

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 calcio nella pianta

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.

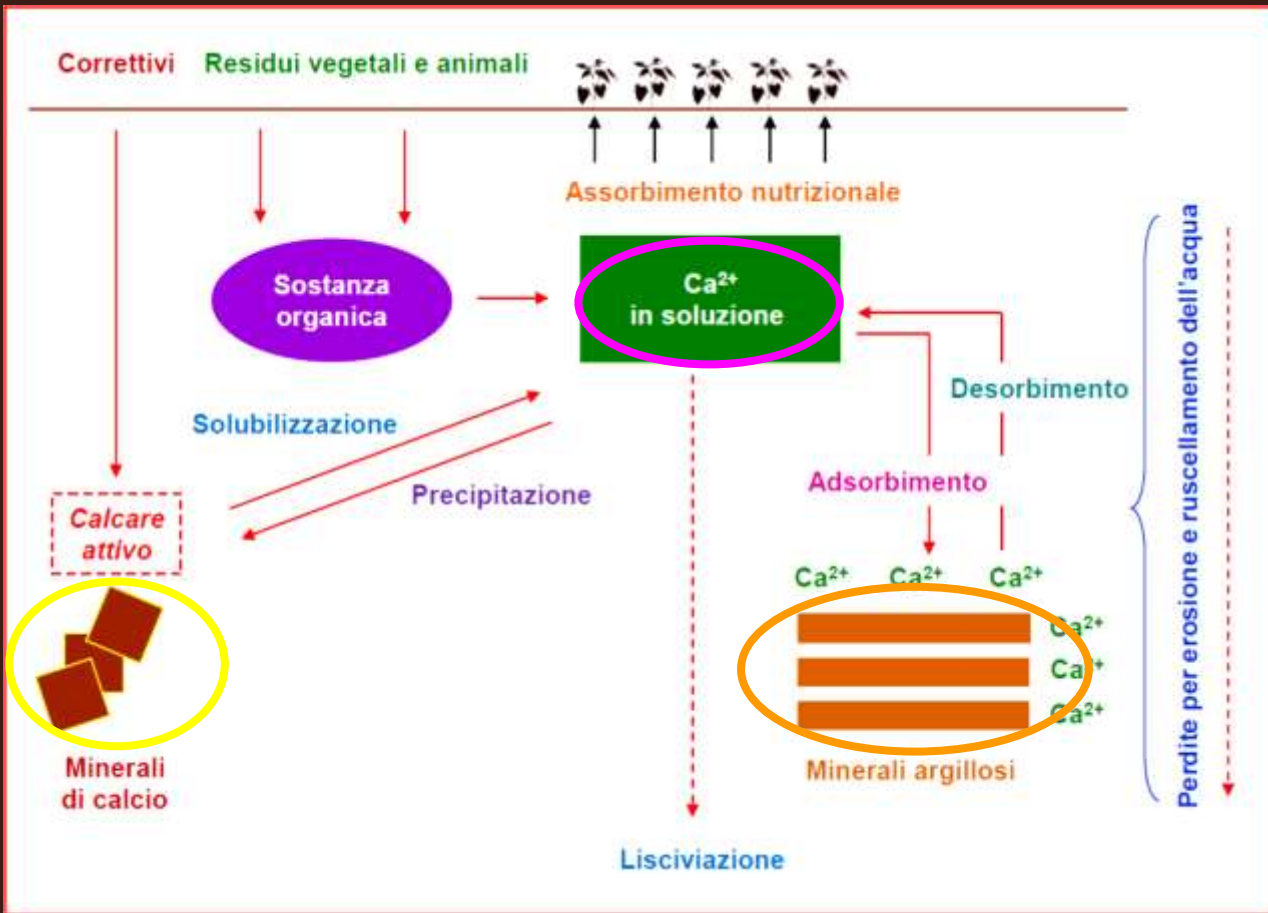
Il calcio nel suolo

Il contenuto di Ca totale nel suolo è molto variabile, da ~0.7% (suoli non calcarei) a >30% (suoli calcarei) (mediamente è del 3.7%) 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 Ca non subisce variazioni nello stato redox, è presente sempre come ione calcio (Ca^{2+}) e quindi **non entra** a far parte dell'organizzazione strutturale delle biomolecole.

Il ciclo globale del calcio



(da Violante, 2013)

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
(Ca soluzione)

Pool scambiabile
(Ca adsorbito)

Pool combinato
(Ca minerale)

Il calcio ha un ciclo biogeochimico sedimentario

Il calcio nel suolo

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

- ✓ combinato (minerale), come silicato, solfato, fosfato, carbonato
- ✓ scambiabile, sulla superficie degli scambiatori
- ✓ solubile, come 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.

Apporti di Ca per alterazione pedogenetica

Il Ca combinato (minerale) è rappresentato dal Ca presente nella struttura cristallina dei costituenti minerali.

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

- feldspati, ortosilicato di Al e di Ca → in suoli non calcarei
- calcite, dolomite, apatiti, gesso → in suoli calcarei

Apporti di Ca 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)

(da Violante, 2013)

Maggiori apporti tramite deposizione di aerosol marino.
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.

Apporti di Ca 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 Ca con i fertilizzanti

I concimi minerali e le matrici organiche spesso contengono quantità dichiarabili di Ca che, insieme agli elementi nutritivi principali, apportano quantitativi significativi del nutriente al suolo.

Apporti significativi con i correttivi.

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

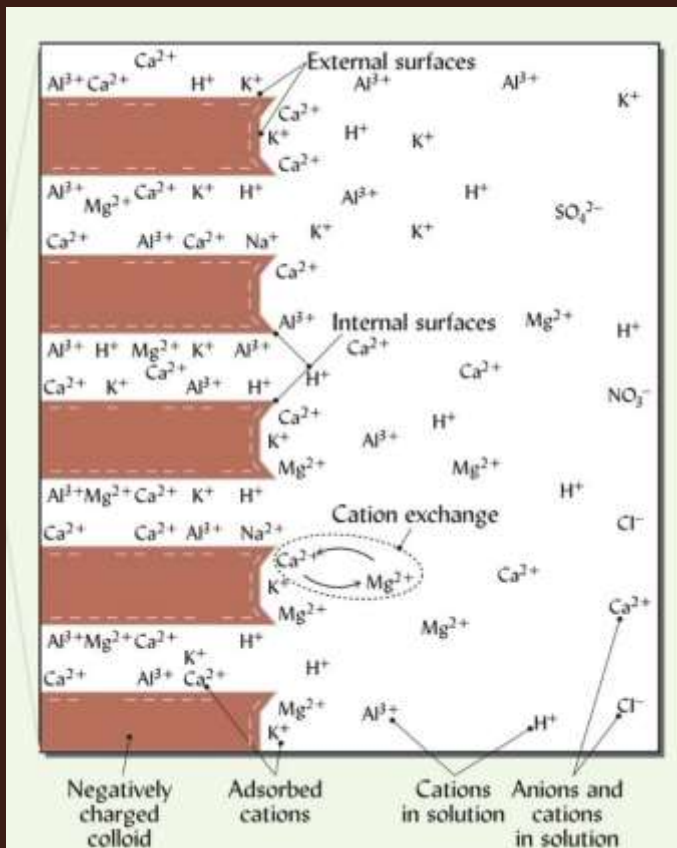
Quantità di nutrienti perdute per lisciviazione da un suolo di tessitura franco argillosa (18 % di argilla) coltivato e non coltivato (modificata da Coppenet, 1969)

(da Violante, 2013)

La quantità di calcio perduto annualmente per lisciviazione oscilla mediamente, in relazione alle caratteristiche pedoclimatiche del sito, tra **85 e 225 kg Ca²⁺ ha⁻¹**. Le deposizioni acide, la mineralizzazione della sostanza organica, la nitrificazione, l'assorbimento radicale dei cationi incrementano la perdita di Ca²⁺.

Il calcio scambiabile

Il Ca può essere trattenuto come ione idratato dalle superfici di scambio elettronegative dei colloidi del suolo costituiti dai minerali argillosi e da 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 calcio solubile

- Gli apparati radicali delle piante assorbono il Ca^{2+} dalla **fase liquida del suolo** nella quale lo ione è presente ad una concentrazione variabile tra 30 e 300 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 Ca di scambio e Ca solubile si trovano in equilibrio dinamico, di grande importanza pratica nella gestione agronomica del nutriente e degli altri cationi di scambio.

Assorbimento nutrizionale di Ca

Il calcio viene assorbito, traslocato ed utilizzato come ione Ca^{2+} .
Il calcio viene preferenzialmente accumulato nelle parti epigee del fusto rispetto ai semi e ai frutti.

Tab. 29.2 - Peso secco delle parti epigee e produzione di semi di alcune piante coltivate, quantità di Ca assorbita e valore dell'indice d'accumulo del calcio.

Piante coltivate	Peso secco delle parti epigee	Produzione di semi	Calcio assorbito dalle parti epigee	Calcio assorbito dai semi	Totale	CaHI (***)
	kg · ha ⁻¹					
Riso (<i>Oryza sativa</i> L.) (*)	6642	4794	27	2	29	0,07
Riso (<i>Oryza sativa</i> L.) (**)	8093	5000	20	4	24	0,17
Riso (<i>Oryza sativa</i> L.) (**)	9423	6389	26	5	31	0,16
Mais (<i>Zea mays</i> L.)	13670	8148	34	8	42	0,19
Fagiolo (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	2200	3409	22	9	31	0,29
Fagiolo (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	1773	1674	21	5	26	0,19
Soia (<i>Glycine max</i> L.)	2901	1323	42	11	53	0,21
Soia (<i>Glycine max</i> L.)	3244	3102	41	12	53	0,23

(*) coltivato "in asciutta,,

(**) coltivato in suolo sommerso

(***) CaHI = Calcium Harvest Index = Indice di accumulo del calcio

(da Violante, 2013)

Piante diverse esprimono esigenze nutritive diverse di calcio.

Quantità di Ca 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

(da Violante, 2013)

Mobilità di Ca (e Mg) 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 Ca è molto poco mobile all'interno della pianta.

La traspirazione è un fattore importante di controllo della mobilità del calcio. Situazioni di carenza di calcio possono ingenerarsi in conseguenza di inadeguata disponibilità di acqua nel suolo che limita nella pianta il flusso del nutriente.

Effetti della carenza e dell'eccesso di calcio

Piante Ca-carenti manifestano:

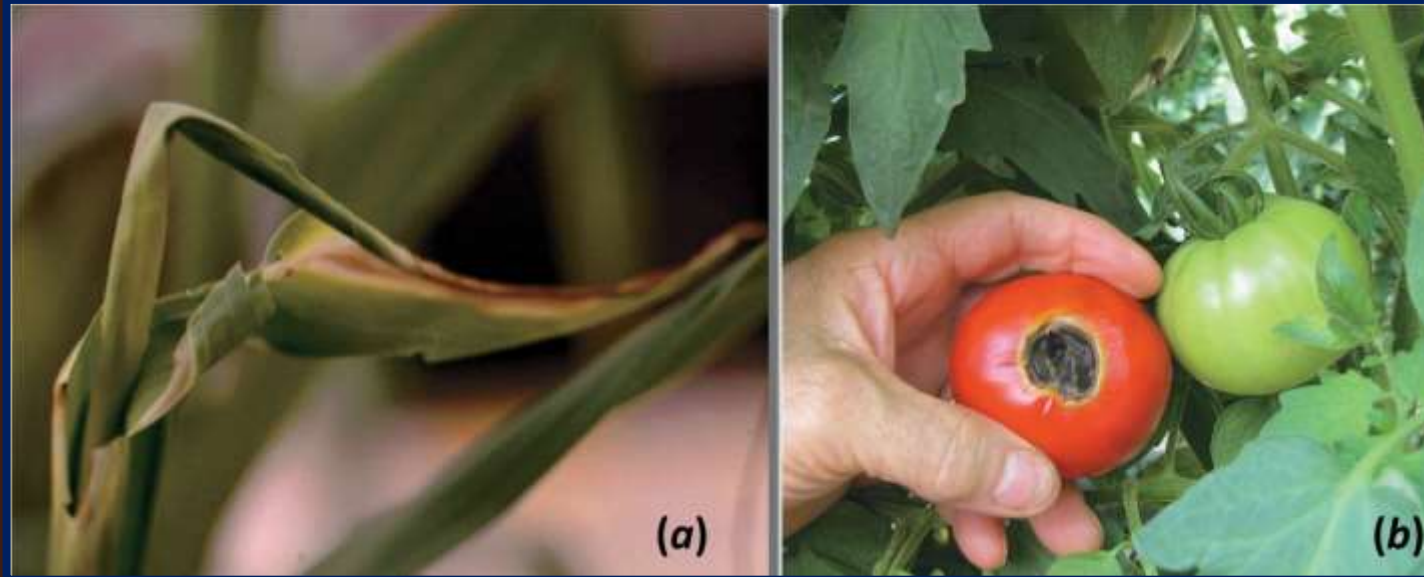
- ✓ ridotto accrescimento degli apici e delle giovani foglie
- ✓ perdita di permeabilità del plasmalemma
- ✓ formazione di tessuti molli
- ✓ deformazioni, clorosi, necrosi
- ✓ ridotto sviluppo radicale
- ✓ compromissione della simbiosi azotofissatrice nelle leguminose



Eccesso di Ca determina:

- ✓ effetti indiretti
- ✓ innalzamento del pH del suolo e squilibri nutrizionali con carenza indotta di P, K, Mg, B, Cu, Fe, Mn e Zn

La carenza di calcio



(da Weil & Brady, 2017)

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).

La carenza di calcio



(da Weil & Brady, 2017)

In piante calcio-carenti lo sviluppo dell'apparato radicale (*sin*) risulta compromesso rispetto a piante allevate nella stessa soluzione nutritiva addizionata di calcio (*dx*).

E' importante che il rapporto (calcio)/(altri cationi) sia > 5 per non alterare l'integrità e la selettività della membrana cellulare radicale.

La limitata disponibilità di calcio inibisce la nodulazione, la crescita e l'attività di fissazione azotata dei simbionti radicali nelle leguminose.