

[ CHIMICA DEL SUOLO ] Colpisce migliaia di ettari. Pesco, pero e actinidia fra le specie più soggette

# Clorosi da carenza di ferro, ecco come prevenirla e curarla

[ DI CLAUDIO MARZADORI E CLAUDIO CIAVATTA ]

La causa è insita nel terreno, soprattutto se calcareo. Se non bastano le tecniche agronomiche si interviene con chelati

Il ferro (Fe) ha un ruolo fondamentale nel regolare lo svolgimento di innumerevoli processi biochimici.

Rientra nei processi di biosintesi della **clorofilla**, anche se non entra a far parte della molecola ed è un **cofattore** indispensabile per l'attività di enzimi coinvolti in processi quali il metabolismo dei carboidrati, la respirazione cellulare, la riduzione dei nitriti e dei nitrati.

Questo metallo partecipa, inoltre, attivamente ai processi di fissazione biologica dell'azoto rientrando tra gli elementi costitutivi il sito di reazione dell'enzima nitrogenasi, che è responsabile della trasformazione dell'azoto gassoso atmosferico in azoto ammoniacale all'interno dei microrganismi azotofissatori simbiotici e non.

La carenza di Fe porta alla classica sintomatologia che si manifesta con la clorosi ferrica internervale nella quale le fo-

glie, fatte salve le nervature, tendono a ingiallire. Col tempo tutta l'area fogliare può poi assumere una colorazione biancastra.

I sintomi tendono a manifestarsi sulla nuova vegetazione come conseguenza di un disturbo legato alla scarsa mobilità dell'elemento nel sistema suolo/pianta. *Le carenze di Fe portano a un rallentamento della vegetazione e a un anomalo accumulo di nitrati.* Questi sintomi sono in buona parte determinati da un'alterazione del processo fotosintetico, dall'incapacità di sintetizzare la clorofilla, da una minore efficienza del processo di biosintesi delle proteine e dalla difficoltà nell'assimilazione dei nitrati.

Le piante coltivate in suoli calcarei sono quelle maggiormente esposte alle carenze di Fe, e tra queste quelle appartenenti al genere delle graminacee tendono, in genere, a tollerare meglio questo tipo di microcarenza (**tab. 1**). Cerchiamo di capire il perché.

## [ L'ELEMENTO NEL SUOLO ]

Il Fe è contenuto nel suolo in quantità molto elevate (2-5%, del peso del terreno), corrispondenti a 20-50 mila mg/kg di terreno. Tuttavia la frazione dell'elemento solubile nella fase liquida (soluzione) del suolo, cioè quella direttamente assorbibile

[ TAB. 1 - SENSIBILITÀ ]

ELEVATA	BASSA
Azalea	Orzo
Cotogno	Mais
Fragola	Riso
Pesco	Frumento
Agrumi	Melo
Ortensia	Patata
Rosa	Barbabietola
Pomodoro	Avena
Vite	Cotone
Fagiolo	Cetriolo

dalle piante, è infinitesimale rispetto al totale. E di norma è notevolmente inferiore rispetto a quella necessaria per soddisfare le esigenze delle piante.

Ad esempio la concentrazione di Fe nella fase liquida dei suoli calcarei è dell'ordine di  $10^{-10}$  M, pari a 5,58 nanogrammi<sup>1</sup>, rispetto ai  $10^{-7,7}$  M (circa 110 nanogrammi) considerati necessari per soddisfare le esigenze nutrizionali delle piante.

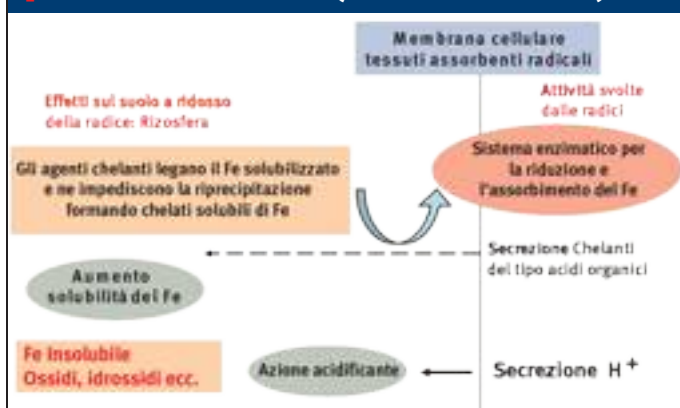
Il Fe è presente nel suolo principalmente in forma ossidata (**Fe<sup>3+</sup>**) come costituente di *ossidi, idrossidi, silicati e carbonati*, tutti minerali caratterizzati da una bassissima solubilità. La formazione di questi composti dipende dai fenomeni di precipitazione che coinvolgono lo ione Fe in soluzione. Caratteristica dello ione Fe è quello di dare vita alle trasformazioni che ne determineranno poi la completa insolubilizzazione, già a pH debolmente acidi.

Questi processi divengono poi sempre più forti a mano a mano che il pH della soluzione, e quindi del suolo, si sposta verso valori neutro-alcasini (7-7,5). Di conseguenza il fattore che più degli altri influenza la solubilità del Fe è dato dal pH del suolo che a sua volta è fortemente influenzato dal contenuto in calcare. Nei suoli calcarei, cioè contenenti una percentuale di calcare totale superiore al 15-18% e soprattutto di calcare attivo superiore al 5%, il pH si stabilizza tra 7,5-8,5 e, fatto molto importante, questi valori sotto il profilo agronomico sono da considerarsi praticamente imm modificabili.

Questo significa che i suoli calcarei tenderanno a svolgere un'azione fortemente clorosante in quanto i minerali di Fe in essi contenuti saranno caratterizzati da un'elevatissima stabilità, e la concentrazione di Fe solubile sarà estremamente bassa. Conseguentemente in tali situazioni anche la somministrazione al terreno di sali contenenti Fe non risolverebbe in alcun modo il problema. Infatti l'elevato pH farebbe immediatamente precipitare il Fe distribuito in forme insolubili e non assimilabili dalla radici delle piante.

Da quanto esposto si evince che la possibilità che le piante hanno di assorbire Fe dalla soluzione del suolo dipende dalla

[ FIG. 1 - STRATEGIA I (NON GRAMINACEE)



[ FIG. 2 - CHELAZIONE E SCAMBIO DI FERRO



[Da: Paolo Segni "Chimica del Suolo", Patron Ed. (1989).

presenza di composti solubili del Fe (chelati solubili di Fe) che proteggano il metallo dai processi di precipitazione. Le sostanze che possono agire in questo senso sono di natura prevalentemente organica e possono avere un'origine naturale (sostanze umiche, fitosiderofori, siderofori di origine microbica) o sintetica (chelati di origine industriale, per esempio quelli ammessi dalla legislazione<sup>2</sup>: EDTA, DTPA, EDDHA, HEEDTA, EDDHA, EDCHA, EDDHSA).

Vediamo quali sono le principali sostanze di origine naturale che possono preservare il Fe dall'insolubilizzazione e con quali meccanismi d'azione.

### [ LE SOSTANZE UMICHE

Il contenuto del suolo in sostanza organica umificata è un fattore che può avere una grande in-

fluenza sulla disponibilità del Fe. Gli acidi umici e gli acidi fulvici sono infatti in grado di limitare la precipitazione dei metalli attivando reazioni di chelazione tra il Fe ed i numerosi gruppi funzionali elettron donatori che li costituiscono (-CO-OH, -OH, -C=O, -NH<sub>2</sub>) (fig. 2).

Gli apparati radicali delle piante, così come le popolazioni microbiche che vivono nel suolo, sono poi in grado di secerne altre sostanze chelanti (acidi organici, amminoacidi, peptidi, ecc.) che, pur non essendo particolarmente efficaci nell'intaccare in tempi brevi i minerali contenenti Fe, sono invece in grado di strappare i metalli dalla frazione umificata della sostanza organica formando chelati facilmente assorbibili dalle radici.

La sostanza organica, in generale, svolge anche un effetto

indiretto nel limitare il problema della clorosi ferrica. Essendo il ristagno idrico una condizione che esalta i fenomeni di clorosi, l'azione che la sostanza organica svolge nel favorire lo sgrondo delle acque in eccesso, è un ulteriore aiuto al contenimento del fenomeno.

### [ ADATTAMENTO DELLE PIANTE

Le piante, in funzione del genere di appartenenza, reagiscono diversamente alla carenza di Fe. Nello specifico possiamo riconoscere almeno due tipi di strategie:

- *strategia I*, attuata dalle dicotiledoni e dalle monocotiledoni non graminacee, - *strategia II*, messa in atto tipicamente dalle graminacee (fig. 2 e 3).

**Strategia I.** Si basa sulla capacità delle radici di ottenere, attraverso un'appropriata produzione ed estrusione di proto-

ni, un abbassamento del pH nella zona di suolo immediatamente circostante le radici, universalmente definito suolo rizosferico (ottimale un pH < 6,0).

Conseguenza di questa variazione di pH sarà un aumento della solubilità del Fe presente sotto forma di minerali solubili a pH tendenzialmente acidi. Accoppiata all'attività acidificante si osserva anche un aumento nella secrezione radicale di molecole a capacità chelante: in particolare acidi organici derivanti dal metabolismo cellulare dei carboidrati (acido citrico, malico ed altri ancora). Tali composti avranno il compito di formare chelati solubili di Fe impedendo così la re-precipitazione del Fe appena solubilizzato. Permettendo, di conseguenza, a questo di raggiungere la superficie delle cellule radicali deputate all'assorbimento del microelemento.

Il Fe sarà in ogni caso assorbito sotto forma di metallo dopo la scissione del legame con l'agente chelante che ne ha permesso la mobilità nel suolo.

Tuttavia la strategia appena descritta presenta diversi punti deboli che la rendono poco efficiente nei suoli calcarei. Nei suoli calcarei, infatti, questo processo è fortemente ostacolato dalla presenza dello ione bicarbonato che, avendo la pro-

## [ MECCANISMI Una situazione sotto controllo

**Q**uanto esposto in questo articolo ci consente di comprendere quali sono i principali meccanismi che determinano il contenimento della clorosi ferrica in seguito a: somministrazioni di ammendanti organici, utilizzo dell'inerbimento e della consociazione tra specie arboree ed erba-ccie graminacee.

Infatti, l'arricchimento del suolo in sostanza organica consente di prevenire efficacemente l'insolubilizzazione del Fe, mentre la presenza di specie vegetali capaci di rilasciare agenti chelanti più o meno potenti, favorisce la solubilizzazione e la mobilità del Fe anche in suoli calcarei. Tuttavia, nei casi di clorosi ferrica non curabile con i soli interventi agronomici ordinari è necessario intervenire con prodotti che contengono il Fe in forma chelata, siano essi di origine naturale (Fe-chelato a sostanze organiche naturali, ad esempio, le sostanze umiche) ovvero di sintesi. ■

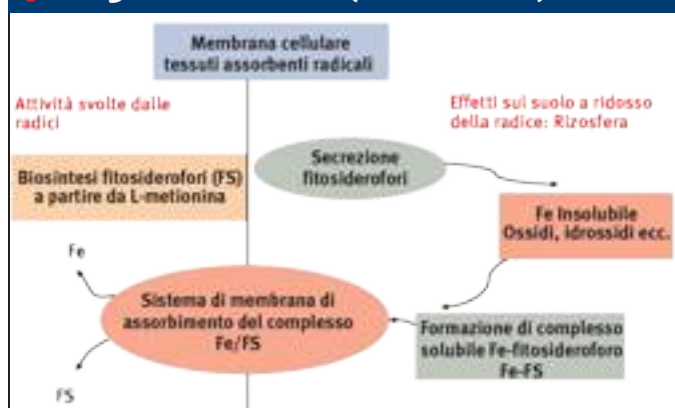
prietà di tamponare il pH del suolo su valori alcalini, contrasta gli sforzi della pianta di abbassare il pH della rizosfera per creare le condizioni ottimali per l'assorbimento radicale del ferro.

Lo ione bicarbonato si forma per dissoluzione dell'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) in acqua che dà origine all'acido carbonico che è in equilibrio nei suoli calcarei proprio con il bicarbonato. La formazione nel suolo di bicarbonato è tanto maggiore quanto più elevata è la produzione di CO<sub>2</sub> che è emessa sia dalla respirazione delle radici delle piante sia dai microrganismi del terreno. In sostanza, quindi, quanto maggiore è l'attività radicale e quella della biomassa microbica tanto superiore sarà la produzione di CO<sub>2</sub>.

Ne consegue che la formazione di bicarbonato è di fatto direttamente correlabile all'attività delle piante e dei microrganismi. A parità di altre condizioni questa attività nel terreno è massima in condizioni di temperatura sui 20-25 °C e buona umidità del terreno, condizioni che si possono verificare frequentemente in primavera. Infatti, è noto che la comparsa della clorosi ferrica sia molto frequente e diffusa in annate con primavera "calda" e umida e poco presente in annate con primavera fredda e asciutta.

Nei suoli calcarei il bicarbonato che si forma può precipitare sotto forma di sale di calcio, bicarbonato di calcio, un sale molto più solubile in acqua rispetto al carbonato (112 rispetto a 0,014 g/litro a 25 °C). Pertanto, per valutare l'entità del potere tampone di un terreno calcareo, e quindi il probabile grado di sviluppo della clorosi ferrica, è necessario determinare, al momento dell'impianto, il contenuto in calcare attivo (la frazione più

**FIG. 3 - STRATEGIA II (GRAMINACEE)**



fine dei carbonati), costituendo questo la causa del continuo rinnovarsi dello ione bicarbonato.

L'efficacia con cui i suoli calcarei si oppongono alle variazioni di pH, potere tampone, tendono a frustrare i tentativi delle piante di ottenere una significativa e sufficiente acidificazione della rizosfera. Acidificazione che è indispensabile sia per ottenere la solubilizzazione di almeno una parte del Fe presente, che per attivare il sistema di assorbimento del Fe a livello dei tessuti radicali assorbenti. Questo è l'aspetto che più degli altri determina la sensibilità di molte piante non graminacee ai problemi di clorosi ferrica in particolare nei suoli calcarei.

Le graminacee invece adottano un sistema di adattamento alla carenza di Fe che prescinde dalla necessità di ottenere una significativa acidificazione della rizosfera.

**Strategia II.** Si basa sulla capacità delle piante di produrre

composti denominati *fitosiderofori* che hanno la caratteristica di essere estremamente affini al Fe. Questa affinità consente ai fitosiderofori di *strappare* il Fe presente negli ossidi e idrossidi, formando complessi solubili detti Fe-fitosiderofori (Fe-FS).

La mobilizzazione del Fe da parte dei fitosiderofori è piuttosto efficiente anche a pH elevati tipici dei suoli calcarei. L'assorbimento del Fe avviene poi sotto forma di Fe-FS e la scissione tra fitosiderofori e Fe ha luogo all'interno delle cellule radicali.

Le graminacee hanno sviluppato un sistema specifico di assorbimento dei Fe-FS. La strategia II si è rivelata maggiormente efficace per la mobilizzazione del Fe nei suoli calcarei. Tuttavia non tutte le graminacee presentano la stessa capacità di mobilizzazione e una ulteriore suddivisione può essere fatta al loro interno.

La diversa efficienza che caratterizza diverse specie di graminacee dipende da numerosi

fattori tra i quali: entità del rilascio di fitosiderofori, stabilità dei fitosiderofori nella soluzione del suolo. Relativamente alla capacità delle piante di rilasciare fitosiderofori possiamo fare alcune interessanti osservazioni in relazione a quanto esposto nella **tab. 2**.

In primo luogo possiamo vedere che la secrezione dei fitosiderofori è fortemente influenzata dalla presenza o meno di Fe solubile nella soluzione, il che ci conferma che la biosintesi dei fitosiderofori è un meccanismo specifico di adattamento alla carenza di Fe, sviluppato dalle graminacee.

In secondo luogo possiamo osservare che, ad esempio, l'orzo e il frumento hanno la capacità di rilasciare quantità di fitosiderofori nettamente maggior rispetto al mais e al sorgo che, di conseguenza, sono specie tendenzialmente più sensibili a fenomeni di Fe-carenza. Rimane completamente da definire se l'apparente minore capacità secretiva mostrata dal mais e dal sorgo possa essere, almeno in parte, dovuta ad una maggiore velocità di degradazione microbica dei fitosiderofori prodotti da queste specie. Non tutte le piante producono lo stesso tipo di fitosiderofori, anche se le molecole tendono ad assomigliarsi molto. A questo proposito sembra che il mais e il sorgo producano fitosiderofori facilmente degradabili da popolazioni microbiche eterotrofe (per esempio, *Azospirillum*) che preferenzialmente colonizzano la rizosfera di mais e sorgo. ■

**TAB. 2 - RILASCIO DI FITOSIDEROFORI (FS)**

In soluzione nutritiva di piante allevate in condizioni di Fe sufficienza o Fe-carenza. (modificato da Romheld e Marschner, 1990).

SPECIE	CULTIVAR	M MOL FS/G DI RADICE/GIORNO	
		PIANTE IN FE-SUFFICIENZA	PIANTE IN FE-CARENZA
Orzo	Europa	0,4	8,2
Frumento	Okapi	0,5	7,5
Mais	Garbo	0,2	2
Sorgo	SPV-393	0,2	0,4

Gli autori sono del Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroambientali - Università di Bologna

<sup>1</sup> nanogrammo (ng) = la milionesima parte del milligrammo (mg)

<sup>2</sup> Decreto legislativo 29 aprile 2006 n. 217. Gu n. 152 del 20 giugno 2006.