente a contatto con l'apparato radicale sono l'**intercettazione radicale** ed il **flusso di massa**.
- Il flusso di massa è un processo veloce ed è guidato dall'assorbimento di acqua da parte della pianta.
- Le forme del Mg di scambio e Mg solubile si trovano in equilibrio dinamico, di grande importanza pratica nella gestione agronomica del nutriente e degli altri cationi di scambio.
- Meno trattenuto del Ca^{2+} dal complesso di scambio, Mg^{2+} è più facilmente lisciviabile.

Assorbimento nutrizionale di Mg

Il magnesio viene assorbito, traslocato ed utilizzato come ione Mg^{2+} .
Il Mg viene preferenzialmente accumulato nelle parti epigee della pianta rispetto ai semi e ai frutti.

Tab. 30.3 - Quantità di Mg assorbita da alcune specie vegetali e valore dell'indice d'accumulo del magnesio.

Piante coltivate	Magnesio assorbito dalle parti epigee	Magnesio assorbito dai semi	Totale	MgHI (***)
	kg · ha ⁻¹			
Riso (<i>Oryza sativa</i> L.) (*)	15	5	20	0,25
Riso (<i>Oryza sativa</i> L.) (**)	15	7	22	0,32
Riso (<i>Oryza sativa</i> L.) (**)	15	6	21	0,29
Mais (<i>Zea mays</i> L.)	20	9	29	0,31
Fagiolo (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	7	4	11	0,36
Fagiolo (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	7	6	13	0,46
Soia (<i>Glycine max</i> L.)	14	10	24	0,42
Soia (<i>Glycine max</i> L.)	17	10	27	0,37

(*) coltivato "in asciutta,,

(**) coltivato in suolo sommerso

(***) MgHI = Magnesium Harvest Index = Indice di accumulo di magnesio

(da Violante, 2013)

La varietà e l'età della pianta, il tipo di tessuti vegetali analizzati, lo stato di fertilità del suolo sono alcuni dei fattori che esercitano influenza sull'assorbimento e sulla concentrazione del magnesio nelle specie coltivate.

Quantità di Mg mediamente asportate dal suolo da alcune colture agrarie

Colture	Produzione Mg · ha ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Mn	Zn
				kg · ha ⁻¹			g · ha ⁻¹			
Cereali										
Orzo (Granello)	2,2	40	8	10	1	2	3	34	30	70
Orzo (Paglia)	2,5	17	3	30	9	2	5	11	360	60
Frumento (Granello)	2,7	56	13	14	1	7	3	33	100	170
Frumento (Paglia)	3,8	22	3	33	7	4	6	11	180	56
Avena (Granello)	2,9	55	10	14	2	3	6	34	134	56
Avena (Paglia)	5,0	28	8	75	9	9	10	34	-	330
Mais (Granello)	9,5	150	27	37	2	9	11	66	100	170
Mais (Stocchi)	11,0	110	19	135	29	22	17	55	1700	330
Riso (Granello)	2,0	39	11	11	2	5	8	22	247	34
Riso (Paglia)	3,4	17	9	28	9	2	3	11	156	78
Sorgo (Granello)	5,4	73	34	25	4	8	11	22	67	56
Sorgo (Stocchi)	9,0	90	28	129	36	25	-	-	-	-
Leguminose										
Arachide (Semi)	4,5	157	24	40	7	6	11	45	336	280
Arachide (Pianta)	5,6	112	19	168	99	22	12	134	168	-
Soia (Granello)	3,4	210	46	83	21	11	26	56	67	56
Soia (Stocchi)	6,7	100	18	83	34	10	13	-	-	-
Foraggiere										
Erba medica	10,0	200	20	170	125	24	21	66	500	470
Trifoglio rosso	6,0	110	13	95	77	19	8	45	600	400
Coda di topo	6,0	168	27	213	20	7	6	33	347	224
Festuca aurundinacea	7,8	151	20	179	-	15	22	-	-	-
Loietto	11,2	240	49	224	-	45	-	-	-	-
Altre colture										
Canna da zucchero	75,0	110	27	250	31	26	26	-	-	-
Tabacco (Foglie)	2,2	83	8	110	83	20	15	33	600	80
Cotone (Semi e Fiocco)	1,7	45	11	14	2	4	3	66	120	350
Cotone (Steli e Foglie)	2,2	39	5	33	31	9	17	-	-	-
Patata (Tuberi)	27,0	90	15	140	3	7	7	44	100	60
Pomodoro (Frutti)	50,0	130	20	150	8	12	15	80	145	180
Cavolo	50,0	145	18	120	22	9	50	44	110	90
Cipolla	16,6	50	22	45	12	3	20	33	89	347
Spinacio	11,2	56	17	34	13	6	4	22	112	112

Mg = megagrammi = 10⁶ grammi

Mobilità di magnesio all'interno della pianta

Tabella 1. Elementi minerali come K, N, P, Mg possono, in quantità più o meno limitata, essere trasferiti dalle foglie verso i frutti, attraverso i vasi del floema e xilema, non è la stessa cosa per il calcio.

Distribuzione %	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	Acqua
Per lo xilema	6	1	2	100	da 90 a 95
Per il Floema	94	99	98	0	da 5 a 100

Tabella 2. Ripartizione del Calcio e degli altri elementi, nei differenti organi di riserva in competizione nella pianta.

Esempio di ripartizione %	N	P	K	Mg	Ca
Foglie / Apice / Fusto	53	44	33	69	91
Frutti	47	56	67	31	9

Ca e Mg hanno diversi siti di accumulo (*sink*) e soprattutto mobilità nella pianta.
Il Mg è molto mobile all'interno della pianta.

Il magnesio e la nutrizione vegetale

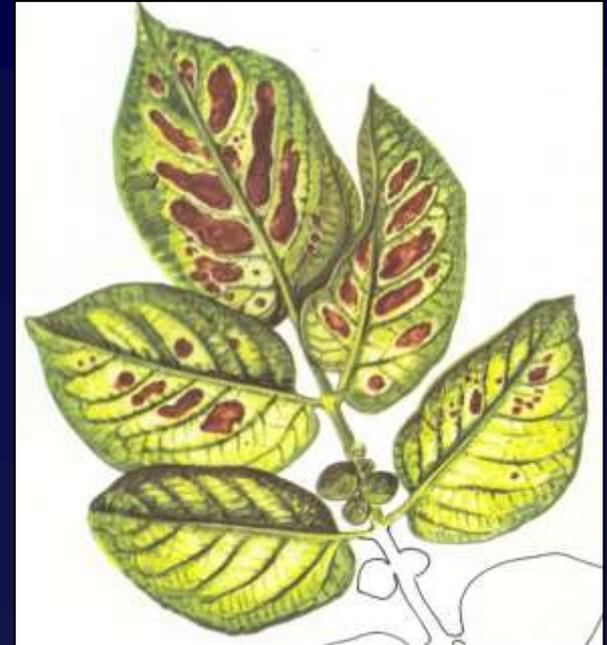
In genere, il contenuto di magnesio della maggior parte dei suoli è sufficiente a soddisfare il fabbisogno delle piante coltivate. Tuttavia, nel caso di colture intensive con alte produzioni, ottenute utilizzando concimi ad elevato grado di purezza, quando notevole è il contenuto di ioni antagonisti nella fase liquida e sul complesso di scambio (NH_4^+ , K^+ , H^+ , Ca^{2+}), in suoli intensamente lisciviati, si rendono necessari interventi finalizzati alla eliminazione dei fenomeni di carenza. In suoli caratterizzati da elevata alcalinità o derivati da rocce serpentinosi, in carenza di calcio, con conseguente alterazione del rapporto magnesio/calcio, possono verificarsi fenomeni di tossicità da magnesio.

Non è consigliabile utilizzare per uso irriguo acque che abbiano rapporto Mg/Ca superiore a 1.

Effetti della carenza e dell'eccesso di magnesio

Piante Mg-carenti manifestano:

- ✓ ingiallimenti e clorosi internervale delle foglie mature
- ✓ necrosi
- ✓ ridotto sviluppo radicale
- ✓ compromissione del metabolismo dei carboidrati
- ✓ alterazione nutrizionale dei foraggi



Eccesso di Mg determina:

- ✓ effetti indiretti
- ✓ squilibri nutrizionali con carenza indotta di K

La carenza di magnesio



(da Violante, 2013)

La sintomatologia di carenza si manifesta tipicamente sulle foglie più vecchie con clorosi internervale che, nei casi più gravi di carenza, evolve ad aree necrotiche.

La carenza di magnesio nei foraggi

Può provocare tetania da erba il fieno caratterizzato da:

- contenuto di Mg^{2+} $< 2 \text{ g kg}^{-1}$
- contenuto di K^+ $> 30 \text{ g kg}^{-1}$
- rapporto $K/(Ca+Mg) > 2.2$
- contenuto di N $> 40 \text{ g kg}^{-1}$

- ✓ Ca e Mg sono comuni nel suolo come costituenti di minerali, adsorbiti sul complesso di scambio cationico e disciolti nella fase liquida
- ✓ Disponibilità per la pianta controllata da clima, litologia, contenuto e tipo di minerali argillosi, composizione della CSC, pH del suolo e dalle interazioni Ca/Mg (10/1) e Mg/K ((2-5)/1)
- ✓ In alcuni contesti pedoclimatici Ca e Mg possono subire significative perdite per lisciviazione ed erosione
- ✓ Asportazioni significative si possono verificare in caso di raccolta dell'intera parte aerea senza restituzione dei residui colturali
- ✓ Entrambi mobili nel suolo, nella pianta hanno mobilità diversa e svolgono ruoli diversi
- ✓ Asportazioni colturali (kg ha^{-1}) molto variabili: 2-100 per Ca 2-26 per Mg
- ✓ Generalmente presenti sia negli ammendanti, sia nei correttivi o come coformulanti nei concimi minerali solidi
- ✓ Antagonismo nutrizionale a livello radicale
- ✓ Carenze di Mg più diffuse che in passato