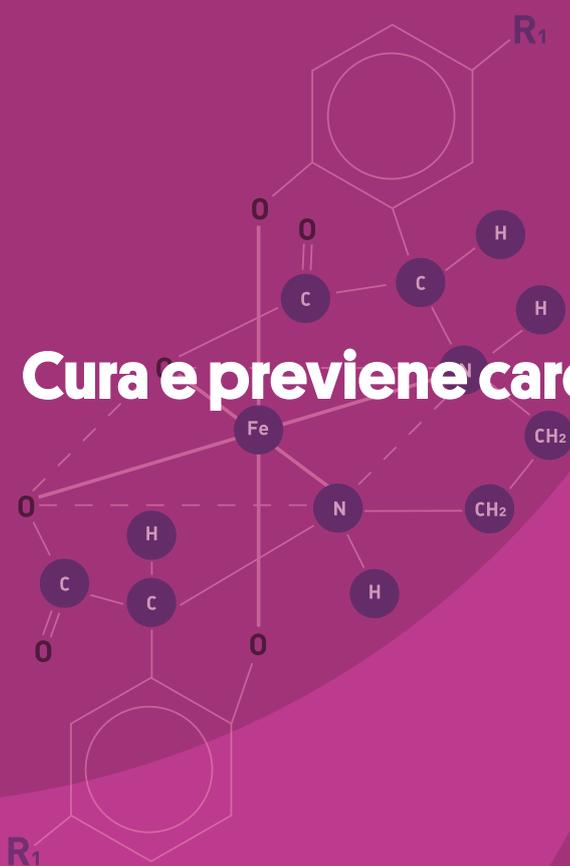


MONOGRAFIA

FERRILENE

Cura e previene carenze di Ferro





pag. 4		COMPANY PROFILE
pag. 6	1	IL FERRO
	1.1	Il ferro in natura
	1.2	Il ferro nel suolo
	1.3	Chimica del ferro
	1.4	Aspetti generali delle carenze di Ferro
	1.5	Principali fattori che riguardano la disponibilità di ferro
	1.5.1	Solubilità del ferro nel terreno
	1.5.2	Presenza di bicarbonati (pH)
	1.5.3	Interazione tra ferro e altri elementi
pag. 12	2	IL FERRO NELLE PIANTE
	2.1	Assorbimento
	2.2	Strategie di assorbimento
	2.2.1	Strategia I
	2.2.2	Strategia II
	2.3	Trasporto del ferro nelle piante
	2.4	Funzioni biologiche del ferro nella pianta
pag. 19	3	LA CLOROSI FERRICA
	3.1	La clorosi ferrica
	3.2	Sintomi visivi
	3.4	Correzione della clorosi ferrica
pag. 22	4	I CHELATI
	4.1	Le molecole chelanti
	4.2	Stabilità dei chelati di ferro
	4.3	Qualità dei chelati
	4.4	I chelati di ferro e il loro uso in agricoltura
	4.5	Gli agenti chelanti nella Linea Ferrilene
pag. 26	5	LINEA FERRILENE
	5.1	Storia degli agenti chelanti
	5.2	FERRILENE 4.8 and FERRILENE
	5.3	FERRILENE TRIUM
pag. 30	6	APPROCCIO FENOMICO
pag. 37	7	PROVE AGRONOMICHE
pag. 48	8	BIBLIOGRAFIA

Company profile

MISSION

Creare un futuro sostenibile per le persone e l'ambiente.

VISION

In Valagro viviamo con una mentalità alternativa che chiamiamo "Terza Via", perseguendo l'eccellenza e applicando la scienza all'agricoltura per produrre più cibo sano, avendo a cuore la sostenibilità.

VALUES

Integrità - agire con onestà, rispettando le persone e l'ambiente

Passione - essere responsabili del futuro sostenibile che stiamo costruendo

Fiducia - creare relazioni basate sul mantenere le promesse fatte

Conessioni - avere una visione d'insieme senza tralasciare il contributo individuale

Mentalità innovative - creare nuove opportunità con coraggio, curiosità e determinazione

CULTURA AZIENDALE

Il nostro focus è **sfidare** ciò che è già stato fatto.

Creiamo connessioni tra **competenza e acume imprenditoriale** ottenendo **grandi risultati**, nella costante ricerca dell'**eccellenza**.

Lavoriamo per trasformare in realtà ciò che sembra impossibile.

Valagro è per chi è **curioso**, per chi **non smette mai di imparare**, per chi riesce a contribuire **coraggiosamente al cambiamento accogliendo le nuove idee senza pregiudizi**.

Per chi dà valore agli altri **rispettando sempre la diversità e facendo leva sull'inclusione**.

Utilizzare la Scienza per cogliere e mettere a frutto le potenzialità della Natura con uno sguardo attento alla sostenibilità ambientale: questo è il principio su cui si fonda GeaPower, l'esclusiva **piattaforma tecnologica** sviluppata da Valagro per trasformare potenziali principi attivi in soluzioni nutrienti di alta qualità.

Grazie a GeaPower, siamo in grado di offrire soluzioni basate sull'innovazione sostenibile che, utilizzando le più avanzate tecnologie, prendono preziosi principi attivi dalla natura e li restituiscono alla natura stessa per ottenere **raccolti più sani, più abbondanti e di migliore qualità**

GeaPower
riduce i costi di
individuazione
di una soluzione
da immettere
nel mercato e ne
garantisce l'efficacia



PROFONDA CONOSCENZA DEGLI INGREDIENTI ATTIVI E DELLE MATERIE PRIME

Permette a Valagro di identificare, caratterizzare e preservare i principi attivi specifici che permettano di raggiungere risposte fisiologiche mirate nelle piante.



PROCESSI DI ESTRAZIONE PROPRIETARI

I processi di estrazione più idonei e specifici per mantenere il corretto rapporto di ciascun ingrediente in complesse miscele naturali



TECNOLOGIE AVANZATE DI SCREENING E DI INDAGINE

- Genomica, Fenomica e altre scienze "omiche" consentono di decifrare i meccanismi genetici e molecolari per specifiche risposte fisiologiche nei sistemi vegetali.
- Screening di centinaia di campioni per ogni esperimento.



COMPROVATA CAPACITÀ DI FORNIRE SOLUZIONI EFFICACI

- Ampia esperienza di sperimentazione in campo
- Le funzioni commerciali e di ricerca sono strettamente integrate.
- Ciò consente a Valagro di individuare rapidamente prodotti candidati con le migliori possibilità di raggiungere redditività commerciale





1

Il Ferro

Alberto Stivaletta, Alessandro De Marco
- Global Research

1.1 Il Ferro in natura

In natura, il ferro si trova sia sotto forma di Fe^{3+} [composti ferrici] che di Fe^{2+} [composti ferrosi], a seconda dello stato redox. Dopo il Si, l'O e l'Al, il ferro è l'elemento più abbondante sulla crosta terrestre, con una percentuale di circa il 5,1%. Nel terreno, è presente mediamente al 3,8% [Lindsay, 1979]. Di solito, il ferro si trova nel terreno in quantità sufficiente sotto forma di diversi composti, con prevalenza di ossidi e idrossidi. La colorazione dei terreni è riconducibile, per lo più, alla presenza di ossidi liberi. Il colore giallo-ocra delle zone temperatefredde è dovuto alla presenza di ossidi idrati come la goethite. Il colore rosso delle zone aride è dovuto a ossidi non idrati come l'ematite.

1.2 Il Ferro nel terreno

Gran parte del ferro si trova nelle strutture cristalline di numerosi minerali e nelle acque freatiche. Dalla

meteorizzazione dei minerali primari si libera ferro solubile, il quale può essere utilizzato dagli organismi, unirsi a vari ligandi organici o essere trasformato in minerali secondari come solfuri, carbonati, minerali di argilla, ma soprattutto ossidi e idrossidi di differente composizione e grado di cristallizzazione, dai quali dipenderà la solubilità dell'elemento nel terreno [Murad y Fischer, 1988: Lindsay 1979].

In virtù della sua stabilità, la goethite è l'ossido di ferro più diffuso nei terreni; è possibile trovarla in molti tipi di suolo e zone climatiche ed è responsabile della colorazione ocra. Segue, in frequenza, l'ematite, composto in cui spesso appare il ferro; a differenza della goethite, tuttavia, che non sembra essere limitata a una specifica area climatica, l'ematite è presente nelle zone tropicali, dove le condizioni di temperatura e pH ne favoriscono la formazione.

L'ematite si contraddistingue per il colore rosso e per una grande capacità di pigmentazione

[Schwertman e Taylor, 1989]. A causa della solubilità estremamente bassa degli ossidi di Fe^{3+} nella gamma normale di pH del terreno, il ferro liberato precipiterà rapidamente come ossido o come idrossido. Solo una piccola parte del ferro ossidato sarà compreso nei silicati lamellari secondari [argille] e/o finirà in complessi organici [Schwertman e Taylor, 1989].

In condizioni anaerobiche, i microorganismi possono utilizzare gli ossidi di Fe^{3+} come accettori finali di elettroni per effettuare la decomposizione ossidativa della materia organica, la quale dà luogo alla riduzione da Fe^{3+} a Fe^{2+} , che in genere è più solubile.

LEGENDA

- 1 meteorizzazione
- 2 assorbimento
- 3 decomposizione successiva alla morte
- 4 complessazione
- 5 idrolisi
- 6 riduzione
- 7 ossidazione
- 8 riduzione tramite organismi

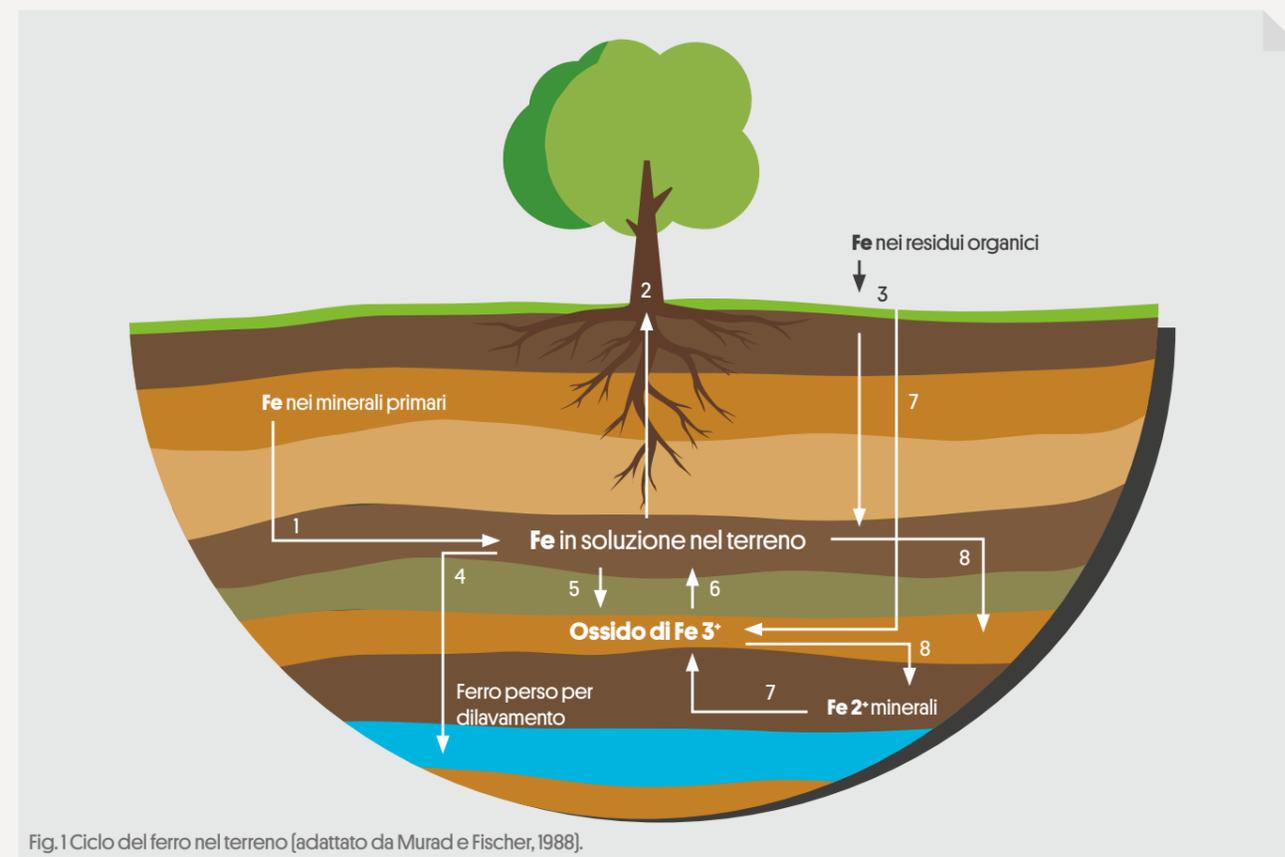


Fig. 1 Ciclo del ferro nel terreno [adattato da Murad e Fischer, 1988].

1.3 La chimica del Ferro

Nella maggior parte dei composti di ferro è presente lo ione ferroso, ferro (II), o lo ione ferrico, ferro (III), come unità distinta.

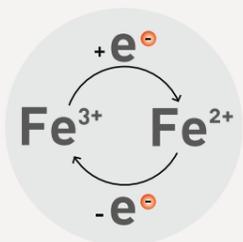


Fig. 2 Reazione reversibile di ossido-riduzione del ferro

Il ferro è un elemento di transizione caratterizzato dalla relativa facilità con cui può cambiare il proprio stato di ossidazione e dalla capacità di formare composti ottaedrici con ligandi differenti e con un'elevata variazione nel potenziale redox a seconda del ligando. Tale variabilità conferisce al ferro una speciale importanza nei sistemi redox biologici e nei terreni [Schwertman e Taylor, 1989; Schwertman 1991]

1.4 Aspetti generali della carenza di Ferro

Il ferro [Fe] è un micronutriente essenziale per piante, esseri umani e altri animali. All'inizio del XVII secolo, questo elemento fu sfruttato come

medicina da alcune popolazioni, tra cui egiziani, indù, greci e romani [Guggenheim, K.Y.]. L'Organizzazione mondiale della sanità [OMS] afferma che la mancanza di micronutrienti sufficienti, come Fe e Zn, rappresenta una grave minaccia per la salute e lo sviluppo della popolazione mondiale. Le carenze di vitamine e minerali rimangono un grave problema di salute a livello globale, colpendo più di due miliardi di persone o una persona su tre [FAO; IFAD; WFP.] e soprattutto nei paesi in via di sviluppo, la ricerca di soluzioni in grado di ridurre gli effetti dannosi di questi disturbi nutrizionali è di fondamentale importanza [Black, RE; Allen]. Questo approccio ha l'obiettivo di valorizzare le caratteristiche distintive di micronutrienti, come il ferro, nelle colture di base e nei prodotti alimentari, utilizzando diverse procedure come le pratiche agronomiche per ottenere un prodotto alimentare finale con un contenuto di ferro più elevato, considerandolo come un'importante strategia per ridurre la carenza di Fe nelle persone [Cakmak 2002].

1.5 Principali fattori che riguardano la disponibilità di Ferro

Le cause della carenza di ferro

possono essere diverse e di varia natura, tra cui la disponibilità effettiva, non tanto per una mancanza vera e propria dell'elemento, quanto per l'impossibilità di utilizzarlo nello stato in cui si trova. Di seguito si riportano alcuni degli aspetti più importanti che influiscono sulla disponibilità di ferro:

1.5.1 Solubilità del Ferro nel terreno

Gli studi effettuati da Lindsay [1979, 1991] in relazione alla differente solubilità dei vari ossidi e idrossidi di ferro nel terreno [Fig. 3], dimostrano che:

1. l'ossido di ferro amorfo è il più solubile, mentre la goethite è la meno solubile.
2. la solubilità degli ossidi e degli idrossidi di ferro di Fe³⁺ presenti dipende molto dal pH del terreno: la solubilità scende, infatti, di 1000 volte per ogni unità di aumento del pH. Con valori di pH pari a circa 7,5, ad esempio, la concentrazione di ferro solubile si riduce a valori inferiori a 10-20 M.
3. L'area di minima solubilità del ferro corrisponde all'intervallo di pH compreso tra 7,5 e 8,5 [Fig.4]: quello dei terreni calcarei. La

concentrazione di ferro per questo intervallo di pH è di circa 10-10.4 M, quantità non sufficiente per la crescita ottimale delle piante, che richiedono un intervallo di ferro solubile compreso tra i 10-9 e 10-4 M [Guerinot e Yi, 1994]. Studi realizzati da Römheld e Marschner [1986] mostrano come in terreni ben areati, la quantità di ferro in dissoluzione a valori di pH superiori a 4 è inferiore a quella richiesta da gran parte dei vegetali, facendo sì che le piante coltivate in questi terreni siano carenti di ferro.

Poiché il ferro presenta due stati di ossidazione, il potenziale redox del terreno è un altro dei fattori che influiscono sul contenuto di questo nutriente dissolto. In terreni ben areati condizione in cui si trovano di solito i terreni coltivati, il Fe³⁺ non è normalmente alterato dal potenziale redox. Il Fe²⁺, invece, presenta varie specie a seconda del pH del terreno. Per valori inferiori a 6,7, la specie prevalente è il Fe²⁺, mentre per valori di pH superiori, la specie principale è FeOH⁺ [Fig.5].

In condizioni aerobiche, queste specie sono instabili. Tuttavia, in condizioni di riduzione, esse sono le più abbondanti e quelle che controllano il ferro disponibile per le piante [Lindsay, 1991]. In terreni con elevata riduzione, la solubilità del ferro sarà apparentemente controllata dalla siderite [FeCO₃]. Aumenti della concentrazione di CO₂ nel terreno produrranno una diminuzione della solubilità del ferro per le piante [Lindsay e Schwab, 1982]. La regola generale per la solubilità del ferro, quindi, è che, in condizioni aerobiche e con pH neutri o alcalini, il ferro precipita in forme insolubili mentre, in condizioni di riduzione e con pH acidi, la concentrazione di ferro solubile è maggiore.

1.5.2 Presenza di bicarbonati (pH)

La presenza dello ione idrogenocarbonato fa sì che la

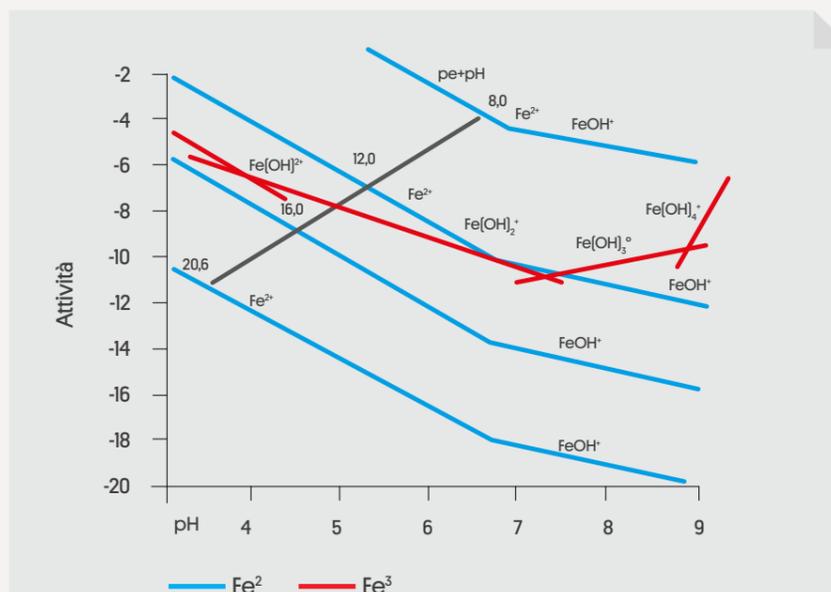


Fig. 5 Effetto rispetto al potenziale redox per le forme Fe²⁺ e Fe(OH)⁺ comparate con le forme idrolizzate di Fe³⁺ in equilibrio con il sistema Fe-suolo [Lindsay and Schwab, 1982].

maggior parte dei terreni calcarei abbia un pH che oscilla tra 7,5 e 8,5; arrivando a valori superiori a 9. Con questo pH, la concentrazione di ferro solubile è abbastanza bassa [Lindsay, 1979, 1991; Lindsay e Schwab, 1982] e pertanto la nutrizione ferrica delle coltivazioni diventa difficile.

Fe³⁺ nella membrana plasmatica [Römheld e Marschner, 1986]. Tutto ciò influisce sulla biodisponibilità del ferro, causando grandi alterazioni e inibendo la risposta delle colture alla carenza di ferro. [Susin et al. 1996].

Una carenza di ferro compromette, inoltre, i principali meccanismi di risposta della pianta: i protoni liberati sono neutralizzati dal vegetale, l'alcalinizzazione riduce la secrezione di composti fenolici e rende difficile la riduzione di

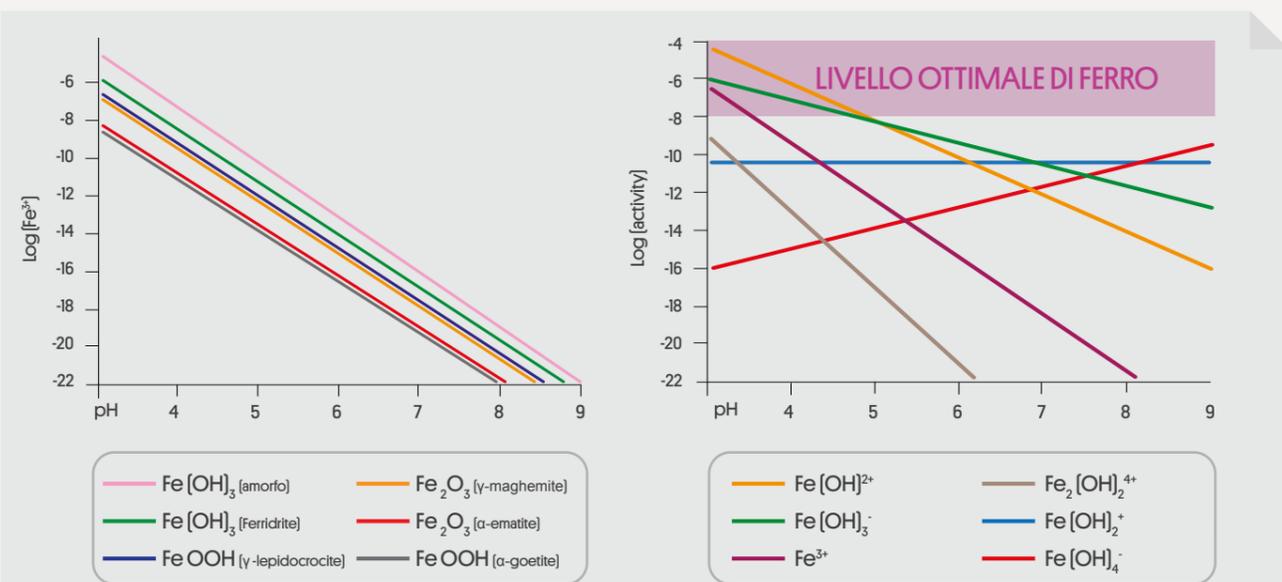


Fig. 3 Attività del Fe³⁺ in vari ossidi e idrossidi ferrici presenti in terreni in funzione del pH [Lindsay, 1979].

Fig. 4 Forme idrolizzate di Fe³⁺ in equilibrio con il Fe nel terreno [Lindsay, 1979].

TERRENO	ORIZZONTE, TRATTI	FERTILITÀ	pH	DISTRIBUZIONE
Alfisuoli	Differenziato, specialmente l'orizzonte di argilla	Carente, richiede Fertilizzanti	7,5 / 7,8	Regioni umide e temperate di Nord America ed Europa
Aridisuoli	Differenziato, specialmente l'orizzonte di argilla	Buona con irrigazione	7,8 / 8,1	In regioni desertiche di tutto il mondo
Mollisuoli	Differenziato, con orizzonte di grossa superficie organica scura	Eccellente, specialmente per cereali	6,1 / 8,6	Grandi praterie, pampas argentine, steppe russe
Vertisuoli	Nessuno, alto contenuto di argilla espansa	Buona	7,6 / 9,5	Pascoli di regioni con stagioni secche, come ad esempio India, Sudan, Texas

Tab. 1 Caratteristiche principali dei terreni [Alfisuoli, Aridisuoli, Mollisuoli, Vertisuoli]

1.5.3 Interazione tra Ferro e altri elementi

I nutrienti essenziali per le piante possono interagire con il ferro provocandone la carenza nelle colture. Tra le interazioni più importanti possiamo citare:

INTERAZIONE IONICA TRA Fe/Mn

I microelementi ferro e manganese sono interdipendenti: l'effetto della presenza di uno dei due, nei tessuti vegetali, condiziona proporzionalmente il contenuto dell'altro. La reattività del ferro dipende dal suo stato di ossidazione: il manganese ha un potenziale di ossidazione maggiore del ferro, ossida il ferro in eccesso e lo trasforma in ferro inattivo, il quale viene immobilizzato dai fosfati che formano un precipitato ferro-fosfato [fosfoproteina, denominata fitoferritina].

Se c'è squilibrio tra i due, possono verificarsi varie condizioni:

1. In una soluzione con eccesso di ferro, si perde l'equilibrio dinamico tra i due elementi e appaiono sintomi secondari di eccesso di ferro, con sintomi simili a quelli dovuti alla carenza di manganese.
2. Quando è presente un eccesso di manganese, le foglie nuove delle piante appaiono clorotiche, con sintomi simili a quelli dovuti a carenza di ferro. L'eccesso di manganese causa l'eccessiva ossidazione da Fe^{2+} a Fe^{3+} , rendendo quest'ultimo insolubile e pertanto non utilizzabile dalle cellule. Livelli alti di Mn solubile nel tessuto sono associati a bassi

livelli di Fe solubile e viceversa, [Somers e J. W. Shive 1942].

In coltivazioni di pieno campo, la clorosi ferrica si sovrappone, nascondendola, alla clorosi causata dalla mancanza di manganese. La correzione della prima spesso fa sì che appaia e si aggravi la seconda. Tale fenomeno è stato constatato in varie occasioni ed è stato verificato da numerosi ricercatori [Warden et al. 1991]. Pertanto, il rapporto Fe/Mn nelle soluzioni nutrienti è più importante della concentrazione di Fe e Mn [Somers e Shive 1942, e Warden 1991].

Fig.6 Distribuzione globale dei terreni [Alfisuoli, Aridisuoli, Mollisuoli, Vertisuoli] fonte USDA-NRCS, adattato da VALAGRO 2011

■ Alfisuoli, aridisuoli, mollisuoli e vertisuoli: distribuzione globale

INTERAZIONE IONICA TRA Fe/K

Il ruolo del K^+ è molto importante nel funzionamento della porta protonica. Le piante non sono in grado di rispondere allo stress ferrico in assenza di K^+ , neppure sostituendo questo ione con Na^+ [Jolley et al 1988]: per tale ragione, un apporto adeguato di potassio è associabile a una migliore risposta alla carenza di ferro, sia in piante che presentano la strategia I sia in piante che presentano la strategia II [Hughes et al., 1992]. La presenza di potassio è dunque importante per quel che riguarda

la disponibilità di ferro e ha utilità in termini agronomici.

FITOSIDEROFORI

Nel caso delle graminacee, la presenza di fitosiderofori nel terreno di coltura fa sì che la quantità di ferro disponibile sia maggiore, in virtù del fatto che essi presentano un'elevata affinità dovuta al sistema di trasporto tramite la membrana plasmatica. [Römheld e Marschner 1990]. La quantità di fitosiderofori presenti è correlata al grado di resistenza alla clorosi [Kawai et al., 1988].

TEMPERATURA

Le temperature estreme rappresentano un altro fattore in grado di indurre la clorosi ferrica. Le basse temperature provocano, infatti, una riduzione dello sviluppo radicale, con conseguente riduzione della capacità di assorbimento del ferro [Chaney, 1984]. Allo stesso modo, le temperature estreme riducono la stabilità dei fitosiderofori, diminuendo l'assimilazione del ferro. [Awad et al. 1988].



2

Il Ferro nelle piante

Giustino Strolli, Gianluca Nicolini - Global Research

2.1 Assorbimento

Di fronte alla carenza di ferro, le piante possono restare indifferenti, sviluppare reazioni di risposta a bassa intensità (piante non efficienti) o esprimere in forma intensa dei meccanismi di adattamento che consentono di aumentare la capacità di assorbire ferro dalla dissoluzione nel terreno [Fig.7] (piante efficienti) [Mengel e Kirby, 2001]. All'interno di ciascun gruppo, il grado di risposta è differente, incluso tra specie e genotipi [Brown e Jolley, 1988; Shi et al., 1993]. Tra gli stati ossidativi in cui si presenta il ferro nel terreno - ferrico Fe^{3+} e ferroso Fe^{2+} - è comunemente accettato che la pianta assuma in preferenza il Fe^{2+} , che viene assorbito più facilmente dalle radici tramite un processo di assorbimento attivo [Uren, 1984]. Tuttavia, ci sono alcune piante in grado di assorbire ferro come Fe^{3+} chelato tramite molecole organiche.

Nel caso in cui la pianta assorba il ferro come Fe^{2+} in terreni ben aereati, condizione normale dei terreni coltivati è necessario effettuare precedentemente una riduzione dal Fe^{3+} al Fe^{2+} . Questo processo viene realizzato da un enzima reduttasi [Römheld, 1987], situato nella membrana plasmatica della radice. Il ferro è assorbito inoltre anche dall'epidermide fogliare e dalla superficie dei rami.

2.2 Strategie di assorbimento

In situazioni in cui esiste carenza di ferro, le piante superiori hanno sviluppato una serie di meccanismi per aumentare la disponibilità di ferro nella soluzione circolante del terreno. Tali piante si dividono in due gruppi, a seconda del modello di risposta che sviluppano in presenza di questa carenza: piante di strategia I e piante di strategia II [Marschner et al 1986; Brown e Jolley, 1988; Hopkins et al 1992].

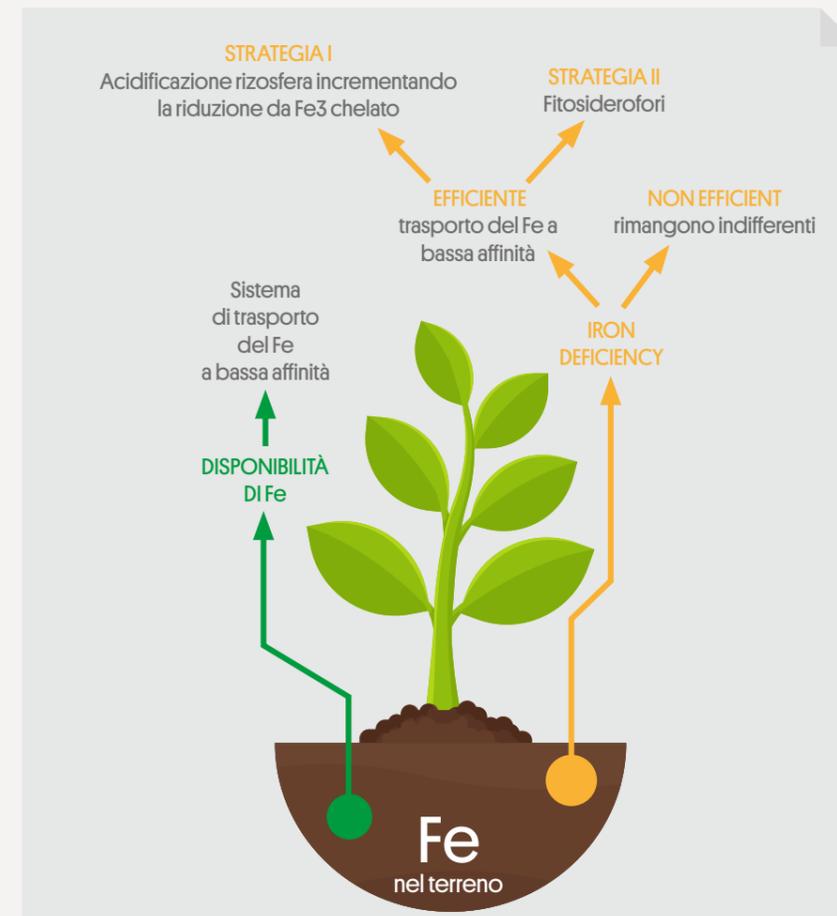


Fig. 7 Reazioni della pianta in caso di carenza di Ferro

LEGENDA

- UNIDIREZIONALE
- ↔ RECIPROCO

ANTAGONISMI

POTASSIO [K]	→	BORO [B]
MAGNESIO [Mg]	↔	POTASSIO [K]
MAGNESIO [Mo]	→	RAME [Cu]
RAME [Cu]	→	MANGANESE [Mn]
FOSFORO [P]	→	ZINCO [Zn]
		POTASSIO [K]
		RAME [Cu]
		CALCIO [Ca]
ZINCO [Zn]	→	FERRO [Fe]
		FERRO [Fe]
BORO [B]	→	POTASSIO [K]
FERRO [Fe]	→	FOSFORO [P]
AZOTO [N]	→	POTASSIO [K]
		RAME [Cu]
		BORO [B]
CALCIO [Ca]	↔	POTASSIO [K]
		MAGNESIO [Mg]
		NH ₄ ⁺
CALCIO [Ca]	→	MANGANESE [Mn]
		ZINCO [Zn]
		BORO [B]
		FOSFORO [P]
		FERRO [Fe]

SINERGISMI

AZOTO [N]	→	MAGNESIO [Mg]
MAGNESIO [Mg]	→	FOSFORO [P]
MOLIBDENO [Mo]	→	AZOTO [N]
POTASSIO [K]	→	MANGANESE [Mn]
		FERRO [Fe]
SOLFATO [SO ₂]	→	AZOTO [N]
		POTASSIO [K]
		RAME [Cu]
		MANGANESE [Mn]
		MAGNESIO [Mg]
FERRO [Fe]	→	MANGANESE [Mn]

Tab.2 Fenomeni di sinergismo ed antagonismo tra i nutrienti nel terreno

2.2.1 STRATEGIA I

Questo tipo di risposta viene sviluppata da tutte le piante tranne le monocotiledoni, ad eccezione delle graminacee. In condizioni di carenza di ferro, queste piante migliorano l'assorbimento tramite 3 reazioni:

1. Aumento dell'attività di una reduttasi unita alla membrana plasmatica nelle cellule del rizoderma. Tale aumento provoca una riduzione del Fe^{3+} con conseguente aumento della velocità di decomposizione della riduzione del Fe^{3+} agevolando l'assorbimento del ferro ridotto per la pianta.

Aumento dell'attività di una reduttasi unita alla membrana plasmatica nelle cellule del rizoderma. Tale aumento provoca una riduzione del Fe^{3+} con conseguente aumento della velocità di decomposizione della riduzione del Fe^{3+} agevolando l'assorbimento del ferro ridotto per la pianta.

2. Emissione di H^+ dalle radici nella rizosfera. Questa sottostrategia è meno frequente ed è presente soltanto in alcune dicotiledoni [Marschner et al., 1986; Zocchi e Cocucci, 1990; Toulon et al., 1992]. Tale effetto è correlato all'induzione di una porta protonica che dipende dall'ATP della membrana plasmatica [Zocchi e Cocucci, 1990; Toulon et al., 1992]. Aumentando la capacità di liberare protoni, si produce una diminuzione del pH della rizosfera, che permette di ottenere un aumento della solubilità del ferro presente nel terreno e dell'attività dell'enzima turbo reduttasi. La massima attività di tale enzima è a pH 6.5 come dimostrato in diversi lavori scientifici, sul funzionamento della porta protonica dove un ruolo di primo piano è svolto dal K^+ [Holden et al., 1991; Jolley et al., 1988].

3. Questa terza sottostrategia si mette in moto soltanto in alcune

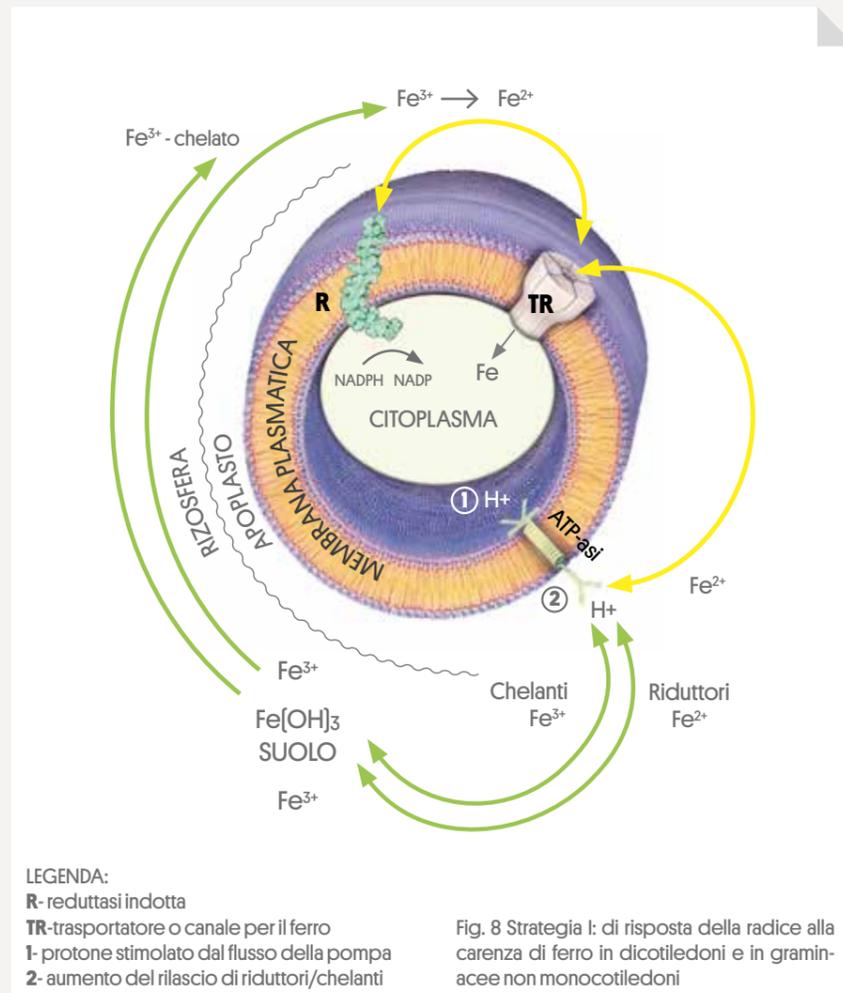


Fig. 8 Strategia I: di risposta della radice alla carenza di ferro in dicotiledoni e in graminacee non monocotiledoni

specie; le piante che presentano la strategia I si caratterizzano per l'induzione di un sistema di trasporto di ferro nella membrana plasmatica [Young e Terry, 1982; Fox et al., 1996; Fox e Guerinot, 1998]. Studi condotti su piante di cetriolo dimostrano che esistono due differenti sistemi di trasporto del ferro: uno ad alta e uno a bassa affinità. In condizioni di sufficienza di ferro, è il sistema a bassa affinità a fornire ferro alla pianta; in condizioni di carenza, invece, viene attivato il sistema ad alta affinità [Zaharieva e Römhald, 2000].

VARIAZIONI MORFOLOGICHE DELLA RADICE

Oltre a queste tre strategie, le piante che sviluppano questa strategia possono generare un altro tipo di risposta per aumentare la capacità di assorbimento di ferro dal terreno [Abadía 1998; López-Millán, 2000].

Tendono ad aumentare la superficie di contatto tra le radici e il terreno. Tali variazioni consistono nella formazione di peli radicali, nell'ingrossamento delle zone subapicali e nello sviluppo di cellule di trasferimento nella zona di ingrossamento [Welkie e Miller, 1993].

RILASCIO DI COMPOSTI CON BASSO PESO MOLECOLARE

Le radici delle piante sono in grado di rilasciare una gran varietà di composti organici, tra cui zuccheri riducenti, acido caffeico, aminoacidi, acidi organici, composti fenolici e flavine. Il quantitativo di essudati e la sua composizione dipendono dal pH, dalla temperatura, dal tipo di terreno, dall'intensità della luce, dall'età, dallo stato nutrizionale della pianta e dalla presenza di microorganismi [Jones, 1998].

VARIAZIONI IN PROTEINE DELLA RADICE

Vari studi effettuati tramite elettroforesi e trascrizione in vitro di mRNA della radice [Bienfait, 1988b; Herbig et al., 1996] hanno dimostrato che, in condizioni di carenza di ferro, si verificano variazioni nella sintesi proteica di vari polipeptidi.

2.2.2 STRATEGIA II

Questo tipo di risposta è sviluppato unicamente dalle graminacee. La strategia II di risposta delle piante di fronte a situazioni di carenza di ferro si caratterizza per la liberazione nella zona radicale di aminoacidi proteoinogenici a basso peso molecolare, chiamati fitosiderofori, che chelano il Fe^{3+} presente nel terreno e successivamente vengono assorbiti senza essere precedentemente ridotti tramite un sistema di trasporto di Fe^{3+} - fitosideroforo ad alta affinità [Römhald e Marschner, 1986; Takagi, 1976]. La liberazione di fitosiderofori avviene secondo il ritmo diurno caratteristico [Fig.9] e viene rapidamente ridotta con un nuovo apporto di ferro [Marschner, 1995].

Il ritmo diurno della liberazione di fitosiderofori in carenza di ferro è in relazione inversa con il volume di vescicole presenti nel citoplasma delle cellule corticali [Nishizawa e Mori, 1987].

Fitosideroforo [FS] è il nome assegnato all'acido mugineico e ai suoi derivati. I fitosiderofori sono liberati dalle radici e formano complessi stabili con Fe^{3+} incrementando così la quantità di ferro disciolto. La quantità di FS liberata dipende dal grado di resistenza alla clorosi [Kawai et al., 1988; Hansen et al., 1996].

Più è elevata la carenza, più aumenta la biosintesi di FS nella radice, con un aumento fino a 20 volte rispetto al valore delle piante di riferimento [Takagi et al., 1984]. Il trasporto del complesso fino al citoplasma della cellula avviene tramite una proteina specifica individuata

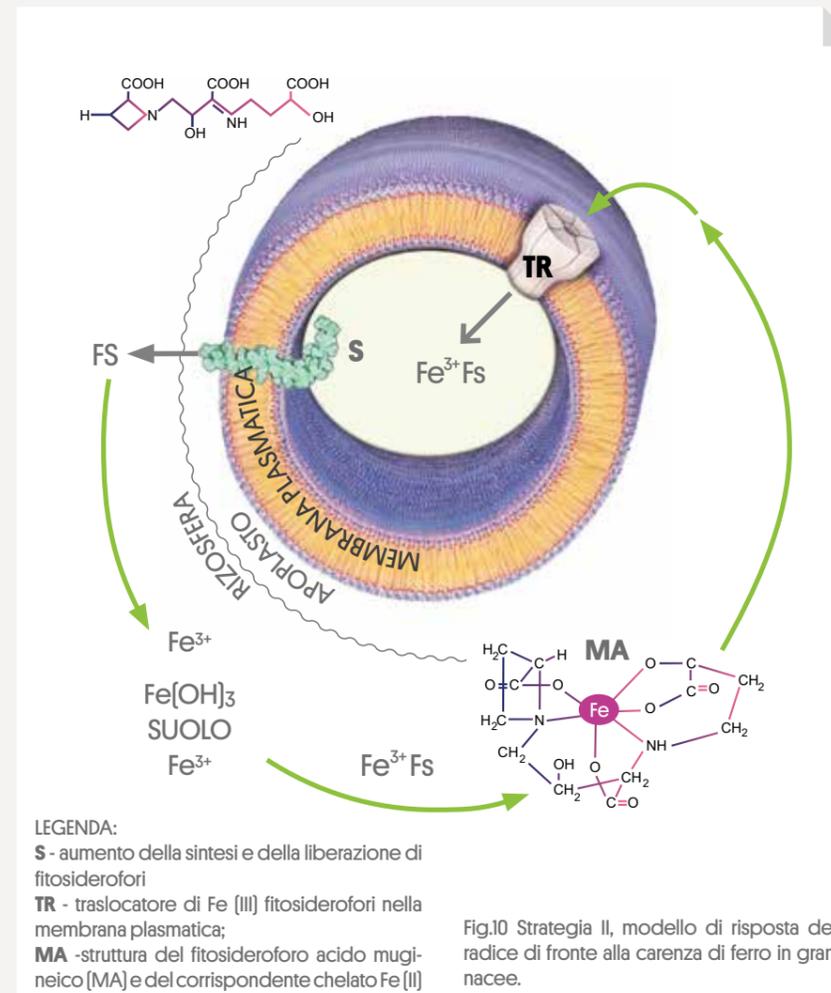


Fig.10 Strategia II, modello di risposta della radice di fronte alla carenza di ferro in graminacee.

recentemente [Curie et al., 2001] e localizzata nelle zone apicali della radice e dello stelo, che permette, inoltre, il trasporto del complesso Fe^{2+} -NA [NA=nicotianamina] ed, eventualmente, di altri metalli [Hell e Stephan, 2003]. Una volta che il complesso si trova nel citosol, il Fe^{3+} viene liberato e l'FS si degrada o viene rilasciato nuovamente all'esterno.

È stato verificato che sia l'FS libero che il complesso ferrico vengono assorbiti dalle radici della pianta [Kawai e Alam, 2005]. Ambedue mostrano un assorbimento diverso, pertanto le cellule della radice possono distinguere l'FS libero dal complessato, in modo che l'FS libero possa essere rilasciato nuovamente nella rizosfera.

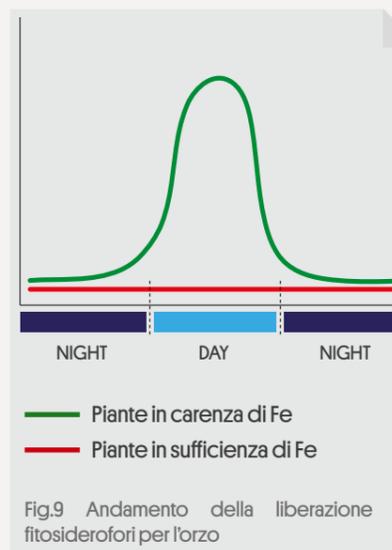


Fig.9 Andamento della liberazione di fitosiderofori per l'orzo

terreni in cui è presente una quantità sufficiente di ferro (Welkie e Miller, 1989). Tale accumulo di riboflavina si verifica perché la carenza di ferro genera alterazioni nel metabolismo delle purine, di conseguenza l'enzima xantina ossidasi risulta fortemente danneggiato [Schlee et al., 1968].

Altri sistemi di ferro non emimico sono gli isoenzimi superossido dismutasi, i quali sono responsabili dell'eliminazione dei radicali liberi anionici superossido, isoenzimi comuni principalmente nei

cloroplasti ma si possono rinvenire secondariamente anche nei mitocondri, nei perossisomi e nel citoplasma, o la xantina ossidasi, che opera in processi metabolici come la fotosintesi, la respirazione mitocondriale, la fissazione di N₂, la riduzione del SO₄²⁻ a SO₃²⁻, ecc [Droillar e Paulin, 1990].

Esistono una serie di enzimi meno conosciuti in cui il ferro è implicato come componente metallico in reazioni redox o come elemento di unione tra l'enzima e il substrato [Marschner, 1995]. Tra questi figurano

le lipossigenasi responsabili della regolazione della perossidazione dei lipidi e pertanto implicati nella senescenza cellulare e dei tessuti, nelle combinazioni incompatibili ospite-patogeno e, di conseguenza, nella resistenza alle malattie [Nagarathana et al., 1992].

Il ferro gioca un ruolo molto importante nella fotosintesi, non soltanto per la sua azione nella sintesi della clorofilla [Miller et al., 1984], ma anche per la sua influenza sulla morfologia dei cloroplasti [Terry e Abadía, 1986; Marschner, 1995].

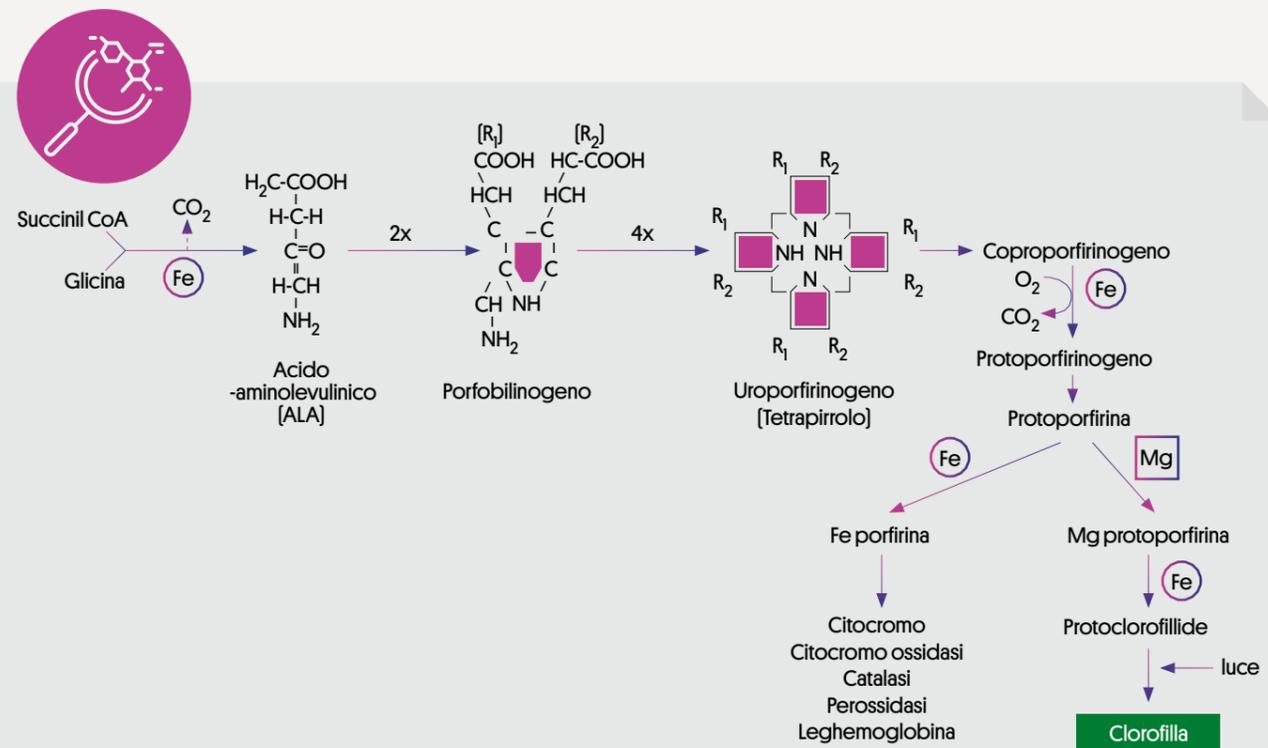


Fig.13 Ruolo del ferro nella sintesi della clorofilla [Marschner, 1995].



3

La clorosi ferrica

Giustino Sirolli - Global Research

3.1 LA CLOROSI FERRICA

La clorosi ferrica viene considerata una delle carenze nutrizionali più complesse [Pestana et al., 2003] ed è generata da diversi fattori associati alla disponibilità di ferro nel terreno e alla sua distribuzione nei tessuti della pianta [Lucena, 2000^a; Alvarez-Fernandez, 2000].

La clorosi ferrica si manifesta, in genere, con la perdita di colore verde nelle foglie, dovuta a una diminuzione della concentrazione di pigmenti fotosintetici, fondamentalmente di clorofille [Abadia e Abadia, 1993]. Normalmente appare nella zona intervenale delle foglie giovani mentre le nervature restano verdi: ciò è dovuto al fatto che il ferro è scarsamente distribuito nelle zone di crescita [Chaney, 1984].

Un aspetto importante della clorosi ferrica è che provoca la diminuzione o la disattivazione di tutti i processi fisiologici in cui interviene il ferro, in particolare nella sintesi di clorofilla, che si traduce in una riduzione della produzione e della qualità delle coltivazioni, arrivando a provocare perfino la necrosi prematura della pianta. I rimedi utilizzati attualmente per risolvere tale problematica sono: applicazione localizzata di sali e chelati di ferro alle piante (distribuzione al terreno o fogliare), modifica artificiale del pH della soluzione nel terreno (tramite applicazione di acidi organici o inorganici), uso di specie o cultivar capaci di assorbire il ferro in maniera più efficace [Olsen et al., 1987; Chen e Barak, 1982; Emery, 1982].

3.2 SINTOMI VISIVI

La carenza di ferro è la sintomatologia più facile da riconoscere da quelle causate da altri micronutrienti, poiché produce un tipo di clorosi piuttosto caratteristica.

I sintomi variano a seconda dell'età della foglia, della gravità della carenza e, a volte, delle condizioni del terreno.

Nelle graminacee, i sintomi sono più difficili da riconoscere, dato che possono confondersi facilmente con carenze di magnesio presentandosi ambedue sotto forma di bande gialle tra nervature verdi. Occorre considerare che la clorosi, spesso, è legata ad un problema di mobilità, più che di carenza reale del ferro, pertanto non è insolito che nella stessa pianta vi possano essere zone in cui la clorosi ferrica è presente ed altre in cui non lo è.

I sintomi visivi caratteristici sono:

- Le foglie vecchie sono di colore verde, mentre le foglie giovani cominciano a ingiallire. Diversi studi dimostrano che esiste una correlazione tra l'apporto di ferro e i contenuti di clorofilla nelle foglie.

- Nella misura in cui dura lo stato di carenza, è osservabile la tipica clorosi intervenale: i vasi restano verdi, mentre il lembo diviene giallognolo o biancastro.

- In casi di grave carenza, l'ingiallimento può diventare totale, e appaiono zone di necrosi sui bordi del lembo, con conseguente caduta precoce delle foglie e, in casi molto gravi, completa defoliazione.

- gli steli rimangono sottili e curvi e si verifica una considerevole riduzione della crescita.

- Nelle piante annuali si riscontra una diminuzione della crescita, un aspetto fragile e un calo produttivo. Gli alberi possono perdere le foglie e cominciare a seccare nelle parti periferiche, i frutti possono risultare piccoli e scarsamente colorati.

3.3 CORREZIONE DELLA CLOROSI FERRICA

La clorosi ferrica è considerata un fenomeno complesso; per tale ragione, la sua correzione costringe a tener conto di varie tecniche di prevenzione e trattamento.

La prima soluzione è la selezione genetica delle colture, che punta al miglioramento dei meccanismi di assorbimento del ferro tramite diminuzione della suscettibilità alla clorosi ferrica [Charlson et al., 2003]. L'utilizzo di piante tolleranti è considerata la miglior soluzione per combattere questa carenza nei terreni calcarei, anche se questa tecnica è lontana dal costituire una soluzione per alberi, frutteti e altre coltivazioni [Álvarez-Fernández et al., 2003a]. Tuttavia è una misura preventiva che viene adottata ovviamente prima di organizzare la piantagione. Una volta avviata la coltivazione, l'applicazione delle buone pratiche agricole risulta fondamentale per prevenire la comparsa della clorosi ferrica [Chen, 1997].

Tali pratiche consistono nell'eliminazione dei rischi di compattazione, alcalinizzazione e asfissia del terreno, favorendo un buon drenaggio e razionalizzando l'irrigazione.

Altra pratica diffusa nei frutteti e nei vigneti consiste nell'accostare piante annuali alla coltivazione principale, riducendo così la compattazione e aumentando la porosità, la permeabilità e il contenuto di sostanza organica del terreno.

Si tratta di una misura preventiva che viene realizzata prima della semina. Tuttavia, una volta avviata una coltura, l'applicazione di corrette pratiche agricole è cruciale nella prevenzione della clorosi ferrica [Chen, 1997].

In situazioni di carenza di ferro, la correzione deve essere effettuata con l'applicazione di fertilizzanti,

con o senza ferro, nel terreno o sulla pianta.

Tra i composti che apportano ferro si trovano i complessi ferrici, i chelati di ferro e i sali ferrici o ferrosi organici, che aumentano il contenuto di ferro nella pianta e nel terreno.

Tra quelli che non apportano direttamente ferro figurano gli acidificanti e la sostanza organica, che favoriscono la solubilizzazione del ferro.

Questi trattamenti possono essere applicati nel terreno allo stato liquido o allo stato solido, con fertirrigazione o applicazioni fogliari.



MOLTO SENSIBILI	MEDIAMENTE SENSIBILI	POCO SENSIBILI
AGRUMI, VITE SORGO, PESCO NOCCIOLO, PERO SOIA, ROSA, FRAGOLA, POMODORO ACTINIDIA	ERBA MEDICA ORZO MAIS RISO FRUMENTO AVENA	MELO PATATA BARBABIETOLA

Tab.3 Sensibilità delle diverse colture alla carenza di ferro

Fig.14-19 sintomi visivi della clorosi ferrica nelle piante



Fig.14 Clorosi ferrica nel mais



Fig.16 Clorosi ferrica nella rosa



Fig.18 Clorosi ferrica nel ciliegio



Fig.15 Clorosi ferrica nella vite



Fig.17 Clorosi ferrica nel pesco



Fig.19 Clorosi ferrica nell'azalea





4

I Chelati

Angelo Squadrone, Luciano Di Sciuolo, Antonio Menna, Giuseppe Iezzi, Antonio Coccia, Giulio Maria Cocco - Global Operations

4.1 LE MOLECOLE CHELANTI

I chelati sono anioni organici complessi, chiamati agenti chelanti o ligandi, con due o più gruppi funzionali capaci di condividere coppie di elettroni con uno ione metallico centrale. In questo modo, si forma una struttura ciclica che trattiene il metallo e ne impedisce la precipitazione.

La formazione di chelati con il ferro garantisce un aumento nella solubilità e maggiore stabilità, favorendone il trasporto fino alle radici della pianta. Esistono due gruppi di agenti chelanti, entrambi derivati di acidi poliamminocarbossilici, distinguibili a seconda del fatto che nella loro struttura contengano o meno gruppi fenolici. Da una parte, ci sono gli agenti chelanti che hanno una struttura simile a quella dell'EDTA, i quali vengono chiamati non fenolici; dall'altra, quelli che strutturalmente assomigliano all'o,o-EDDHA, che vengono chiamati fenolici, come ad esempio l'EDDHA o l'EDDHSa.

La figura 20 mostra la struttura delle molecole o,o-EDDHA.

La struttura degli agenti chelanti fenolici presenta sei gruppi funzionali donatori di elettroni: due acidi carbossilici, due amine secondarie e due fenoli. La forza della coordinazione dei gruppi donatori è associata all'acidità del metallo e alla basicità del protone dell'ossigeno e dell'azoto donatore. La maggior capacità degli agenti chelanti fenolici rispetto ai non fenolici è dovuta alla sostituzione degli ossigeni carbossilici con due ossigeni fenolici, assai più basici, e conferisce ai primi un'efficacia nel mantenere il Fe³⁺ in soluzione nei terreni calcarei [Lindsay, 1979].

	R1	R2
o,o-EDDHA	H	H
EDDHSa	SO ₃ K	SO ₃ K

Tab.4 Radicali degli agenti chelanti fenolici

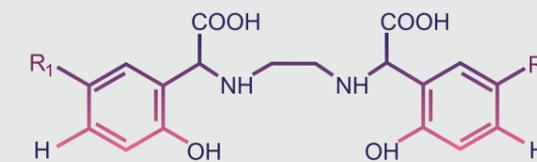


Fig.20 Struttura generale degli agenti chelanti fenolici.

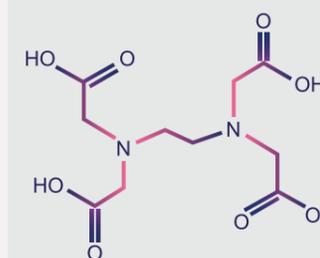


Fig.21 Struttura dell'agente chelante EDTA

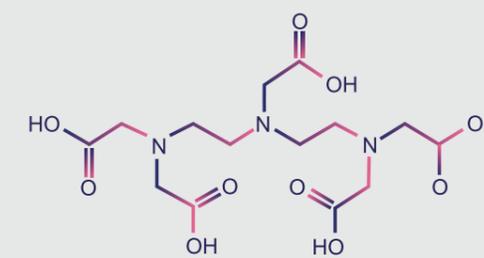


Fig.22 Struttura dell'agente chelante DTPA

4.2 STABILITÀ DEI CHELATI DI FERRO

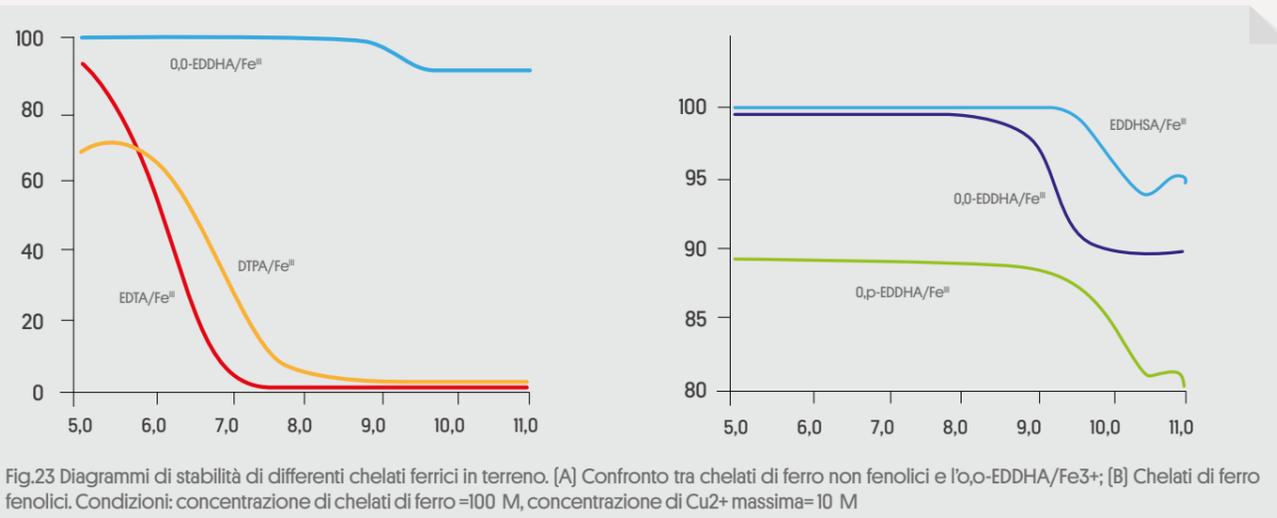
I fattori che influenzano la stabilità dei chelati di ferro sono: tipologia di agente chelante e di ione metallico e le condizioni del terreno (luce, microorganismi, temperatura, forza ionica, pH, pressione parziale di CO₂, potenziale redox e presenza di altri ioni) [Álvarez-Fernández, 2000]. Le costanti di stabilità di vari agenti chelanti con Fe³⁺ sono illustrate nella Tabella 5. Si può notare come le costanti di stabilità dei chelati di ferro fenolici sono simili tra loro e considerevolmente superiori a quelle dei chelati di ferro non fenolici, eccetto quella dell'o,p-EDDHA/Fe³⁺.

Queste differenze nella stabilità vengono attribuite fondamentalmente alla struttura dei ligandi. La stabilità dei chelati di ferro di ligandi esadentati aumenta con il numero di gruppi fenolici disponibili nella coordinazione. Così, quando si scambiano due carbossilati dei chelati non fenolici con due fenolati per dare origine a o,o-EDDHA o EDDHSa, la stabilità del chelato di ferro aumenta [tabella 5].

Inoltre, i chelati di ferro aumentano la loro stabilità all'aumentare del numero di gruppi donatori disponibili per coordinarsi in una disposizione ottaedrica con il Fe³⁺. La conseguenza è una minore costante di stabilità per l'o,p-EDDHA/Fe³⁺ rispetto all'o,o-EDDHA/Fe³⁺ e al resto dei chelati fenolici. Nella molecola di o,p-EDDHA/Fe³⁺, il gruppo idrossi fenolico in posizione para rispetto alla catena aminocarbossilica non si unisce al ferro e questa posizione viene occupata da una molecola di acqua [Yunta et al., 2003a].

EDTA	25,0
DTPA	27,3
o-o EDDHA	35,9
o-p EDDHA	28,72
EDDHSa	32,79
HBED	39,01

Tab. 5 Logaritmo delle costanti di stabilità ([Fe³⁺]/[Fe]³⁺·[L]) con Fe³⁺ dell'EDTA e del DTPA [Martell and Smith, 1974], dei regioisomeri e diastereoisomeri sia dell'o,o-EDDHA sia dell'EDDHSa [Yunta et al., 2003 a e b].



4.3 QUALITÀ DEI CHELATI

Il numero di legami ferro-molecola chelante può variare da 4 a 6 a seconda di come sono legati i gruppi fenoli al resto della molecola tramite il carbonio, in posizione para o anche in orto-orto. Le molecole orto-orto si legheranno al ferro con 6 legami, le orto-para con 5 legami, mentre le para-para con soli 4 legami (in maniera analoga a quanto avviene con il ferro EDTA). L'influenza del numero di legami risulta fondamentale sulla stabilità delle molecole chelanti sopra citate, vale a dire sulla loro capacità di impedire che il ferro venga insolubilizzato in ambiente alcalino. Pertanto, nei prodotti commerciali

a base di EDDHA-EDDHA, l'elevata percentuale di molecole ortoorto è sinonimo di garanzia di efficacia

4.4 I CHELATI DI FERRO E IL LORO USO IN AGRICOLTURA

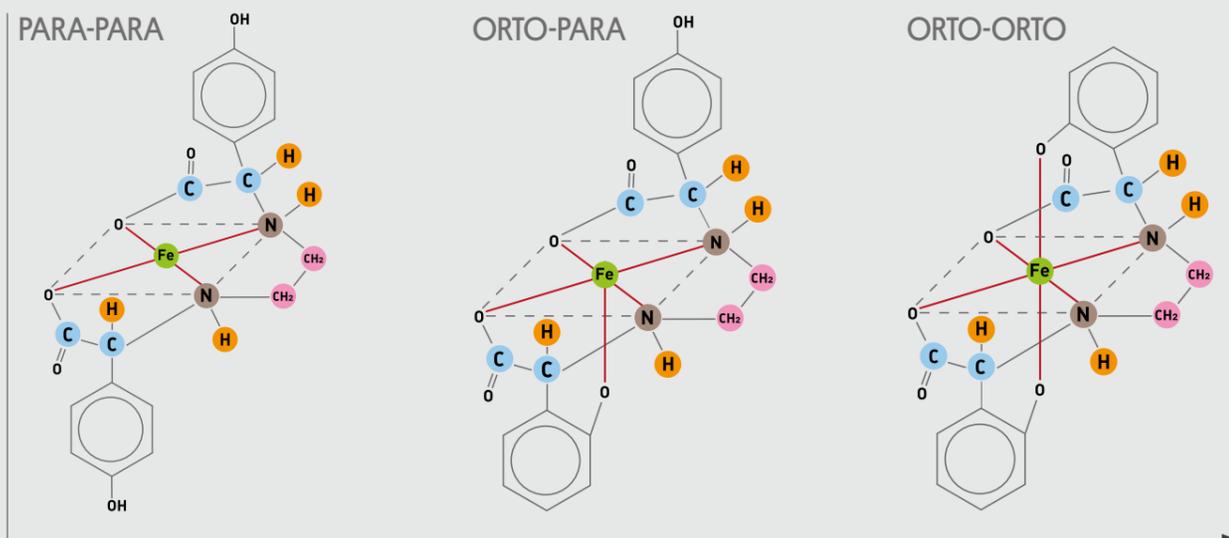
I chelati di ferro vengono utilizzati in agricoltura per soddisfare le esigenze nutrizionali delle colture in condizioni pedoclimatiche sfavorevoli. Possono essere usati seguendo due differenti strategie:

- Preventiva, quando i sintomi visibili non sono ancora manifesti: l'obiettivo è evitarne la comparsa.

- Curativa, quando la clorosi ferrica risulta visibile: l'obiettivo è recuperare il corretto stato nutrizionale della pianta.

In base alla modalità di applicazione, è possibile distinguere in chelati di ferro prevalentemente a uso radicale (fenolici: EDDHA, EDDHSA), e a uso fogliare (non fenolici: EDTA, DTPA).

I chelati fenolici sono utilizzati principalmente per via radicale, perché risultano essere più stabili rispetto a quelli non fenolici, negli intervalli di pH che normalmente si rilevano in terreni comunemente soggetti a carenza di ferro.



QUALITÀ

Fig.25 Qualità dei diversi isomeri di chelati EDDHA

4.5 GLI AGENTI CHELANTI DELLA LINEA FERRILENE

Fe-EDDHA

• Si tratta di un complesso nel quale il ferro è legato a una molecola organica attraverso più legami di coordinazione (preferibilmente 6), nell'isomero orto-orto.

• In tale complesso o chelato il ferro risulta pienamente disponibile e le radici possono assorbirlo attivamente.

• Dal punto di vista agronomico, la frazione o-o del complesso EDDHA conferisce al Fe stabilità e persistenza nel terreno ed è pertanto utile per curare una sua carenza in condizioni estreme.

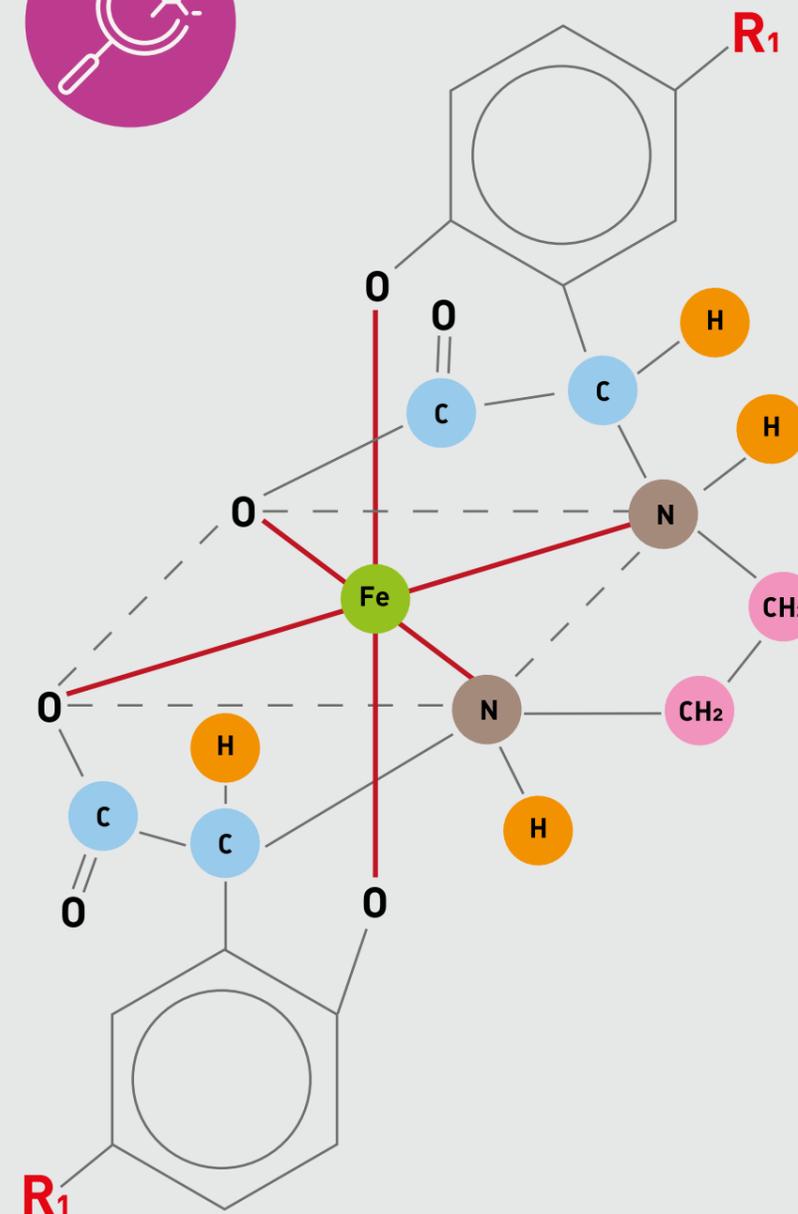
Fe-EDDHA

• Si differenzia dalla molecola EDDHA per la presenza del gruppo solfonico in posizione para nell'anello benzoico del fenolo di struttura.

• Per la sintesi si usa il sale di potassio. Apporti adeguati di potassio, infatti, migliorano l'assorbimento del ferro da parte del tessuto vegetale.

• Dal punto di vista agronomico, la frazione o-o del complesso EDDHSA conferisce al Fe stabilità e rapidità d'azione, qualità che rendono più veloce il processo di rinverdimento nelle piante

Inoltre, la solubilità del Fe-EDDHA è circa 3-4 volte maggiore di quella del Fe-EDDHA. La presenza di gruppi solfidrilici rende i gruppi fenolici più acidi, il che si traduce in un aumento dell'affinità del ferro per questo chelante. [Klem-Marciniak Molecules 2021, 26, 1933].



Fe-EDDHA	R ₁ =H
Fe-EDDHA	R ₁ =SO ₃ K

Fig.26 Struttura degli agenti chelanti Fe-EDDHA, Fe-EDDHA





5

La linea Ferrilene

Rita Basile - Global Marketing & Development

5.1 STORIA DEGLI AGENTI CHELANTI

PRODUCIAMO I NOSTRI CHELANTI!

Valagro è una delle più importanti aziende al mondo che produce prodotti a base di ferro chelato nel suo impianto di sintesi.

La capacità di produrre direttamente chelati di ferro è importante, in quanto consente a Valagro di controllare e garantire la qualità dei prodotti finali. I prodotti chelati vengono sempre controllati e analizzati dal nostro laboratorio interno prima di essere confezionati e commercializzati.

Ferrilene è una linea completa dei migliori chelati di ferro (EDDHA; EDDHA) per tutte quelle condizioni in cui nel terreno la disponibilità di ferro è ridotta. Questi chelati possono fornire alle piante ferro nell'intervallo di pH 4 -10. Il chelato aumenta la solubilità del ferro e lo trasporta fino alla radice della pianta, dove viene rilasciato rapidamente. In tale linea troviamo il Ferrilene Trium, che grazie ai suoi componenti ha la peculiarità di avere una triplice azione contro la clorosi ferrica, il Ferrilene 4.8, ed il Ferrilene.

STORIA DELL'IMPIANTO DI CHELAZIONE

Nel 1991 in Valagro (allora ancora denominata Farmer) iniziò la costruzione del nuovo capannone per lo stabilimento dei chelati, in cui la figura di Valagro Chemist (Leo Giannantonio attualmente Global Q-EHS & Compliance Director) ebbe un ruolo determinante, coprendo così tutte le esigenze dei terreni agricoli, dei loro proprietari e molto altro ancora. Proveniente da quel settore specifico, Leo sapeva che i micronutrienti chelati venivano prodotti da poche industrie in tutto il mondo e, pur costituendo un'attività di nicchia, anche le piccole produzioni garantivano alti margini economici.

Conosceva anche le proprietà di quelle molecole che imprigionavano il nutriente, come le chele di un granchio, veicolandolo



“Siamo chimici, cioè cacciatori: ... la natura è immensa e complessa, ma non è impermeabile all'intelligenza; devi girarle intorno, pungere, sondare, cercare il varco o fartelo.”
Primo Levi

integro alla pianta ed evitandone la solidificazione e la dispersione nel terreno. La scadenza del brevetto di Ciba per i micronutrienti chelati significava che non erano più costosi da produrre, ma pochissime industrie lo stavano facendo. Giuseppe e Ottorino si resero conto che sarebbe stato più economico produrre in proprio, considerando che avevano già gli impianti. Infatti, non solo sarebbero stati in grado di confezionare e vendere i chelati, ma avrebbero potuto anche utilizzarli per produrre altri fertilizzanti, come ad esempio quelli di tipo idrosolubile, ed ovviamente la produzione dei propri ingredienti avrebbe assicurato la qualità che era diventata fondamentale per l'azienda, in quanto unico aspetto capace di creare la differenza.

La scommessa sui chelati presto fu vinta. La struttura gestita da Pino

Codagnone, che ne divenne subito la personificazione avendone curato l'intero processo di installazione, dopo un paio d'anni era a pieno regime, facendo sì che incrementasse notevolmente il fatturato. Ciò è stato ottenuto grazie al fatto che la potenziale clientela dell'azienda è stata allargata ad altri tipi di industrie che utilizzano micronutrienti in altri settori produttivi, portando Farmer a rilevare la Siso di Milano, la stessa fabbrica in cui precedentemente lavorava Leo, e diventare l'unica azienda italiana a produrre agenti chelanti. Più investimenti, più ricerca e sviluppo, più ricavi, più profitti: è stato un circolo virtuoso, un percorso ben definito che ha continuato a rafforzare l'intera struttura.

Fonte: 2020 Valagro Book- Creating the future. Dal 1980

FERRILENE 4,8 E FERRILENE

[Zero clorosi dai nostri impianti]

CARATTERISTICHE

In quest'ultima classificazione, troviamo varie concentrazioni di ferro chelato orto-orto nonché gli agenti chelanti più importanti del ferro come il Fe-EDDHA e il Fe-EDDHA. Questo gruppo di chelati apporta, in modo stabile ed efficace, il ferro necessario per le coltivazioni in condizioni difficili, e rappresentano uno strumento importante nella cura e nella prevenzione della clorosi ferrica.

Questo gruppo di prodotti contiene al tempo stesso gli isomeri orto-orto e orto-para e il potassio, garantendo così grandi vantaggi, dal punto di vista agronomico, rispetto ad altri prodotti presenti sul mercato. All'interno della linea Ferrilene troviamo quindi formulati capaci di apportare ferro in situazioni difficili e con un effetto rapido e durevole; i prodotti non sono fitotossici, sono disponibili in microgranuli che non generano polveri e assicurano una solubilità rapida e completa.

**FERRILENE TRIUM**

[Tripla azione contro la clorosi Ferrica]

CARATTERISTICHE

L'inclusione recente del FERRILENE TRIUM all'interno della gamma FERRILENE arricchisce e consolida la linea, dal momento che Ferrilene

COMPOSIZIONE

PRODOTTO	FERRILENE 4.8	FERRILENE
AGENTE CHELANTE	EDDHA	EDDHA
FERRO SOLUBILE IN ACQUA	6%	6%
FRAZIONE CHELATA	100%	100%
% FERRO ORTO-ORTO	4,8%	3,8%

MODALITÀ D'USO E DOSAGGIO

PRODOTTO	FERRILENE 4.8	FERRILENE
POMACEE Kg/ha	5-30	10-30
DRUPACEE Kg/ha	5-30	10-30
FRAGOLA Kg/ha	5-15	5-15
AGRUMI Kg/ha	5-30	10-30
UVA DA TAVOLA Kg/ha	5-30	10-30
ACTINIDIA Kg/ha	5-30	10-30
ORTAGGI / COLTURE INDUSTRIALI Kg/ha	5-15	5-15
FLORICOLE Kg/ha	5-15	5-15
PIANTE IN VASO g/pianta	0,5 - 2	0,5 - 2

Trium fonda la propria efficacia su una serie di elementi interagenti che ne fanno un prodotto completo e unico per la cura della clorosi ferrica.

FERRILENE TRIUM contiene diversi componenti che interagiscono nel complesso terreno-pianta nel modo illustrato nella figura successiva. Tutto questo è racchiuso in

un microgranulo complesso altamente solubile, ottenuto tramite una reazione chimica specifica sviluppata da VALAGRO e frutto della tecnologia GEAPOWERS. Questo prodotto è l'ultima innovazione tecnologica, frutto della ricerca e sviluppo di Valagro e segna una svolta nella prevenzione e cura della clorosi ferrica.

COMPOSIZIONE

1. In FERRILENE TRIUM si trovano due tipologie di ferro chelato - Fe-EDDHA e Fe-EDDHA - in posizione orto-orto. Il Fe-EDDHA si distingue per la stabilità e la persistenza nel terreno. Il Fe-EDDHA è un chelato stabile e al tempo stesso altamente solubile, peculiarità in grado di conferire un'azione rapida. Nella sintesi del prodotto viene utilizzato come materia prima del sale di potassio. Il potassio somministrato in quantità adeguate ottimizza l'assorbimento del ferro, per cui tale presenza nel formulato è una caratteristica agronomica estremamente positiva.

2. Ferrilene Trium fornisce un equilibrato rapporto ferro-manganese: per tale motivo, in questa sezione descriveremo sinteticamente l'importanza del manganese nella pianta. Questo micronutriente viene assorbito dalla pianta principalmente in forma bivalente [Mn²⁺].

In questo modo, si combina rapidamente con i ligandi organici, nei quali può essere rapidamente ossidato a Mn (III) e Mn (IV). Il manganese ha diverse funzioni nel metabolismo della pianta; studi documentati e approfonditi riguardano la rottura della molecola di acqua e il sistema di sviluppo dell'O₂ della fotosintesi che avviene nei cloroplasti ed è conosciuta come reazione di Hill; la carenza di manganese interessa di conseguenza la fotosintesi e lo sviluppo dell'O₂.

Inoltre, il manganese opera come catalizzatore della sintesi della clorofilla ed è coinvolto nelle reazioni di ossidoriduzione delle piante. È un attivatore enzimatico che interviene nella sintesi del glutatone, nell'attivazione della metionina, nel controllo ormonale e nella sintesi proteica.

Il Mn opera anche come

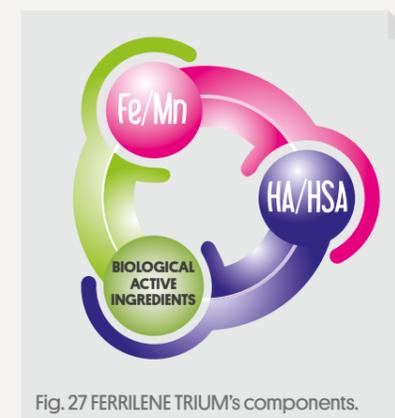


Fig. 27 FERRILENE TRIUM's components.

importante cofattore per vari enzimi fondamentali per la biosintesi dei metaboliti secondari della pianta associati alla via dell'acido scichimico, tra cui aminoacidi aromatici fenolici, cumarine, lignine e flavonoidi.

La compresenza di Ferro e Manganese in Ferrilene Trium, sotto forma di chelati fortemente stabili, garantisce il mantenimento di un ottimale rapporto tra questi due elementi, evitando il fenomeno della clorosi secondaria.

AZIONE	RESULT
1. facilita l'assorbimento del Ferro mediante due distinti agenti chelanti Fe-EDDHA/ Fe-EDDHA	ha un'azione sia veloce [EDDHA] che persistente [EDDHA] sulla cura e sulla prevenzione della clorosi ferrica
2. la componente organica stimola l'attività delle porte protoniche	migliora le capacità di assorbimento delle piante rendendole più forti e rigogliose
3. Biological active ingredients improve the activity of the proton gates.	Improves the plant's absorption ability, making it stronger and more vigorous.

3. La presenza di ingredienti biologicamente attivi rende Ferrilene Trium un prodotto unico che offre una risposta integrale alla cura e prevenzione della clorosi ferrica.

La tripla azione di Ferrilene Trium è: I componenti biologicamente attivi con attività biostimolante agiscono direttamente sulla radice aumentando i livelli di assorbimento di Ferro e Manganese e migliorando il contenuto di clorofille delle foglie.

5.2.3 MODALITÀ D'USO E DOSAGGIO (FERTIRRIGAZIONE)

PRODOTTO	FERRILENE TRIUM
POMACEE	10-30 Kg/ha
DRUPACEE	10-30 Kg/ha
FRAGOLA	5-15 Kg/ha
AGRUMI	10-30 Kg/ha
UVA DA TAVOLA	10-30 Kg/ha
ACTINIDIA	10-30 Kg/ha
ORTAGGI/ COLTURE INDUSTRIALI	5-15 Kg/ha
FLORICOLE	5-15 Kg/ha
PIANTE IN VASO	0,5 - 2 g/pianta

PRODOTTO	FERRILENE TRIUM
AGENTE CHELANTE	EDDHA/ EDDHA
FERRO SOLUBILE IN ACQUA	6%
FRAZIONE CHELATA	100%
% FERRO ORTO-ORTO	4,0%
MANGANESE [Mn-EDTA]	1%
POTASSIO [K ₂ O]	6%





6

Approccio fenomico

Stefano Di Russo - Plant phenotyping associate

6. APPROCCIO FENOMICO SU ACTINIDIA

Utilizzando il sistema Scanalyzer 3D, otteniamo immagini a diverse lunghezze d'onda (RGB, UV, NIR) e osservare gli effetti del prototipo in analisi sul fenotipo della pianta.

Standardizzazione delle condizioni di crescita delle piante [irrigazione, microclima, suolo] e dati computerizzati la gestione ci consente di analizzare in modo efficiente i risultati di oltre 3.000 impianti al giorno.



Fig. 28 Sistema Scanalyzer 3D.

Iniziamo a vedere il test su ACTINIDIA, varietà Hayward: in questa prova sono stati testati 7 chelati diversi rispetto al non trattato. È stata eseguita 1 applicazione per ciascuno quando è comparsa la clorosi.

Informazioni generali

Luogo	Metaponto (MT)
Varietà	Hayward
Investimento (p/ha)	-
Livello della prova	II



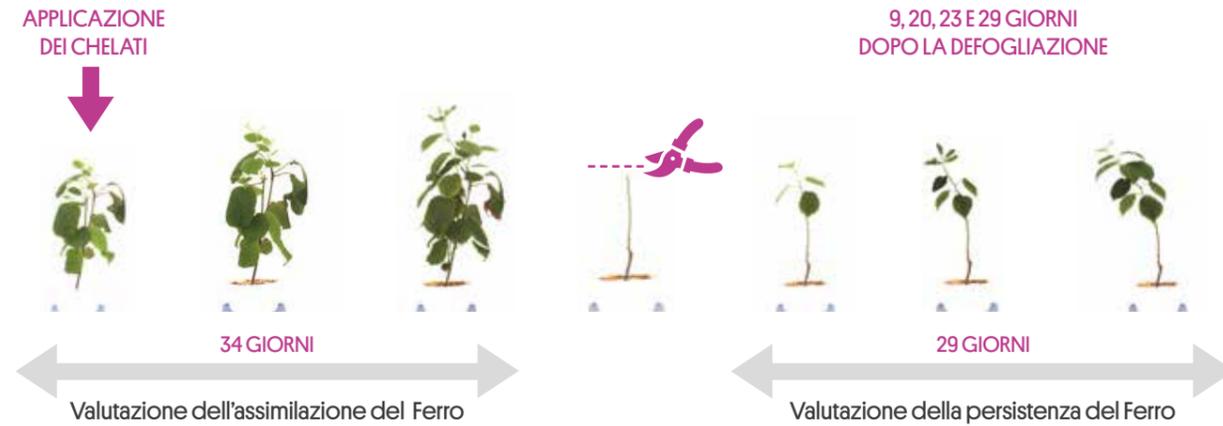
Data e fase fenologica in cui sono state fatte le applicazioni

N°	Trattamento	Data	Fase di crescita
1°	A	04/07/2012	alla comparsa della clorosi

Trattamenti

Trattamento	Dose	N° di applicazioni	Volume d'acqua	Epoca d'intervento
FERRILENE 4,8	5 g/pianta	1	100 ml/pianta	A
FERRILENE TRIUM	5 g/pianta	1	100 ml/pianta	A
Non trattato	-	-	-	-

In queste prove abbiamo valutato l'assimilazione del ferro fino a 34 giorni dopo l'applicazione dei chelati. Successivamente abbiamo tolto le foglie per valutare la persistenza del ferro nel terreno fino a 29 giorni dopo la defogliazione. In entrambi i casi sono state rilevate biomasse digitali, aumento delle classi di colore e bassa fluorescenza. Iniziamo a vedere la valutazione dell'assimilazione del ferro.

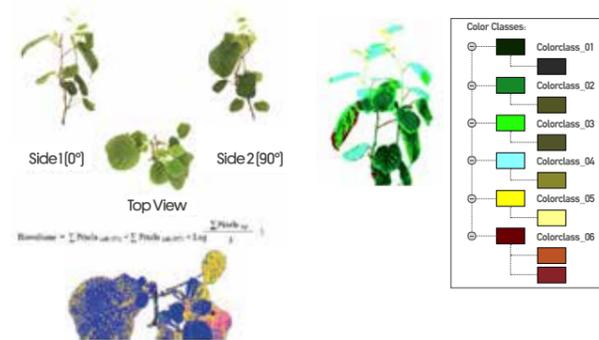


1. RGB [Rosso-Verde-Blu] → crescita e colore

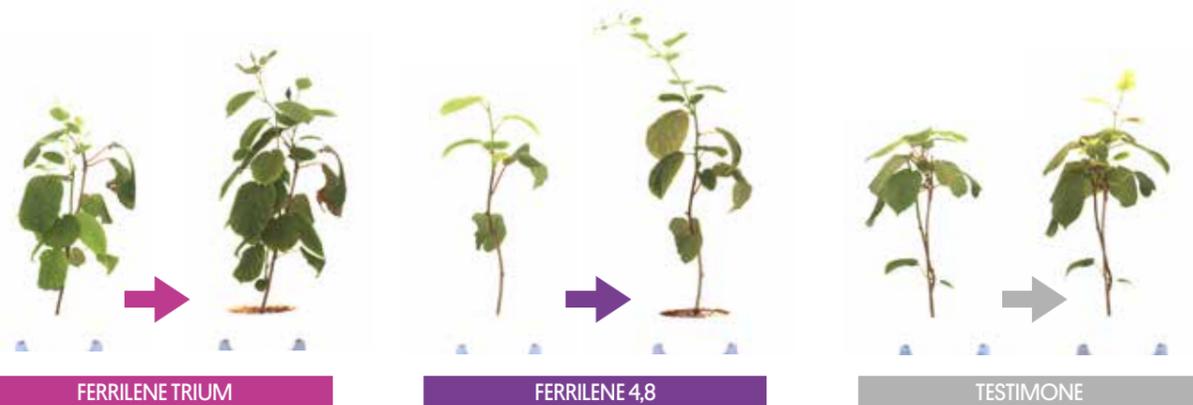
- Biomassa digitale
- Aumento delle classi di colore

2. UV [ultra violetti] → attività fotosintetica

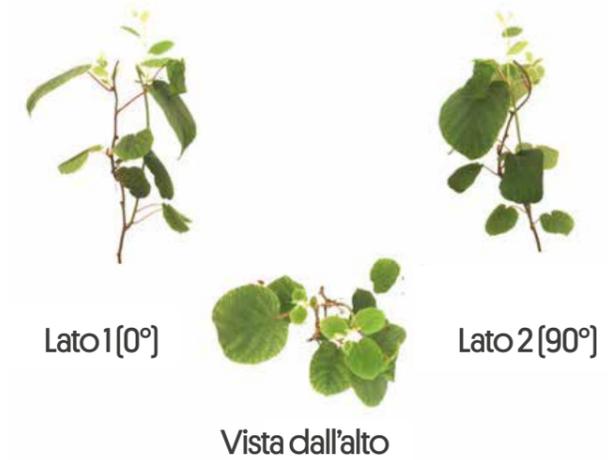
- Bassa fluorescenza



RGB: VALUTAZIONE DELL'ASSIMILAZIONE DEL FERRO – BIOMASSA DIGITALE

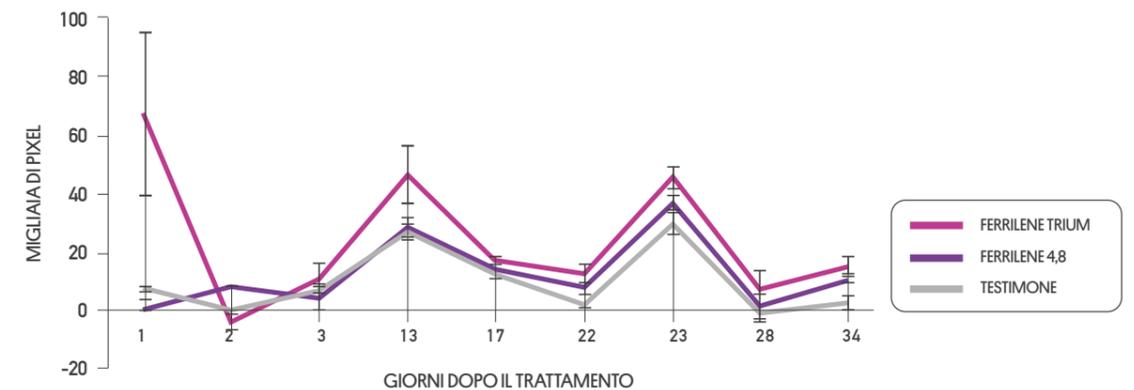


Sono immagini riprese in camera RGB prima dell'applicazione. Vediamo la crescita della pianta dopo l'applicazione dei chelati. Questa è la situazione 34 giorni dopo l'applicazione. Come si può vedere il testimone non trattato ha mostrato alcune foglie apicali gialle rispetto agli altri trattamenti.



$$\text{Biovolume} = \frac{\sum \text{Pixels}_{\text{side } (0^\circ)} + \sum \text{Pixels}_{\text{side } (90^\circ)} + \frac{\sum \text{Pixels}_{\text{top}}}{3}}{3}$$

In camera RGB abbiamo preso per ogni trattamento 3 immagini differenti: vista laterale, dall'alto e laterale a 90 gradi; quindi attraverso questa formula la stazione di calcolo ha calcolato la biomassa digitale.



Il prototipo Ferrilene 4,8 ha mostrato il miglior risultato in termini di biomassa digitale. Poi abbiamo valutato l'aumento delle classi di colore dal verde scuro al marrone.

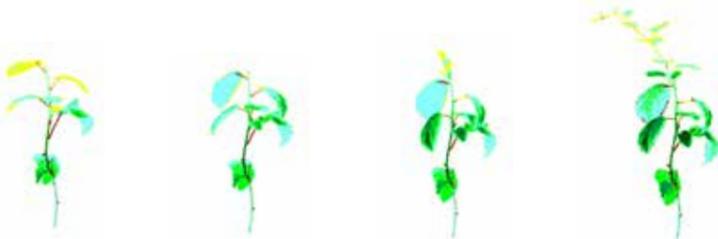


AUMENTO DELLE CLASSI DI COLORE

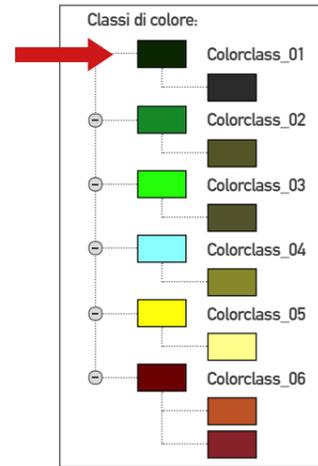
FERRILENE TRIUM



FERRILENE 4,8

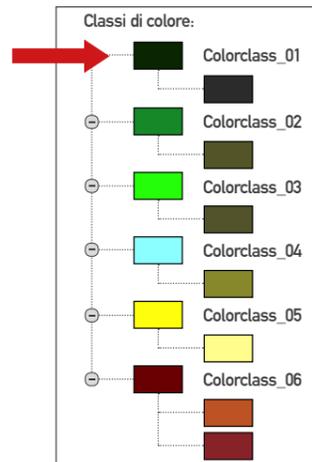
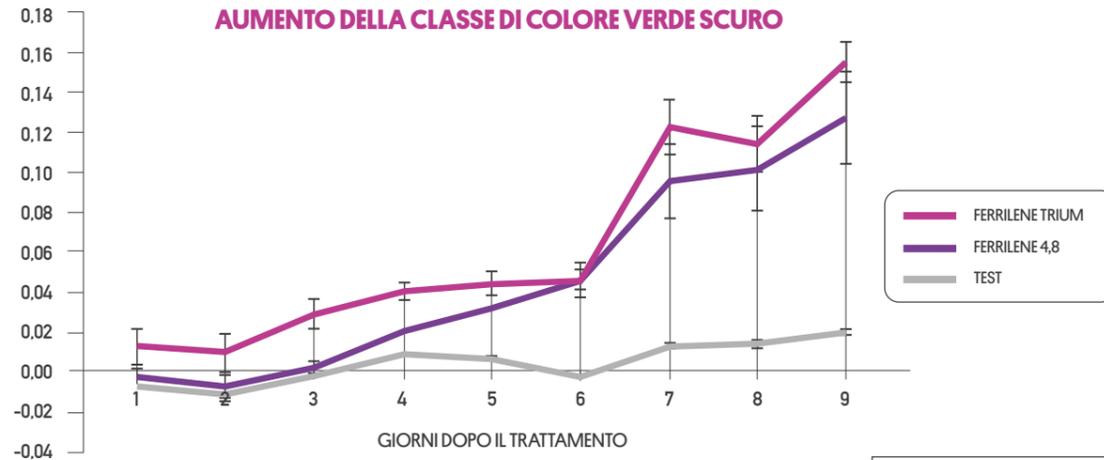


TESTIMONE



Questa è la situazione prima dei trattamenti... mentre sono stati presi 34 giorni dopo l'applicazione. Ora vedremo i risultati sull'aumento dei colori verde scuro e giallo che sono le classi cromatiche più rappresentative.

AUMENTO DELLA CLASSE DI COLORE VERDE SCURO



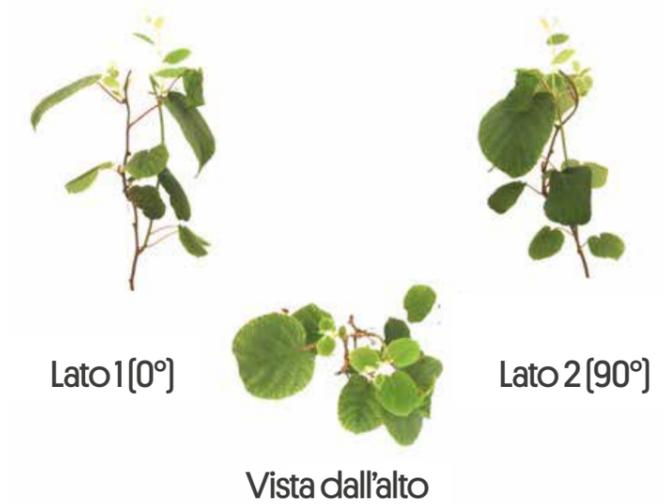
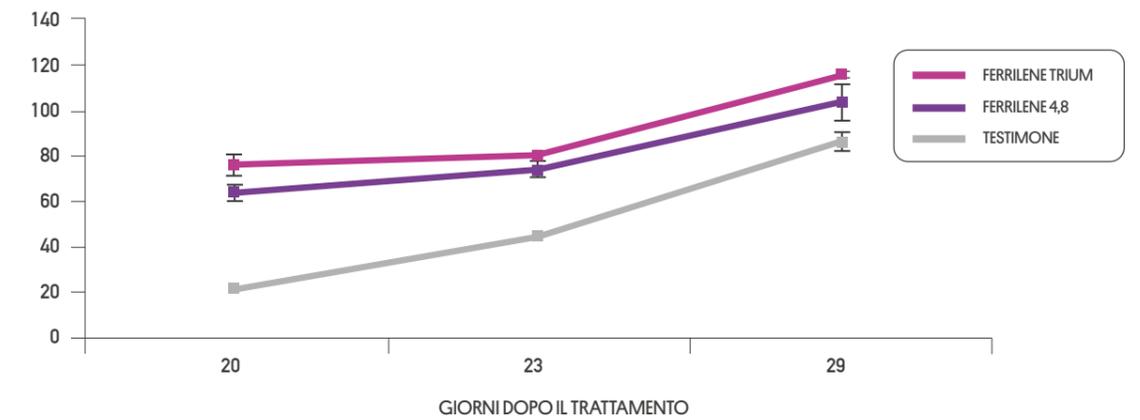
C'è stato il primo gruppo di chelati che include Ferrilene 4,8 e Ferrilene Trium che ha mostrato i migliori risultati.

RGB: VALUTAZIONE DELLA PERSISTENZA - BIOMASSA DIGITALE

Ora vedremo la persistenza del ferro nel terreno dopo la defogliazione della pianta.



Questo è nella camera RGB... dove è possibile vedere una chiara differenza tra piante trattate e i testimoni non trattati che hanno mostrato molta clorosi.



$$\text{Biovolume} = \sum \text{Pixels}_{\text{side}(0^\circ)} + \sum \text{Pixels}_{\text{side}(90^\circ)} + \text{Log} \left(\frac{\sum \text{Pixels}_{\text{top}}}{3} \right)$$



AUMENTO DELLE CLASSI DI COLORE

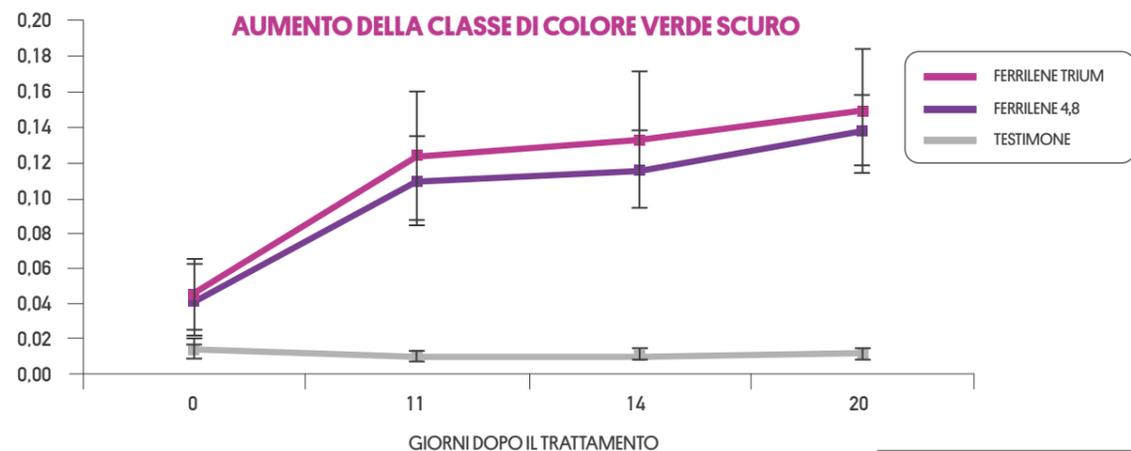
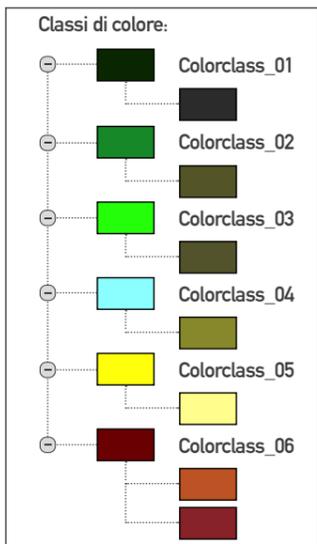
FERRILENE TRIUM



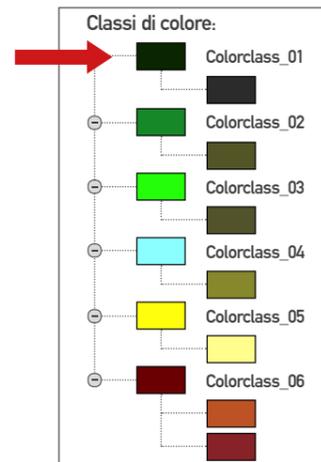
FERRILENE 4,8



TESTIMONE



Tutti i prototipi hanno aumentato la classe verde scuro.



7
Prove agronomiche



FERRILENE 4,8

Pesco



LOCALITÀ
Catania



VARIETÀ
Baby gold 7



METODO DI APPLICAZIONE
Fertirrigazione localizzata



Informazioni sulla coltura e caratteristiche del terreno

Trial ID:
FERRILENE 12.OPEAC.01ITA_X



Distanza tra le file	4,5 m
Distanza nelle file	2,0 m
p/ha	1000



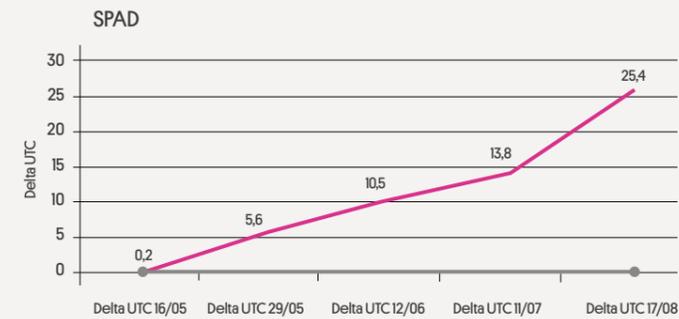
Terreno con alto contenuto di carbonati e pH elevato, dove il Ferro [Fe] non è disponibile naturalmente per la pianta e necessita di essere integrato nel terreno con fertilizzanti chelati di ferro.

Protocollo della prova

PRODOTTO	# num. di applicazioni	Dosaggio [kg/ha]	1° applicazione	2° applicazione	3° applicazione
NON TRATTATO	-	-	-	-	-
FERRILENE 4,8	3	5	16/05 Sviluppo frutti	29/05	26/06

Le applicazioni di fertilizzanti sono state effettuate a livelli di produzione standard.
Le applicazioni di manutenzione degli erbicidi pre e post-emergenza sono state effettuate nell'area di prova secondo necessità.

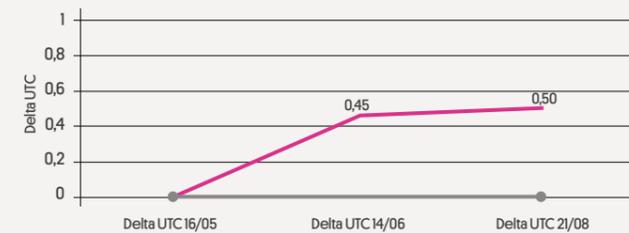
Risultati SPAD vs NON TRATTATO (UTC)



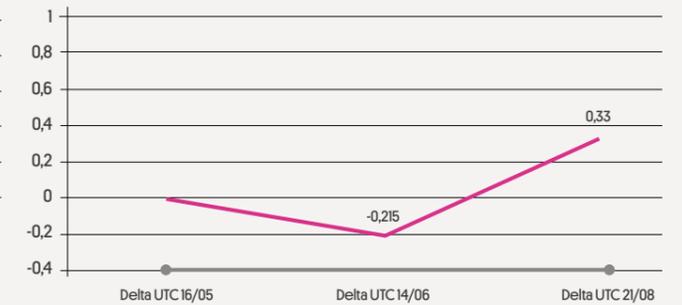
— Non trattato
— FERRILENE 4,8

Risultati CLOROFILLA vs NON TRATTATO (UTC)

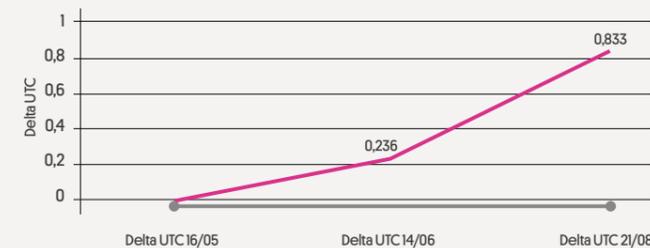
CLOROFILLA A [mg/g]



CLOROFILLA B [mg/g]

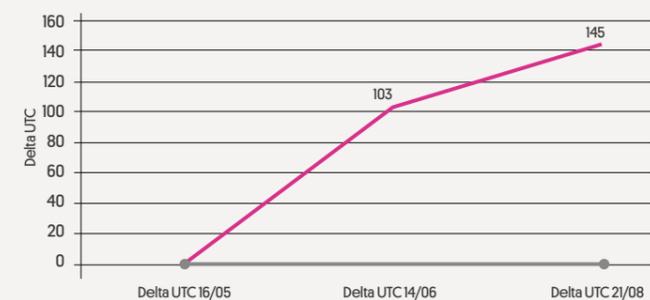


CLOROFILLA AB [mg/g]

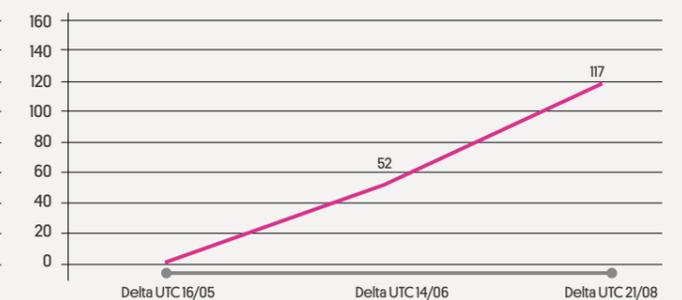


Risultati Fe (mg/kg) vs NON TRATTATO (UTC)

Fe Totale [mg/kg su sostanza secca]



Fe attivo [mg/kg su sostanza secca]



FERRILENE TRIUM Pomodoro - Serra



LOCALITÀ
Catania



VARIETÀ
Icram



METODO DI APPLICAZIONE
Fertirrigazione localizzata



Informazioni sulla coltura e caratteristiche del terreno

Trial ID:
FERRILENE12.VTOFR.OIITA_X

Distanza tra le file	1,00 m
Distanza nelle file	0,33 m
p/ha	30000

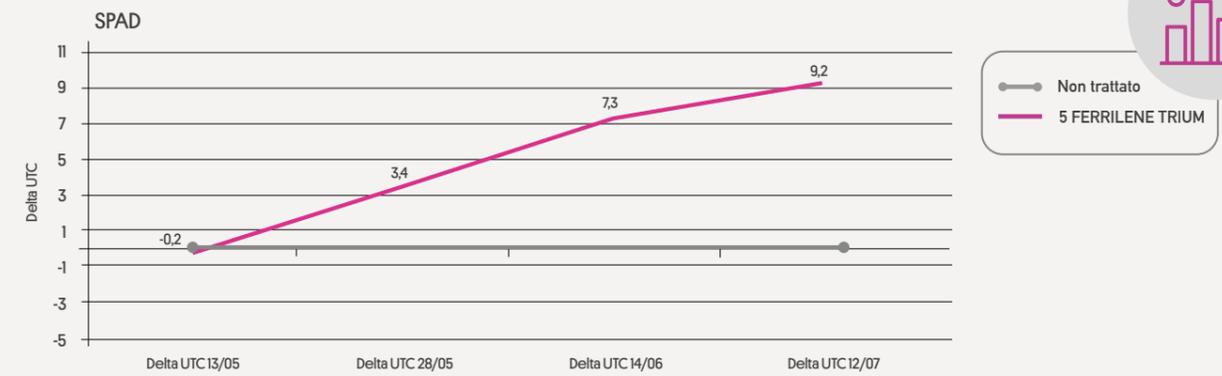


Terreno con alto contenuto di carbonati e pH elevato, dove il Ferro (Fe) non è disponibile naturalmente per la pianta e necessita di essere integrato nel terreno con fertilizzanti chelati di ferro.

Protocollo della prova

PRODOTTO	# num. di applicazioni	Dosaggio [kg/ha]	1° applicazione	2° applicazione
NON TRATTATO	-	-	-	-
FERRILENE TRIUM	2	5	13/05 Fioritura - 6° Bunch	16/06 Maturazione - 1° Bunch

Risultati SPAD vs NON TRATTATO (UTC)



— Non trattato
— 5 FERRILENE TRIUM



FERRILENE

Uva da tavola

LOCALITÀ
Catania

VARIETÀ
Italia

METODO DI APPLICAZIONE
Fertirrigazione localizzata



Informazioni sulla coltura e caratteristiche del terreno

Trial ID:
FERRILENE12.OGRTA.01ITA_X

Distanza tra le file	3,00 m
Distanza nelle file	3,00 m
p/ha	1000

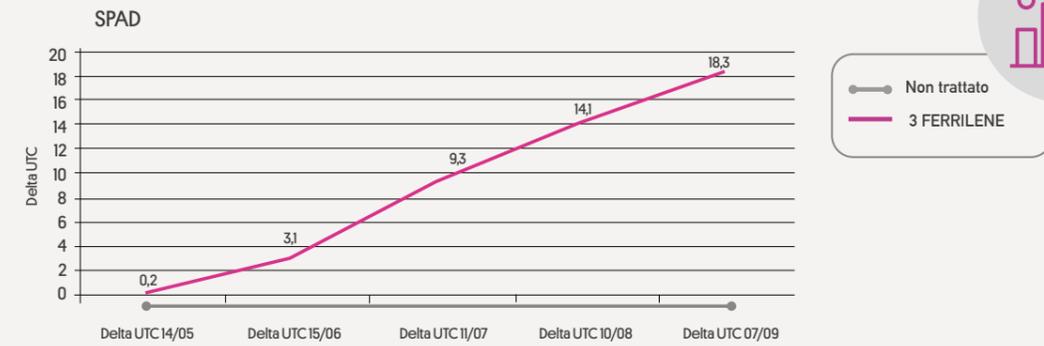


Terreno con alto contenuto di carbonati e pH elevato, dove il Ferro (Fe) non è disponibile naturalmente per la pianta e necessita di essere integrato nel terreno con fertilizzanti chelati di ferro.

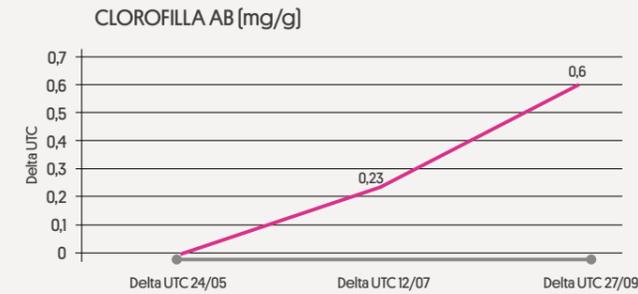
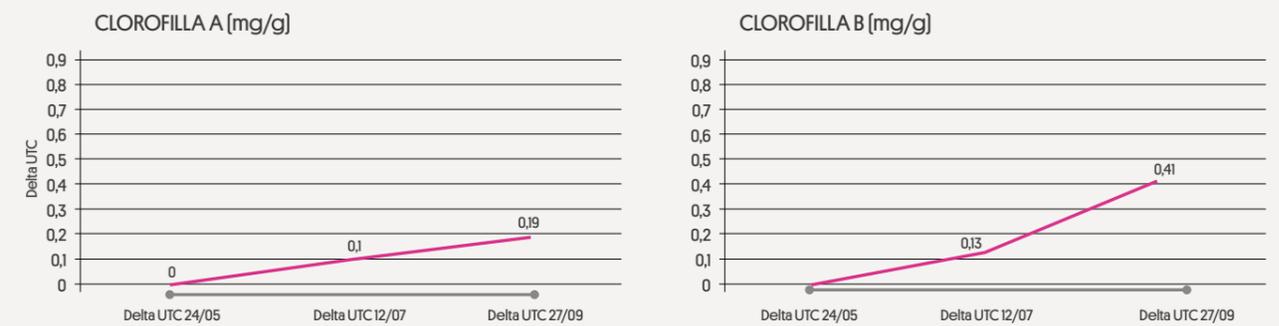
Protocollo della prova

PRODOTTO	# num. di applicazioni	Dosaggio 1° dose [kg/ha]	Dosaggio 2° dose [kg/ha]	1° applicazione	2° applicazione
NON TRATTATO	-	-	-	-	-
FERRILENE	2	5	10	24/05 Fioritura	11/07 Sviluppo frutti

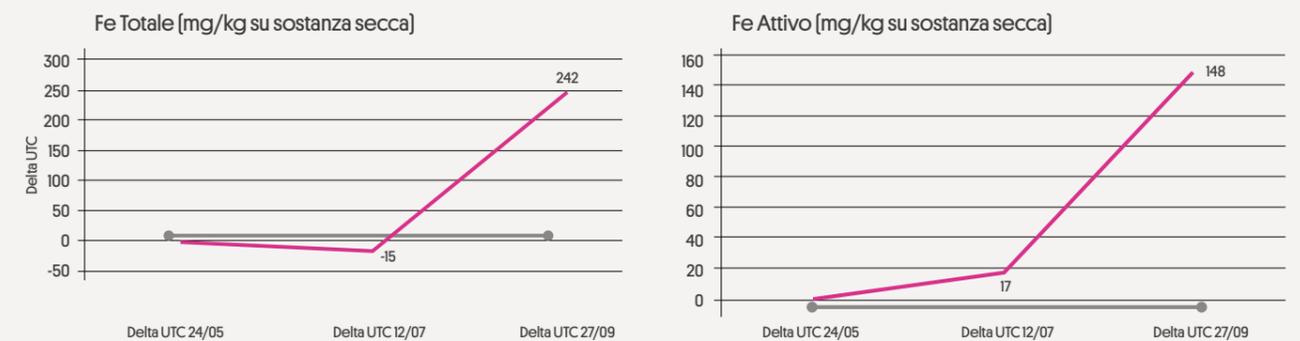
Risultati SPAD vs NON TRATTATO (UTC)



Risultati CLOROFILLA vs NON TRATTATO (UTC)



Risultati Fe (mg/kg) vs NON TRATTATO (UTC)



FERRILENE 4,8

Pero



LOCALITÀ

Ferrara



VARIETÀ

Abate Fétel



METODO DI APPLICAZIONE

Fertirrigazione localizzata



Informazioni sulla coltura e caratteristiche del terreno

Trial ID:
FERRILENE12.OPEAR.01ITA_X



Distanza tra le file	3,30 m
----------------------	--------

Distanza nelle file	0,70 m
---------------------	--------

p/ha	4329
------	------

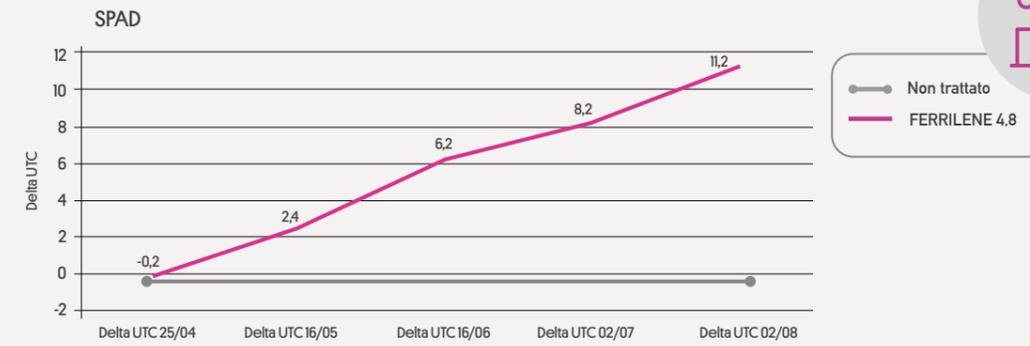


Terreno con alto contenuto di carbonati e pH elevato, dove il Ferro [Fe] non è disponibile naturalmente per la pianta e necessita di essere integrato nel terreno con fertilizzanti chelati di ferro.

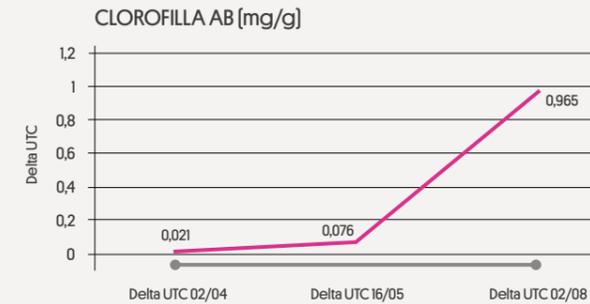
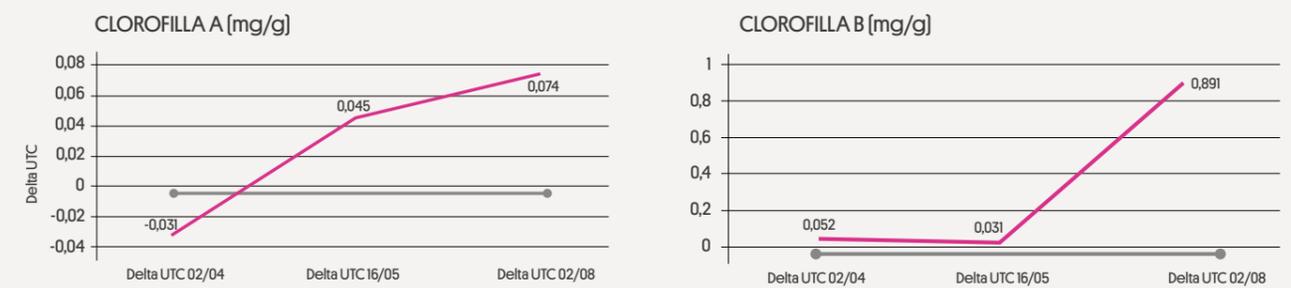
Protocollo della prova

PRODOTTO	# num. di applicazioni	Dosaggio 1° applicazione [kg/ha]	1° applicazione
NON TRATTATO	-	-	-
FERRILENE 4,8	1	20	24/05 Fioritura

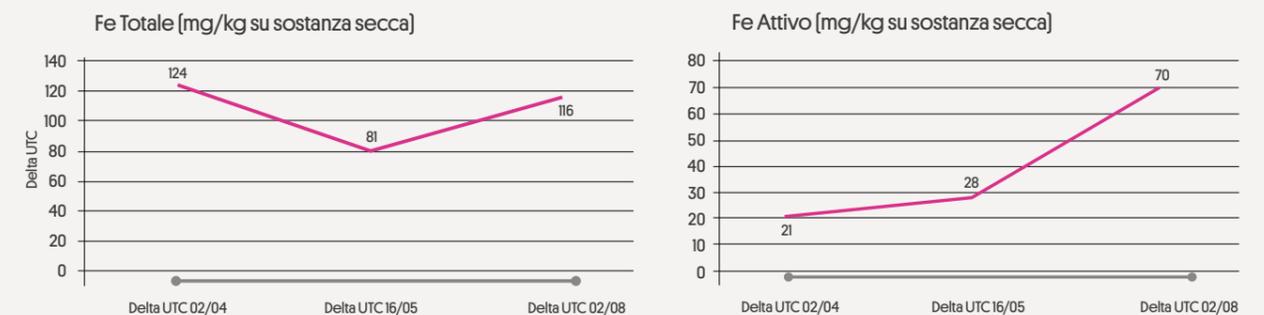
Risultati SPAD vs NON TRATTATO (UTC)



Risultati CLOROFILLA vs NON TRATTATO (UTC)



Risultati Fe (mg/kg) vs NON TRATTATO (UTC)



FERRILENE TRIUM

Uva da vino



LOCALITÀ
San Michele all'Adige (TN)



VARIETÀ
Cabernet franc



METODO DI APPLICAZIONE
Fertirrigazione localizzata



Informazioni sulla coltura e caratteristiche del terreno

Trial ID:
FERRILENEI2.OGRWI.0IITA_MACH_X



Distanza tra le file	2,2 m
Distanza nelle file	0,9 m
p/ha	5050



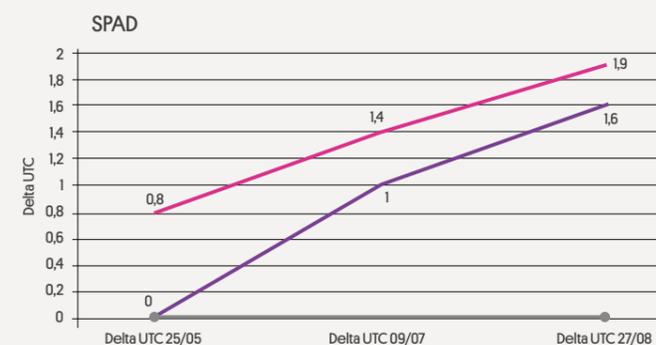
Terreno con alto contenuto di carbonati e pH elevato, dove il Ferro [Fe] non è disponibile naturalmente per la pianta e necessita di essere integrato nel terreno con fertilizzanti chelati di ferro.

% Sabbia	58	P ₂ O ₅ ppm	80
% Limo	34	K ₂ O ppm	75
% Argilla	8	MgO ppm	230
pH	7.8	CaCO ₃ %	60
Sostanza organica %	2.8	CEC meq/100 gr	13

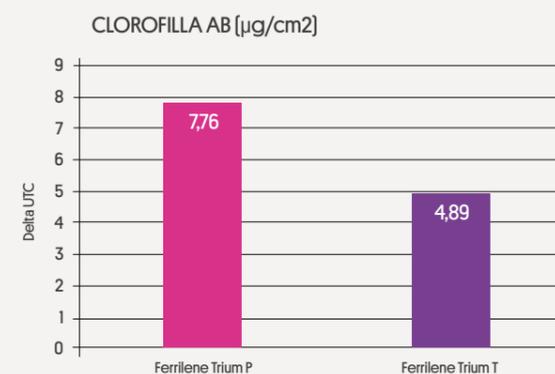
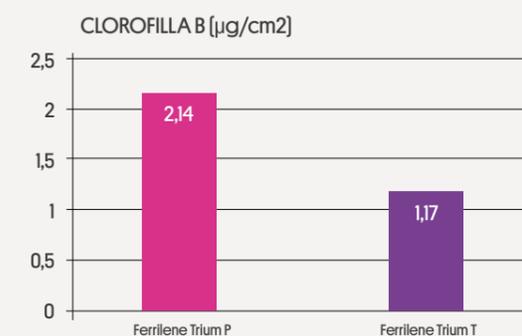
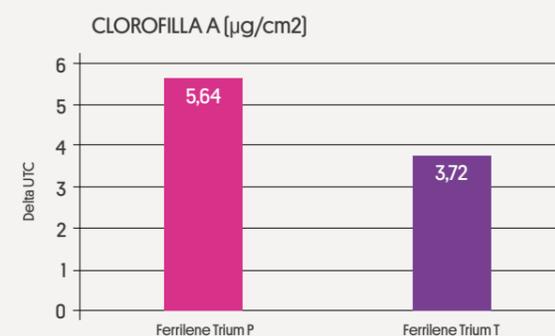
Protocollo della prova

PRODOTTO	# num. di applicazioni	Dosaggio [kg/ha]	1° applicazione
NON TRATTATO	-	-	-
FERRILENE TRIUM P (Trattamento anticipato)	1	10	26/04
FERRILENE TRIUM T (Trattamento tardivo)	3	10	07/06

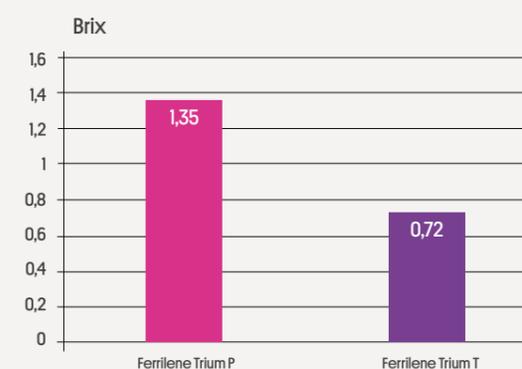
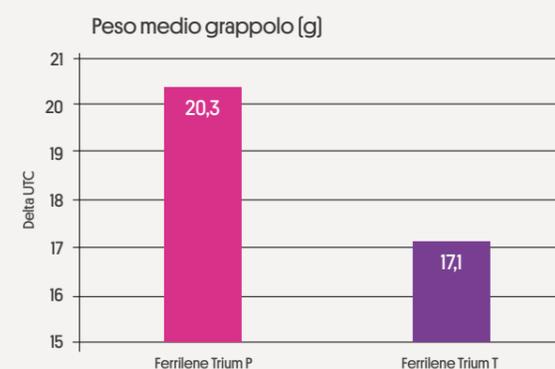
Risultati SPAD vs NON TRATTATO (UTC)



Risultati CLOROFILLA vs NON TRATTATO (UTC)



Risultati





8

Bibliografía

Abadía J. 1998. Absorción y transporte de Fe en las plantas. Pp.: Xiii-xxiv. En: actas del VII simposio nacional-III ibérico sobre nutrición mineral de las plantas. Ed. Universidad autónoma de Madrid. Madrid, España.

Abadía A, Sanz M, de las Rivas J y Abadía J. 1989. Photosynthetic pigments and mineral composition of Fe deficiency pear leaves. *J. Plant Nutr.* 12:827-838.

Alam, S.; Kamei, S.; Kawai, S. 2001. Effects of iron deficiency on the chemical composition of the xylem sap of barley. *Soil Sci. Plant Nutr.* 47(3): 643-649.

Álvarez-fernández A. 2000. Calidad y eficacia de quelatos férricos [Fe-EDDHA, Fe-EDDHA, Fe-EDDHA y Fe-EDDHA] como fertilizantes. Tesis doctoral. Pp.:463. Universidad autónoma de Madrid.

Álvarez-fernández A, Cremonini M A, Sierra M A, Placucci G y Lucena J J. 2002A. Nature of impurities in fertilizers containing EDDHA/Fe³⁺, EDDHA/Fe³⁺ and EDDHA/Fe³⁺ chelates. *J. Agri. Food Chem.* 50(2):284-290.

Álvarez-fernández A, Sierra M A y Lucena J J. 2002B. Reactivity of synthetic Fe chelates with soils and soil components. *Plant Soil* 241(1):129-137.

Álvarez-fernández A, Abadía A, Abadía J y Lucena J J. 2003A. Diagnóstico y corrección de la clorosis férrica. En: I Congreso Iberoamericano de Nutrición Vegetal-Agro Latino. Nutri-fitos 2003. Tomo 2. Pp.:158-166.

Alvarez-Fernandez, et al., 2006; Chen and Barak, 1982; Hansen, et al., 2006; Mortvedt, 1991

Awad, F., Römhild, V., Marschner, H. 1988. Mobilization of ferric iron from a calcareous soil by plant-borne chelators. *J. Plant Nutr.* 11:701.

Becker, R.; Grün, M.; Scholz, G. 1992. Nicotinamide and the distribution of iron in the apoplast and symplast of tomato [*Lycopersicon esculentum* Mill] planta. 187: 48-52.

Beinert, H.; Kennedy, M. C. 1989. Engineering of protein bound iron-sulfur clusters. A tool

for the study of protein and cluster chemistry and mechanism of iron-sulfur enzymes. *Eur. J. Biochem.* 186: 5-15.

Bienfait H F. 1985. Regulated redox processes at the plasmalemma of plant root cells and their function in iron uptake. *J. Bioenerg. Biomembr.* 17(2):73-83.

Bienfait H F. 1988B. Proteins under control of the gene for Fe efficiency in tomato. *Plant Physiol.* 88(3):785-787.

Black, R.E.; Allen, L.H.; Bhutta, Z.A.; Caulfield, L.E.; de Onis, M.; Ezzati, M.; Mathers, C.; Rivera, J. Maternal and child undernutrition: Global and regional exposures and health consequences. *Lancet* 2008, 371, 243-260

Brown J, C.; Jolley V. D. 1988. Strategy I strategy II mechanism affecting iron availability to plants may be established too narrow or limited. *J. Plant Nutr.* 11:1077-1098.

Brüggemann W, Maas-Kantel K y Moog P R. 1993. Iron uptake by leaf mesophyll cells: the role of the plasma membrane-bound ferric-chelate reductase. *Planta* 190(2):151-155.

Cambell, W.H. Y Redinbaugh, M.G. 1984. Ferric-citrate reductase activity of nitrate reductase and its role in iron assimilation by plants. *J. Plant Nutr.* 7:799-806.

Chaney R I. 1984. Diagnostic practices to identify iron-deficiency in higher plants. *J. Plant Nutr.* 7(1-5):47-67.

Charlson D V, Cianzio S R y Shoemaker R C. 2003. Associating SSR markers with soybean resistance to iron deficiency chlorosis. *J. Plant Nutr.* 26(10-11):2267-2276.

Chen Y y Barak P. 1982. Iron nutrition of plants in calcareous soils. *Adv. Agron.* 35:217-240.

Chen Y. 1997. Remedy of iron deficiency - present and future. En: abstracts 9th international symposium on iron nutrition and interactions in plants. Pp.: III. Hohenheim, Stuttgart, Germany.

Curie C, Panaviene Z, Loulergue C, Dellaportas I, Briat J F y Walker E I. 2001. Maize yellow

stripe 1 encodes a membrane protein directly involved in Fe(III) uptake. *Nature* 409(6818):346-349.

De la Guardia M D y Alcántara E. 1996. Ferric chelate reduction by sunflower [*Helianthus annuus* L.] leaves: influence of light, oxygen, iron-deficiency and leaf age. *J. Exp. Bot.* 47(298):669-675.

Droillard, M. J.; Paulin, 1990. Isoenzymes of superoxide dismutase in mitochondria and superoxide isolated from petals of carnation [*C Dianthus caryophyllus*] during senescence. *Plant Physiol* 94:1187-1192.

FAO; IFAD; WFP. The State of Food Insecurity in the World 2015. Meeting the 2015 International Hunger Targets: Taking Stock of Uneven Progress 2015. Available online: <http://www.fao.org/3/a-i4646e.pdf> [accessed on 10 August 2020].

Fox, T.C. Y Guerinot, M.L. 1998. Molecular biology of cation transport in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49:669-696.

Fox, T.C.; Shaff, J.E.; Grusak, M.A.; Norvell, W.A.; Chen, Y.; Chaney, R.L. Y Kochian, I.V. 1996. Direct measurement of ⁵⁹Fe-labeled Fe²⁺ influx in roots of pea using a chelator buffer system to control free Fe²⁺ in solution. *Plant Physiol.* 111:93-100.

Gonzalez-vallejo, E.B.; Susin, S.; Abadía, A; Abadía, J. 1998. Changes in sugar beet leaf plasma membrane Fe(III)-chelate reductase activities mediated by deficiency, assay buffer composition, anaerobiosis and the presence of flavins. *Protoplasma.* 205:163-168.

Guerinot M I y Yi Y. 1994. Iron: nutritious, noxious and not readily available. *Plant Physiol.* 104(3):815-820.

Guggenheim, K.Y. Chlorosis: The Rise and Disappearance of a Nutritional Disease. *J. Nutr.* 1995, 125, 1822-1825.]]

Hansen N C, Jolley V D, Berg W A, Hodges M E y Krenzer E G. 1996. Phytosiderophore release related to susceptibility of wheat to iron deficiency. *Crop Sci.* 36(6):1473-1476.

Hell R y Stephan U W. 2003. Iron uptake,

trafficking and homeostasis in plants. *Planta* 216(4):541-551.

Herbik a, giritch a, horstmann c, becker r, balzer h j, bäumlein h y stephan u w. 1996. Iron and copper nutrition-dependent changes in protein expression in a tomato wild type and the nicotianamine-free mutant chloronerva. *Plant physiol.* 111(2):533-540.

Holden m j, luster d g, chaney r l, buckhout t j y robinson c. 1991. Fe³⁺ - chelate reductase activity of plasma membrane isolated from tomato (*Lycopersicon esculentum* mill.) Roots- comparison of enzymes from fedeficient and fe-sufficient roots. *Plant physiol.* 97(2):537-544.

Hopkins, b. G.; Jolley, v. D.; Brown, j. C. 1992. Plant utilization of iron solubilized by oat phytosiderofore. *J. Plant nutr.* 15:1599-1612.

Hsu, w.; Miller, g. W.; 1968. Iron in relation to acotinase hydratase activity in glycine max. *Merr. Biochim. Biophys. Acta* 15: 711-713.

Hughes, d.F., V.D. Jolley and j.C. Brown. 1992. Roles for potassium in the iron-stress response mechanisms of strategy i and strategy ii plants. *J. Plant nutr.* 15: 1821-1839.

Jolley, v.D.; Brown, j.C.; Blaylock, m.; Camp, s. 1988. A role for potassium in the use of iron in plants. *J. Plant nutr.* 11: 1159-1175.

Jones d I. 1998. Organic acids in the rhizosphere-a critical review. *Plant soil* 205(1):25-44.

Kawai s y alam s. 2005. Iron stress response and composition of xylem sap of strategy ii plants. Pp.: 289-309. En: iron nutrition in plants and rhizospheric microorganisms: iron in plants and microbes. Barton, I. L. And abadía, j. Eds.; Kluwer academic publishers: dordrecht, the netherlands.

Kawai, s.; Kamei, s.; Matsuda, y.; Ando, r.; Kond, s.; Ashizawa, a.; Alam, s. 2001. Concentrations of iron and phytosiderophores in xylem sap of iron-deficient barley plants. *Soil sci. Plant nutr.* 47 (2): 265-272.

Kawai s, takagi s i y sato y. 1988. Mugineic

acid-family phytosiderophores in rootsecretions of barley, corn and shorgum varieties. *J. Plant nutr.* 11(6-11):633-642.

Klem-Marciniak, E.; Huculak-Ma czka, M.; Marecka, K.; Hoffmann, K.; Hoffmann, J. Chemical Stability of the Fertilizer Chelates Fe-EDDHA and Fe-EDDHA over Time. *Molecules* 2021, 26, 1933. <https://doi.org/10.3390/molecules26071933>.

Kobayashi, t.; suzuki, m.; Inoue, h.; Itai, r. N.; Takahashi, m.; Nakanishi, h.; Mori, s.; Nishizawa, n. K. 2005. Expression of iron-acquisition-related genes in iron-deficient rice is co-ordinately induced by partially conserved iron-deficiency-resposive elements, *J. Exp. Bot.* 56: 1305-1316.

Kobayashi,t.; Nishizawa, n. K.; Mori, s. 2006. Molecular analysis of iron-deficient graminaceous plants. In iron nutrition in plants and rhizospheric microorganism. (L. L. Barton; j. Abadía (eds)). Springer. Isbn-101-4020-4742-8 (hb). Netherlands. 395-435.

Laulhere j p.; Briat j f. 1993. Iron release and uptake by plant ferritin : effects on ph, reduction and chelation. *Biochem. J.* 290: 693-699.

Lindsay, w.L. 1979. Chemical equilibria in soils. Ed. John and sons n.Y. Isbn 0-471-02704-9.

Lindsay, w.L. 1991. Iron oxide solubilization by organic matter and its effect on iron availability. *Plant soil* 130:27-34.

Lindsay w l y schwab a p. 1982. The chemistry of iron in soils and its availability to plants. *J. Plant nutr.* 5(4-7):821-840.

Lobreaux, s. Briat, j. F. 1991. Ferritin accumulation and degradation in diferents organs of pea (*pisum sativum*) during development. *Biochem. J.* 274: 601-606.

López millan, a, f.; morales, f.; Abadía, a.; Abadía a.; Abadía, j. 2000^a. Effects of iron deficiency on the composition of the leaf apoplastic fluid and xylem sap in sugar beet. Implications for iron and carbon transport. *Plant physiol.* 124: 873-884.

López-millán a f. 2000. Adquisición y

transporte de hierro en plantas. Tesis doctoral. Pp.: 236. Estación experimental de aula dei. Csic. Zaragoza, españa.

Lucena j j. 2000A. Effects of bicarbonate, nitrate and other environmental factors on iron chlorosis. A review. *J. Plant nutr.* 23(11-12):1591-1606.

Lucena j j. 2003. Fe chelates for remediation of fe chlorosis in strategy i plants. *J. Plant nutr.* 26(10-11): 1969-1984.

Lucena j j. 2005. Iron fertilizers in correcting iron deficiencias in plants. Pp.: 105-130. En: iron nutrition in plants and rhizospheric microorganisms: iron in plants and microbes. Barton, I. L. And abadía, j. Eds.; Kluwer academic publishers: dordrecht, the netherlands.

Marschner, h., Röemheld, v., Kissel, m. 1986. Diferent strategies in higher plants in movilization and uptake of iron. *J. Plant nutrition* 9 695-713.

Marschner, h. 1995. Mineral nutrition in higher plants. Academic press. Isbn 012-473542-8.

Mengel, k.; Bübl, w. 1983. Verteilung von eisen in blättern von weinreben mit hco₃-induzierter chorose. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk*, 145: 261-267.

Mengel, k. Kirkby, a.E. 2001. Principles of plant nutrition. Kluwer academic publishers. Isbn 0-7923-7150-k (hb. Isbn 1-4020-008-1[pb]).

Mengel, k. Malissiovas, n. 1982. Light dependent proton excretion by roots of entire vine plants (*vitis vinifera* l.) *Z. Pflanzenernähr. Bodenk*, 145: 261-267.

Miller, r. W.; Pushnik, j. C.; Welkie, g. W. 1984. Iron chlorosis, a world wide problem, the relation of chlorophyll biosynthesis to iron. *J. Plant nutr.* 7:1-22.

Mori, s.; Nishizawa, n.; Hagashi, h.; Chimo, m.; Yoshimura, e.; Ishihara, j. 1991. Why are young rice plants highly susceptible to iron deficiency?. *Plant soil.* 130: 143-156.

Moog p r y brüggemann w. 1994. Iron reductase systems on the plant

plasmamembrane- a review. *Plant soil* 165(2):241-260.

Murad, e.; Fisher, w r. 1988. The geobiochemical cycle of iron. In iron in soils and clay minerals. (J. W. Stucki, et al. Eds). D. Reidel publishing ccompany: 1-18 pp.

Nagarathana, k. C.; Shetty, a.; Bhar, s. G.; Shetty h. S. 1992. The possible involment og lipoxxygenase in downy mildew resistance in peral miller. *J. Exp. Bot.* 43: 1283-1287.

Nikolic, m. 1998. The role of the redox systems in uptake and traslocation og iron by higher plants. *Lugoslav. Physiol pharmacol. Acta* 34 (2): 479-489.

Nishizawa, n., Mori, s. 1987. The particular vesicle appearing in the barley root cells and its relation to muginei acid secretion. *J. Plant nutr.* 10: 1013.1020.

Pestana m, vareennes a y aráujo faria e. 2003. Diagnosis and correction of iron chlorosis in fruit trees: a review. *Food, agriculture & enviroment* 1(1):46-51.

Pich a, hillmer s, manteuffel r, scholz g. 1997. First immunohistochemical localization of the endogenous Fe²⁺ -chelator nicotianamine. *J. Exp. Bot.* 48(308):759-767.

Rabotti, g. Y zocchi, g. 1994. Plasma membrane-bound h⁺ -atpase and reductase activities in fe-deficient cucumber roots. *Physiol. Plant.* 90:779-785.

Rombolà, a. D.; Brüggemann, w.; López-millan, a. F.; Tagliavini, m.; Marangoni, b.; Moog, p. R. 2000. Iron source affects iron reduction and re-greening of kiwifruit [actinidia deliciosa] leale. *J. Of plant nutrition*, 23: 1751-1765.

Rombolà, a. D.; Brüggemann, w.; López-millan, a. F.; Tagliavini, m.; Abadía, j.; Marangoni, b.; Moog, p. R. 2002. Biochemical responses to iron deficiency in kiwifruit [actinidia deliciosa]. *Tree physiology.* 22: 869-875.

Römheld, v. 1987. Existence of two difference strategies for the acquisition of iron in higher plants. Pp 353-374. In iron transport in microbes, plant and animals. G. Winkelmann, d. Van der helm, j. B. Neiland. Vch-verlag. Weinheim.

Römheld v y marschner h. 1986. Mobilization of iron in the rhizosphere of different plant species. Pp.: 155-204. En: advance in plant nutrition. Vol.2. Tinker b. Y laüchli a. Eds; praeger scientific, new york.

Römheld, v., Marschner, h. 1990. Genotypical differences among graminaceous species in release of phytosiderophores and uptake of iron phytosiderophores. *Plant soil.* 123:147-153.

Römheld, v. Y marschner, h. 1991. Functions of micronutrients in plants. En: micronutrients in agriculture, 2^o ed. J.J. Mordvedt, f. R. Cox, I. M. Shuman and r. M. Welch, (eds.). Sssa book series, n^o4, Madison, wi. Usa. Pp:297-328.

Rout and Sahoo, *Reviews in Agricultural Science*, 3:1-24, 2015. doi:10.7831/ras.3.1

Sánchez-andreu j, jordá j y juarez m. 1991. Reactions of feedta and feeddha applied to calcareous soils. Pp.: 57-62. En: iron nutrition and interactions in plants. Chen, y. And hadar, y; Kluwer academic publishers: dordrecht, the netherlands.

Schlee, d.; Reinbothe, d.; fritsche, w. 1968. Der einfluss von eisen auf den purinstoffwechsel und die rivo flavinbildung von canadida guilliermondii [cast]. *Lang et g. Allg. Mikrobiol* 8: 127-138.

Schwertmann, u.; 1991. Solubility and dissolution of iron oxides. In iron nutrition and interactions inplants. (Y. Chen; y. Hadar). Kluwer academic publishers isbn 0-7923-1095-0: 3-27.

Schwertmann, u.; Taylor, r. M. 1989. Iron oxides. In mineral in soil environments 2nd edition) (j. B. Dixon; s. B. Weed eds). Soil science society of america. 677 South segoe road madison. Wl 53711. Usa. Ssa book series. No.1: 379-438.

Shi y, byrne d h, reed d w m y loeppert r h. 1993. Iron chlorosis development and growth response of peach rootstocks to bicarbonate. *J. Plant nutr.* 16(6):1039-1046.

Siebner-freibach h, hadar y y chen y. 2004. Interaction of iron chelates with clay minerals. *Soil sci. Soc. Am. J.* 68(2):470-480.

Smith, b. N. 1984. Iron in higher plants: storage and metabolic rate. *J. Plant nutr.* 7: 729-766.

Susin, s.; Abadía, a.; Gonzales-reyes, j. A.; Lucena, j. J.; Abadía, j. 1996. The ph requirement for in vivo activity of the iron-deficiencyinduced "turbo" ferric chelate reductase. A comparison of the iron-dificiency-induced iron reductase activities of intact plants and isolated plasma membrane fractions in sugar beet. *Plant physiology.* 110: 111-123.

Somers, i. L., Gilbert, s. G., And shive, j. W. 1942. The iron-manganese ratio in relation to the respiratory CO₂ and the deficiency toxicity symptoms in soybeans. *Plant physiol.* 17: 317-320.

Stephan w y scholz g. 1993. Nicotinamine: mediator of transport of iron and heavy metals in the phloem?. *Physiol. Plant.* 88:522-529.

Stephan, u. W.; 2002. Intra- andintercellular iron trafficking and subcellular compartmentation withn roots. *Plant and soil* 241: 522-529.

Takagi s, nomoto k y takemoto t. 1984. Physiological aspect of mugineic acid, a possible phytosiderophore of graminaceous plants. *J. Plant nutr.* 7(1-5):469-477.

Takagi, s. 1976. Naturally occurring iron-chelating compounds in oat- and rice-root washings. Activity measurement and preliminary characterization. *Soil sci. Plant nutr.* 22:423-433.

Terry n y abadía j. 1986. Function of iron in chloroplasts. *J. Plant nutr.* 9(3-7):609-646.

Theil, e. C. 1987. Ferritin: structure, gene regulation, and cellular function in animals, plants and microorganisms. *Annu. Rev. Biochem.* 56: 289-315.

Tiffin, I. O. 1970. Translocation of iron citrate and phosphorus in xylem exudates of soybean. *Plant physiol.* 45:280-283.

Toulon v, sentenac h, thibaud j b, davidian j c, moulineau c y grignon c. 1992. Role of





Follow us on



Valagro S.p.a is located in Zona Industriale Via Cagliari, 1
66041 Atessa CH - Italy
Phone +39 0872 88 11 / Fax +39 0872 89 74 16
www.valagro.com



Entra a far parte della comunità digitale di Valagro
Esplora la nuova app e-Hub.
Unisciti a noi!

Per vincere la sfida Globale insieme.