

Macro e micronutrienti

Micro
nutrienti

Macro
nutrienti

Elemento	Forma disponibile per le piante	Concentrazione nel tessuto secco	
		mg kg ⁻¹	%
Molibdeno	MoO ₄ ²⁻	0.1	0.00001
Rame	Cu ⁺ , Cu ²⁺	6	0.0006
Zinco	Zn ²⁺	20	0.0020
Manganese	Mn ²⁺	50	0.0050
Boro	H ₃ BO ₃	20	0.002
Ferro	Fe ³⁺ , Fe ²⁺	100	0.010
Cloro	Cl ⁻	100	0.010
Zolfo	SO ₄ ²⁻	1000	0.1
Fosforo	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻	2000	0.2
Magnesio	Mg ²⁺	2000	0.2
Calcio	Ca ²⁺	5000	0.5
Potassio	K ⁺	10000	1.0
Azoto	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	15000	1.5
Ossigeno	O ₂ , H ₂ O	450000	45
Carbonio	CO ₂	450000	45
Idrogeno	H ₂ O	60000	6

Modificato da Salisbury F.B. e Ross C.W., 1994.

Micronutrients

Fe, Mn, Cu, B, Zn, Mo, Cl

Secondary
S, Mg, Ca

Macronutrients
N, P, K

Structural Nutrients
CHO

Altri elementi presenti
in quantità variabile

*in specie o ambienti
particolari*, quali
sodio (Na), silicio
(Si), alluminio (Al),
selenio (Se) e
cobalto (Co).

- Fra questi quelli ritenuti **benefici** (ad esempio cobalto) sono generalmente richiesti in dosi molto limitate rispetto a quanto normalmente disponibile nei terreni, e pertanto non vengono considerati con le concimazioni; altri sono richiesti o accumulati in quantità apprezzabili solo da particolari piante (ad esempio il silicio in *Equisetum*).

- Le comuni pratiche agricole e lo sfruttamento produttivo a lungo termine dei suoli

➔ **Rimozione micronutrienti > apporto**

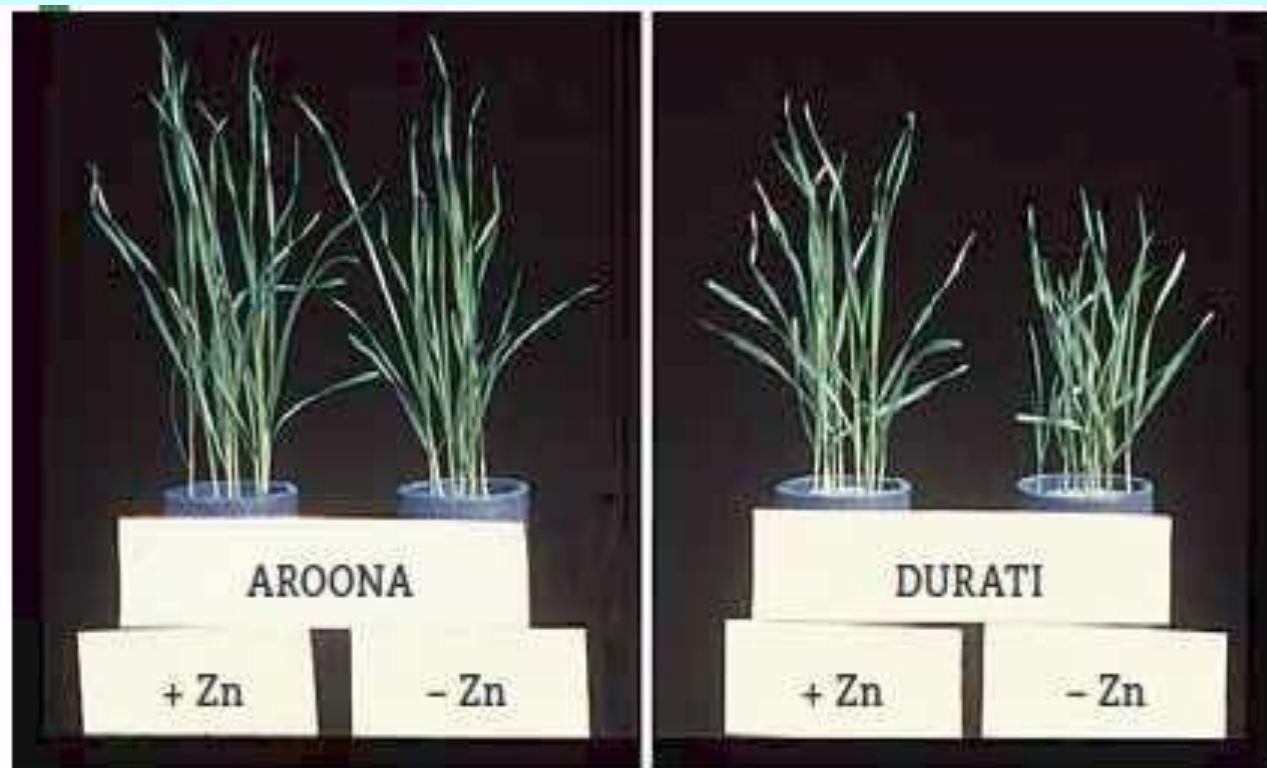
- L'uso di fertilizzanti di elevato grado analitico
- La maggiore produzione accompagnata da una maggiore richiesta nutrizionale
- L'abbandono del ricorso ad ammendanti organici
- I micronutrienti non sono di solito inseriti nei piani di concimazione e
- Si ricorre spesso alla concimazione con tali elementi solo per colture di elevato pregio o in presenza di sintomi visibili di alterazione nutrizionale.



*Mi
cro
ca
ren
ze*

La disponibilità di micronutrienti nel suolo può fortemente condizionare la resa produttiva delle colture:

- La carenza → perdite quantitative e qualitative della produzione
- Un' adeguata nutrizione con microelementi → resistenza ad avversità di tipo biotico e abiotico



**Effetto della
somministrazione
di Zn in due
varietà di grano
duro
diversamente
sensibili alla
carenza del
micronutriente**

**(Aroona:tollerante;
Durati:sensibile)**

Cause principali delle microcarenze

Suscettibilità delle colture:

Grossa variabilità fra specie e specie

•Le colture con sensibilità elevata tenderanno a manifestare carenza più facilmente

•Saranno quelle che risponderanno alla concimazione in maniera più marcata.

TABELLA 1 - Sensibilità delle colture alle carenze micronutrizionali

	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo
Citrus	E	E	E	E	B	M
Melo	B	E	E	M	E	B
Vite	E	E	B	M	E/M	B
Avena	M	E	B	E	B	M/B
Frumento	M/B	E	B	E	B	M/B
Mais	M	M/B	E	M	M/B	B
Orzo	M	M	M	E/M	B	B
Riso	E/M	M	E/M	B	M/B	B
Segale	B	B	B	B	B	B
Sorgo	E/M	E/M	E	M	B	B
Barbabietola	E/B	E/M	M	M	E	M
Colza		M	M	B	E	
Erba medica	M	M	B	E	E	M
Fagiolo	E/M	E	E	B	B	M
Girasole			M	E	E	
Patata		E/M	M	B	B	B
Pisello	M	E	B	M/B	B	M
Pomodoro	E	M	M	M	E/M	M
Soia	E/M	E	M	B	B	E/M
Spinacio	E	E	M	E	M	E

E = elevata, M = media, B = bassa.

TABELLA 2 - Esempi della composizione elementare di tessuti vegetali in condizioni di normale vegetazione (in ppm)

	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo
Melo	50-400	25-200	20-50	5-20	30-60	0,5-1,5
Pero	60-250	30-150	20-70	5-20	20-70	0,5-1,5
Pesco	60-400	20-200	15-50	5-20	20-100	
Fruento	25-100	25-100	20-70	5-25	3-20	
Mais	50-250	20-300	20-60	5-20	5-25	0,1-10,0
Pomodoro	50-250	50-250	30-200	5-25	30-70	
Soia	50-300	15-200	20-70	5-30	20-60	0,1-5,0

Un'indicazione delle esigenze delle colture può essere rappresentata dalla composizione elementare dei tessuti.

I valori sono la base per definire i limiti critici di ciascun micronutriente per una possibile situazione di carenza o di tossicità

Boro : stretto intervallo tra carenza e tossicità

→ **Difficoltà nella concimazione**

TABELLA 3 - Concentrazioni medie di micronutrienti (in ppm) in tessuti di foglie mature generalizzate per varie specie vegetali

Micro-nutriente	Carente	Sufficiente (normale)	Eccessivo o tossico
B	5-30	10-200	50-200
Cl	< 100	100-500	500-1.000
Cu	2-5	5-30	20-100
Fe	< 50	100-500	> 500
Mn	15-25	20-300	300-500
Mo	0,03-0,15	0,1-2,0	> 100
Zn	10-20	27-150	100-400

La dotazione di micronutrienti nel suolo

è controllata dagli equilibri che esistono tra la soluzione del suolo, la sostanza organica, i siti di scambio (cationico) e i composti insolubili che si formano

La **sostanza organica**

agisce come **riserva** :

- gli elementi nutritivi sono liberati in seguito a mineralizzazione microbica
- I legami di natura ionica, di coordinazione e chelazione con S.O.

mantengono i diversi micronutrienti in forma non lisciviabile o impediscono la precipitazione come composti insolubili.

Alcuni microelementi, quali il rame, formano con la s.o. legami così forti da divenire meno disponibili per le piante



pH del suolo

Per tutti i

micronutrienti cationici

(rame, zinco, manganese, ferro)

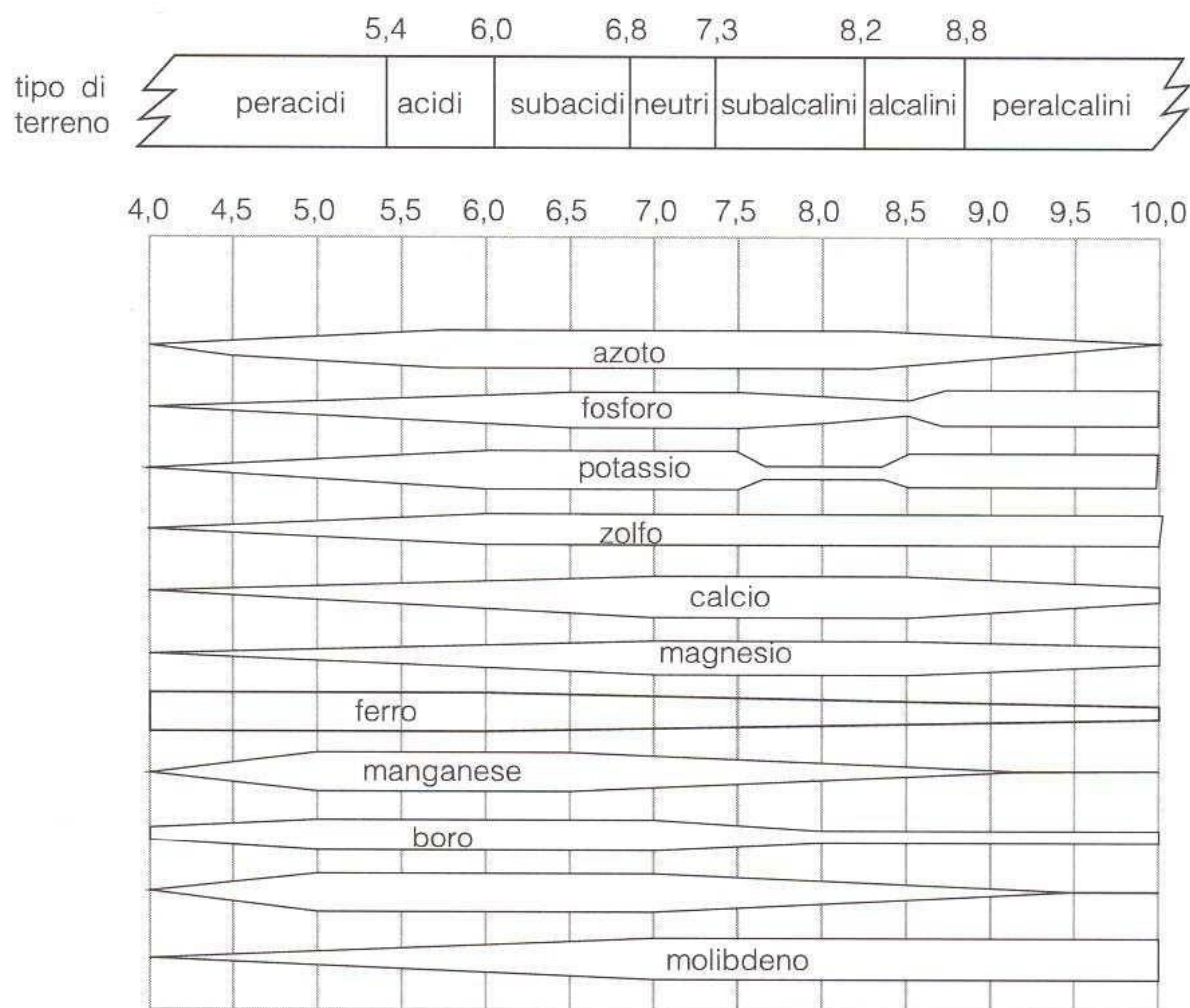
la solubilità maggiore (disponibilità) è a bassi pH (maggiore acidità).

Al contrario, per il ***molibdeno*** (forma anionica in soluzione)

rischio di carenza è elevato a pH acido mentre le sue concentrazioni

in soluzione possono raggiungere livelli di potenziale tossicità a pH neutro o alcalino.

Disponibilità di macro e microelementi



Tab. 2 - Relazione tra pH e disponibilità degli elementi nutritivi nel mezzo di crescita

	<i>pH inferiore a 5,0-5,5</i>	<i>pH superiore a 6,7-7,0</i>
RISCHI DI TOSSICITÀ	Microelementi (Fe, B, Cu, Zn) N-ammoniacale Na	Ca N-ammoniacale
RISCHI DI CARENZA	Ca Mg P K S Mo	Microelementi (Fe, Mn, B, Cu, Zn) P Mg

Un'altra proprietà del suolo che influenza la disponibilità dei micronutrienti è il **potenziale redox (ossidazione/riduzione)**.

- La presenza di un eccessivo ristagno idrico → condizioni asfittiche
 → eccessiva solubilità di micronutrienti quali ferro e manganese
- condizioni di terreno secco possono condizionare la solubilità di elementi
 non sono soggetti a reazioni di ossido-riduzione : boro e zinco
 → situazioni di carenza.

Tab. 3 - Possibili fenomeni di antagonismo nutritivo*

Concentrazione alta dell'elemento X → deficienza dell'elemento Y

N-ammonio → Ca

K → N, Ca, Mg

P → Fe, Zn, Cu

Ca → Mg, B

Mg → Ca, K

Na → K, Mg, Ca

Cl → N (NO₃)

Mn → Fe

Zn → Mn, Fe

Cu → Mn, Fe, Mo

* In genere, i fenomeni di antagonismo vedono coinvolti ioni con la stessa carica elettrica (ad esempio, il Ca²⁺ è antagonista del Mg²⁺).

Non è la *quantità assoluta* di alcuni elementi ma è la *quantità relativa* dei vari nutrienti essenziali a essere determinante per la crescita delle piante.

L'assorbimento del rame è influenzato dai livelli di ferro e manganese nel suolo.

a sua volta il rame può influenzare l'acquisizione di zinco e ferro.

carenze di un micronutriente portano spesso ad accumulo anche a livelli tossici di altri micronutrienti.

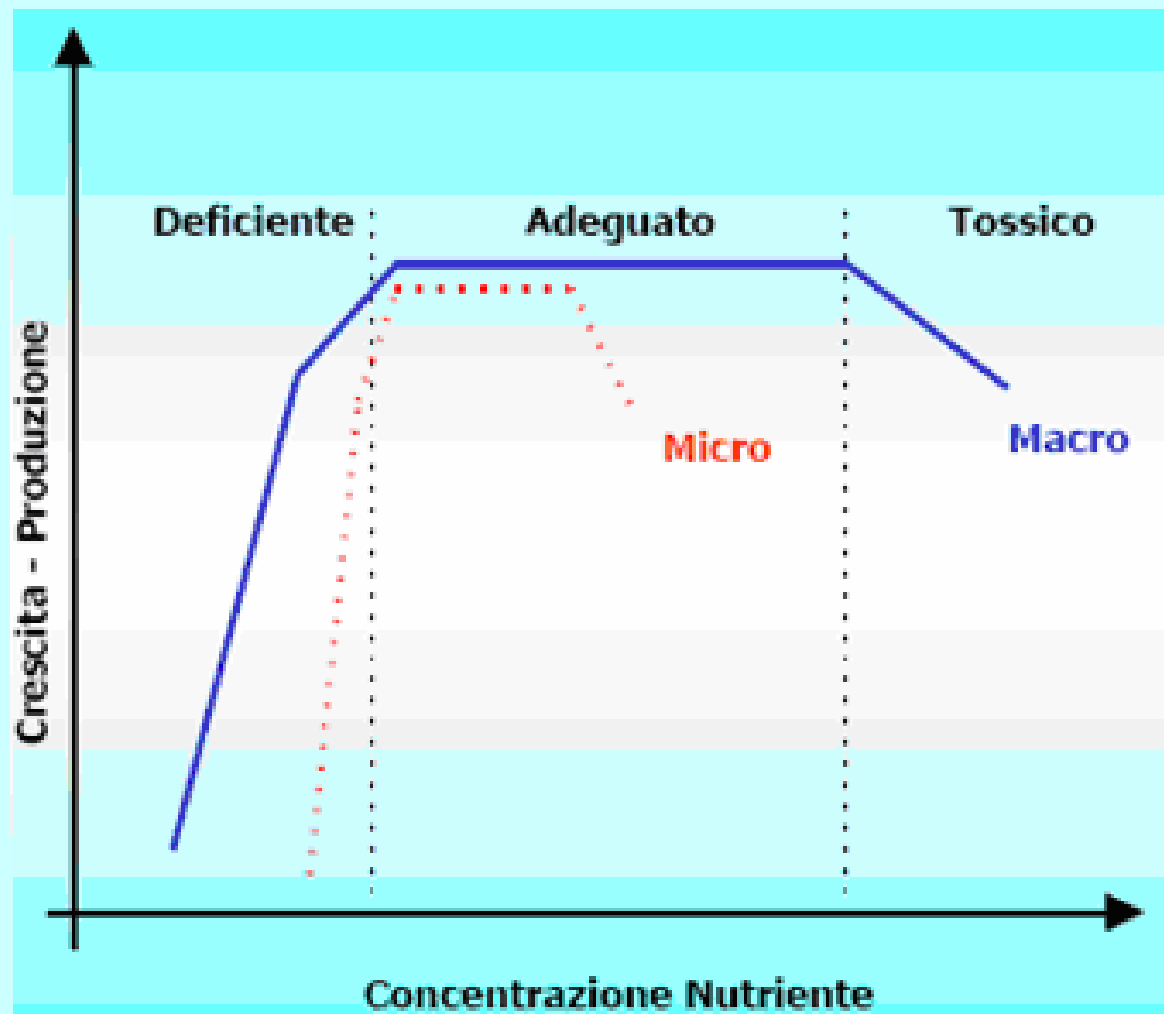
Tab. 9 - UN ELEMENTO IN ECCESSO O IN CARENZA (colonna verticale) PUÒ DETERMINARE CARENZA (-) OD ECCESSO (+) DI ALTRI ELEMENTI (colonna orizzontale), SECONDO REINKEN

Elemento in eccesso od in carenza		Elemento influenzato										
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	B	Mn	Cu	Zn	Na
N	eccesso		-	-	+	+		-	-	-	-	
	carenza		+	+		-						
P	eccesso	-		-	+	+	-			-	-	
	carenza				+	+						
K	eccesso	-	-		-	-	+	-	-		-	-
	carenza				+	+	-		+			+
Ca	eccesso	-	-	-		-	-	-	-	-	-	
	carenza			+		+						
Mg	carenza		+	-	-							
	carenza		-		+		-					
Fe	eccesso		-	-				-	-	-	+	
	carenza								+			
B	eccesso			-	+	-						
	carenza											
Mn	eccesso					-	-					
	carenza	+					+					
Cu	eccesso						-		-		-	
	carenza											
Zn	eccesso						-					
	carenza											
Na	eccesso			-	-	-			-			
	carenza											

INTERAZIONI
TRA
GLI
ELEMENTI



Zona di carenza, zona di sufficienza, zona di tossicità



COME DIAGNOSTICARE LA CARENZA ?

ANALISI FOGLIARE

Si basa sull'assunto che

la concentrazione degli elementi minerali in un tessuto vegetale rispecchi le dotazioni nutrizionali del terreno e lo stato nutrizionale delle piante.

- La variazione della composizione chimica della sostanza secca delle piante dipende anche da:
 - il tipo e l'età del tessuto e, su base genetica, la specie e la varietà.
- Le concentrazioni di elementi nutritivi nei tessuti non sono legate da relazioni lineari
- Considerando contemporaneamente più nutrienti risultano preponderanti le interazioni tra elementi: effetti di sinergismo e di antagonismo.

- parti diverse della pianta possono essere utilizzate per la misura delle concentrazioni di micronutrienti.



Per una generalizzazione dei risultati delle analisi fogliari è indispensabile potersi riferire a dati ottenuti sullo stesso tipo di tessuto e possibilmente riferiti allo stesso stadio fenologico.

TABELLA 5 - Intervalli di concentrazione di micronutrienti in specie coltivate

Elemento	Specie, tessuto	Carente	Adeguato	Eccessivo
Fe	soia, germoglio	28-38	44-60	–
	pisello, foglia	14-76	100	> 500
	mais, foglia	24-56	56-178	
	pomodoro, foglia	93-115	107-250	
Mn	soia, foglia	2-5	14-102	> 300
	patata, foglia	7	40	
	pomodoro, foglia	5-6	70-400	
	frumento, germoglio	4-10	75	> 750
Zn	barbabietola, foglia	5-30	7-1.700	> 1.200
	patata, foglia	< 30	30-87	
	pomodoro, foglia	9-15	65-200	> 500
	mais, foglia	9-15	>15	
	avena	< 20	>20	
Cu	frumento, germoglio	< 14	>20	> 120
	cetriolo, foglia	< 2	7-10	> 10
	patata, germoglio	< 8	11-20	> 20
	pomodoro, foglia	< 5	8-15	> 15
	mais, foglia	< 2	6-20	> 50
Ni	frumento, germoglio	< 2	5-10	> 10
	soia, pianta intera	< 0,004	0,05-0,1	> 50
	orzo, seme	< 0,1	> 0,1-0,25	
B	avena	< 0,2	> 0,2	
	patata, foglia	< 15	21-50	> 50
	pomodoro, foglia	14-32	34-96	91-415
	mais, germoglio	< 9	15-90	> 100
Mo	frumento, paglia	4,6-6,0	17	> 34
	pomodoro, foglia	0,13	0,68	> 1.000
	orzo, germoglio		0,03-0,07	

TABELLA 4 - Concentrazione di boro nelle foglie di specie diverse

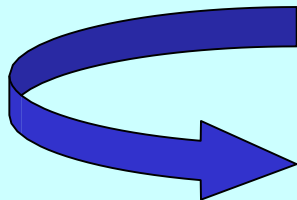
Specie	Concentrazione (ppm)
Frumento	6,0
Mais	8,7
Tabacco	29,4
Erba medica	37,0
Barbabietola	102,3

L'esigenza per le piante di boro è molto diversa in funzione della specie ed è generalmente più elevata per le dicotiledoni che per le graminacee.

Differenze notevoli nella concentrazione di elementi poco mobili, quali il boro, si possono riscontrare all'interno dello stesso tessuto (ad esempio la foglia).

ANALISI DEL SUOLO

- Una procedura di analisi si può considerare efficace se esiste una stretta relazione tra la quantità determinata con l'analisi nel suolo e quella accumulata nella pianta. L'analisi della risposta delle piante alla disponibilità di nutrienti viene generalmente effettuata in condizioni controllate (serra).
- Eterogeneità dei metodi analitici impiegati
- I risultati delle analisi dei suoli devono essere corretti tenendo conto di specifici fattori (pH, tessitura, sostanza organica, capacità di scambio cationico)
- la relazione tra quantità assorbita dell'elemento e quella presente nelle frazioni disponibili del suolo non è lineare, ma spesso curvilinea e fortemente influenzata dalle capacità delle piante (che varia da specie a specie e perfino all'interno della stessa specie) di modificare la dinamica dei micronutrienti attorno alla radice..



*difficoltà nel definire delle correlazioni
tra disponibilità dell'elemento nel suolo
e risposta della pianta*

- L'analisi del terreno segue leggi chimiche,
- L'analisi del tessuto vegetale dà la misura dei micronutrienti disponibili ed assorbiti dalle radici e traslocati alle foglie e risponde a leggi biochimiche, fisiologiche (esigenza nutrizionale e capacità di acquisizione) e genetiche (variabilità inter e intraspecifiche).



un quadro completo della situazione nutrizionale può derivare solo dall'integrazione dei risultati dei due metodi di analisi (fogliare e del terreno).



Attraverso la valutazione della relazione tra questi parametri e le risposte produttive è possibile pervenire alla definizione dei valori critici di ciascun elemento nei due compartimenti (suolo e pianta)

Micronutrienti	Funzioni svolte nelle piante
Ferro	<p>Insieme al magnesio fa parte della molecola della clorofilla;</p> <p>Componente di vari enzimi : regola i meccanismi di crescita, interviene nella biosintesi della clorofilla nei cloroplasti.</p> <p>Sono note più di 70 ferro-proteine che partecipano ai processi di ossido-riduzione (citocromi, ferridossine), di scissione dei perossidi (catalasi e perossidasi), di fissazione simbiotica dell'azoto (leghemoglobine), di accumulo di proteine (ferritina).</p>
Manganese	<p>Componente della molecola della clorofilla.</p> <p>È cofattore di enzimi coinvolti nell'attivazione di processi di fotofosforilazione e processi respiratori (ciclo di Krebs).</p> <p>Risulta necessario per la biosintesi di alcuni complessi vitaminici. Interviene nella sintesi di auxine.</p>
Zinco	<p>Formazione e lo sviluppo dei semi.</p> <p>La presenza dello zinco può risultare sia per l'attività sia per stabilizzare la struttura di alcuni enzimi : sintesi del triptofano e dell'acido indolacetico (IAA). DNA polimerasi, responsabile della duplicazione del DNA, per la stabilità ed il mantenimento della struttura dei ribosomi nella sintesi proteica.</p>
Rame	<p>Si ritrova nel sito attivo di oltre 30 enzimi È coinvolto nella biosintesi dell'acido indolacetico (triptamina ossidasi), nella riduzione dell'ossigeno a H_2O_2 o H_2O, nei processi di ossido riduzione, in particolare nella</p>

Micronutrient i	Funzione svolte nelle piante
Boro	<p>Influenza l'utilizzazione di Ca⁺⁺. È richiesto per la sintesi del DNA e per la divisione cellulare. Effetti sulla nutrizione azotata, influenzando il processo di nodulazione delle leguminose. Ha influenza sulla fioritura, fruttificazione e per la formazione di radici.</p>
Molibdeno	<p>Essenziale per i microrganismi azoto-fissatori : si trova associato alla nitrato-riduttasi Anche nelle piante superiori svolge azione prevalente nella riduzione dei nitrati. Rispetto alle sostanze precedenti è quella che nel terreno e nelle piante è contenuta in minore quantità; solo le leguminose utilizzano una quantità relativamente elevata di molibdeno.</p>
Cloro	<p>Osmosi ed equilibrio ionico: contribuisce a mantenere l'equilibrio elettrochimico delle cellule; in alcune piante, è contro ione del potassio nel processo di apertura e chiusura degli stomi.</p>

Effetto delle microcarenze

- **Ferro** → Crescita rallentata; clorosi che si manifesta con la colorazione internervale da verde pallida a gialla delle foglie a partire da quelle più giovani
- **Manganese** → Portamento eretto di foglie e germogli; clorosi fogliare internervale con aspetto chiazzato, a macchie anche necrotiche delle foglie più vecchie
- **Boro** → Lembo fogliare ispessito e bolloso; clorosi internervale; necrosi dei germogli, arresto nello sviluppo delle gemme e imbrunimento dei tessuti, disseccamento di apici radicali e gemme; raccorciamento degli internodi e foglie a rosetta; cascola di fiori e frutti; scarsa allegagione; deformazione dei frutti; marciume del cuore nella barbabietola.
- **Zinco** → Accorciamento degli internodi; foglie piccole e raggruppate in rosetta (pesco); scarsa fruttificazione; modificazioni fogliari: clorosi a maculatura fogliare anche nervale (agrumi), con sfumature bronzee.
- **Molibdeno** → Generale ingiallimento, clorosi marginale e internervale, necrosi marginale, arricciamento marginale, piante di dimensioni ridotte
- **Rame** → Scarso o nullo accrescimento; clorosi con imbianchimento degli apici fogliari; perdita di turgore di foglie e steli giovani.

Sensibilità delle colture

Micronutriente	Specie sensibile	Sintomologia	Trattamenti correttivi
Ferro	Lupino, soia	Foglie giovani clorotiche e con scarso contenuto di clorofilla	Somministrazione al suolo di prodotti a base di ferro (chelati o solfati) (da 50 a 100 kg/ha di solfato di ferro). Apporto di sostanza organica
Manganese	Avena, frumento, ortaggi, leguminose, barbabietola da zucchero	Foglie con screziature e piccole macchie brune e gialle lungo le nervature. Foglie accartocciate	La carenza può essere indotta da eccessiva calcitazione. La somministrazione al suolo di sali di manganese è pratica costosa e poco efficace
Zinco	Mais, sorgo, lino	Ridotto sviluppo delle piante. Clorosi internervale e deformazione dei margini delle foglie. Foglie molto piccole (rosetta)	La carenza può essere indotta da eccessiva calcitazione. Somministrazione al suolo di solfato di zinco (10 kg/ha di Zn)
Rame	Avena, frumento, mais, graminacee, pisello, trifoglio	Foglie giovani di colore verde molto scuro, con zone necrotiche ed estremità contorte e arrotolate	Somministrazione al suolo di solfato o ossido di rame (10 kg/ha di Cu)
Boro	Barbabietola da zucchero, cavolo, cavolfiore, erba medica	Foglie ispessite e di colore scuro. Limitata produzione di fiori e frutti	Somministrazione al suolo di borace (20-25 kg/ha). Soglia di carenza e soglia di tossicità sono quasi coincidenti
Molibdeno	Cavolfiore, erba medica, colza	Foglie contorte, giallastre, necrotiche ai bordi	Fenomeni di carenza sono frequenti nei suoli acidi. Somministrazione al suolo di molibdato di ammonio (2 kg/ha)
Cloro	Pomodoro, barbabietola da zucchero	Foglie clorotiche, necrotiche, di colore bronzeeo	L'abbondanza in natura del cloro rende molto improbabili carenze di questo micronutriente

Una volta che la carenza o la potenziale situazione di carenza è stata individuata, l'approccio migliore consiste nella somministrazione dell'elemento specifico

Un'applicazione a largo spettro può essere dispendiosa e pericolosa:

- non tutti gli elementi aggiunti sono necessari.
- la presenza di un secondo o terzo elemento può peggiorare la situazione di carenza interferendo con l'assorbimento del nutriente di cui la pianta necessita (antagonismo o inibizione).

Tossicità da micronutrienti

- Ferro → nei suolo sommersi per la coltivazione del riso, incrementata dalla carenza di K, P, Ca
- Cloro → 3,5 g/kg di s. s. delle foglie, bruciature delle punte, ingiallimento prematuro e caduta delle foglie in molte piante da frutto
- Manganese → Valore critico 200-5300 $\mu\text{g/g}$ di s. s. Macchie brune in foglie vecchie
- Boro → 1-10 mg/l in acque di irrigazione causano macchie clorotiche e aeree necrotiche in foglie mature
- Zinco → 400 e 500 $\mu\text{g/g}$ di s. s. inibizione dell'estensione radicale nelle maggior parte delle piante coltivate
- Molibdeno → 0,1 a 1000 μg di s. s. causano malformazione foglie e decolorazioni giallo-oro nelle parti aeree
- Rame → 20-30 $\mu\text{g/g}$ s. s. delle foglie causa clorosi, può indurre carenza di ferro

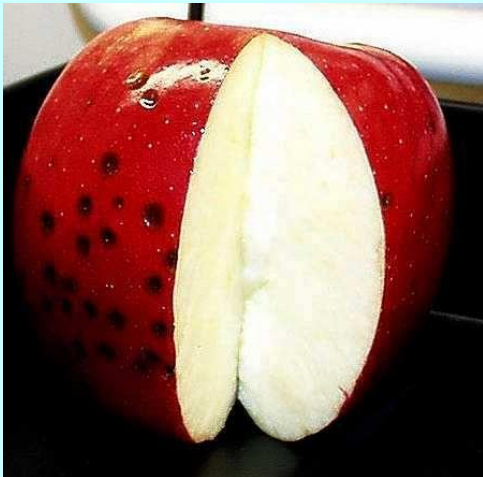
Microelementi e qualità delle produzioni

- La ridotta disponibilità o l'eccesso di un determinato microelemento determina una progressiva riduzione della crescita e della produttività
- Il danno per la pianta è già avvenuto prima che i sintomi si manifestino
- Con il progredire dello stato di squilibrio iniziano a manifestarsi sintomatologie visibili



Influenza dei micronutrienti sulle caratteristiche sensoriali

- **Manganese** → L'apporto di tale nutriente è stato associato positivamente con il colore verde di fondo in mele "Jonagold"
- **Zinco** → Applicazione nel suolo di zinco incrementa i solidi solubili totali nei frutti di mango
- **Boro** → Sia alte che basse concentrazioni sono stati associate con la durezza della polpa in alcuni frutti; effetti del boro sul livello del calcio; disordini fisiologici (butteratura amara su melo, "cork spot") nei frutti di mango e di melo



Riassumendo

- La carenza o l'eccesso di uno o più micro elementi può determinare importanti perdite quali/quantitative
- Un'adeguata nutrizione con microelementi può:
 - favorire la resistenza ad avversità di tipo biotico e abiotico
 - incrementare il valore nutritivo e la serbevolezza dei frutti
 - garanzia di una buona produzione costante nel tempo
- Per un corretto apporto di micro elementi, bisogna interpretare i dati analitici relativi ai micronutrienti nel terreno e nella pianta, integrandoli con l'osservazione in campo dello stato nutrizionale

Elementi immobili

