

Il ciclo del calcio

Il calcio nella pianta

E' presente nelle piante superiori in quantità significativa (0.1-5.0% della sostanza secca). Il calcio è indispensabile per la divisione e la distensione cellulare. Diversamente dagli altri macronutrienti, quantità elevate di calcio sono localizzate nelle pareti cellulari e sulla superficie esterna della membrana plasmatica. Questa peculiare distribuzione del nutriente risulta funzione della sua capacità di legarsi ai gruppi R-COO⁻ degli acidi poligalatturonici (pectine). In queste aree di accumulo, il calcio svolge funzioni strutturali, regolando la permeabilità delle membrane biologiche e i processi collegati.

E' presente nei tessuti vegetali come ione Ca²⁺ libero o come sale di acidi organici. Nei vacuoli spesso si deposita come carbonato o fosfato. Nelle piante che sintetizzano acido ossalico può accumularsi come calcio ossalato formando **druse** o **rafidi**. Nei semi entra nella composizione della fitina.

Il ciclo del calcio

Forms and functions of Ca in plants

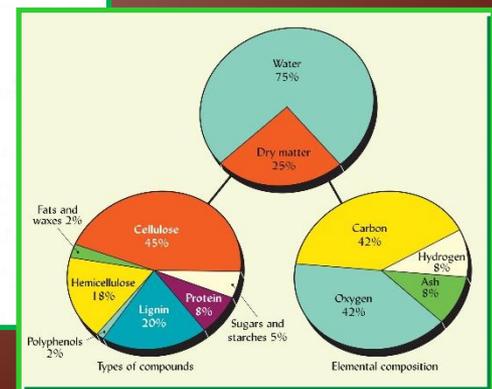
- Plants absorb Ca^{2+} from the soil solution, where mass flow and root interception are the primary mechanisms of Ca transport to root surface
- Ca deficiency is uncommon but can occur in highly leached, unlimed acid soils.
- Ca^{2+} is essential for translocation of carbohydrates and nutrients.
 - Accumulation of carbohydrates leaves under Ca^{2+} stress decreases carbohydrate content of stems and roots, which impairs normal root function.
- While Ca^{2+} is important for translocation, Ca^{2+} is generally immobile in the plant.
- Ca^{2+} is essential for cell division and elongation; therefore, deficiency symptoms are primarily exhibited in meristematic regions of rapid cell division.
- Low Ca^{2+} uptake combined with limited translocation of carbohydrates causes distinct symptoms in fruits and vegetable crops.

Gli elementi essenziali della nutrizione minerale delle piante

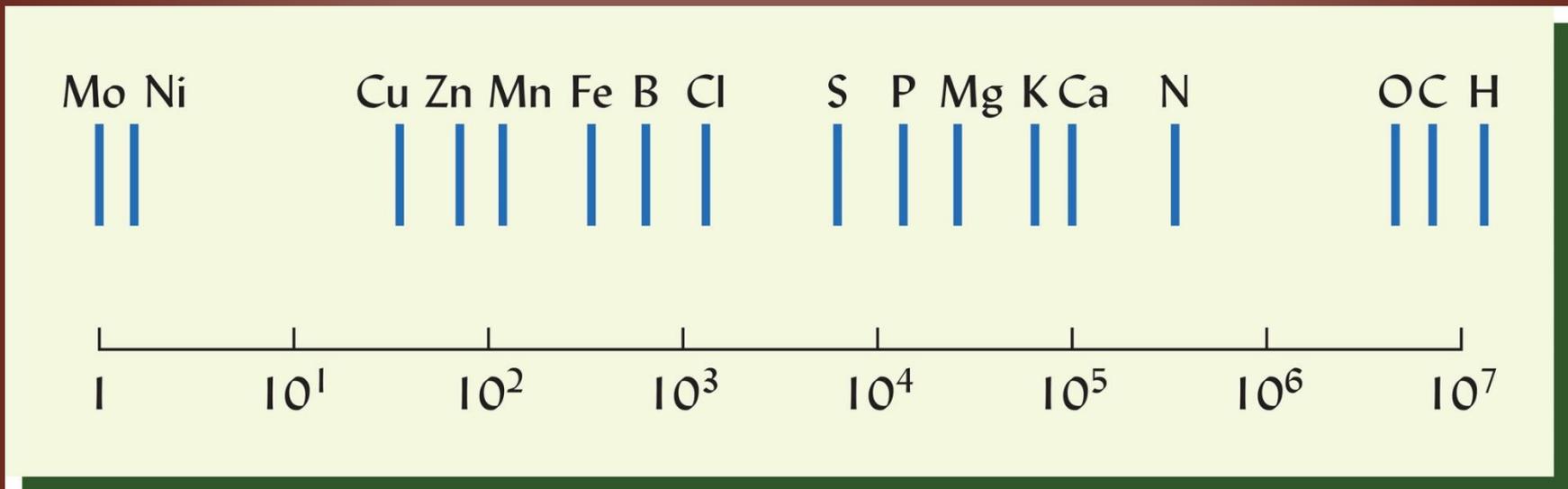
Approximate Concentrations of Essential Plant Nutrient Elements Required for Healthy Plant Growth

| Element | Concentration in Dry Matter | |
|-----------------|-----------------------------|-----|
| | ppm | % |
| Hydrogen (H) | 60,000 | 6 |
| Carbon (C) | 420,000 | 42 |
| Oxygen (O) | 480,000 | 48 |
| Nitrogen (N) | 14,000 | 1.4 |
| Potassium (K) | 10,000 | 1.0 |
| Calcium (Ca) | 5,000 | 0.5 |
| Magnesium (Mg) | 2,000 | 0.2 |
| Phosphorus (P) | 2,000 | 0.2 |
| Sulfur (S) | 1,000 | 0.1 |
| Chlorine (Cl) | 100 | |
| Iron (Fe) | 100 | |
| Boron (B) | 20 | |
| Manganese (Mn) | 50 | |
| Zinc (Zn) | 20 | |
| Copper (Cu) | 6 | |
| Molybdenum (Mo) | 0.1 | |

Source: Grunden, N.J. 1987. *Hungry Crops: A Guide to Nutrient Element Deficiencies in Field Crops*. Department of Primary Industries, Queensland Government Publication, Brisbane, Australia.



Gli elementi essenziali della nutrizione minerale delle piante



Relative numbers of atoms of the essential elements in alfalfa at bloom stage, expressed exponentially. Note that there are more than 10 million hydrogen atoms for each molybdenum atom. Even so, normal plant growth would not occur without molybdenum. (Modified from Viets, 1965).

Gli organismi viventi si comportano come sistemi altamente selettivi che concentrano al loro interno gli elementi della nutrizione minerale prelevandoli dall'ambiente circostante (aria, acqua e suolo).

| Litosfera | | Cellula vegetale | |
|----------------|---------|------------------|-----|
| ----- | | ----- | |
| | % (p/p) | | |
| Ossigeno (O) | 46.7 | Carbonio (C) | 45 |
| Silicio (Si) | 27.7 | Ossigeno (O) | 45 |
| Alluminio (Al) | 8.1 | Idrogeno (H) | 6 |
| Ferro (Fe) | 5.1 | Azoto (N) | 1.5 |
| Calcio (Ca) | 3.7 | Potassio (K) | 1.0 |
| Sodio (Na) | 2.8 | Calcio (Ca) | 0.5 |
| Potassio (K) | 2.6 | Magnesio (Mg) | 0.2 |
| Magnesio (Mg) | 2.1 | Fosforo (P) | 0.2 |
| Altri | 1.2 | Zolfo (S) | 0.1 |

Il calcio nel suolo

Il contenuto medio del calcio nella litosfera è di circa il 3.7%.
E' presente nel suolo:

- combinato, come carbonato, silicato, solfato, fosfato
- adsorbito in forma ionica sulle superfici degli scambiatori
- libero come ione Ca^{2+} nella fase liquida.

Viene liberato per solubilizzazione o per alterazione chimica dei minerali primari dei quali caratterizza la composizione (calcite, dolomite, feldspati, anfiboli, apatiti).

In presenza di acqua e anidride carbonica il calcio carbonato si trasforma, com'è noto, in calcio bicarbonato, dissociato in ioni Ca^{2+} e 2HCO_3^-



Il calcio carbonato caratterizzato da maggiore suddivisione e, quindi, da più elevata reattività costituisce la frazione definita **calcare attivo**.



Il calcio nel suolo

Una parte degli ioni calcio presenti in soluzione può essere adsorbita sulle superfici degli scambiatori del suolo.

Gli ioni adsorbiti e quelli presenti in soluzione si trovano in equilibrio dinamico a formare la frazione di calcio scambiabile.

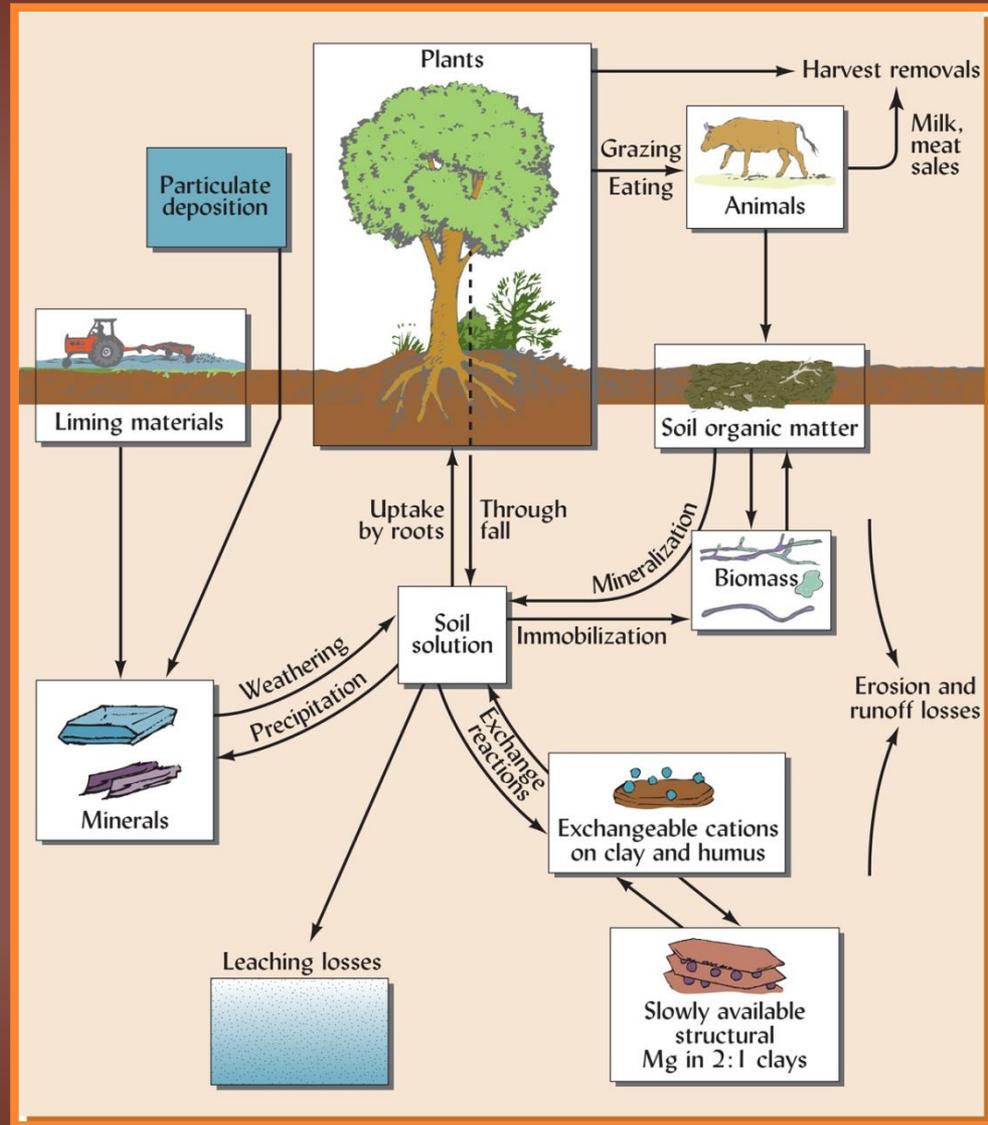
La presenza di calcio esercita influenza su:

- le proprietà fisiche e meccaniche del suolo, provocando la flocculazione dei costituenti colloidali, favorendo i fenomeni di aggregazione strutturale e migliorando la permeabilità
- i meccanismi chimico-fisici, definendo il grado di reazione del suolo e regolando i fenomeni di solubilizzazione e di insolubilizzazione dei nutrienti
- l'attività biotica, incrementando in particolare il processo di nitrificazione

In condizioni di elevata umidità, può verificarsi progressivo allontanamento del calcio per lisciviazione e conseguente, graduale acidificazione del suolo.



Il ciclo del calcio nel suolo



(da Weil & Brady, 2017)

Il calcio ha un ciclo biogeochimico sedimentario

Sources of soil Ca

Soil Ca sources

- ✓ The primary Ca sources are liming materials such as CaCO_3 , $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, CaSO_4 , apatites, and others applied to neutralize soil acidity.
- ✓ Calcium-rich particulate deposition (dust).
- ✓ Chelated Ca can also be foliar applied to crops.
- ✓ Animal and municipal wastes contain ~2-5% Ca by dry weight and are excellent Ca sources.
- ✓ Ca is present also in several fertilizer materials including triple superphosphate (12-14% Ca), calcium nitrate (19% Ca), and lime-ammonium nitrate (10% Ca).

Apporti di nutrienti 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 Castelvoturno (CE)
(modificato da Palmieri, 1992)

In alcuni territori della Cina centrale, in prossimità di centrali termoelettriche a carbone, la deposizione atmosferica apporta fino a 120 kg Ca ha⁻¹ anno⁻¹.

Perdita di Ca 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)

La quantità di calcio perduto annualmente con le acque di drenaggio oscilla mediamente, in relazione alle caratteristiche pedoclimatiche del sito, tra 85 e 225 kg ha⁻¹. Deposizioni acide, mineralizzazione della sostanza organica, nitrificazione, assorbimento radicale di cationi incrementano la perdita di Ca²⁺.

Quantità di elementi essenziali 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 (Granella) | 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 (Granella) | 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 (Granella) | 2,9 | 55 | 10 | 14 | 2 | 3 | 6 | 34 | 134 | 56 |
| Avena (Paglia) | 5,0 | 28 | 8 | 75 | 9 | 9 | 10 | 34 | - | 330 |
| Mais (Granella) | 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 (Granella) | 2,0 | 39 | 11 | 11 | 2 | 3 | 8 | 22 | 247 | 34 |
| Riso (Paglia) | 3,4 | 17 | 9 | 28 | 9 | 2 | 3 | 11 | 156 | 78 |
| Sorgo (Granella) | 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 (Granella) | 3,4 | 210 | 46 | 83 | 21 | 11 | 26 | 56 | 67 | 56 |
| Soia (Stocchi) | 6,7 | 100 | 18 | 83 | 34 | 10 | 13 | - | - | - |
| Foggiere | | | | | | | | | | |
| 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

Rimozione di calcio dal suolo

Table 15.1

ANNUAL CALCIUM AND MAGNESIUM LOSSES FROM CROPLAND AND FORESTLAND IN HUMID REGIONS

Note that the annual combined loss of Ca and Mg from the cropland was nearly 1 Mg/ha, expressed as carbonates. For the eight eastern U.S. forested watersheds, the average annual input of Ca from atmospheric deposition (6 kg/ha) is enough to approximately offset only the leaching losses of Ca, but not the removal of Ca in timber harvest.

| Ecosystem and manner of loss | Loss, kg/ha/yr | |
|--|---------------------------------|--------------------------------|
| | Calcium | Magnesium |
| Cropland in Missouri (silt loam, 4% slope) | | |
| Erosion by water | 95 | 33 |
| Crop removal in standard rotation | 50 | 25 |
| Leaching | 115 | 25 |
| Total from cropland | 260 (651 as CaCO ₃) | 83 (291 as MgCO ₃) |
| | 942 total carbonates | |
| Apple orchard in New York—leaching losses | 170 | 84 |
| Douglas fir watersheds, loss in streams | | |
| From clear-cut and slash/burned | 81 | 26 |
| From undisturbed watershed | 26 | 8 |
| Average of 4 eastern U.S. mixed hardwood forests | | |
| Net tree removal (uptake-litterfall) | 13 | NR ^a |
| Leaching loss in streams | 5 | NR |
| Average of 4 catchments in the Black Forest, Germany | | |
| Leaching loss in streams | 12 | 2.4 |

^aNR = not reported.

Eastern U.S. forest data calculated from Lawrence and Huntington (1999); apple orchard from Richards et al. (1998); Black Forest from Sommer et al. (2006); others from Brady and Weil (1996).

K, Ca e Mg sono quantitativamente dominanti sia come ioni adsorbiti sul complesso di scambio che disciolti nella fase liquida del suolo

Table 1.3

QUANTITIES OF SIX ESSENTIAL ELEMENTS FOUND IN UPPER 15 CM OF REPRESENTATIVE SOILS IN TEMPERATE REGIONS

| Essential element | Humid Region Soil | | | Arid Region Soil | | |
|-------------------|---------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------|-------------------------|
| | In solid framework, kg/ha | Exchangeable, kg/ha | In soil solution, kg/ha | In solid framework, kg/ha | Exchangeable, kg/ha | In soil solution, kg/ha |
| Ca | 8,000 | 2,250 | 60–120 | 20,000 | 5,625 | 140–280 |
| Mg | 6,000 | 450 | 10–20 | 14,000 | 900 | 25–40 |
| K | 38,000 | 190 | 10–30 | 45,000 | 250 | 15–40 |
| P | 900 | — | 0.05–0.15 | 1,600 | — | 0.1–0.2 |
| S | 700 | — | 2–10 | 1,800 | — | 6–30 |
| N | 3,500 | — | 7–25 | 2,500 | — | 5–20 |

Mediamente 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%

La carenza di calcio

Carenza di calcio

Riduzioni dell'accrescimento degli apici vegetativi e delle giovani foglie costituiscono indicazione di carenza di calcio.

Deformazioni, clorosi e poi, in uno stadio più avanzato, necrosi si evidenziano ai margini fogliari.

I tessuti diventano molli per dissoluzione delle pareti cellulari.

Negli spazi intercellulari e nei tessuti vascolari compare caratteristica colorazione scura.

Stato di estrema carenza di calcio si manifesta raramente nei suoli ad elevata componente minerale.

I frutti e gli organi di riserva possono manifestare, talora, disturbi collegati a carenza di calcio conseguente, principalmente, ad insufficiente traslocazione del nutriente.

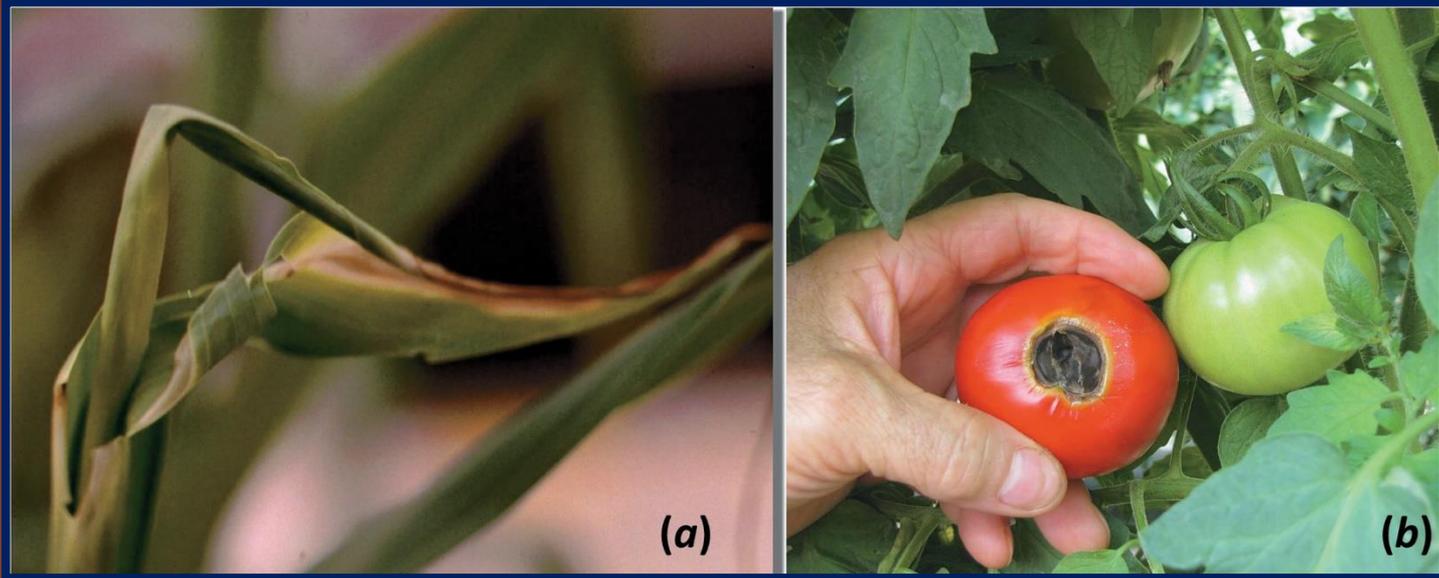
Sono noti la maculazione amara del melo e il marciume apicale del pomodoro.

La carenza di calcio



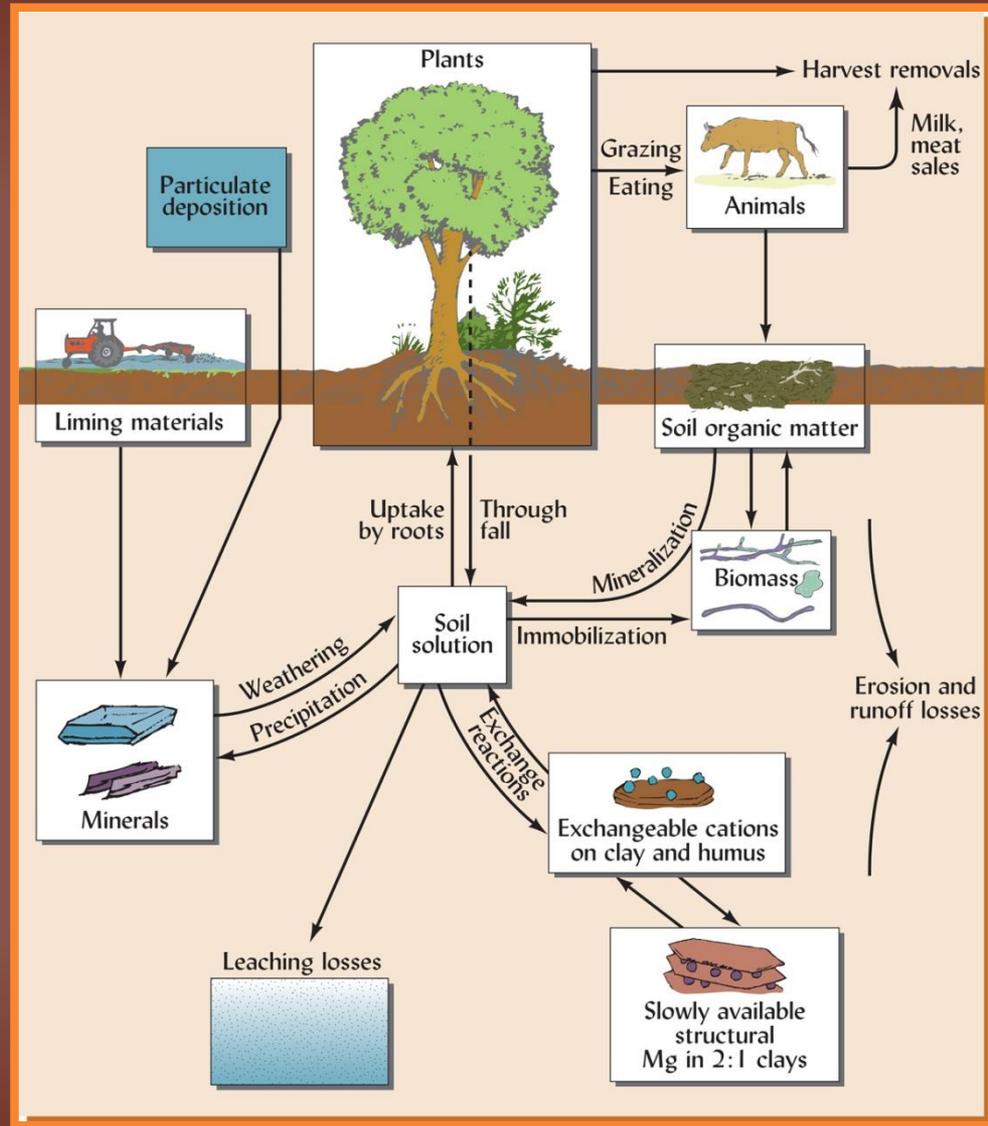
Root growth was almost completely inhibited by lack of calcium in the nutrient solution (*left*) compared to healthy roots in the same nutrient solution but with calcium added (*right*). If the molar ratio of calcium to all other cations in solution drops below 5:1, the integrity of root membranes is lost, causing certain other elements to be taken in toxic amounts. (*Photos courtesy of Ray R. Weil*).

La carenza di calcio



Plant symptoms related to calcium deficiency are commonly expressed on plant parts that are not located along the transpiration stream and therefore least likely to receive calcium. (a) Young leaves that stick together and fail to unfold are a typical symptom of calcium deficiency in monocots. (b) Common symptom of calcium deficiency is blossom end rot, caused by inadequate calcium supply to the fruit. Note the black, rotten bottom side of the tomato fruit. The problem may be associated with low calcium translocation due to irregular soil water availability. (Photos courtesy of Ray R. Weil).

Il ciclo del magnesio nel suolo



(da Weil & Brady, 2017)

Il magnesio ha un ciclo biogeochimico sedimentario

Il ciclo del magnesio

Il magnesio nella pianta

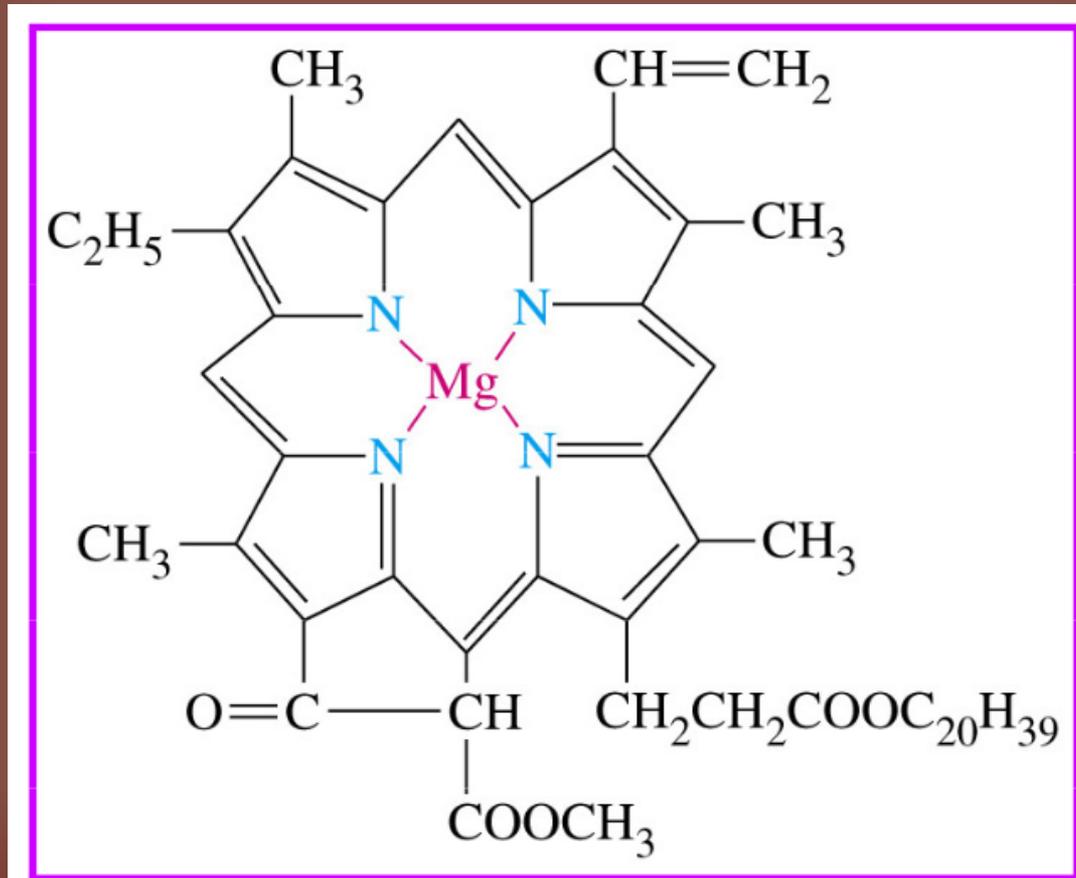
Il magnesio è assorbito dalle piante in quantità inferiore rispetto al calcio e al potassio. Il contenuto del nutriente nei tessuti vegetali è pari, in genere, allo 0.5% del peso secco. E' componente strutturale della molecola della **clorofilla**. Quantità più elevate di magnesio si trovano negli apici 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.

Il ciclo del magnesio

Forms and functions of Mg in plants

- Mg^{2+} is absorbed by plants from the soil solution and, like Ca^{2+} , is supplied to plant roots predominantly by mass flow.
- Plants contain 0.1-0.4% Mg^{2+} .
- As a primary constituent of chlorophyll, Mg^{2+} is essential for photosynthesis.
- Mg is required for maximum activity of almost every phosphorylating enzyme involved in carbohydrate metabolism.
- Because of the mobility of plant Mg^{2+} and its ready translocation from older to younger plant parts, deficiency symptoms often appear first on lower leaves.

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



Struttura molecolare della clorofilla

Il magnesio nel suolo

Come il potassio, è presente nel suolo:

- combinato, nella composizione di minerali ferro-magnesi alterabili, di minerali argillosi, di carbonati (magnesite, dolomite)
- adsorbito sulle superfici degli scambiatori, in parte facilmente scambiabile, in parte più fortemente fissato
- in soluzione come ione Mg^{2+}

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 del magnesio

Mg in Soil

- ✓ Mg constitutes ~2% of Earth's crust; however, total soil Mg content ranges from 0.1% in coarse, humid-region soils to 4% in fine-textured, arid, or semiarid soils formed from high-Mg minerals.
- ✓ Soil solution Mg^{2+} concentration typically ranges from 5 to 50 ppm in temperate region soils.
- ✓ Mg in clay minerals is slowly depleted by leaching and exhaustive cropping.
- ✓ Excess Mg occurs in soils formed from serpentine minerals or influenced by groundwaters high in Mg.

Sources of soil Mg

Mg sources

- ✓ Organic biosolids generally contain low Mg, although at rates applied to meet N or other macronutrient needs, sufficient Mg to meet most crop needs can be applied.
- ✓ In Mg-deficient acid soils, dolomitic lime applications are recommended to increase soil pH and Mg availability.
- ✓ In addition to most inorganic Mg salts, other materials containing synthetic Mg chelates (2-4% Mg) and natural organic complexing substances (4-9%) are suited for application as foliar sprays.

Apporti di nutrienti 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 Castelvoturno (CE)
(modificato da Palmieri, 1992)

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)

La perdita potenziale di magnesio dal suolo per processi di lisciviazione o di coltivazione intensiva varia da 6 a 80 kg ha⁻¹ anno⁻¹.

K, Ca e Mg sono quantitativamente dominanti sia come ioni adsorbiti sul complesso di scambio che disciolti nella fase liquida del suolo

Table 1.3

QUANTITIES OF SIX ESSENTIAL ELEMENTS FOUND IN UPPER 15 CM OF REPRESENTATIVE SOILS IN TEMPERATE REGIONS

| Essential element | Humid Region Soil | | | Arid Region Soil | | |
|-------------------|---------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------|-------------------------|
| | In solid framework, kg/ha | Exchangeable, kg/ha | In soil solution, kg/ha | In solid framework, kg/ha | Exchangeable, kg/ha | In soil solution, kg/ha |
| Ca | 8,000 | 2,250 | 60–120 | 20,000 | 5,625 | 140–280 |
| Mg | 6,000 | 450 | 10–20 | 14,000 | 900 | 25–40 |
| K | 38,000 | 190 | 10–30 | 45,000 | 250 | 15–40 |
| P | 900 | — | 0.05–0.15 | 1,600 | — | 0.1–0.2 |
| S | 700 | — | 2–10 | 1,800 | — | 6–30 |
| N | 3,500 | — | 7–25 | 2,500 | — | 5–20 |

Mediamente 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%

Quantità di elementi essenziali 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 (Granella) | 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 (Granella) | 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 (Granella) | 2,9 | 55 | 10 | 14 | 2 | 3 | 6 | 34 | 134 | 56 |
| Avena (Paglia) | 5,0 | 28 | 8 | 75 | 9 | 9 | 10 | 34 | - | 330 |
| Mais (Granella) | 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 (Granella) | 2,0 | 39 | 11 | 11 | 2 | 3 | 8 | 22 | 247 | 34 |
| Riso (Paglia) | 3,4 | 17 | 9 | 28 | 9 | 2 | 3 | 11 | 156 | 78 |
| Sorgo (Granella) | 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 (Granella) | 3,4 | 210 | 46 | 83 | 21 | 11 | 26 | 56 | 67 | 56 |
| Soia (Stocchi) | 6,7 | 100 | 18 | 83 | 34 | 10 | 13 | - | - | - |
| Foggiere | | | | | | | | | | |
| 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

Rimozione di magnesio dal suolo

Table 15.1

ANNUAL CALCIUM AND MAGNESIUM LOSSES FROM CROPLAND AND FORESTLAND IN HUMID REGIONS

Note that the annual combined loss of Ca and Mg from the cropland was nearly 1 Mg/ha, expressed as carbonates. For the eight eastern U.S. forested watersheds, the average annual input of Ca from atmospheric deposition (6 kg/ha) is enough to approximately offset only the leaching losses of Ca, but not the removal of Ca in timber harvest.

| Ecosystem and manner of loss | Loss, kg/ha/yr | |
|--|---------------------------------|--------------------------------|
| | Calcium | Magnesium |
| Cropland in Missouri (silt loam, 4% slope) | | |
| Erosion by water | 95 | 33 |
| Crop removal in standard rotation | 50 | 25 |
| Leaching | 115 | 25 |
| Total from cropland | 260 (651 as CaCO ₃) | 83 (291 as MgCO ₃) |
| | 942 total carbonates | |
| Apple orchard in New York—leaching losses | 170 | 84 |
| Douglas fir watersheds, loss in streams | | |
| From clear-cut and slash/burned | 81 | 26 |
| From undisturbed watershed | 26 | 8 |
| Average of 4 eastern U.S. mixed hardwood forests | | |
| Net tree removal (uptake-litterfall) | 13 | NR ^a |
| Leaching loss in streams | 5 | NR |
| Average of 4 catchments in the Black Forest, Germany | | |
| Leaching loss in streams | 12 | 2.4 |

^aNR = not reported.

Eastern U.S. forest data calculated from Lawrence and Huntington (1999); apple orchard from Richards et al. (1998); Black Forest from Sommer et al. (2006); others from Brady and Weil (1996).

La carenza di magnesio

Carenza di magnesio

La carenza di magnesio si manifesta in maniera differente nelle varie specie vegetali. In linea generale, i sintomi compaiono sulle foglie più vecchie. Nella maggior parte delle Dicotiledoni (vite, patata, pomodoro, barbabietola da zucchero) risultano inizialmente evidenti l'ingiallimento e la clorosi delle aree comprese tra le nervature fogliari che in seguito necrotizzano. Le foglie, rigide e fragili, cadono prematuramente.

Nei cereali e nelle Monocotiledoni risulta compromesso il metabolismo dell'acqua e dei carboidrati.

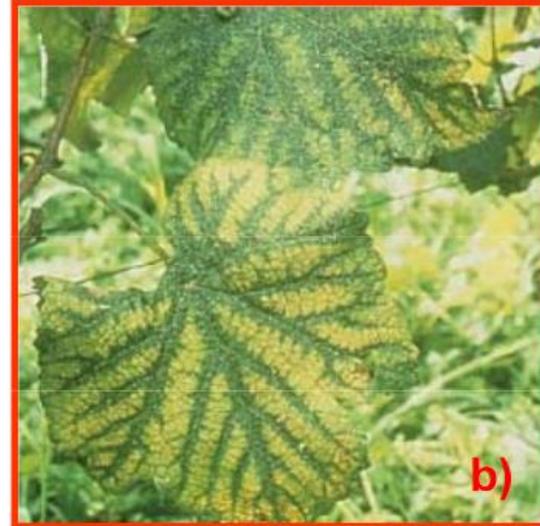
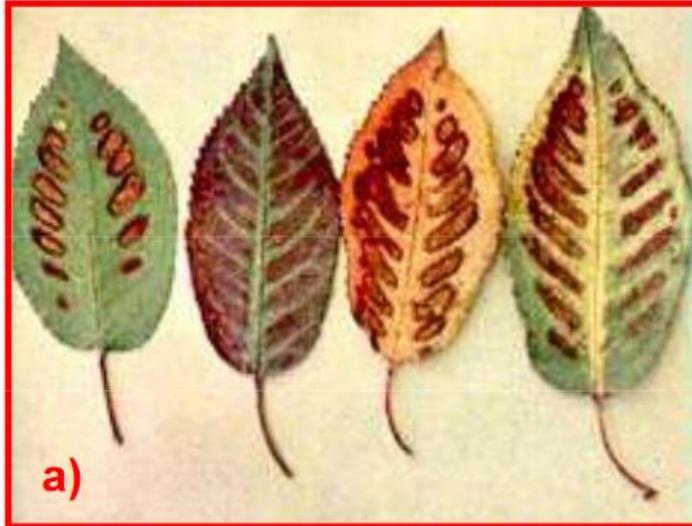
Nelle foglie più vecchie si evidenziano accumuli di clorofilla sottoforma di piccole macchie di colore verde scuro. Con il progredire della carenza, le foglie mostrano strisce clorotiche e necrosi localizzate agli apici.

La carenza di magnesio nelle foraggere si riflette anche sugli animali che se ne nutrono (**tetania da erba**).

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 $N > 40 \text{ g kg}^{-1}$

La carenza di magnesio



Sintomatologia della carenza di magnesio in:

- a) foglie di ciliegio
- b) foglie di vite

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

La carenza di magnesio

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.

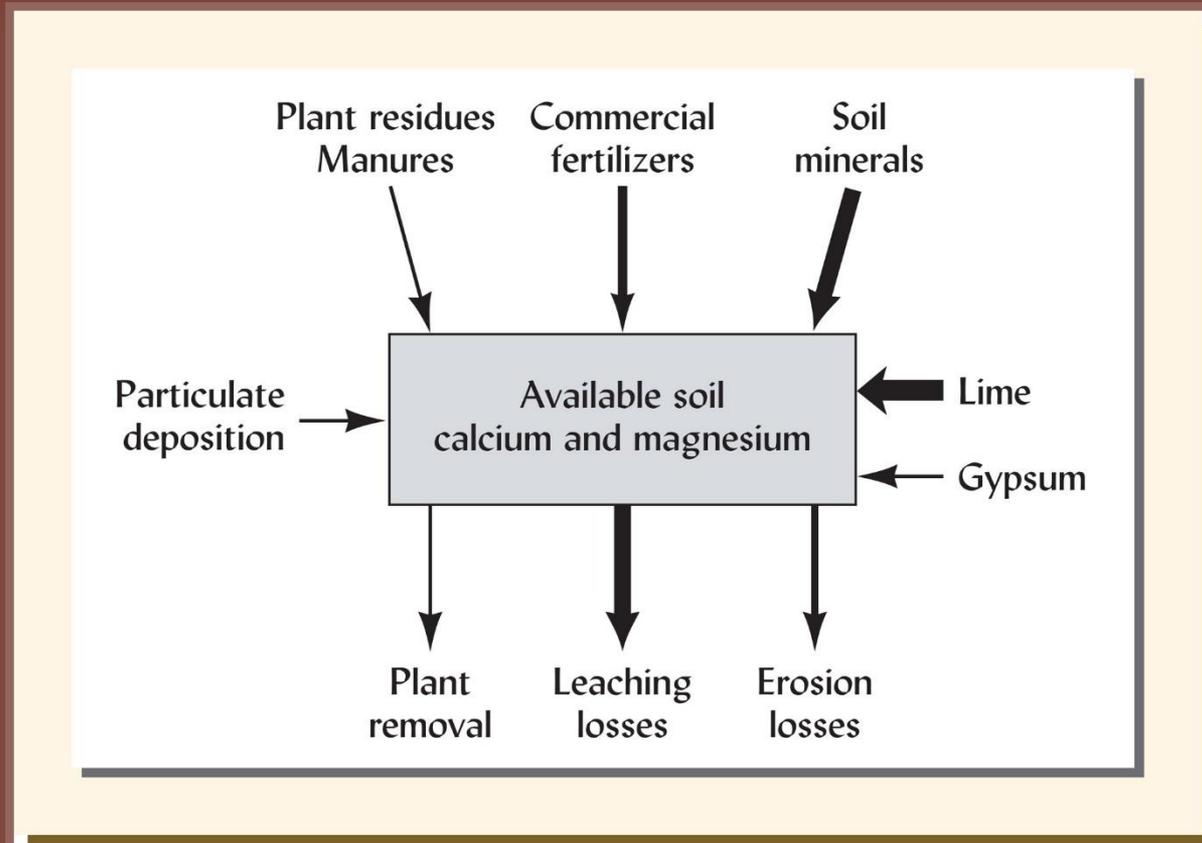
Non è consigliabile utilizzare per uso irriguo acque che abbiano rapporto Mg/Ca superiore a 1.

Factors affecting Ca and Mg availability in soil

The most important factors in determining Ca^{2+} and Mg^{2+} availability to plants are:

- ✓ Climate
- ✓ Leaching, erosion and runoff
- ✓ Parental material: total and active Ca carbonate
- ✓ Type of soil clay
- ✓ Soil pH
- ✓ % Ca^{2+} , Mg^{2+} and K^{+} saturation on CEC
- ✓ Ratio of solution Ca^{2+} to other cations, especially Mg^{2+} and K^{+}
- ✓ Organic amendment
- ✓ Intensive cultivation

Fattori che modulano la disponibilità di Ca e Mg nel suolo



The relative thickness of the arrows indicate that major losses in humid region agricultural systems are usually through leaching and erosion and are usually replaced mainly by the addition of liming materials, with manures, mulches, and certain types of fertilizers providing secondary sources. In forest systems, losses by erosion and leaching are relatively small and may be equaled or exceeded by plant uptake and eventual loss in timber (especially whole tree) harvest. Calcium-rich particulate deposition (dust) provides inputs that are of considerable significance for many forest ecosystems. (Diagram courtesy of Ray R. Weil).