

# 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.

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

Litosfera		% (p/p)	Cellula vegetale	
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
			Ferro (Fe)	0.01

# Gli elementi essenziali e le forme chimiche della nutrizione minerale delle piante

**Table 37.1 Essential Nutrients in Plants**

Element	Form Available to Plants	Major Functions
<b>Macronutrients</b>		
Carbon	CO <sub>2</sub>	Major component of plant's organic compounds
Oxygen	CO <sub>2</sub>	Major component of plant's organic compounds
Hydrogen	H <sub>2</sub> O	Major component of plant's organic compounds
Nitrogen	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Component of nucleic acids, proteins, hormones, and coenzymes
Sulfur	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Component of proteins, coenzymes
Phosphorus	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Component of nucleic acids, phospholipids, ATP; several coenzymes
Potassium	K <sup>+</sup>	Cofactor that functions in protein synthesis; major solute functioning in water balance; operation of stomata
Calcium	Ca <sup>2+</sup>	Important in formation and stability of cell walls and in maintenance of membrane structure and permeability; activates some enzymes; regulates many responses of cells to stimuli
Magnesium	Mg <sup>2+</sup>	Component of chlorophyll; activates many enzymes
<b>Micronutrients</b>		
Chlorine	Cl <sup>-</sup>	Required for water-splitting step of photosynthesis; functions in water balance
Iron	Fe <sup>3+</sup> , Fe <sup>2+</sup>	Component of cytochromes; activates some enzymes
Boron	H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cofactor in chlorophyll synthesis; may be involved in carbohydrate transport and nucleic acid synthesis
Manganese	Mn <sup>2+</sup>	Active in formation of amino acids; activates some enzymes; required for water-splitting step of photosynthesis
Zinc	Zn <sup>2+</sup>	Active in formation of chlorophyll; activates some enzymes
Copper	Cu <sup>+</sup> , Cu <sup>2+</sup>	Component of many redox and lignin-biosynthetic enzymes
Molybdenum	MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Essential for nitrogen fixation; cofactor that functions in nitrate reduction
Nickel	Ni <sup>2+</sup>	Cofactor for an enzyme functioning in nitrogen metabolism

Ciascuno di essi svolge una specifica funzione fisio-metabolica nella cellula vegetale. Questi elementi sono quindi essenziali per la crescita e lo sviluppo della pianta.

# Il ciclo globale dello zolfo

Lo zolfo è un elemento molto diffuso in natura. Caratterizzato da notevole mobilità si trova distribuito nella litosfera (circa 0.05%), nell'atmosfera, nella idrosfera e nella biosfera.

Il contenuto maggiore di S si trova nella crosta terrestre, nelle rocce e nei sedimenti, come pirite e zolfo elementare, che per pedogenesi generano solfati. Solo una frazione molto limitata si trova nel suolo (pedosfera). Di questa una quota molto ridotta è solubile ed utilizzabile dalle piante come ioni solfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).

Le forme chimiche dello zolfo sono:

- zolfo gassoso ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $(\text{CH}_3)_2\text{S}$ ,  $\text{CS}_2$ ,  $\text{CSO}$ )
- zolfo elementare (S)
- ioni solfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e solfuro ( $\text{S}^{2-}$ )
- composti organici solforati e solfonati
- zolfo minerale ( $\text{FeS}$ ,  $\text{FeS}_2$ )

e sono coinvolte in numerosi processi chimici e biologici che definiscono il ciclo globale dello zolfo.

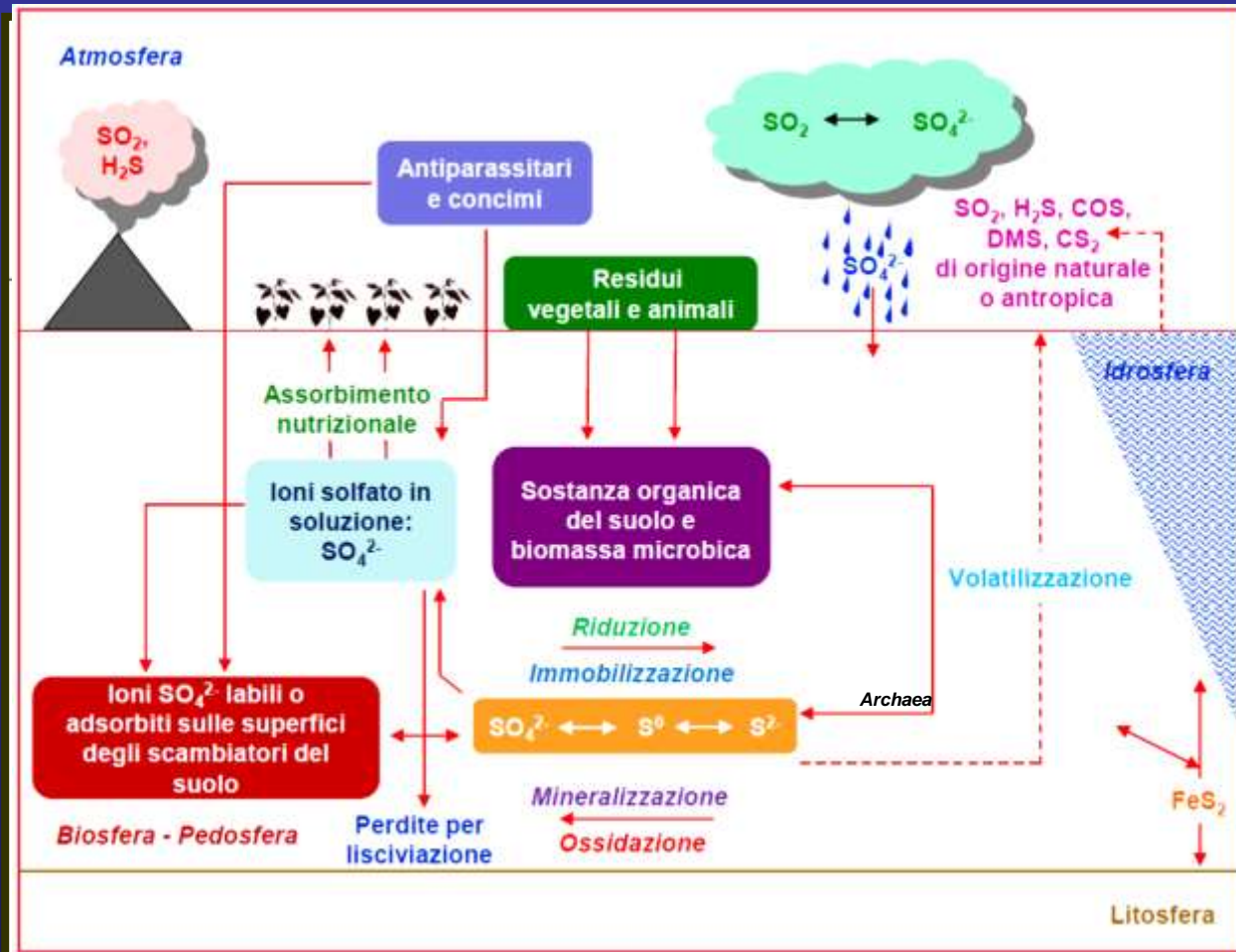
# Il ciclo globale dello zolfo

Nei trasferimenti tra i comparti dell'ecosistema lo zolfo si presenta in forme chimiche a diversi stati di ossidazione e contenuto energetico

Numero d'ossidazione	Composti	Formula
+6	Triossido di zolfo Solfati	$\text{SO}_3$ $\text{H}_2\text{SO}_4$ , $\text{HSO}_4^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$
+5	Ditionati	$\text{S}_2\text{O}_6^{2-}$
+4	Diossido di zolfo Solfiti	$\text{SO}_2$ $\text{H}_2\text{SO}_3$ , $\text{HSO}_3^-$ , $\text{SO}_3^{2-}$
+3	Ditioniti	$\text{S}_2\text{O}_4^{2-}$
+2	Tiosolfati	$\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , $\text{HS}_2\text{O}_3^-$ , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$
0	Zolfo elementare	$\text{S}_8$
-1	Disolfuri	$\text{S}_2^{2-}$
-2	Solfuri	$\text{H}_2\text{S}$ , $\text{HS}^-$ , $\text{S}^{2-}$

Per le sue peculiari proprietà elettrochimiche, lo zolfo, come l'azoto, presenta un ciclo biogeochimico complesso.

# Il ciclo globale dello zolfo



(da Havlin et al., 2014)

## Apporti

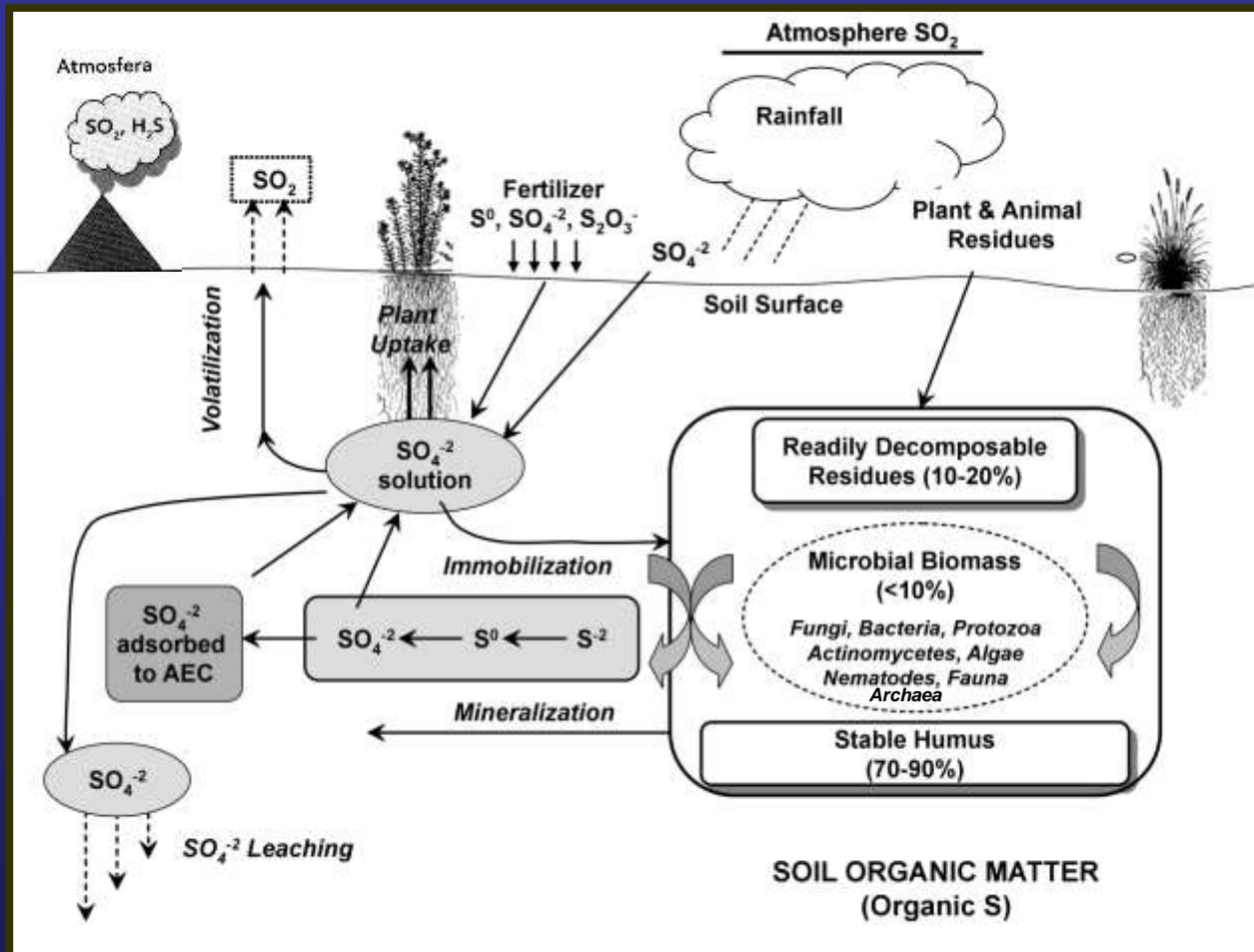
- Alterazione dei costituenti minerali
- Mineralizzazione della SO
- Precipitazioni atmosferiche
- Acque irrigue e superficiali
- Concimazione

## Perdite

- Asportazioni colturali
- Lisciviazione
- Erosione
- Volatilizzazione ( $\text{SO}_2, \text{H}_2\text{S}$ )

Lo zolfo ha un ciclo biogeochimico sedimentario-gassoso. Come N è presente in tutti i compartimenti dell'ecosistema terrestre in forme e composti diversi e viene trasferito in forme inorganiche.

# Il ciclo globale dello zolfo



(da Havlin et al., 2014)

## Apporti

Alterazione dei costituenti minerali  
Mineralizzazione della SO  
Precipitazioni atmosferiche  
Acque irrigue e superficiali  
Concimazione

## Perdite

Asportazioni colturali  
Lisciviazione  
Erosione  
Volatilizzazione ( $\text{SO}_2, \text{H}_2\text{S}$ )

Lo zolfo ha un ciclo biogeochimico sedimentario-gassoso. Come N è presente in tutti i comparti dell'ecosistema terrestre in forme e composti diversi e viene trasferito in forme inorganiche.

# Lo zolfo nel suolo

E' presente in forma organica ed inorganica.

Lo zolfo che entra nella composizione dei composti organici costituisce la maggior riserva del nutriente nel suolo (75-90%).

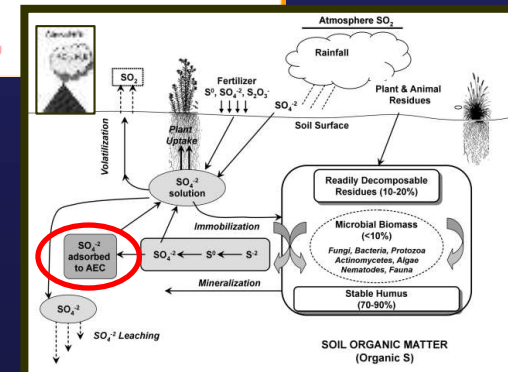
Forme inorganiche principali sono gli anioni  $\text{SO}_4^{2-}$  presenti sia in soluzione che adsorbiti sugli scambiatori del suolo.

I solfati in fase liquida sono in equilibrio con quelli in fase solida.

L'adsorbimento degli ioni  $\text{SO}_4^{2-}$  sulle superfici dei minerali argillosi aumenta a valori di pH poco elevati e risulta maggiore nel caso della caolinite, minore in presenza di montmorillonite.

Nelle regioni umide gran parte degli ioni solfato vengono lisciviati, nelle regioni aride si accumulano sulle superficie del suolo.

In condizioni di saturazione idrica lo zolfo inorganico è presente in forma ridotta come  $\text{FeS}$ ,  $\text{FeS}_2$  (pirite)  $\text{H}_2\text{S}$ .





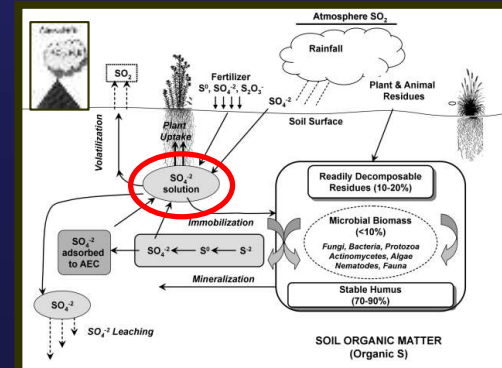
# Lo zolfo nel suolo

## Zolfo solubile (solfati in soluzione)

Nutriente	mg · L <sup>-1</sup>	µM
Cl <sup>-</sup>	60 - 600	2000 - 20000
S [SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	50 - 500	500 - 5000
Ca <sup>2+</sup>	30 - 300	800 - 8000
Mg <sup>2+</sup>	5 - 50	200 - 2000
Si [(Si(OH) <sub>4</sub> ]	10 - 50	400 - 2000
K <sup>+</sup>	1 - 10	20 - 200
Na <sup>+</sup>	0.5 - 5	20 - 200
F <sup>-</sup>	0.1 - 0.5	5 - 20
Mn <sup>2+</sup>	0.1 - 10	2 - 20
Cu <sup>2+</sup>	0.03 - 0.3	0.5 - 5
P [H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ]	0.002 - 0.03	0.06 - 1
Mo [HMoO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ]	0.001 - 0.01	0.01 - 0.1
Al [Al(OH) <sup>2+</sup> ]	<0.01	<0.4
Fe <sup>2+</sup> + Fe(OH) <sub>2</sub> <sup>+</sup>	<0.005	<0.01
Zn <sup>2+</sup>	<0.005	<0.01

Concentrazione di alcuni nutrienti nella soluzione di suoli delle regioni temperate (modificata da Murrman e Koutz, 1972)

Pur con oscillazioni stagionali, la concentrazione di solfato nella fase liquida del suolo varia in relazione alle dinamiche di adsorbimento (pH, quantità e tipo di minerali argillosi), lisciviazione (piovosità, tessitura) e saturazione idrica.



# Lo zolfo nel suolo

L'adsorbimento degli ioni  $\text{SO}_4^{2-}$  sulle superfici dei minerali argillosi aumenta al diminuire del valore di pH del suolo ed è maggiore per le entità di tipo 1:1 (caolinite) e per gli ossidi di ferro e alluminio, molto minore per quelle di tipo 2:1 (illite, montmorillonite, vermiculite).

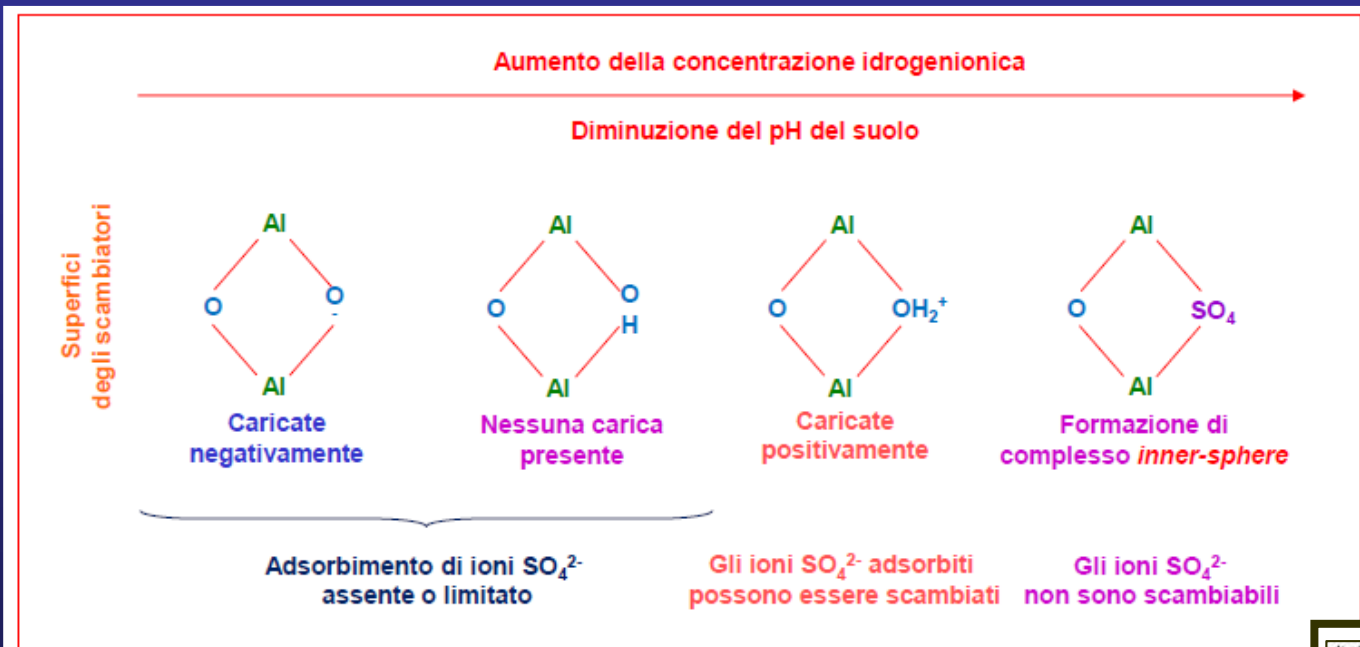
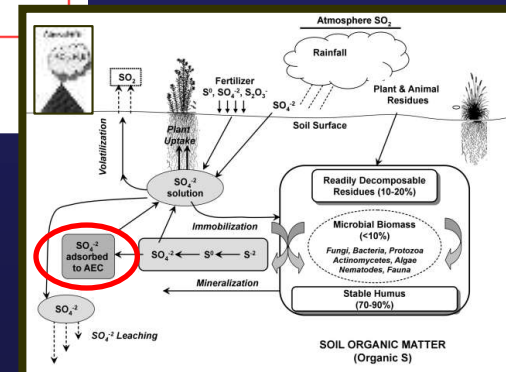


Fig. 27.2 - Aumento dell'adsorbimento degli ioni solfata al diminuire del pH del suolo (modificata da Brady e Weil, 2009).

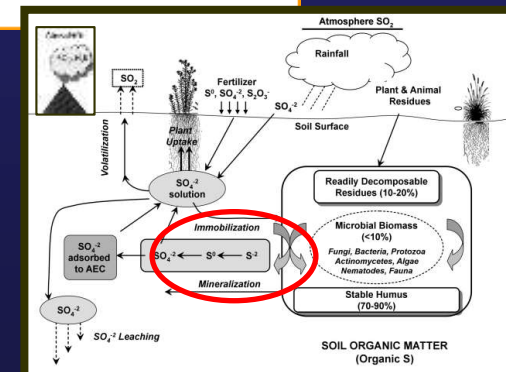
Il solfato solubile subisce dinamiche chimiche di superficie che ne riducono progressivamente la disponibilità per la nutrizione minerale della pianta.



# Mineralizzazione - immobilizzazione

L'attività di numerosi microrganismi provoca la degradazione dei composti organici solforati con formazione di solfuri, rapidamente ossidati a zolfo elementare e solfati. Questi vengono utilizzati dalle piante per la formazione di composti organici che, arrivando al suolo, ne aumentano il contenuto di zolfo e danno inizio nuovamente al ciclo.

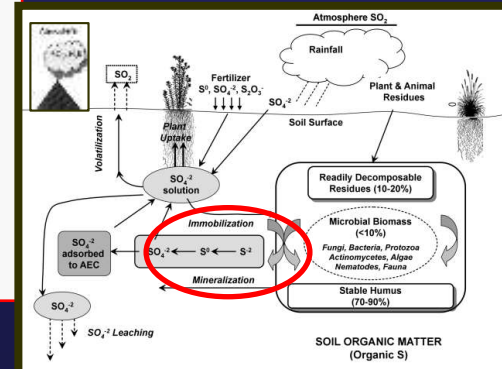
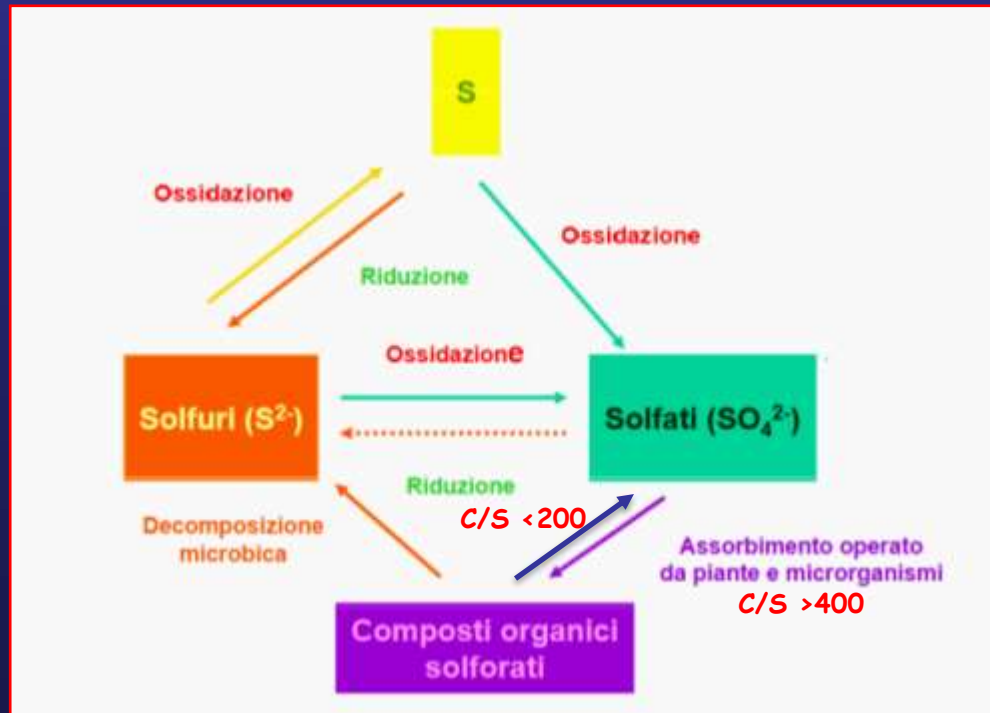
Due sottocicli definiscono, rispettivamente, la riduzione diretta dei solfati a solfuri senza il passaggio intermedio attraverso composti organici e la riduzione di zolfo elementare a ione  $S^{2-}$ . Contenuto di acqua vicino a quello che definisce la capacità di campo, temperatura compresa tra 20 e 30°C e grado di reazione prossimo alla neutralità favoriscono il processo di mineralizzazione dei composti organici solforati.



# Mineralizzazione - immobilizzazione

Lo zolfo subisce nel suolo dinamiche di trasformazione microbica mediante processi di immobilizzazione, mineralizzazione, ossidazione e riduzione.

Lo svolgersi di tali processi è controllato dagli stessi fattori che modulano l'attività microbica nel terreno: temperatura, umidità, pH, aerazione, disponibilità di substrati organici, rapporto C/S del residuo.

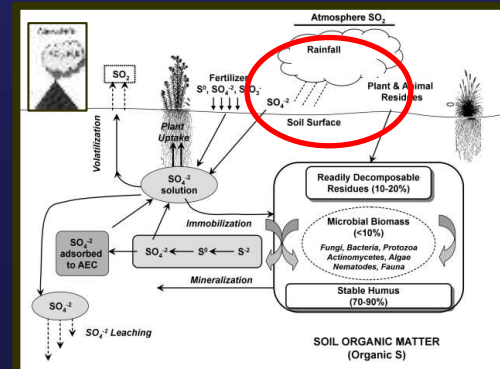


# Apporto di S per deposizione atmosferica

**TABELLA 1.6** Elementi che giungono al suolo attraverso le precipitazioni ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ ). La variabilità riportata per alcune località ed elemento dipende dalla vicinanza ai centri di emissione (es. centri urbani, complessi industriali, vulcani)

Località	N	P	K	Ca	Na	S
Inghilterra	8-14	0,3-1	3-4	9-13	25-35	12
Germania	18,5	0,4	3,5	15,5	-	-
Italia	5-25,0	2,8	3,3	13,2	39,3	14

La quantità di nutrienti che raggiungono il suolo con le precipitazioni è molto variabile (distanza dal mare, presenza di centri abitati e insediamenti industriali, vulcani) e raramente è sufficiente a soddisfare l'intero fabbisogno nutrizionale in S della coltura.



# Apporto di S per deposizione atmosferica

Lo zolfo si accerta sempre nell'atmosfera: in fase gassosa come diossido di zolfo [ $\text{SO}_2$ ], diidrogeno solfuro [ $\text{H}_2\text{S}$ ], dimetil solfuro [ $(\text{CH}_3)_2\text{S}$ ], carbonio disolfuro [ $\text{CS}_2$ ], carbonil solfuro [ $\text{COS}$ ], in fase solida (micro particelle) come ione solfato [ $\text{SO}_4^{2-}$ ]. Queste sostanze si originano per processi naturali o per attività antropiche, quali:

- eruzioni vulcaniche
- volatilizzazione dal suolo
- formazione nell'idrosfera
- combustione di biomasse vegetali
- combustione di oli minerali o di carbone per la produzione d'energia elettrica e termica
- trasporto su strada

Origine	Composti solforati rilasciati nell'atmosfera (Tg di S · anno <sup>-1</sup> )					
	$\text{SO}_2$	$\text{H}_2\text{S}$	DMS	$\text{CS}_2$	COS	Solfati
Oceani	-	<0,5	19,0 - 51,0	0,3	0,3	?
Paludi costiere	-	1,0	0,6	0,06	0,1	-
Suoli e Piante	-	3,2 - 10,0	0,2 - 3,8	0,6 - 0,8	0,3 - 0,4	2,0 - 4,0
Combustione di biomasse vegetali	2,6	?	-	?	0,01	?
Vulcani	7,4 - 9,3	0,5 - 1,5	-	-	-	2,0 - 2,4
<b>Totale</b>	<b>10 - 13</b>	<b>4,7 - 13,0</b>	<b>19,2 - 54,4</b>	<b>0,1 - 1,3</b>	<b>0,1 - 1,3</b>	<b>4,0 - 8,0</b>

I composti volatili dello S ed i prodotti della loro ossidazione costituiscono causa delle piogge acide e fonte di pericolo per le piante, oltre che apporto al terreno di quantità significative di S.

# Apporto di S con acque irrigue e superficiali

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

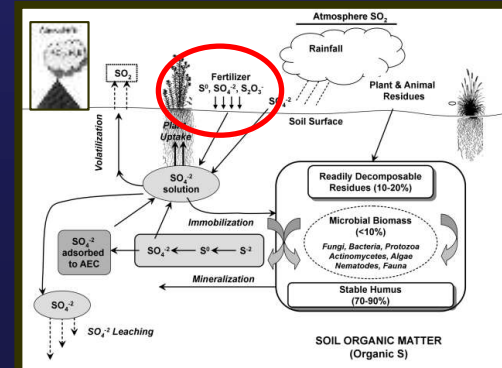
Sale	Formula chimica	Contributo alla definizione del contenuto salino totale
Sodio cloruro	NaCl	Modesto-Elevato
Sodio solfato	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Modesto-Elevato
Calcio cloruro	CaCl <sub>2</sub>	Modesto
Calcio solfato (gesso)	CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	Modesto-Scarso
Magnesio cloruro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

L'acqua di irrigazione contiene disciolti, in quantità variabile con le caratteristiche pedogenetiche e climatiche del sito, sali solubili costituiti dai cationi Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, dagli anioni Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ed in quantità ridotta da K<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> e pochi altri ioni (BO<sub>3</sub><sup>3-</sup>).

# Apporti di S con i fertilizzanti

I concimi minerali (ed i correttivi) spesso contengono quantità dichiarabili di S che, insieme agli elementi nutritivi principali, apportano quantitativi significativi del nutriente al suolo.

Lo S è meno rappresentato nei concimi organici e negli ammendanti.



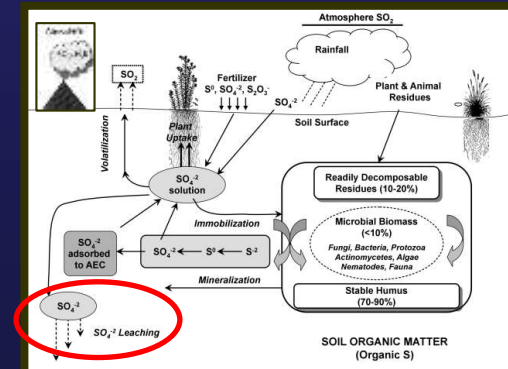


# Lisciviazione del solfato

Lo ione  $\text{SO}_4^{2-}$  è molto solubile in acqua e se non è trattenuto dagli scambiatori del suolo caratterizzati da carica positiva netta (CSA) è contraddistinto da mobilità ed è facilmente allontanato dal profilo per lisciviazione. La quantità di solfato lisciviato dipende:

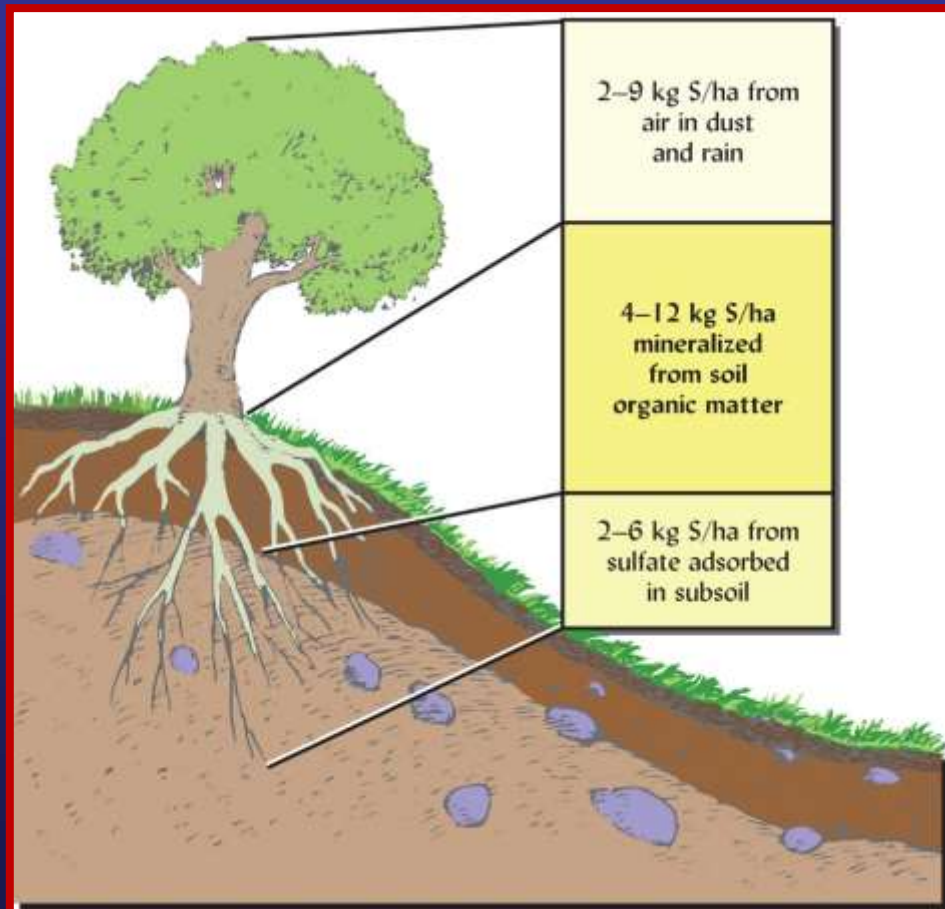
dal volume idrico, dalla tessitura del suolo, da pH e dal grado di insaturazione del complesso di scambio.

In aree ad elevata piovosità e su suoli permeabili la lisciviazione può asportare fino a **130 kg S ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>**, sottraendolo alla disponibilità per la coltura.

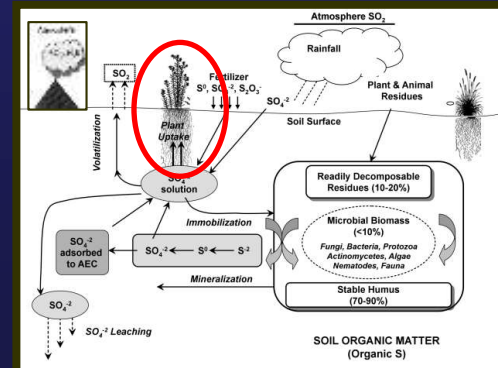


# Assorbimento nutrizionale

La pianta assorbe lo zolfo parte dall'atmosfera, parte dalla fase liquida del suolo ed a diverse profondità



(da Weil & Brady, 2017)



# Assorbimento nutrizionale

Attraverso gli stomi le piante possono assorbire S come  $SO_2$  presente nell'atmosfera come deposizioni solide o liquide. Tuttavia è una via secondaria.

Origine	Specie chimiche	Quantità estreme (kg di S · ha <sup>-1</sup> )
Atmosfera	Gassose o presenti nelle deposizioni solide e liquide	2 - 9 (*)
Suolo	Ioni $SO_4^{2-}$ in soluzione o adsorbiti dagli scambiatori inorganici	2 - 6
Suolo	Ioni $SO_4^{2-}$ derivati dalla mineralizzazione della sostanza organica	4 - 12

(\*) In aree prossime a impianti di combustione di petrolio e carbone o a fonderie le quantità di zolfo presenti nell'atmosfera possono essere molto più elevate.

**L'assorbimento radicale** è quello **prevalente** ed è controllato da temperatura ed umidità del suolo, dalla specie vegetale e dalle caratteristiche del suolo.

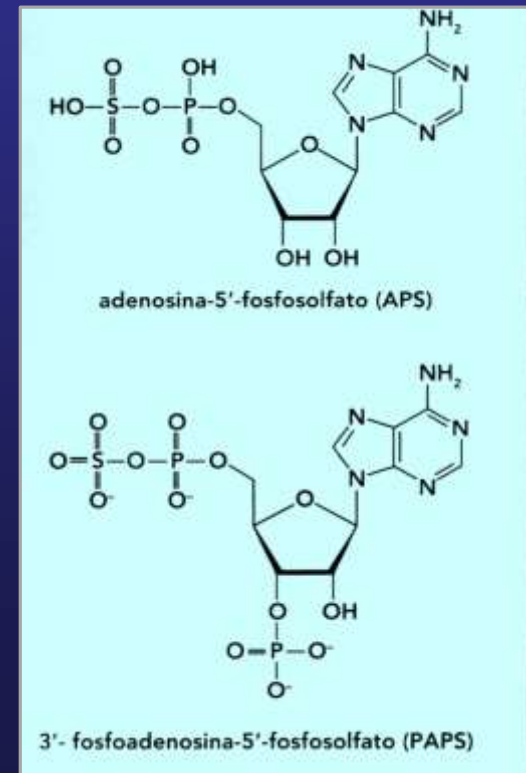
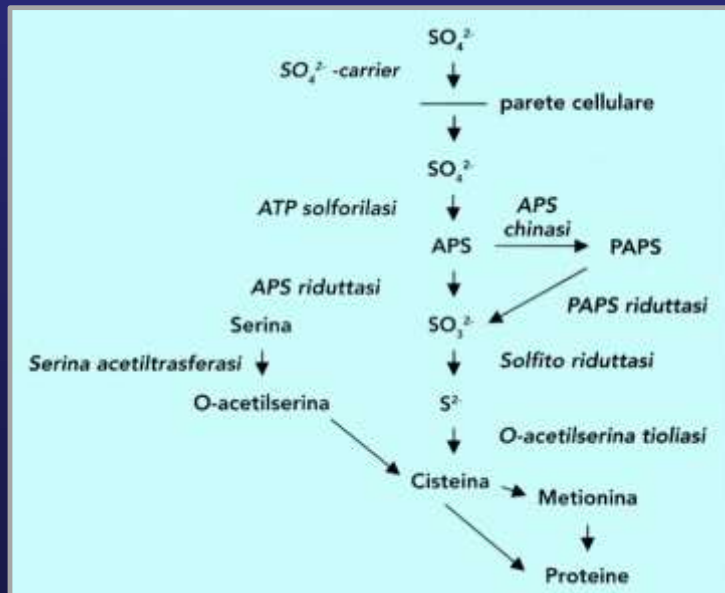
Assorbito a livello radicale come ione solfato ( $SO_4^{2-}$ ) o tiosolfato ( $S-SO_3^{2-}$ ), il nutriente viene traslocato mediante *carrier* all'interno della pianta ed incorporato, mediante la formazione di legami anidridici, in composti attivi, stabili, derivati dell'ATP per essere poi assimilato in composti solforati a basso peso molecolare. **Traslocato lentamente all'interno della pianta.**

# Conversione dello S inorganico in composti solforati a basso PM

Per la biosintesi dei composti organici solforati è necessario che nelle cellule vegetali si formino inizialmente composti attivi dello S e successivamente Cys e Met (amminoacidi primari), attraverso la via:

## 1) Assimilazione del solfato come APS/PAPS

Il meccanismo più diffuso nelle piante superiori e nelle alghe verdi

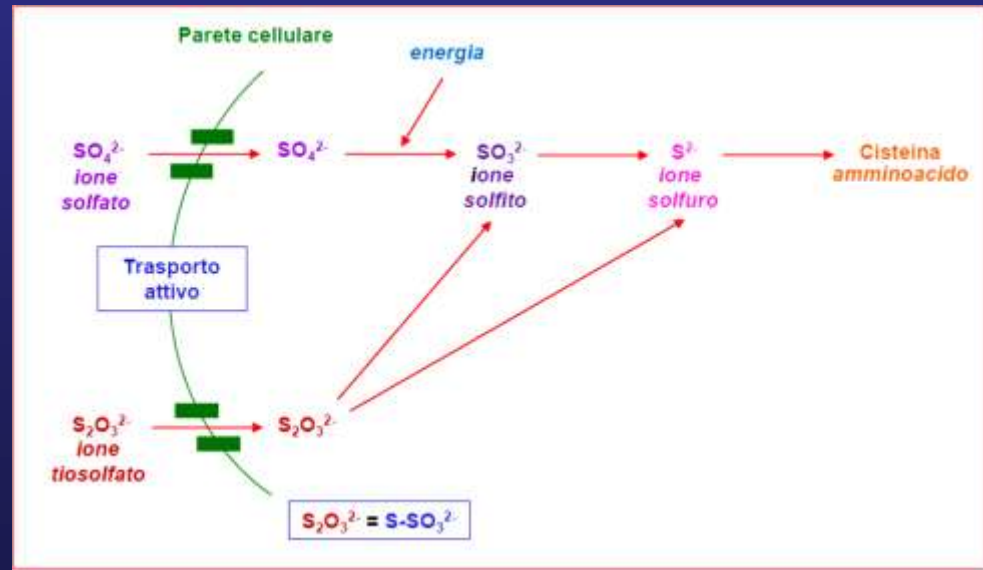


# Conversione dello S inorganico in composti solforati a basso PM

Per la biosintesi dei composti organici solforati gli amminoacidi primari Cys e Met si possono formare anche attraverso la via del tiosolfato:

## 2) Assimilazione del tiosolfato

Il meccanismo meno dispendioso energeticamente se disponibile tiosolfato



Per trasferimento e reazioni del gruppo  $-\text{SH}$  si formano tutti gli altri composti organici solforati e solfonati.

# Concentrazione di S nei tessuti vegetali

La quantità di S che ciascuna coltura rimuove dal suolo durante la crescita dipende essenzialmente dalla specie e dalla produzione realizzata.

Tab. 27.9 - Produzione di semi di alcune piante coltivate, quantità di S assorbita e valore dell'indice d'accumulo dello zolfo (modificata da Hanson, 1990).

Piante coltivate	Produzione di semi	Zolfo assorbito dalle parti epigee	Zolfo assorbito dai semi	Totale	SHI (*)
	kg · ha <sup>-1</sup>				
Orzo ( <i>Hordeum vulgare</i> L.)	5,376	11	11	22	0,50
Grano saraceno ( <i>Fagopyrum esculentum</i> Moench.)	1,613	3	6	9	0,67
Mais ( <i>Zea mays</i> L.)	12,544	20	17	37	0,46
Avena ( <i>Avena sativa</i> L.)	3,584	12	9	21	0,43
Riso ( <i>Oryza sativa</i> L.)	7,840	8	6	14	0,43
Frumento ( <i>Triticum</i> spp.)	5,376	17	6	23	0,26
Sorgo ( <i>Sorghum vulgare</i> Pers.)	8,960	18	25	43	0,58
Arachide ( <i>Arachis hypogaea</i> L.)	4,480	12	11	23	0,50
Lino ( <i>Linum usitatissimum</i> L.)	1,344	3	3	6	0,50
Colza ( <i>Brassica napus</i> L.)	1,960	10	13	23	0,57
Soia ( <i>Glycine max</i> L.)	4,032	15	13	28	0,46
Girasole ( <i>Helianthus annuus</i> L.)	3,940	11	7	18	0,39
<b>Media</b>	<b>5,086</b>	<b>11,6</b>	<b>10,6</b>	<b>22,2</b>	<b>0,48</b>

(\*) SHI = Sulfur Harvest Index = Indice di accumulo dello zolfo

# Concentrazione di S nei tessuti vegetali

Graminacee		Leguminose		Crucifere	
S% della sostanza secca					
Orzo	0.18	Fagiolo	0.24	Rapa	1.0
Avena	0.18	Pisello	0.27	Senape bianca	1.4
Grano	0.17	Soia	0.32	Ravanello	1.7
Mais	0.17			Senape nera	1.0

Contenuto di zolfo nelle cariossidi e nei semi di piante diverse  
(modificata da Deloch, 1960)

- Le Graminacee accumulano un terzo di S rispetto a P
- Le Leguminose accumulano tanto S quanto P
- Le Crucifere accumulano il triplo di S rispetto a P

# Concentrazione di S nei tessuti vegetali

Quantità di S rimossa da una coltura di riso sottoposta a diversi apporti di N

Apporto di S al suolo (kg · ha <sup>-1</sup> )	Zolfo assorbito dalle parti epigee (kg · ha <sup>-1</sup> )		Zolfo assorbito dai semi (kg · ha <sup>-1</sup> )	
	N <sub>60</sub>	N <sub>120</sub>	N <sub>60</sub>	N <sub>120</sub>
0	0,89	0,99	1,57	1,92
25	2,93	3,82	3,30	4,37
50	3,41	4,45	3,37	3,81
100	4,12	4,72	3,50	3,80
Media	2,84	3,50	2,94	3,48

Esiste una interazione sinergica tra livelli di N ed S (e Fe)



# Quantità di S mediamente asportate dal suolo da differenti colture agrarie

Colture	Produzione	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Mn	Zn
	Mg · ha <sup>-1</sup>	kg · ha <sup>-1</sup>						g · ha <sup>-1</sup>		
<b>Cereali</b>										
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	-	-	-	-
<b>Leguminose</b>										
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	-	-	-
<b>Foraggere</b>										
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	-	-	-	-
<b>Altre colture</b>										
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

# Effetti della carenza e dell'eccesso di zolfo



## Piante S-carenti manifestano:

- ✓ clorosi
- ✓ crescita stentata
- ✓ inibizione sintesi proteica
- ✓ alterazione del profilo amminoacidico nei semi

## Piante con S-surplus presentano:

- ✓ squilibrio nutrizionale
- ✓ inibizione dell'assorbimento di Mo in suoli Mo-carenti

- ✓ Il ciclo dell'N e dello S hanno molto in comune (eccetto fissazione biologica)
- ✓ Presente nel suolo in forme inorganiche ed organiche è costituente della SOM (rapporto N:S circa 10)
- ✓ L'attività microbica produce il rilascio di forme inorganiche solubili ( $SO_4^{2-}$ ) debolmente trattenute dalla CSA del suolo (eccetto in suoli acidi)
- ✓ Perdite per lisciviazione in contesti climatici umidi, accumulo in climi aridi
- ✓ In condizioni anaerobiche si hanno perdite di forme volatili
- ✓ La quantità di S rimossa da una coltura è pari a circa un decimo della asportazione di N (da 6 a 50 kg ha<sup>-1</sup>)
- ✓ Mediamente mobile all'interno della pianta, è traslocato lentamente
- ✓ Carenze più diffuse che in passato causano inibizione della sintesi proteica e riduzione di AA solforati
- ✓ Interazioni positive con N e Fe, negative con Mo in suoli Mo-carenti
- ✓ L'azione correttiva dello S elementare o minerale nel suolo promuove la mobilità di Fe, Mn, Cu, Zn, P, Ni, Co, Cd