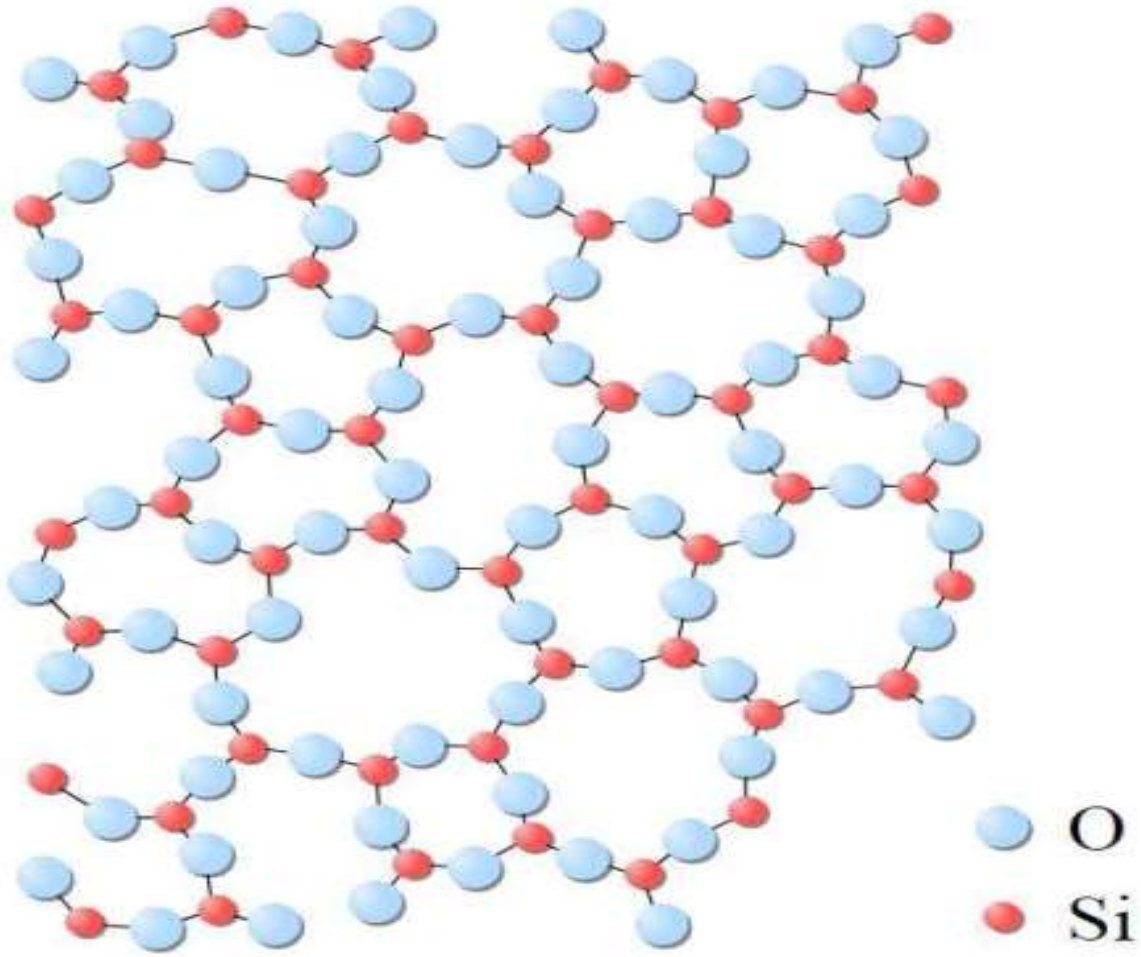
INDAGINE CONOSCITIVA SUGLI EFFETTI DEL SILICIO



RICERCA SCIENTIFICA E CASI STUDIO SULL'UTILIZZO DI ACIDO SILICICO

Non ho particolari talenti, sono soltanto appassionatamente curioso.(Albert Einstein)

IN FORZA DELLA LEGGE 22/APRILE 1941, N 633 E SUCCESSIVE MODIFICAZIONI SI RISERVA OGNI DIRITTO, SULLA PUBBLICAZIONE, RIPRODUZIONE IN PARTE O IN RIASSUNTO, SIA SU CARTA STAMPATA CHE ATTRAVERSO LE VIE TELEMATICHE©

Storia

Il silicio (dal latino *silex*, *silicis* che significa selce) venne identificato per la prima volta da Antoine Lavoisier nel 1787, e venne successivamente scambiato per un composto da Humphry Davy nel 1800. Nel 1811 Gay Lussac e Thenard probabilmente prepararono del silicio amorfo impuro attraverso il riscaldamento di potassio con tetrafluoruro di silicio. Nel 1824 Berzelius preparò del silicio amorfo usando all'incirca lo stesso metodo di Lussac. Berzelius inoltre purificò il prodotto attraverso successivi lavaggi.

Caratteristiche

Nella sua forma cristallina, il silicio ha un colore grigio e una lucentezza metallica, ma il suo colore può variare. Anche se è un elemento relativamente inerte, reagisce con gli alogeni e gli alcali diluiti, ma la maggior parte degli acidi (eccetto l'acido fluoridrico) non lo intaccano.

Il silicio trasmette più del 95% di tutte le lunghezze d'onda della luce infrarossa.

Il silicio è alla base di tutti i silicati, minerali formati da silicio e ossigeno più altri elementi in forma ionica. I silicati sono contenuti nei magmi e, per la struttura tetraedrica della silice, il magma diventa più viscoso, e capace di trattenere maggiori quantità di gas. In base al contenuto di silice si determina l'acidità di un magma e delle rocce dal quale deriva. Se è poco presente il magma si dirà basico.

Ruolo biologico

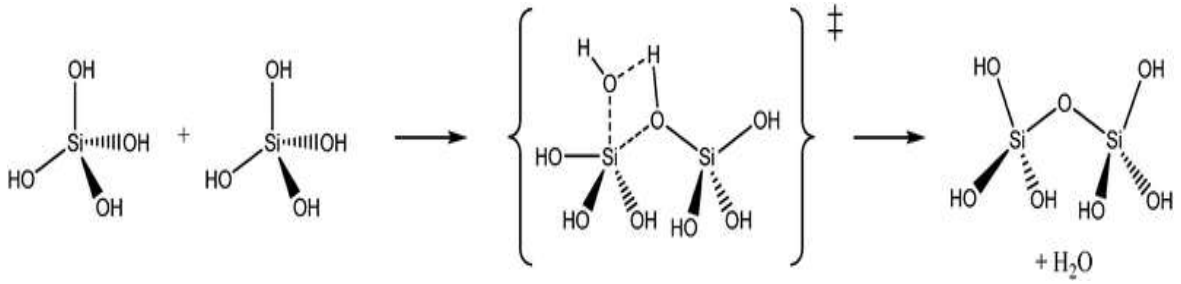
Il silicio nei suoi composti inorganici come la silice è largamente diffuso nei viventi; può essere presente nei tessuti in forme differenti. Il ruolo principale noto è rappresentato dalla formazione di strutture di protezione e sostegno basate su composti inorganici come acido silicico e silice (biossido di silicio), in microorganismi, spugne, piante.

La silice è molto importante per la vita animale e vegetale. Le diatomee estraggono la silice dall'acqua per costruire i muri protettivi delle loro cellule; gli

equiseti lo concentrano nel fusto della pianta usandolo per conferirgli robustezza e notevole resistenza alla masticazione, per scoraggiare gli erbivori.
Diatomee e radiolari, ad esempio, utilizzano principalmente silice, come base strutturale dell'impalcature cellulare, le spugne utilizzano la silice per spicole e altre strutture di sostegno, l'equiseto presenta diversi granuli di silice nell'epidermide esterna che lo rendono leggermente abrasivo (e indigesto ad alcuni erbivori), l'ortica presenta la punta dei peli urticanti silicizzata.

Attività biostimolante del silicio in orticoltura

L'acido ortosilicico $Si(OH)_4$ è uno dei composti più importanti del silicio costituendo la specie di partenza per la silice e i silicati che sono le sostanze più abbondanti sulla crosta terrestre.
L' acido ortosilicico è presente nei mari, nei fiumi e nel suolo in concentrazione di poche ppm ma svolge un ruolo chiave nel ciclo continentale del silicio attraverso i processi biotici e abiotici.
Nell'acido ortosilicico il silicio, che ha numero di ossidazione +4, si trova al centro di un tetraedro equilatero in cui i gruppi -OH si trovano ai vertici.
L'acido ortosilicico è debolmente acido avendo un valore di pK_a di 9.8 e tende a dimerizzare secondo la reazione di condensazione:



Sebbene il silicio **(Si)** sia il secondo elemento più abbondante nella crosta terrestre, non è considerato un elemento essenziale per la nutrizione delle piante. Tuttavia, sia i risultati della ricerca che l'esperienza pratica promuovono un impatto benefico del **Si** sulla crescita e lo sviluppo di molte specie di piante, specialmente se esposte a stress abiotico o biotico.

In questa prima parte,vengono considerati solo gli effetti biostimolanti del **Si** sulle piante esposte allo stress abiotico. Nella soluzione del suolo, il **Si** presenta principalmente come acido silicico monomerico (H_4 SiO_4).

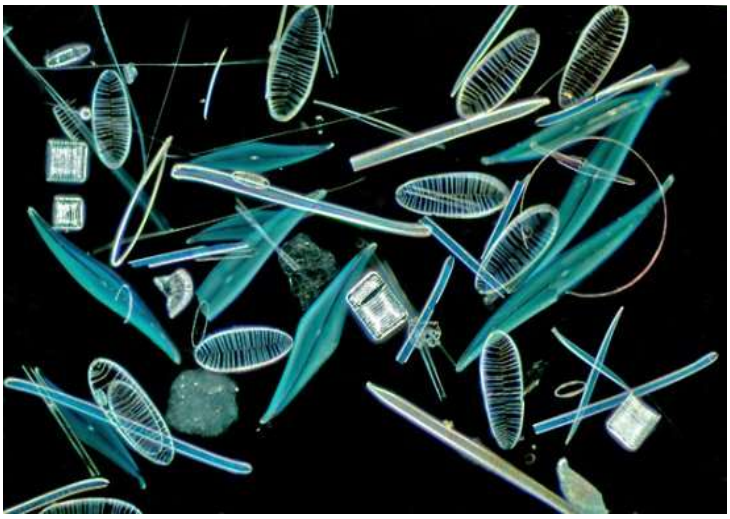
Non solo Agricoltura

L'acido silicico è un acido dell'elemento silicio (Si), disponibile naturalmente in diverse forme chimiche, delle quali la più studiata e utile all'organismo è l'acido orto silicico (H_4SiO_4). Alcuni cereali come il Miglio e alcune piante officinali come l'Equiseto sono ricchissime di acido orto silicio.

La letteratura scientifica di riferimento è molto ampia e completa nel descrivere gli utilizzi terapeutici di Miglio ed Equiseto. Sulla Terra, il silicio è un "contaminante ubiquitario": è presente come impurità nelle soluzioni nutritive per le piante, nell'acqua (anche distillata), nei contenitori di vetro, nella polvere. Il silicio ha effetti benefici sulla crescita e sulla produttività di molte piante, alleviando le conseguenze di stress biotici e abiotici, tra cui malattie batteriche e fungine, danni dovuti a insetti fitofagi, siccità, metalli tossici, allettamento, alte temperature e alti livelli di radiazioni UV, ghiacciate e sbilanci nutrizionali. Nelle piante, la maggior parte degli effetti benefici sono dovuti alla deposizione di silicio nelle foglie, nei fusti e nei frutti, anche se l'entità di questo fenomeno varia di molto nelle specie considerate (ad esempio, il riso è un forte accumulatore di silicio. Per avere un'idea dell'importanza del silicio nella parte aerea delle piante, basti pensare al rafforzamento dei fusti delle graminacee, che permettono di evitare l'allettamento, o alla migliore posizione ed erettilità delle foglie, che così intercettano più luce. E ancora, la deposizione sulle foglie (con la formazione di membrane silico-cellulosiche nelle cellule epidermiche) diminuisce la traspirazione: una risposta essenziale quando la pianta è sottoposta a stress idrico o salino.

Il silicio è anche in grado di stimolare il sistema di difesa antiossidante, e di legare e disattivare i metalli tossici in cellula separandoli o facendoli precipitare, oltre a complessare elementi tossici (come l'alluminio e il manganese) nella soluzione del suolo (l'acqua che circola tra le particelle di suolo), evitando che siano assorbiti dalle radici. Nonostante tutti questi benefici, il silicio non è ancora annoverato tra gli elementi essenziali per le piante. Difatti, Hoagland non lo aveva mai annoverato nella composizione dei suoi famosi mezzi nutritivi, così come anche i suoi predecessori. Infine, la silice stimola la crescita dei tessuti, migliora il bilancio minerale delle piante e, a causa della sua sgradevolezza sotto i denti ed il palato (provate a mangiare vongole piene di sabbia!), scoraggia gli erbivori. L'incorporazione del silicio nelle pareti cellulari ha due vantaggi: a) il ruolo della silice è analogo a quello della lignina, cioè è una componente strutturale resistente alla compressione; b) il costo energetico per impregnare le pareti cellulari di silice è solo il 3.7 e il 6.7% di quello per incorporare rispettivamente lignina e cellulosa. Eppure, il silicio viene ancora oggi considerato non essenziale. L'acido silicico del suolo deriva prevalentemente dallo sfaldamento e dalla solubilizzazione dei minerali argillosi ricchi di silice, ed è presente nel terreno a concentrazioni di 0-1 – 0.6 mM, quindi abbastanza alte. Il silicio è assorbito dalle radici sotto forma appunto di acido silicico (H_4SiO_4) mediante proteine della famiglia delle aquaporine (Lsi1). E' stato notato anche che questi trasportatori hanno affinità per gli ioni arsenito [As(III)], tossico, per cui la diminuzione del fabbisogno di silicio negli organismi più complessi, con un metabolismo più elevato e probabilmente più soggetti ai danni dovuti all'arsenico, potrebbe essere stato selezionato naturalmente in quando caratteristica negativa. La competizione tra H_4SiO_4 e As(III) è probabilmente dovuta al fatto che le due specie chimiche hanno dimensioni simili ed entrambe sono neutre a pH < 8. Nell'insieme, la concentrazione di silicio nelle piante varia dallo 0.1 al 10% del peso secco, a seconda della specie.

Essenziale o no, il silicio è quindi presente nelle piante a concentrazioni paragonabili a quelle dei macronutrienti (a basse concentrazioni: fosforo, zolfo, calcio e magnesio; ad alte concentrazioni: potassio e azoto.). Recentemente, è stata scoperta anche un'altra famiglia di proteine (SIT = Silicon Transporters) in grado di trasportare il silicio in alcuni protozoi (cianoflagellati e eteroconti), oltre che nelle diatomee (che sono invece alghe unicellulari in cui il silicio è essenziale per costruire i frustuli, corazze dalle caleidoscopiche forme; foto in basso).



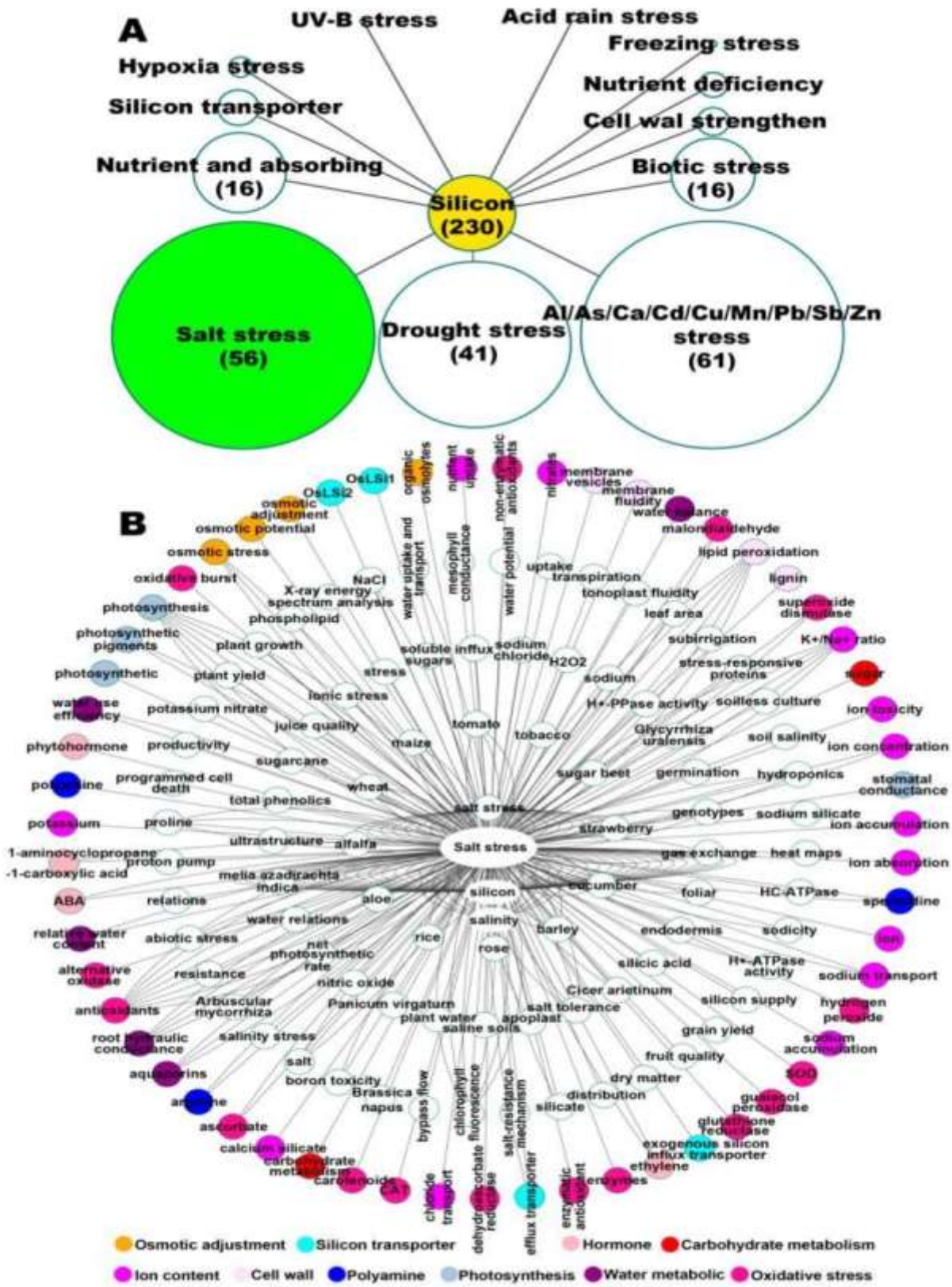
Frustuli di diatomee (fonte:Massimo Brizzi; http://www.massimobrizzi.it/)

La scoperta di trasportatori specifici per il silicio, suggerirebbe che la "biosilicazione" sia un fenomeno molto antico, probabilmente già presente negli antenati degli eucarioti, quando piante e animali non si erano ancora separati filogeneticamente, oppure che il carattere è comparso separatamente più volte in quanto vantaggioso. La seconda ipotesi sembrerebbe essere la più corretta. Infatti, l'equiseto, comparso dopo le diatomee ma prima delle piante a seme, è un iperaccumulatore di silicio ma i suoi trasportatori, pur appartenendo alla famiglia delle aquaporine, come avviene nelle piante superiori, sono filogeneticamente molto diverse e sono quindi comparse indipendentemente. Curiosamente, quasi tutti queste famiglie di trasportatori sono stati scoperti solo nell'ultimo decennio, quasi a testimoniare lo scarso interesse per questo elemento, almeno fino ad oggi. Una volta assorbito dalla pianta, il silicio precipita sotto forma di particelle di silice amorfa ("fitoliti"), soprattutto nelle pareti cellulari.

I fitoliti hanno una valenza tassonomica e anatomica, in quanto sono usati per distinguere specie e generi di piante e riconoscere facilmente alcuni tessuti vegetali dove la silice si deposita. Da un punto di vista storico e archeologico, i fitoliti servono per identificare le specie coltivate da antiche civiltà e la dieta di animali, tra cui anche progenitori dell'uomo, vissuti milioni di anni fa.

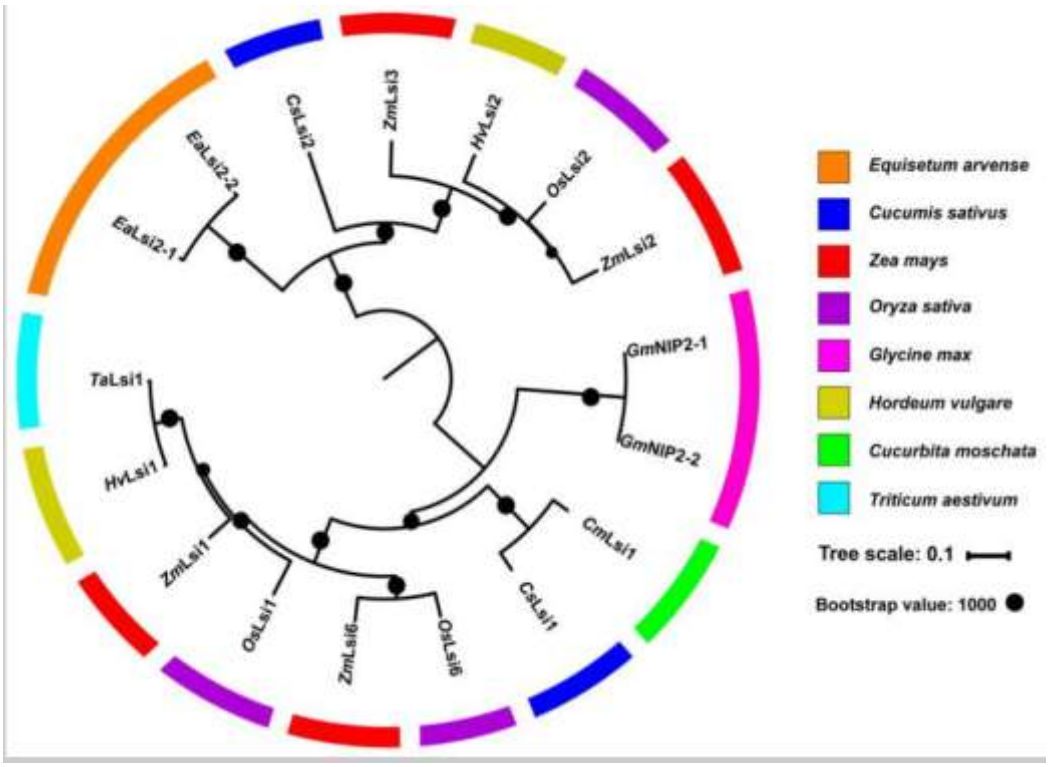
Equisetum arvense è una specie iperaccumulatrice di silicio, al punto che i suoi tessuti essiccati e triturati venivano usati come polvere abrasiva per levigare, sgrassare e lucidare. Gli equiseti (o "code di cavallo") sono tra gli organismi più antichi della Terra in quanto diffusi già alla fine del Devoniano (395-345 milioni di anni fa) anche sotto forma di alberi (fonte: Alessandra Romeo; http://www.cure-naturali.it/equiseto/2128).

In generale, le felci, le gimnosperme (conifere) e le angiosperme (piante a fiore) accumulano meno silicio rispetto alle piante non vascolari e agli equiseti (foto in basso). Tra le angiosperme, le monocotiledoni (soprattutto alcuni ordini, come graminacee, palme e ciperacee) accumulano di solito più silicio delle dicotiledoni. Tra le dicotiledoni, ci sono poche eccezioni, quali le leguminose, le cucurbitacee (zucchini e affini), le rosacee e le asteracee (ad es. il girasole), che accumulano tutte alte quantità di silicio. Nei confronti del silicio, le specie vegetali possono essere "accumulatrici" (concentrazioni > 1% del peso secco e rapporto [Si]/[Ca] > 1), "esclusorie" (concentrazioni < 0.5% del peso secco e rapporto [Si]/[Ca] < 0.5) e "intermedie" (tra i due estremi). E' interessare notare che tra le prime ci sono importanti colture: canna da zucchero (1.5%), mais (1.0%), riso (4.1%), frumento (2.5%), soia (1.4%), barbabietola da zucchero (2.3%), orzo (1.8%) e pomodoro (1.6%). Il rapporto [Si]/[Ca] ha anch'esso una certa importanza perché le specie ricche di silicio hanno generalmente basse concentrazioni di calcio, e viceversa.


A
UV-B stress
Acid rain stress
Freezing stress
Hypoxia stress
Nutrient deficiency
Silicon transporter
Cell wal strengthen
Nutrient and absorbing (16)
Biotic stress (16)
Silicon (230)
Salt stress (56)
Drought stress (41)
Al/As/Ca/Cd/Cu/Mn/Pb/Sb/Zn stress (61)
B
Salt stress
silicon
Osmotic adjustment
Silicon transporter
Hormone
Carbohydrate metabolism
Ion content
Cell wall
Polyamine
Photosynthesis
Water metabolic
Oxidative stress

Descrizione figura A e B : Effetti benefici del silicio (Si) sulla tolleranza allo stress abiotico e principali aspetti correlati all'effetto alleviativo del Si sotto stress da sale. (**A**) Numero di articoli relativi a Si e all'effetto alleviante di Si sulla tolleranza allo stress abiotico e biotico pubblicati nelle scienze delle piante dal 1990 al 2018. Gli articoli sono stati raccolti principalmente da Science Direct (https://www.sciencedirect.com/), Spring Link (https://link.springer.com/), PubMed (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed) e Google Scholar (https://scholar.google.com/).

(**B**) L'analisi della rete sulle parole chiave contenute negli articoli. Sono stati selezionati articoli relativi all'effetto alleviativo di Si sulla tolleranza allo stress salino e le parole chiave di quegli articoli sono state usate per disegnare questa rete da Cytoscape (v3.6.0). Nella rete, le parole chiave raccolte indicavano gli aspetti (specie, sostanze, processi fisiologici, meccanismi di attenuazione, ecc.) Coinvolti negli effetti alleviativi del silicio sotto stress salino. La rete era incentrata sul nodo "Stress salino", che rappresenta "articoli relativi all'effetto alleviativo di Si sullo stress salino", e altri nodi rappresentano le parole chiave in tali articoli. Il numero di righe che collegano i nodi e "Salt stress" rappresentano il numero di articoli che utilizzano le parole di un determinato nodo come parola chiave. Come mostrato nella legenda inferiore,



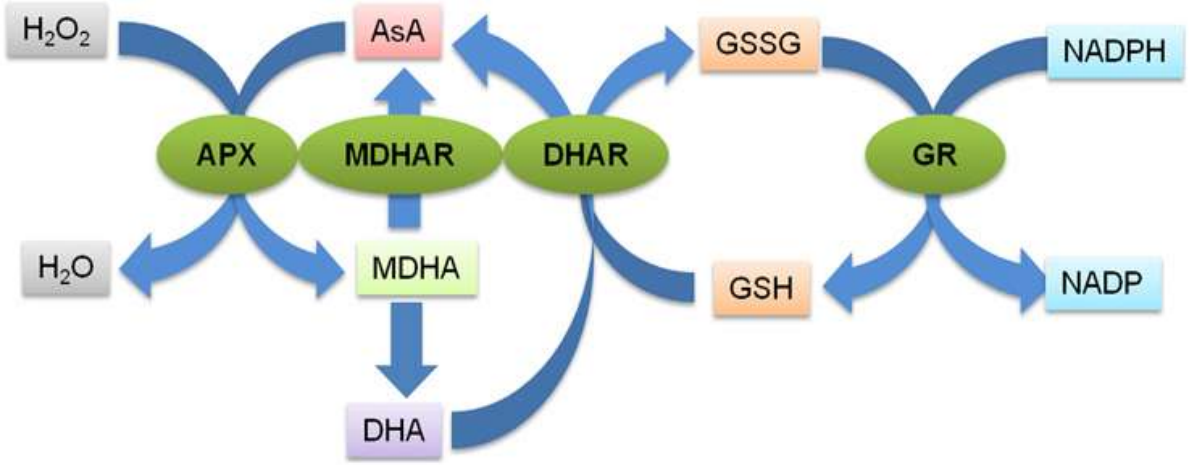
Analisi filogenetica dei trasportatori di silicio vegetale (Si) identificati in *Cucumis sativus* (Cs), *Cucurbita moschata* (Cm), *Equisetum arvense* (Ea), *Glycine max* (Gm), *Hordeum vulgare* (Hv), *Oryza sativa* (Os), *Triticum aestivum* (Ta), *Zea mays* (Zm). Le sequenze di aminoacidi di 8 membri dei trasportatori di Si sono state allineate usando ClustalW2 e un albero filogenetico è stato quindi costruito utilizzando il programma MEGA7 con il metodo di massima verosimiglianza (valore Bootstrap: 1000).

Dalla parte Ricercatori:

Ruolo del silicio nella tolleranza allo stress abiotico e nella fisiologia delle piante

Lo stress abiotico è uno dei vincoli più gravi per la coltivazione di colture in tutto il mondo. A causa dei cambiamenti climatici e del tempo imprevedibile, gli stress abiotici sono diventati più comuni e importanti. Le piante generano specie reattive dell'ossigeno (ROS) come prima risposta alla maggior parte degli stress

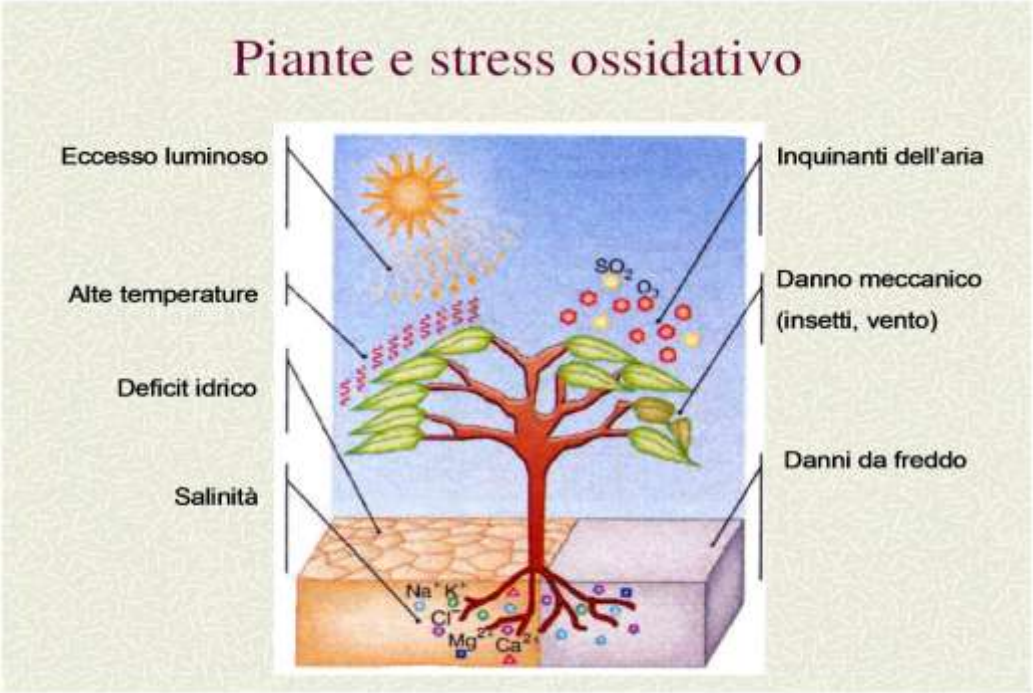
abiotici come salinità, siccità, stress termico e metalli pesanti. È noto che questa risposta provoca gravi danni alla struttura cellulare e agli organi in essa contenuti e altera la normale funzione cellulare. Uno studio condotto da Hasanuzzaman et al. ha dimostrato che le piante che crescono sotto stress da metalli pesanti (cadmio) hanno ridotto il contenuto di ROS quando integrate con **Si** rispetto alle piante di controllo. Il miglioramento dei meccanismi di difesa antiossidante contro lo stress da Cd con integrazione di **Si** è risultato associato ad un efficiente aumento dei componenti antiossidanti, associato ad una maggiore attività delle vie ***AsA-GSH***



Rappresentazione schematica del percorso AsA-GSH. Il primo passo del percorso è la disintossicazione di H2O2 da parte della perossidazione catalizzata APX di AsA che genera MDHA. L'MDHA viene ridotto ad AsA da MDHAR o subisce una sproporzione non enzimatica di AsA e deidroascorbato (DHA). Le molecole di DHA sono ridotte ad AsA da DHAR usando GSH come riducente. GSH è rigenerato dai dimeri di glutatione ossidato (GSSG) dal GR NADPH-dipendente. Gli ovali verdi indicano i vari enzimi che catalizzano i diversi passaggi dei percorsi (indicati dalle frecce blu). APX, perossidasi di ascorbato; MDHAR, Monodehydroascorbate reductase; DHAR, deidroascorbato reduttasi; GR, Glutatione riduttore, AsA, acido ascorbico; GSH, Glutatione; GSSG, dimero di glutatione ossidato; MDHA,

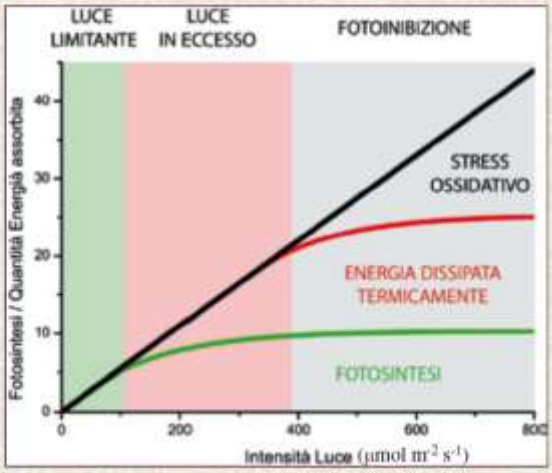
monodeidroascorbato; DHA, deidroascorbato. Fra gli altri: Noctor G, Foyer CH (giugno 1998)."ASCORBATE E GLUTATHIONE: tenere sotto controllo l'ossigeno attivo". Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol. ***49****: 249–279. doi 10.1146 / annurev.arplant.49.1.249 PMID 15012235 Wells WW, Xu DP (agosto 1994). "Riduzione del deidroascorbato".J. Bioenerg.Biomembr.****26****(4): 369–77.doi:10.1007 / BF00762777. PMID 7844111.*

^ Whitbread AK, Masoumi A, Tetlow N, Schmuck E, Coggan M, Board PG (2005). "Caratterizzazione della classe omega di glutatione transferasi". Meth. Enzymol ***401****: 78–99.Doi:10.1016 / S0076-6879 (05) 01005-0 . PMID 16399380* .e gliossalasi. Allo stesso modo, Pontigo et al. ha anche osservato che la tolleranza allo stress in alluminio (Al) derivata dal **Si** nel ryegrass (loglio) è stata associata a un **cambiamento nel profilo ROS** e alla riduzione dell'assorbimento di Al da parte delle piante dal suolo, discute inoltre sul ruolo di **Si** nello stress abiotico e le sue possibili implicazioni nella regolazione della generazione di **ROS**.



Nelle piante, la produzione di ROS (*Reactive Oxygen Species*) è una normale conseguenza del metabolismo aerobio e, in particolare, si verifica durante la fotosintesi e la respirazione

In condizioni di luce limitante, la fotosintesi è direttamente proporzionale alla quantità di luce assorbita.
Quando la luce assorbita supera la capacità di fissazione, si attivano dei meccanismi che dissipano termicamente l'energia in eccesso.
Nel caso in cui questi meccanismi non siano sufficienti si genera *stress* ossidativo (fotoinibizione)



Lo stress abiotico influenza in modo significativo i processi fisiologici che portano ad attività metaboliche alterate e alla salute generale delle piante. Le erbe sono ben noti accumulatori di **Si** e, quindi, servono come modello eccellente per studiare il ruolo del **Si** nella fisiologia delle piante. Per studiare la regolamentazione passiva e attiva del trasporto di **Si**, diversi autori hanno valutato alcuni parametri fisiologici in tre genotipi di erba foraggera che differiscono nella loro capacità di accumulare **Si**. I loro risultati suggeriscono che le differenze varietali sono attribuite alla conduttanza stomatica e alla traspirazione, in particolare quando le piante vengono coltivate in condizioni di controllo. Tuttavia, sotto stress, è stato notato un aumento del livello di **Si** in tutti e tre i genotipi, una reazione attribuita a una più alta espressione dei geni trasportatori di **Si**. Questi risultati suggeriscono una modalità attiva di regolazione dell'assorbimento di **Si** in condizioni di stress. Allo stesso modo, Soundararajan et al. osservato un miglioramento dello sviluppo stomatico nelle piante di garofano coltivate in tessuti integrate con **Si**.

Ciò è stato correlato con un'espressione differenziale di proteine collegate a fotosintesi, ribosomi, riduzione dell'ossido, segnalazione ormonale, legame agli ioni metallici e risposte di difesa. Manivannan e Ahn hanno esaminato criticamente diversi di questi studi suggerendo un ruolo del **Si** nella regolazione dei processi fisiologici nelle piante. Allo stesso modo, sulla base di numerosi studi condotti nell'ultimo decennio, Rios et al. ha proposto un modello che spiega come il **Si** possa migliorare il funzionamento stomatico e migliorare la conduttanza idraulica delle radici attraverso la regolazione delle acquaporine, *(Le acquaporine (AQP) sono una famiglia di proteine canale scoperte dal biologo statunitense Peter Agre che facilitano il flusso molto veloce delle molecole d'acqua all'interno o all'esterno delle cellule di specifici tessuti che richiedono questa capacità (tubuli prossimali, eritrociti, membrane dei vacuoli delle cellule vegetali)*. L'effetto di **Si** sulla regolazione trascrizionale dei geni coinvolti nel trasporto dell'acqua e nelle vie correlate allo stress, tra cui la via dell'**acido jasmonico** - *L'acido jasmonico ed alcuni suoi derivati (principalmente lo jasmonato di metile), sono utilizzati come elicitori, ossia agenti in grado di indurre nelle piante, o nelle colture cellulari vegetali, la produzione di metaboliti secondari implicati nella difesa chimica* -. , la via regolatoria indipendente o ABA-dipendente e la via fenilpropanoide, sono stati proposti in numerosi studi (Manivannan e Ahn ; Rios et al.) - *Proprio come gli animali, anche le piante quando vengono attaccate – ad esempio dagli insetti – mettono in atto un* ***meccanismo di difesa****. In particolare, secondo uno studio dell'Università di Nottingham pubblicato su* ***Nature Communication****, alla base del sistema di difesa delle piante ci sarebbe un meccanismo di allarme innescato dalla produzione di un ormone, l'****acido jasmonico****. Questo viene normalmente rilasciato non solo quando una pianta è malata, vittima dell'attacco di qualche agente patogeno, ma anche quando ad aggredirla è un insetto. "L'acido jasmonico ha una particolare proprietà", ha spiegato* ***Malcolm Bennett****, docente di botanica nell'ateneo britannico e principale autore della ricerca.*

"Esso avvia la produzione di particolari composti (ad esempio i cosiddetti ***inibitori della proteasi****) capaci di rendere la pianta indigeribile per gli insetti. Se questi non riescono a digerirla, smettono di mangiarla e così la pianta è salva".*

Tuttavia, non ci sono ancora prove conclusive del coinvolgimento attivo diretto di **Si** in alcun processo metabolico che possa spiegare sistematicamente come **Si** regola i processi cellulari.

Ruolo del silicio nella tolleranza allo stress biotico

Gli effetti benefici di **Si** nel migliorare la tolleranza contro malattie e parassiti sono probabilmente i più comunemente descritti. Un articolo di recensione di Wang et al. fornisce un catalogo di numerosi studi significativi e discute modelli che spiegano il ruolo di **Si**. Da lungo tempo, si ritiene che la resistenza derivata dal **Si** ai patogeni e agli insetti sia il risultato di una barriera meccanica formata dalla deposizione di **Si** lungo la parete cellulare, ostacolando così la loro progressione. Tuttavia, gli studi condotti negli anni '90 associavano la presenza di **Si** a specifiche risposte di difesa *in planta* (Chérif et al., 1992 1994 ; Fawe et al., 1998), un fenomeno che da allora è stato mostrato in molte interazioni ospite-patogeno (Fauteux et al., 2005). In un recente studio, il **Si** ha inoltre dimostrato di interferire con il riconoscimento ospite-patogeno, probabilmente impedendo agli inibitori e alle molecole di segnalazione di trovare i loro obiettivi specifici (Vivancos et al., 2015). Il **silicio** è stato anche suggerito di indurre meccanismi di difesa indiretta alterando la composizione dei componenti volatili delle piante nei confronti di erbivori (HIPV) (Liu et al.). I composti HIPV- *chiamati HIPV (herbivore induced plant volatiles* - (*I semiochimici regolano moltissime attività vitali negli insetti, come la scelta delle piante ospiti, i luoghi in cui ovideporre, la localizzazione della preda o dell'ospite, la ricerca e la scelta del partner, l'organizzazione delle attività sociali)* svolgono un ruolo importante nell'attirare i parassitoidi nelle piante di riso infestate. L'elenco di studi che riportano gli effetti profilattici di **Si** contro le malattie cresce

continuamente, ma i meccanismi molecolari sottostanti che spiegano queste proprietà non sono ancora completamente compresi. Tuttavia, questi studi offrono ulteriore supporto per esplorare **Si** come opzione ecologica per la gestione sostenibile delle colture.

LE FONTI DEL SILICIO E L'USO PRATICO

La valutazione di diverse fonti di **Si** è un aspetto critico per ottimizzare l'uso pratico dell'inserimento del **Si**. In questo contesto, Ouellette et al. ha testato diversi regimi di inserimento di **Si** in tunnel e condizioni di pieno campo per la produzione di fragole. **Sotto un alto tunnel, le piante di fragole hanno accumulato fino al 3% di Si, il che ha comportato una significativa riduzione della gravità della muffa polverosa (Oidio) e rese più elevate**.

D'altro canto, le piante di fragole coltivate nel suolo non erano in grado di assorbire il **Si**, modificato in forma liquida o solida. Allo stesso modo, Keeping ha testato diverse fonti di **Si** tra cui magnesio (termo) fosfato fuso, polvere di roccia vulcanica, silicato di magnesio, scorie di silicato di calcio e silicato di potassio granulare per la crescita delle piante di canna da zucchero. Solo quest'ultima fonte ha portato ad un aumento significativo dell'accumulo di **Si**. Questi studi suggeriscono che le fonti e le modalità di applicazione del **Si** influenzeranno notevolmente l'accumulo di **Si** in diverse specie di piante. Pertanto, sono necessari sforzi più estesi per comprendere meglio la relazione tra le fonti di **Si** e le proprietà del suolo per ottenere livelli più elevati di **Si** disponibile nelle piante. Oltre a queste fonti convenzionali, i progressi nanotecnologici vengono anche utilizzati per esplorare le possibilità per l'applicazione delle nanoparticelle di **Si** come fonte per elevare la tolleranza allo stress nelle piante (Luyckx et al.). *Citazione: Revisione annuale di fisiologia vegetale e biologia molecolare delle piante (1999), 50, 641-664 CODICE: ARPBEX; ISSN: 1040-2519.*

Epstein, Emanuel- Una recensione con 147 riferimenti.

Il silicio è presente in tutti i vegetali, assieme ai macronutrienti come calcio, magnesio e fosforo, e nelle erbe spesso a livelli più alti rispetto a qualsiasi altro inorganico costituente. Tuttavia, ad eccezione di alcune alghe, tra cui in primo piano le diatomee e le Equisetaceae (equiseti o giunchi abrasivi), non è considerato un elemento essenziale per le piante. Di conseguenza, viene regolarmente omesso dalle formulazioni ufficiali di coltura. E' considerato una non entità in gran parte della fisiologia vegetale, ma piante prive di silicio coltivate in suoli nutrizionali convenzionali cui il silicio non è stato aggiunto hanno evidenziato danni espliciti. Sono spesso strutturalmente più deboli delle piante ricche di silicio, anormali in crescita, sviluppo, vitalità e riproduzione, più suscettibile a tali stress abiotici come le tossicità dei metalli e più facile preda degli organismi patologici e dagli insetti fitofagi. Molte di queste stesse condizioni colpiscono le piante in terreni poveri di silicio. Nel loro insieme, è evidente che il silicio dovrebbe essere incluso tra gli elementi che incidono maggiormente sulla vita delle piante.

Piante di riso coltivate su terreno molto acido su un terreno di 1,5 ettari vicino a Chennai (India), 2017. La metà del terreno è stata spruzzata con PEG-sSA. Le differenze visive tra le piante irrorate (a) e il controllo (b) sono visibili.

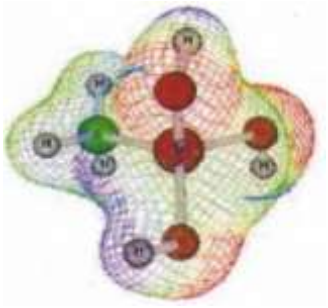
Prof. Mitani (2005) ha testato diverse specie di piante, ad esempio riso, cetriolo e pomodoro, che accumulano livelli alti, medi e bassi di Si, rispettivamente, è stato osservato che il trasporto di silicio dalla soluzione esterna alle cellule

corticali è mediato da uno *stransporter* con un valore di 0,15 mM in tutte e tre le specie. Tuttavia, il Valore max differisce da specie a specie di piante, suggerendo che la densità del trasportatore differisce tra le specie vegetali.

Il Silicio può ridurre il tasso di traspirazione del 30% nel riso.

Tale strato polimerizzato ipotizzato per bloccare fisicamente il sistema di penetranti dei funghi patogeni delle piante.

L'istituto di ricerca internazionale sul Riso ha riferito che la carenza di silicio può essere corretta con l'applicazione di scorie di silicato di calcio al tasso di 120-200 kg / ha o di silicato di potassio tra 40 e 60 kg / ha. si può ottenere un maggiore miglioramento della resa mediante inoculo di silicato solubilizzante con materiali organici silicei.



Silicio organico: cos'è e perché è così speciale?

Il Silicio organico viene comunemente definito MMST ed è la metà attiva di "G5®". MMST è l'acronimo di "monometilsilanetriolo". Di fatto, la molecola ha un aspetto molto naturale e simile al silicio di derivazione alimentare (vale a dire "l'acido orto silicico") tuttavia con una piccola ma importante differenza. Per il Silicio organico, **un gruppo idrossido (vale a dire ossigeno più idrogeno) è stato sostituito da un gruppo metile (vale a dire carbonio più tre idrogeni).** A fianco è possibile osservare una semplice rappresentazione chimica della molecola. Il legame tra carbonio (C) e silicio (Si) è ad altissima energia e trasmette anche alcune caratteristiche speciali alla molecola. Ciò può essere osservato quando si esamina la "carica elettrica" o "energia" che circonda la molecola MMST. Sul lato destro della molecola a fianco, il campo energetico calcolato è un misto di rosso (carica negativa), verde (neutra) e blu (carica positiva): in altre parole, con una diversa polarità che la rende simile per aspetto e comportamento all'acqua.

Sul lato sinistro della molecola, tuttavia, l'area è tutta verde (neutra) il che significa che da questo lato si comporta come un lipide (un olio) di conseguenza, la molecola si sposta nell'acqua e anche attraverso i lipidi/oli, il che è importante nell'organismo, dal momento che ogni cellula è composta da 2 elementi: acqua e le membrane lipidiche attorno e nella cellula. Il MMST **ha quindi la capacità di attraversare le cellule e spostarsi nell'organismo, agisce quindi da sistema di distribuzione estremamente efficace del silicio.** Questa viene definita una "molecola anfifilica"*.

**Anfifilico è un termine che fa riferimento alla capacità di una molecola di essere sia solubile (disciolta) in ambiente acquoso, con un'estremità, che in ambiente idrofobico, con l'altra estremità. Questo avviene frequentemente a livello fisiologico in quanto, questa particolare composizione, dà origine alla membrana cellulare formata dai fosfolipidi, ovvero molecole anfifiliche. Ciò consente alle molecole di spostarsi nel flusso linfatico del corpo con carattere idrofobico e, allo stesso modo, attraverso le membrane cellulari a carattere idrofobico*

.

E551 DIOSSIDO DI SILICIO

Il biossido di silicio $(SiO_2)n$ è una sostanza amorfa che viene prodotta sinteticamente mediante un processo di idrolisi in fase vapore, che dà silice pirogenica, o mediante un processo a umido che dà silice precipitata, gel di silice o silice idrata. La silice pirogenica viene prodotta essenzialmente in uno stato anidro, mentre i prodotti del processo a umido si ottengono come idrati o contengono acqua assorbita in superficie.

Il diossido di silicio è un additivo che presenta diverse funzioni: antiagglomerante, supporto per aromi, coloranti e coadiuvante tecnologico sintetico (agente antischiuma, utilizzato anche per rimuovere proteine e lieviti durante la produzione del vino e della birra). Il diossido di silicio può essere impiegato in diversi alimenti, come per esempio le minestre in busta, nel sale da

tavola, nella vaniglia, nell'aglio in polvere, nelle gomme da masticare e in certi tipi di riso bianco. Al momento tale additivo viene considerato innocuo per la salute dell'uomo.

Composti fogliari di silicio:

Altre fonti di silicio da utilizzare nella nebulizzazione fogliare sono le nanoparticelle di silice (sinonimi: nano-Si, nanoparticelle di biossido di silicio, SiNP) **e la terra di diatomee** (DE).

Nanoparticelle di silice

La nanotecnologia della silice è l'ingegneria e l'uso di particelle di silice nanosized come agente antifungino, biopesticida e agro-fertilizzante. Le nanoparticelle di silice (nano silice) sono prodotte da diverse fonti, come il tetraetilorthosilicato (Si (OC 2 H 5)$_4$ o sali inorganici, come il silicato di sodio (Na_2 SiO $_3$). Un'altra fonte (organica) di nanoparticelle di silice è la buccia del riso.

Queste polveri di silice sintetizzate sono amorfe con diametri compresi tra 10 e 100 nm. Le nanoparticelle di silice con dimensioni da 20 a 40 nm sono più comunemente utilizzate negli spray fogliari.

Dagli anni '90 sono stati utilizzati spray fogliari con silicone. Sono stati utilizzati tre diversi tipi di composti del silicio: spray con silicati, ***spray con acido silicico (stabilizzato)*** *e spray con nanoparticelle di silice (SiNPs). Ogni tipo di composto di silicio nello spray fogliare mostra caratteristiche specifiche.*

Spray fogliari con silicati

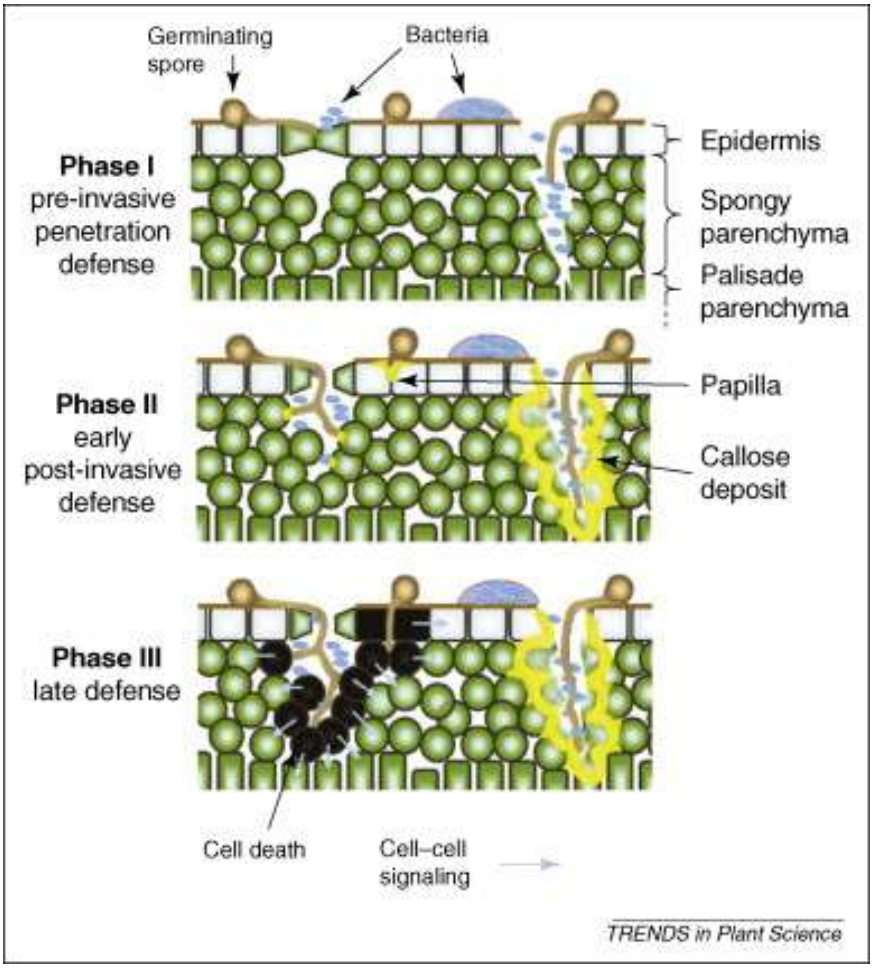
Gli spray fogliari con silicati riducono le infezioni di muffa polverosa su cetriolo, melone e zucchine, uva.

Gli spray al silicio solubile inibiscono lo sviluppo di muffa in polvere sulle foglie di vite.

P Bowen, J Menzies , D Ehret, L Samuels- Journal of., 1992 - journals.ashs.org.

È stato determinato l'effetto delle applicazioni su radice o foglia di Si solubile sulla gravità dell'uva (Vitis vinifera L.) dell' oidio (Uncinula necator (Schwein)

Burrill). Sulle piante in vaso, l'alimentazione alle radici a 1,7 mm Si non ha avuto alcun effetto sulla gravità della malattia, ma gli spruzzi fogliari a 17 mm Si ha sostanzialmente ridotto il numero di colonie di muffa che si sono sviluppate su foglie inoculate. Le micrografie elettroniche a scansione mostravano che, sulle foglie spruzzate con Si, le ife non si sviluppavano in aree dove erano presenti depositi di Si densi sulla superficie fogliare; e dove non erano presenti depositi superficiali, Si è stato traslocato lateralmente attraverso la foglia e ha circondato le pareti cellulari



Le foglie sulle piante alimentate con Si attraverso le radici hanno mostrato una deposizione simile di Si che circonda la cuffia. **(***Apice radicale):E' questa la parte della radice più importante, la possiamo considerare il cervello della pianta. In questa zona sono presenti particolari cellule che formano il*

"meristema" che con il loro continuo sviluppo garantiscano la crescita e il conseguente allungamento della radice. L'apice radicale, è racchiuso in una "cuffia", una sorte di guaina il cui compito principale è quello di proteggere questo delicato organo riproduttivo. Alcune cellule esterne alla cuffia, producono inoltre il "mucigel", un lubrificante che agevola la penetrazione della radice nel terreno evitando così che questa venga danneggiata. Eventuali parti della cuffia perse durante lo sfregamento con il terreno, vengono velocemente reintegrate mediante la moltiplicazione cellulare.

Un ingrandimento dell'apice radicale:

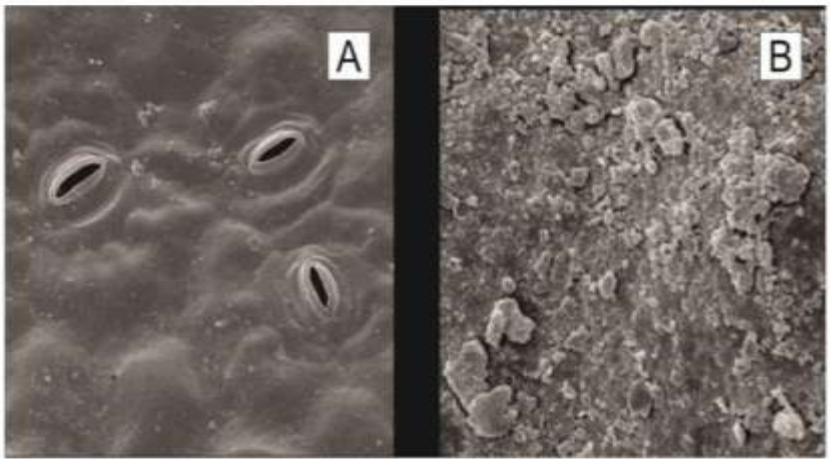


Figura 6: Assenza di strato di cera (A) su foglie di piante di controllo e depositi di cera su foglie di piantine di caffè trattate con silicato di calcio nel terreno (B). (Foto: Eduardo Alves)

La presenza di Si nello strato epidermico esterno è stata segnalata da Carver *et al* . (1987) . Questi autori hanno osservato la complessazione dei composti fenolici con il silicio nella parete delle cellule epidermiche in modo da ridurre e ostacolare l'espansione delle lesioni e l'intensità della malattia rendendo le cellule più rigide, cosa che è stata successivamente confermata da Rodrigues *et al* . (2011) .

Su foglie irrorate con acqua e foglie di piante non trattate, la deposizione interna di **Si** era più variabile e generalmente inferiore rispetto a piante trattate con spray **Si** o alimentate dalle radici. La germinazione dei conidi e lo sviluppo del tubo germinale sui base di agar sono stati debolmente promossi dalla presenza di **Si**. Gli spray fogliari con composti di silicio possono essere suddivisi in spray con: (a) silicati; (b) acido silicico stabilizzato; e (c) nanoparticelle di silice (Tab

3). Panoramica schematica degli effetti dei diversi spray fogliari con (a) silicati; (b) acido silicico stabilizzato; e (c) nano-silice su:

1. Infezioni (stress biotico),
2. Stress abiotico,
3. Crescita delle radici,
4. Crescita delle piante,
5. Dimensione delle foglie,
6. Resa
7. Qualità del prodotto. I simboli utilizzati in queste colonne sono specificati come: - nessun effetto, + effetto positivo, ++ buon effetto e ND = nessun dato disponibile.

Tabella 3

Effetti	**a) Silicati**	**b)Acido Silicico stabilizzato**	**c)Nano -silice**
1. Infezioni (stress Biotico)	+/++	+/++	+
2. Stress abiotico	-	++	ND
3. Crescita della radice	-	+/++	-
4. Crescita delle piante	-	+/++	+
5. Dimensione Foglia	-	++	+
6.Resa	-	+/++	+
7.Qualità del prodotto	-	+/++	+

Gli spray fogliari con silicati sono efficaci come pesticidi (la norma Europea non ci permette, ad oggi, la parola pesticidi, ma vengono indicati come corroboranti)i. Non vi sono effetti sistemici sulla crescita, lo sviluppo e la resa delle piante.

Gli spray fogliari con acido silicico stabilizzato migliorano la crescita delle radici e delle piante, la resa e la qualità nei monocotiledoni e nei dicotiledoni in quasi tutti i tipi di terreno. Questi spray sono molto efficaci contro gli stress biotici e abiotici.

Gli spray con nanoparticelle di silice hanno alcuni effetti positivi sulla crescita e

sulla resa e sono in grado di ridurre il tasso di infezione.

La sSA e nano-SiO_2 possono essere classificati come "biostimolanti". Questi spray migliorano l'assorbimento dei nutrienti e l'efficacia nutrizionale e diminuiscono gli stress abiotici e biotici con conseguente stimolazione della crescita e aumento della resa. L'uso di spray **sSA(acido silicico Stabilizzato)** consente una riduzione significativa dell'uso di pesticidi senza perdere efficacia. Inoltre, gli spray con acido silicico stabilizzato sono sicuri per la pianta e l'ambiente. **Alla luce di questi risultati, la sSA merita molta più attenzione come alternativa ecofriendly ai pesticidi.**

Poiché gli spray sSA sono molto efficaci contro gli stress abiotici e biotici, gli spray fogliari sSA dovrebbero essere usati come "polizza assicurativa" in condizioni non ottimali, create ad esempio dai cambiamenti climatici e dalle fluttuazioni delle condizioni ambientali.

A causa di tutti questi effetti positivi, gli spray sSA dovrebbero essere considerati un'alternativa affidabile, sicura ed efficace alle colture non OGM.

*Quando l'efficacia dei silicati applicati per via fogliare viene confrontata con i fertilizzanti al silicio applicati nel suolo, gli spray ai silicati sembrano essere meno efficaci. Ciò può essere spiegato osservando che gli spray fogliari di silicato non migliorano la resistenza sistemica acquisita, mentre le fonti di **Si** applicate al suolo lo fanno.*

Spray fogliari con acido silicico (stabilizzato)

L'acido monosilicico (MSA / OSA) dovrebbe essere l'unico composto di silicio disponibile in pianta. Tuttavia, nel grano, il trasporto di Si attraverso la pianta è stato studiato usando una soluzione Si contenente acido silicico con un isotopo radioattivo 29Si. L'essudato è stato raccolto e analizzato per Si usando la risonanza magnetica nucleare (NMR). Sono state trovate due specie di Si, acido mono e disilicico, che mostrano l'estrema propensione dell'MSA a polimerizzare; l'acido monosilicico è sempre in equilibrio dinamico con l'acido disilico.

Attività biostimolante del silicio in orticoltura

Punti salienti

•Si migliora la crescita e lo sviluppo delle colture orticole esposte allo stress abiotico.

•Si agisce su danno ossidativo, relazioni idriche, fotosintesi, assorbimento di ioni, ormoni.

•Si agisce principalmente attraverso la deposizione di silice nei tessuti fornendo resistenza meccanica.

•Si viene applicato alle piante tramite irrorazione fogliare, incorporazione nel terreno o fertirrigazione.

Astratto

Il **Si** non si dissocia a pH inferiore a 9 e quindi le piante assorbono **Si** in questa forma non ionica((MSA / OSA) , attivamente o passivamente, a seconda della concentrazione di Si esterna e dei loro requisiti intrinseci. Questi ultimi variano considerevolmente, come indicato dalla grande variazione delle concentrazioni di **Si** nei tessuti tra le specie, che vanno dallo 0,1% al 10% in peso secco. Dopo l'assorbimento, il **Si** accumula in vari tessuti principalmente come un polimero di silice amorfa idrata. Attualmente, **Si** viene applicato in alcune colture commerciali volte a indurre resistenza a stress, malattie e agenti patogeni abiotici, ma l'uso di questo elemento come biostimolante nell'orticoltura può essere ulteriormente esteso. Il **Si** allevia lo stress da sale, siccità e nutrienti, nonché lo stress associato alle condizioni climatiche, minimizza le tossicità dei metalli e dei metalloidi e può ritardare i processi di senescenza delle piante.

Tuttavia, i meccanismi alla base della riduzione mediata dal **Si** degli stress abiotici rimangono scarsamente compresi. I principali meccanismi coinvolti nell'alleviare gli stress abiotici mediati dal Si nelle piante superiori includono:

(1) deposizione di silice all'interno dei tessuti vegetali che fornisce resistenza meccanica ed erezione alle foglie e modula la mobilità dei nutrienti e dell'acqua all'interno delle piante.

(2) stimolazione dell'antiossidante sistemi nelle piante.

(3) complessazione o co - precipitazione di metalli tossici con Si sia nei tessuti vegetali che nel suolo.

(4) modulazione dell'espressione genica e della segnalazione attraverso i fitormoni, anche se attualmente sono disponibili prove di un coinvolgimento diretto del Si nelle funzioni metaboliche delle piante carente.

Alcuni produttori commerciali di acido silicico stabilizzato sostengono che il loro prodotto contiene acido monosilicico al 100%, ma ciò non è corretto. I prodotti commerciali con acido silicico stabilizzato contengono acido monosilicico e suoi oligomeri (acido disilicico, acido trisilicico, ecc.), Poiché in una soluzione acquosa l'acido monosilicico è in equilibrio con i suoi oligomeri.

Gli effetti degli spray sSA possono essere confrontati con gli effetti delle modifiche del terreno con fertilizzanti Si. Con il primo (sSA), gli studi hanno dimostrato un aumento della massa radicale, fogli e fusti nelle erbacee sempre più spessi e superfici fogliari più grandi con un più alto contenuto di clorofilla. Ulteriori studi registrati: aumenti della qualità, misurati dal maggiore contenuto di nutrienti della pianta, aumento del contenuto di zucchero (canna da zucchero) e aumento del licopene e acido ascorbico (pomodoro), ecc. Inoltre, gli spray sSA sono ugualmente efficaci sia per i monocotiledoni che per i dicotiledoni, mentre gli ammendanti al silicio applicati dal suolo sono poco o meno efficaci per i dicotiledoni.

In uno studio sulla canna da zucchero, l'efficacia della PEG-sSA fogliare è stata confrontata con i silicati di calcio applicati nel suolo. gli spray sSA sembravano essere più efficaci sulla crescita e sui parametri di resa rispetto all'applicazione del suolo di silicato di calcio.

In uno studio comparativo del grano tra silicati fogliari, sSA fogliare e **Si** applicato sul suolo, solo le piante trattate per via fogliare con sSA hanno mostrato un aumento della crescita.

Efficacia degli spray fogliari con acido silicico stabilizzato sul tasso di infezione gli spray sSA riducono significativamente molte infezioni batteriche e fungine, consentendo un uso ridotto di pesticidi, con almeno il 50% rispetto al controllo.

Gli effetti dell'applicazione di spray fogliari con acido silicico stabilizzato: una panoramica dei risultati del 2003-2014 HM Laane - Silicon, 2017 – Springer.

L'applicazione fogliare di acido silicico (stabilizzato) induce risultati significativamente migliori per parametri di crescita, resa e qualità rispetto ai tradizionali fertilizzanti del suolo silicici e spray fogliari con silicati. L' acido silicico fogliare è efficace solo a dosi molto basse durante la fase vegetativa e deve essere considerato come un biostimolante ("promotore della crescita delle piante"). Oltre alla sua efficacia, è sicuro.

In conclusione, i risultati hanno mostrato che gli spray fogliari con sSA potrebbero essere usati come alternativa ecofriendly ai pesticidi efficaci per la gestione di diverse malattie (funghi, virus, ecc.).

Regime di nebulizzazione e concentrazione di spray di acido silicico stabilizzato.

Gli spray sSA sono efficaci solo se applicati nella fase (precoce) vegetativa. L'efficacia viene ulteriormente aumentata utilizzando diversi spray (3-4) ad un intervallo di 10-20 giorni, a seconda delle specie vegetali.

La concentrazione di Si negli spray sSA era 7–45 ppm (1-6 mL del prodotto con ± 2,5% sSA / L). Queste concentrazioni sono 20–100 volte inferiori rispetto alla concentrazione di Si negli spray fogliari di silicato (500–1000 ppm).

La concentrazione di sSA ottimale dello spray varia in base alla coltura. Per la stimolazione della crescita, 2 mL / L di acido silicico sono sufficienti per la maggior parte delle colture, mentre 4-6 mL sono ottimali per la canna da zucchero.

I migliori risultati nel ridurre i tassi di infezione e le infestazioni da acari si ottengono usando concentrazioni di 4 mL / L sSA. Concentrazioni di acido

silicico> 6 mL / L (60 ppm) non sono efficaci; non è stato ottenuto alcun aumento di crescita e resa rispetto al controllo.

Una frequenza di nebulizzazione di 3-4 volte è ottimale per la maggior parte delle colture; 3-4 spray sono più efficaci di uno o due.

The IPM Practitioner -Monitoring the Field of Pest Management- Volume XIV, Number 5/6, May/June 1992- **DIATOMACEOUS EARTH FOR PEST CONTROL.-** By William Quarles

Le soluzioni fisiche e chimiche meno tossiche fanno spesso parte di un programma IPM (Integrated Pest Management)

Varie forme di amorfo la silice è comunemente usata come parte di questa strategia. La terra di diatomee e il gel di silice sono usati in vari tipi fisici formulazioni con o senza pesticidi aggiunti. *Il tipo di silice e la formulazione dipendono dal parassita bersaglio. La terra di diatomee (DE) è un insetticida non tossico utilizzato per la protezione dei prodotti immagazzinati e per il controllo parassiti della casa e del giardino.*

Ai giardinieri biologici piace perché è un prodotto naturale che non avvelena terra né persone. Piace agli operatori del controllo dei parassiti (PCO= Pest control operators), perché la terra di diatomee può essere utilizzata per trattare le pareti vuoti e altre regioni inaccessibili di una casa per negare il rifugio agli insetti infestanti. Inoltre, PCO che usano i prodotti meno tossici sono in grado di affrontare le preoccupazioni dei proprietari di case sui veleni in modo positivo.

Sia il gel di silice che la terra di diatomee sono forme di silice amorfa ed entrambi uccidono gli insetti per essiccazione, non assorbendo acqua, ma assorbendo lo strato oleoso o ceroso della cuticola esterna mediante contatto diretto. Quando il magro (circa 1 / u) lo strato impermeabile dell'epicuticolo viene perso, l'insetto perde acqua, quindi muore. Danno abrasivo al la cuticola porta anche alla perdita di acqua in alcuni casi, ma l'efficacia della silice come insetticida spesso dipende la quantità di olio che può assorbire. La capacità di assorbire olio o cera da un insetto è spesso, ma non necessariamente, correlato alla superficie della silice (Ebeling 1961). Il gel di silice ha il vantaggio di una superficie molto più ampia della terra di diatomee, ma quest'ultima è più abrasiva. Se l'uno o l'altro viene utilizzato dipende dal insetto bersaglio e condizioni (Ebeling 1971).

In conclusione, gli spray sSA sono efficaci solo quando vengono utilizzate concentrazioni di 1-6 ml / L (Si: 7–45 ppm) a intervalli di 10-20 giorni, a partire dallo stadio vegetativo iniziale in poi.

Effetti positivi su crescita, sviluppo, qualità e riduzione delle infezioni e infestazioni da acari sono stati segnalati per le piante coltivate in terreni alcalini, neutri e più acidi, in particolare quando sono coinvolti fattori di stress come salinità e acidità e stress da siccità.

Caso Studio

La siccità è considerata uno dei vincoli più importanti che limitano la produzione di grano, specialmente nelle condizioni di terra asciutta. Assorbimento migliorato di silice noto per alleviare gli effetti della siccità ma solo una piccola frazione, sotto forma di acido orto-silicico (OSA) [Si (OH)4] è solubile e disponibile nei suoli. Da allora, il meccanismo del danno alleviato dal Si causato dallo stress da siccità rimane poco chiaro; il presente studio è stato condotto per valutare l'efficacia degli spray fogliari con OSA nell'alleviare la siccità nel grano. Spruzzi fogliari con varie concentrazioni OSA vale a dire, 0, 8, 16, 32 ppm sono stati utilizzati in diverse fasi di crescita delle piante come fase vegetativa, di avvio e di sviluppo del seme. La siccità è stata imposta trattenendo la normale irrigazione dalla fase di avvio delle colture alla maturità fisiologica.

L'applicazione fogliare di 32 ppm di Si ha mostrato un impatto in termini di aumento del contenuto d'acqua relativo, contenuto di clorofilla fogliare e temperature più basse del baldacchino. La crescita della radice e la densità della lunghezza della radice sono aumentate con l'applicazione fogliare a 32 ppm con Si. Il contenuto di K e P nella paglia e nei semi di grano è stato aumentato con l'applicazione fogliare di Si ed è stata osservata una forte relazione (r = 0,93) tra il contenuto di K nella paglia e nei semi in condizioni di siccità. La resa in termini di peso del seme è aumentata con le concentrazioni di OSA in condizioni di siccità. La percentuale di aumento era in media del 10% sul controllo in condizioni di stress. Pertanto, l'OSA ha avuto un forte impatto sulla riduzione della siccità e ha ridotto al minimo le perdite di rendimento del grano in condizioni di siccità.

Modalità di azione dell'sSA fogliare applicata

Il primo effetto dell'applicazione fogliare di sSA è l'aumento della crescita delle radici (rispetto al controllo) come si può vedere nel riso e in altre colture.

Altri parametri di crescita sono anche aumentati, come il numero di piante, l'altezza della pianta, la lunghezza della pannocchia e la superficie della foglia. L'apparato radicale allargato consente un maggiore assorbimento di nutrienti. In molte specie di piante, le applicazioni fogliari di sSA aumentano l'assorbimento dei nutrienti come misurato dalla resa (ad es. Grano) e paglia, dalle concentrazioni di N, P, K e Si nelle foglie bandiera e dalle concentrazioni di P, Ca e K nelle giovani piante di riso.

Nell'uva, l'assorbimento e l'accumulo di nutrienti (K, Ca, B, P e Si) nei piccioli erano significativamente più alti nei trattamenti fogliari di sSA, rispetto al controllo. Inoltre, le concentrazioni di N, P, K e Ca sono state potenziate nelle piante di pomodoro spruzzate con sSA.

Gli effetti stimolanti la crescita della sSA applicata per via fogliare possono essere confrontati con l'applicazione del suolo di silicati. L'efficacia degli ammendanti ai silicati è il risultato del rilascio di acido monosilicico, che è la sostanza biologicamente attiva. D'altra parte, per essere sufficientemente efficace, l'applicazione del suolo richiede grandi quantità di fertilizzanti ai silicati (1-3 tonnellate / ha), poiché solo una piccolissima frazione dei silicati viene convertita in acido monosilicico biodisponibile, mentre gli spray sSA contengono monosilicico stesso (o i suoi oligomeri), quindi sono necessari solo 3 L / ha di un prodotto commerciale con sSA negli spray fogliari per un ciclo di coltura.

Altre studi attestano che:

Nonostante i numerosi effetti positivi dell'sSA fogliare, l'esatta modalità d'azione non è compresa. Sebbene sia stato stabilito che le foglie delle piante e altre parti fuori terra sono in grado di assorbire tutti i tipi di sostanze chimiche e (micro) nutrienti, il meccanismo di assorbimento / assorbimento dell'acido monosilicico da parte delle foglie non è stato stabilito.

D'altra parte, negli studi con sSA fogliare rispetto ai controlli (acqua o acqua con

potassio o acqua con PEG), solo la sSA sembrava essere efficace. Pertanto, è molto probabile l'assorbimento di sSA da parte delle foglie. L'ipotesi che gli effetti dell'applicazione fogliare di sSA siano causati dal suo deflusso nel suolo e dal successivo assorbimento da parte delle radici, è smentito da esperimenti in cui la superficie del suolo attorno alle piante era coperta di plastica (fogli di polietilene).

Gli effetti della sSA applicata per via fogliare mostrano somiglianze con l'applicazione fogliare di acido salicilico, come l'aumento dei parametri di crescita, resa e qualità. Inoltre, ci sono somiglianze con gli effetti di altri ormoni vegetali come acido gibberellico (GA), jasmonate (JA), auxina e citochine. Ad esempio, GA stimola la germinazione dei semi ed è coinvolta nelle interazioni con fattori ambientali come luce, temperatura e acqua. L'acido silicico stabilizzato e GA mostrano effetti simili sulla germinazione dei semi. L'ammollo notturno di semi di riso in acqua con lo 0,1% di sSA aumenta significativamente la germinazione e lo sviluppo delle radici. Inoltre, gli effetti di questo trattamento delle sementi con sSA si riscontrano nelle piantine (40 giorni dopo il trapianto) con una maggiore massa radicale, germogli più lunghi e più coltivatori, con un aumento> 50% del peso secco delle radici e dei germogli.

L'efficacia della sSA fogliare è relativamente più elevata nelle colture coltivate in terreni non ottimali e in condizioni non ottimali, mostrando somiglianza con il ruolo del jasmonate nell'indurre le risposte delle piante a cattive condizioni ambientali e meccanismi di difesa delle piante.

Sulla base di tutti questi effetti, si può postulare l'ipotesi che la sSA sia assorbita dalla foglia e svolga un ruolo di molecola di segnalazione per l'attivazione di ormoni che favoriscono la crescita e anti-stress.

Sicurezza dell'acido silicico (stabilizzato)

L'acido silicico stabilizzato viene utilizzato come integratore alimentare orale per uomo e animale in quasi le stesse concentrazioni. L'acido silicico

è (relativamente) sicuro; Chol-sSA e PEG-sSA sono registrati per il consumo umano e questi composti sono noti per non essere tossici. Gli spray sSA sono sicuri per la pianta, il suolo, l'agricoltore, le acque superficiali e sotterranee, gli insetti e i consumatori.

Classificazione dell'acido silicico stabilizzato applicato per via fogliare

La sSA fogliare deve essere classificata come biostimolante. Gli effetti della sSA applicata per via fogliare mostrano somiglianze con (alcuni) altri biostimolanti applicati per via fogliare come spray derivati dalle alghe e biostimolanti derivati dalla fermentazione microbica. Entrambi i biostimolanti aumentano la lunghezza del germoglio, causano un'area fogliare più ampia e più biomassa, simile agli effetti degli spray sSA sul riso e altre colture. Come gli spray sSA, anche le modalità di azione di questi biostimolanti non sono chiare.

Spray fogliari con nanoparticelle di silice

Ad oggi, sono stati pubblicati solo dati limitati sull'efficacia. I risultati degli studi finora condotti sull'alimentazione con silice-nano mostrano effetti positivi sulla crescita e sulla resa, specialmente quando vengono utilizzate concentrazioni più elevate. In altri studi, è stata ottenuta una (modesta) riduzione degli effetti degli stress biotici. Quando l'efficacia degli spray per nano-silice viene confrontata con gli spray per sSA applicati per via fogliare, il primo sembra essere meno efficace rispetto alla crescita e ai parametri di resa e nel ridurre il tasso di infezione. Rispetto all'applicazione del suolo di silicati, le nanoparticelle di silice applicate per via fogliare sembravano essere meno efficaci. D'altra parte, in uno studio comparativo con il fieno greco (Trigonella f. g. L.), tra le applicazioni del suolo di silicati rispetto alle nanoparticelle di silicio sull'accumulo di Si, l'attività di numerosi enzimi antiossidanti da stress e la lignificazione delle pareti cellulari dello xilema, l'assorbimento di Si da entrambi gli ammendanti del suolo non hanno mostrato differenze di efficacia. Ciò potrebbe essere spiegato dal fatto che i SiNP applicati al suolo sono più efficaci delle nanoparticelle di silice applicate fogliare. Il meccanismo d'azione dei SiNP

fogliari non è stato ancora chiarito. A causa della natura di queste particelle, costituite da diverse migliaia fino a milioni di unità di biossido di silicio, è probabile che una (piccola) parte delle particelle di SiO_2 venga convertita in molecole (bioattive) di MSA.

Inoltre, è probabile che un effetto meccanico delle nanoparticelle causi un aumento significativo del tasso di mortalità delle larve di Spodoptera littoralis (verme di cotone africano).

Per la nota, un ringraziamento particolare al Dr. Daniele Tedeschi e la D.ssa Marika Iabichella..."Silicio: secondo minerale nel nostro pianeta. Fondamentale cofattore per la sintesi dell'elastina e del collagene quindi per il corretto sviluppo di cartilagini pelle unghie e vasi sanguigni nonché per la mineralizzazione delle ossa indipendentemente dalla vitamina D, a differenza del calcio. Favorisce la risposta neutrofilica ed è una utile integrazione per l'artrosi. È fondamentale nel corpo umano per la detossificazione da alluminio".

Dott. Daniele Tedeschi

Direttore Scientifico Progetto Genobioma

IABICHELLA GIORGIO
2020.05.02 11:56:03
CN=IABICHELLA GIORGIO
C=IT
O=ORDINE DEGLI DOTTORI AGRONOMI E DEI DOTTORI FORESTALI
2.5.4.5=TIN:IBC:347
ORDINE DEGLI DOTTORI AGRONOMI E DEI DOTTORI FORESTALI
N. 347
SEZ. A
Prov. RG
RSA/2048
DOTTORE AGRONOMO
GIORGIO
IABICHELLA

<u>Glossario dei vari composti di silicio</u>

LSi1: Low silicon rice 1

Silicio amorfo: Il silicio amorfo (a-Si) è la forma allotropica non cristallina del silicio. Nel silicio cristallino questa struttura tetraedrica si ripete su larga scala a formare un reticolo cristallino ordinato. Nel silicio amorfo questo ordine a lungo raggio non è presente e gli atomi formano un reticolo disordinato e continuo.

BAS : silicio bioattivo o biosilicio: acido monosilicico.

Silicio biogenico : composti di silicio nella pianta.

Silicio liquido : tutte le forme di acido silicico solubile, dall'acido silicico monosilicico a quello subcolloidale. A volte usato anche per descrivere silicati solubili o usato come sinonimo di silicio solubile.

Acido monosilicico (MSA). Sinonimo: acido ortosilicico (OSA). MSA o $Si(OH)_4$ è la forma più semplice di acido silicico solubile. L'MSA si trova universalmente nell'acqua di mare, nell'acqua di fiume e nei suoli ad una concentrazione di alcune ppm. Sebbene MSA sia in equilibrio dinamico con acido disilico, è considerata l'unica forma biodisponibile di silicio.

Acido silicico oligomerico : acido disilicico e piccoli gruppi di acido monosilicico.

Silicio organico : componenti di silicio in estratti vegetali e residui decomposti.

OSA : acido ortosilicico. Sinonimo: acido monosilicico.

PAS : silicio disponibile per impianto. Sebbene solo MSA sia disponibile per le piante, le concentrazioni rilevanti di MSA sono dovute a un equilibrio dinamico tra acido monosilicico, disilicico e suoi oligomeri.

Silicio solubile: sali di silicato solubile in acqua, comprese particelle di argilla fine in polvere (ad es. Terra di diatomee). A volte usato anche per l'acido silicico disciolto.

sSA : acido silicico stabilizzato: acido monosilicico e suoi oligomeri stabilizzati da colina (= Chol-sSA) o polietilenglicole (=PEG-sSA) per prevenire la condensazione / polimerizzazione.

Silice (SiO_2): sabbia e materiale roccioso. Composti: agata, ametista, onice, opale, sabbia e quarzo.

Colloide e gel di silice : aggregazione di acido silicico sub-colloidale in particelle colloidali più grandi: di acido silicico colloidale.

Nanoparticelle di silice (Sinonimi: Nano SiO_2, Nano-silicio, nano silice, SiNPs) : una polvere di silice amorfa sintetizzata costituita da particelle di silice con diametri della dimensione nana tra 10–100 nm.

Silicati : sali di acido silicico, una combinazione di silice combinata con ossidi metallici. Utilizzato come fertilizzanti come silicato di calcio, silicato di potassio, silicato di sodio e combinazioni di terra biatomacea con minerali.

ROS: Reactive Oxigen Species.

AsA-GSH: Via ascorbato - glutatione (AsA-GSH) Nella Mitigazione del danno Ossidativo Nelle Piante Sotto Stress Abiotico.

Gliossalasi: Questa reazione di disintossicazione viene effettuata dal sistema di glyoxalase. La gliossalasi I catalizza la conversione di metilgliossale e riduce il glutatione a *S* -D-lactoil-glutatione. Glyoxalase II catalizza l'idrolisi di *S* -D-lactoyl-glutathione a glutatione e acido D-lattico.

Proteasi: proteasi vegetali sono sintetizzate dalle piante allo scopo di difendersi da patogeni, degradare peptidi e modificare struttura e funzione di altre proteine.

Ne sono ricchi in modo particolare il gambo d'ananas (bromelina), la papaya (papaina) ed i semi germogliati (malto d'orzo).

Semiochimici: Semiochimici Sostanze chimiche che mediano la comunicazione tra insetti e altri organismi.

PEG sSA: 1,2-diammina con α- idrossichetoni in polietilenglicole (PEG) e Silice stabilizzato

Mucigel: Le cellule che si trovano sulla superficie della cuffia secernono una sostanza lubrificante, detta mucigel, che riduce l'attrito con le particelle del suolo e facilita l'avanzamento dell'apice radicale. Il mucigel facilita lo sviluppo dei batteri che vivono nell'area situata intorno alla radice della RIZOSFERA, questi batteri con il loro metabolismo agevolano il rilascio di nutrienti dal suolo. Prima dell'apice radicale vi è una zona di accrescimento per distensione, dove le cellule si ampliano per distensione delle loro pareti.

Riferimenti Bibliografici

Articoli Accademia Nazionale Italiana di Entomologia Anno LXV, 2017.

Articoli accademici per " Soluble Silicon Spray Inhibit Powdery Mildew Development on Grape Leaves.

(Luyckx et al.), Citazione: Revisione annuale di fisiologia vegetale e biologia molecolare delle piante (1999), 50, 641-664 CODICE: ARPBEX; ISSN: 1040-2519.

Epstein, Emanuel: L'anomalia del silicio in biologia vegetale.

Review Biostimulant activity of silicon in horticulture Dimitrios Savvas, Georgia Ntatsi Agricultural University of Athens, Department of Crop Science, Laboratory of Vegetable Crops, Iera **Odos 75, 11855 Athens, Greecea**.

Soundararajan et al - https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed -

Prof. Giampaolo Zanin UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA - DIPARTIMENTO DI AGRONOMIA ANIMALI ALIMENTI RISORSE NATURALE E AMBIENTE - Corso di laurea magistrale in Scienze e Tecnologie Agrarie - Prove di impiego di silicio nella coltivazione di rosa da fiore reciso -Evaluation of silicon as a nutritional supplement for cut-flower rose production.

Prof. Mitani (2005).