

## NUTRIZIONE :

assorbimento degli elementi necessari per il

### **METABOLISMO**

Crescita

Produzione di energia

I nutrienti **essenziali** per le piante sono di **natura inorganica**

*Arnon e Stout* (1939) hanno indicato **3 criteri** per stabilire l'**essenzialità** di un elemento:

- La sua mancanza rende **impossibile**

*completamento del ciclo vitale*

*formazione di semi vitali*

- La **carezza** è **specificca**

- L'elemento è **direttamente coinvolto** nella nutrizione:

- costituente di un metabolita essenziale
- richiesto per il funzionamento di un sistema enzimatico

# ELEMENTI ESSENZIALI PER LE PIANTE SUPERIORI

Secondo Arnon e Stout

Carbonio	C	Rame	Cu
Idrogeno	H	Zinco	Zn
Ossigeno	O	Molibdeno	Mo
Azoto	N	Boro	B
Fosforo	P	Sodio*	Na
Zolfo	S	Silicio *	Si
Potassio	K	Cobalto*	Co
Calcio	Ca	Cloro (1954)	Cl
Magnesio	Mg	Nichel (1987)	Ni
Ferro	Fe		
Manganese	Mn		

## Distinzione in **MACRO** e **MICRONUTRIENTI**

in base alla **richiesta quantitativa** per il normale sviluppo della pianta

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

**MICRO  
NUTRIENTI**

**MACRO  
NUTRIENTI**

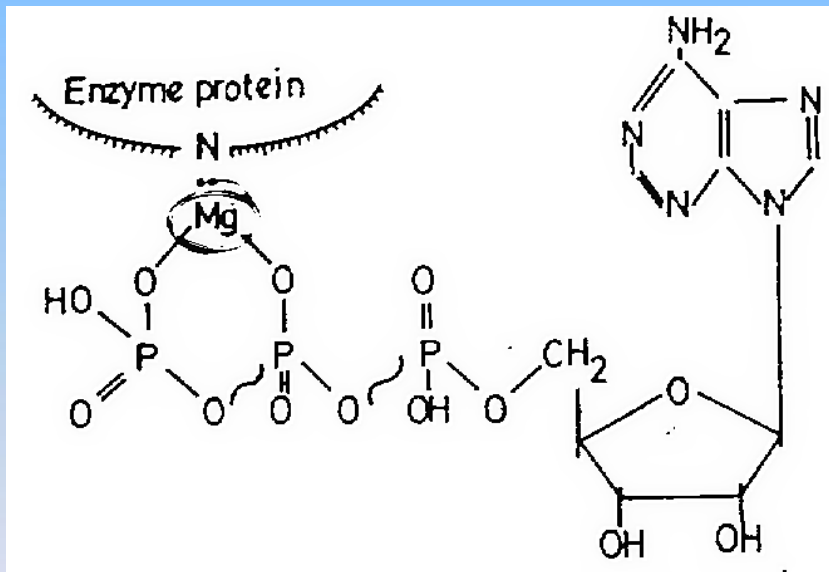
Modificato da Salisbury F.B. e Ross C.W., 1994.

Le piante possono contenere elevate concentrazioni di elementi non essenziali a volte tossici (Al, Ni, Se e F)

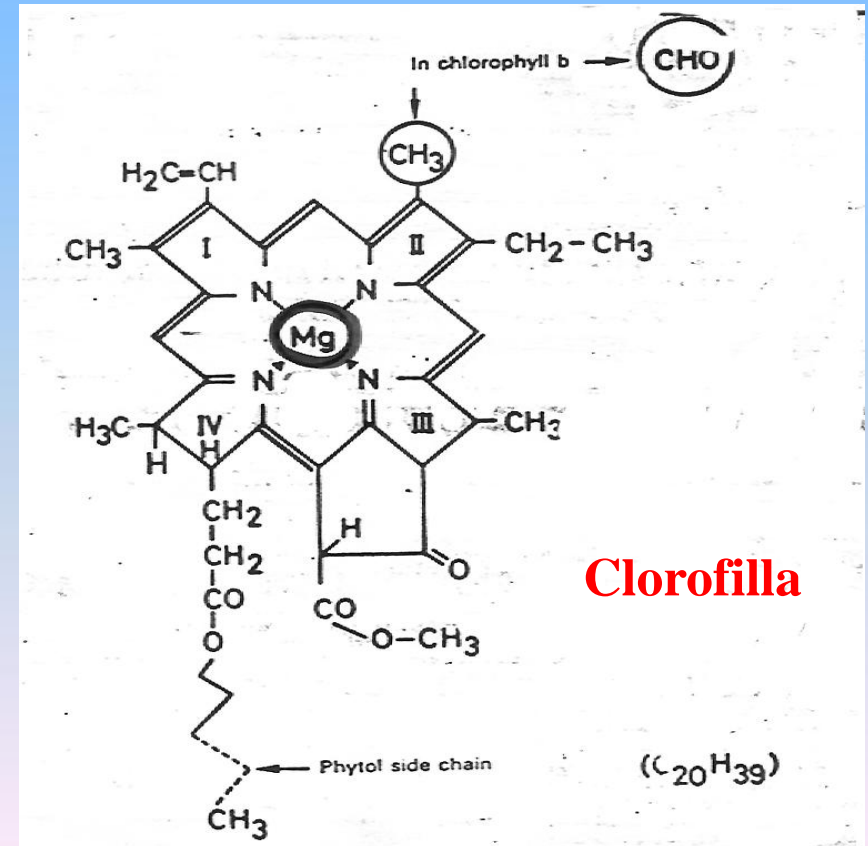
Divisione dal **punto di vista funzionale** :

- elementi che fanno parte della struttura di un composto importante (macronutrienti)
- elementi che svolgono il ruolo di attivatori di enzimi (micronutrienti)

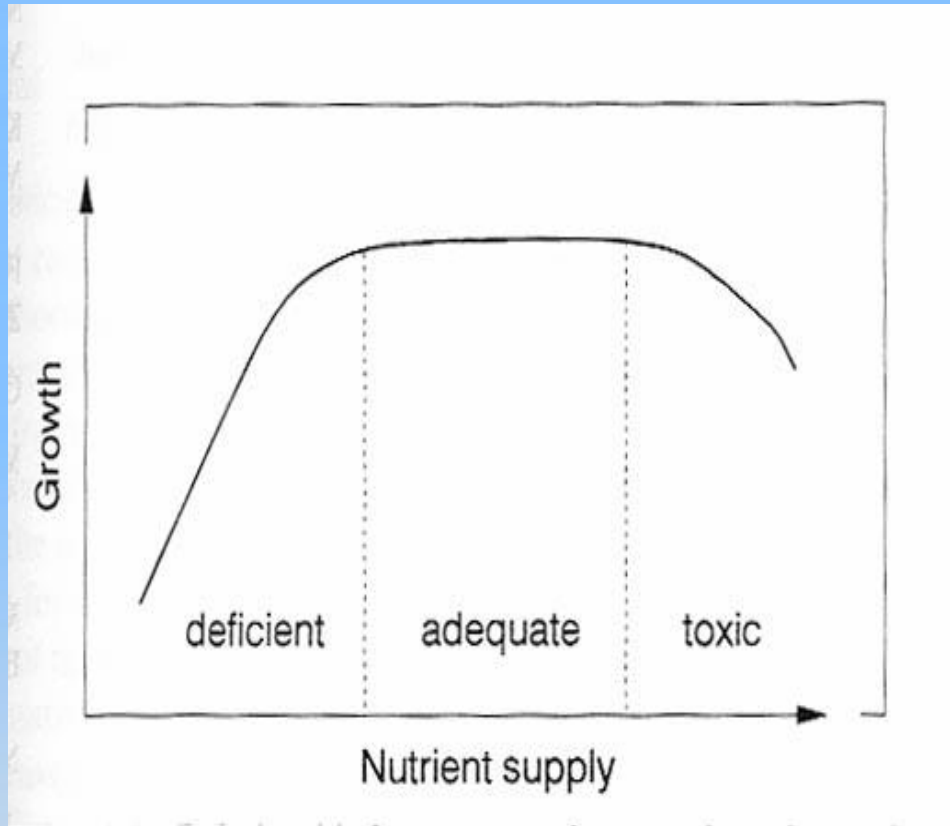
**Tra le due funzioni non c'è sempre una netta divisione**



**ATP**



## Curva della crescita in funzione dell'apporto di nutrienti:



### 3 regioni definite

*Zona di carenza*

*Zona di sufficienza*

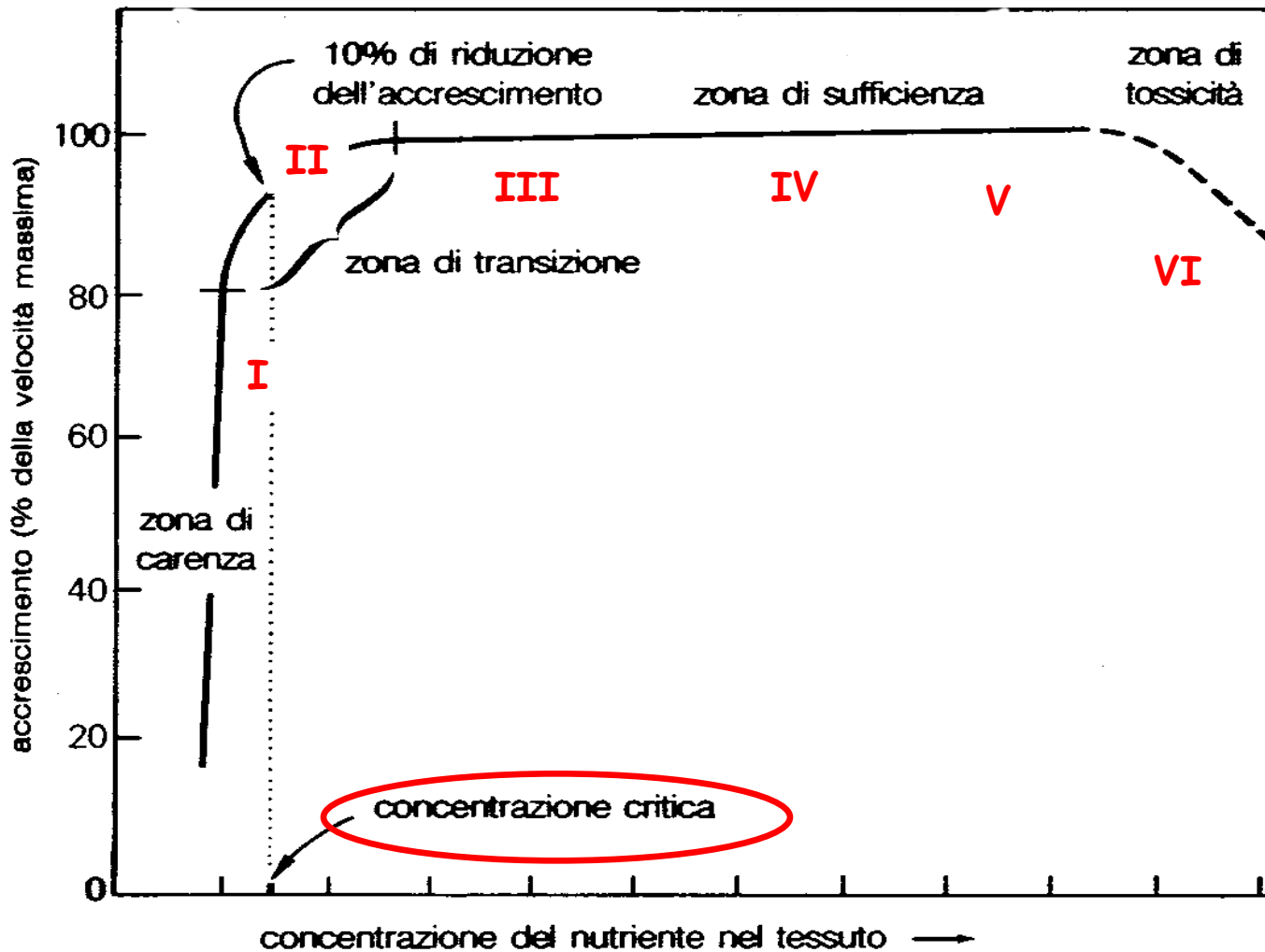
*Zona di tossicità*

Un rifornimento ottimale di nutrienti richiede informazioni sulla

- *Disponibilità di nutrienti nel suolo*

- *Stato nutrizionale della pianta*

Esiste una Relazione fra **crescita della pianta e contenuto di nutrienti minerali nel tessuto vegetale**



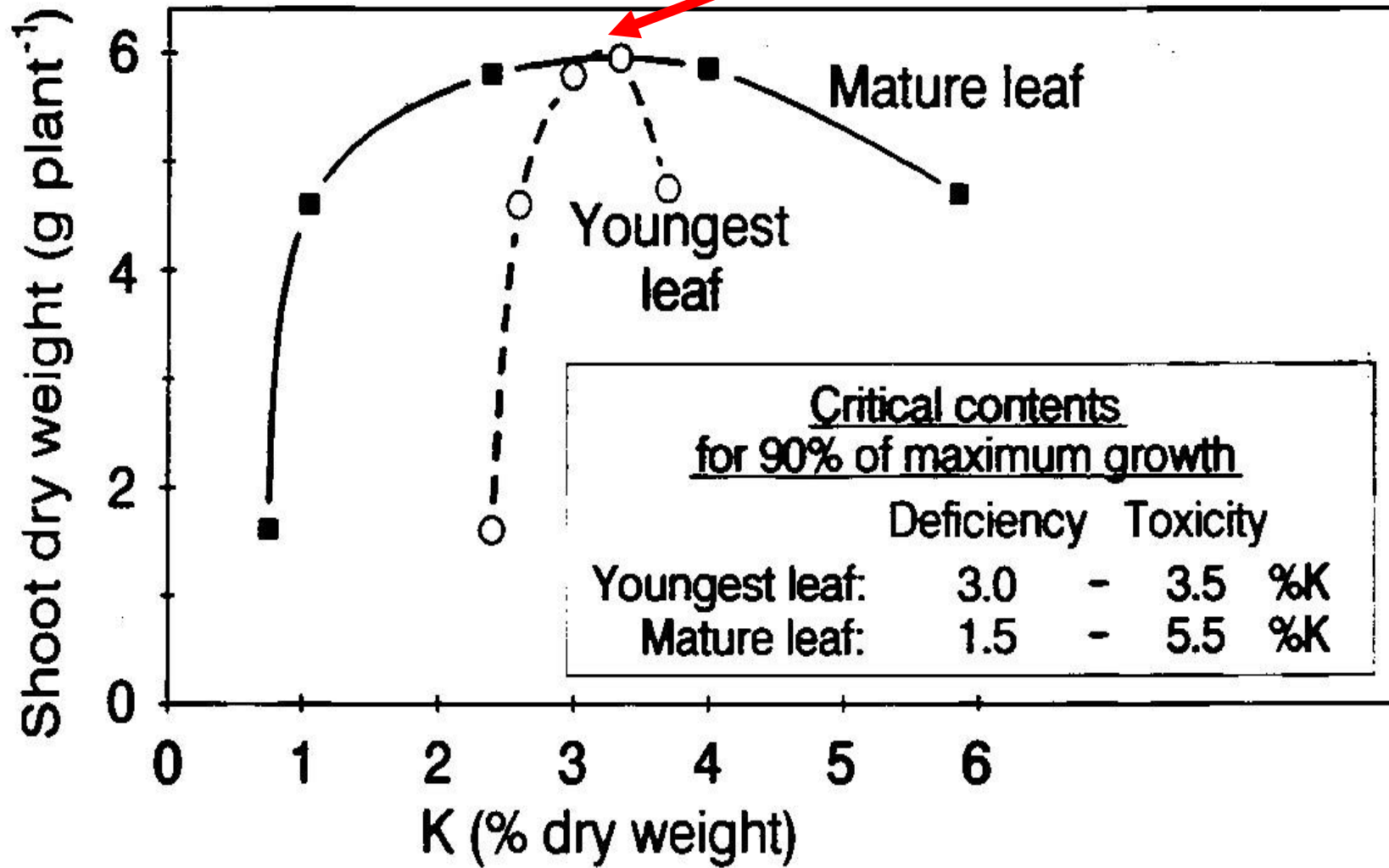
Curva  
caratterizzata  
da diverse zone

**Concentrazione  
Critica**

**CDC (Critical  
deficiency  
Content)**

Concentrazione  
necessaria per  
ottenere il **90%**  
della crescita  
massima

# Passaggio da sufficienza a tossicità



*Il valore CDC è minore negli organi maturi rispetto alle parti giovani*

## *L'analisi chimica del materiale vegetale*

per diagnosticare lo stato nutrizionale della pianta  
si basa sul concetto dell'esistenza di

**correlazione tra entità e velocità di crescita**



**contenuto di nutrienti minerali**

nel materiale fresco o sostanza secca (s.s.)

- *L'impiego delle foglie giovani è attendibile  
per i nutrienti minerali poco mobili all'interno della pianta.*



Fattori che controllano il contenuto minerale nella pianta :

1. **Assorbimento potenziale**

2. **Disponibilità dei nutrienti nel mezzo di coltura**

3. **Età della pianta**

1) **Assorbimento potenziale** è il fattore principale

- è specifico per ogni elemento e pianta
- è geneticamente prefissato

Nelle piante verdi :

La conc di N e K è ~10 volte > P e Mg ;

la conc di P e Mg è da 100 a 1000 volte > dei micronutrienti

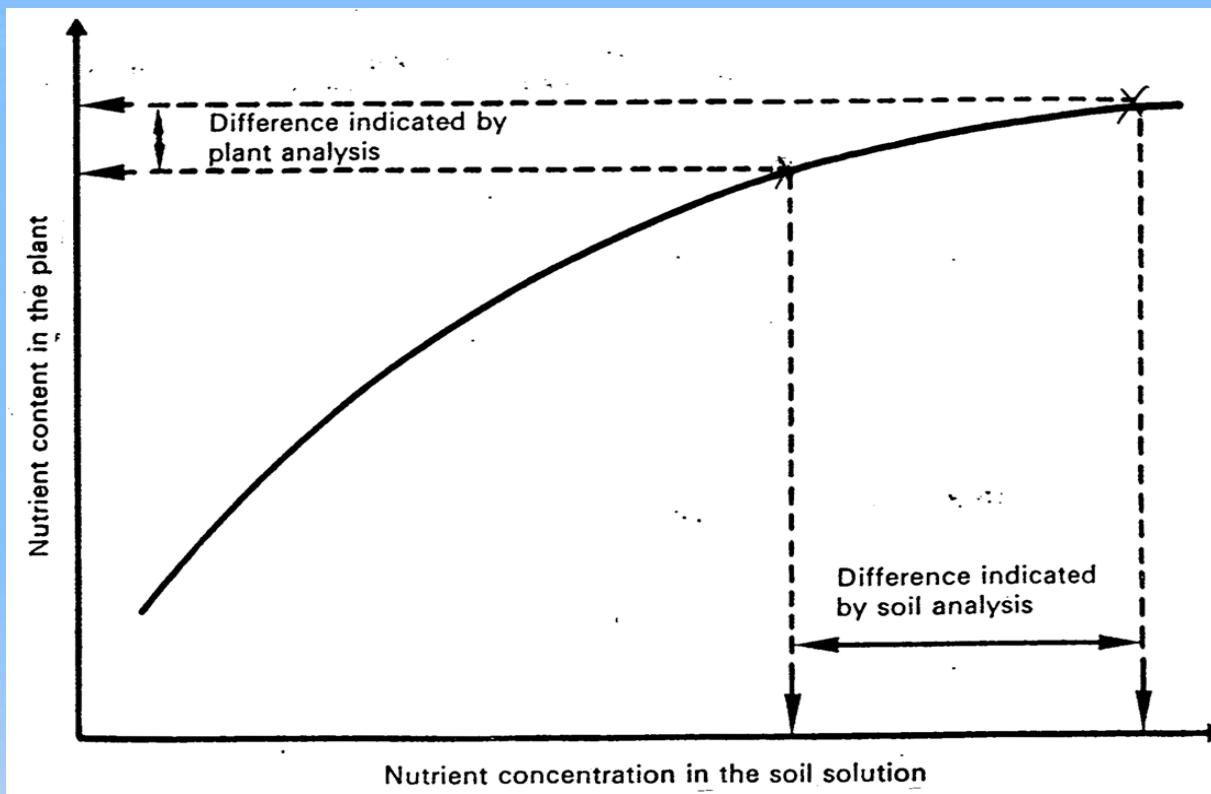
Nelle Dicotiledoni il rapporto  $\frac{\text{cationi divalenti}}{\text{cationi monovalenti}}$  > Monocotiledoni

## 2) Disponibilità dei nutrienti nel mezzo di coltura.

- La pianta necessita di un certo livello di ogni nutriente nei suoi tessuti.  
*Il livello critico* è differente per ogni nutriente.

- *Il contenuto di ciascun elemento è # nelle varie parti della pianta:*  
gli organi vegetativi (radici, fusto, foglie) hanno  
contenuto di elementi minerali > di semi, frutti e tuberi.

Tuttavia, gli organi riproduttivi e di riserva subiscono  
*notevoli variazioni* nel contenuto di elementi minerali



La concentrazione di un el aumenta nella pianta all'aumentare della sua disponibilità nel mezzo esterno con una curva asintotica che tende alla  **saturazione**

Al di sopra del livello critico, si hanno piccoli cambiamenti nella pianta per grossi aumenti di conc di nutrienti nel suolo.

**L'analisi fogliare ha validità solo nel range di bassa concentrazione** per diagnosticare la disponibilità di un elemento nel suolo.

**Alle alte concentrazioni, risulta necessaria un'analisi del suolo.**



3) Il contenuto in elementi minerali è molto dipendente dall'età della pianta,

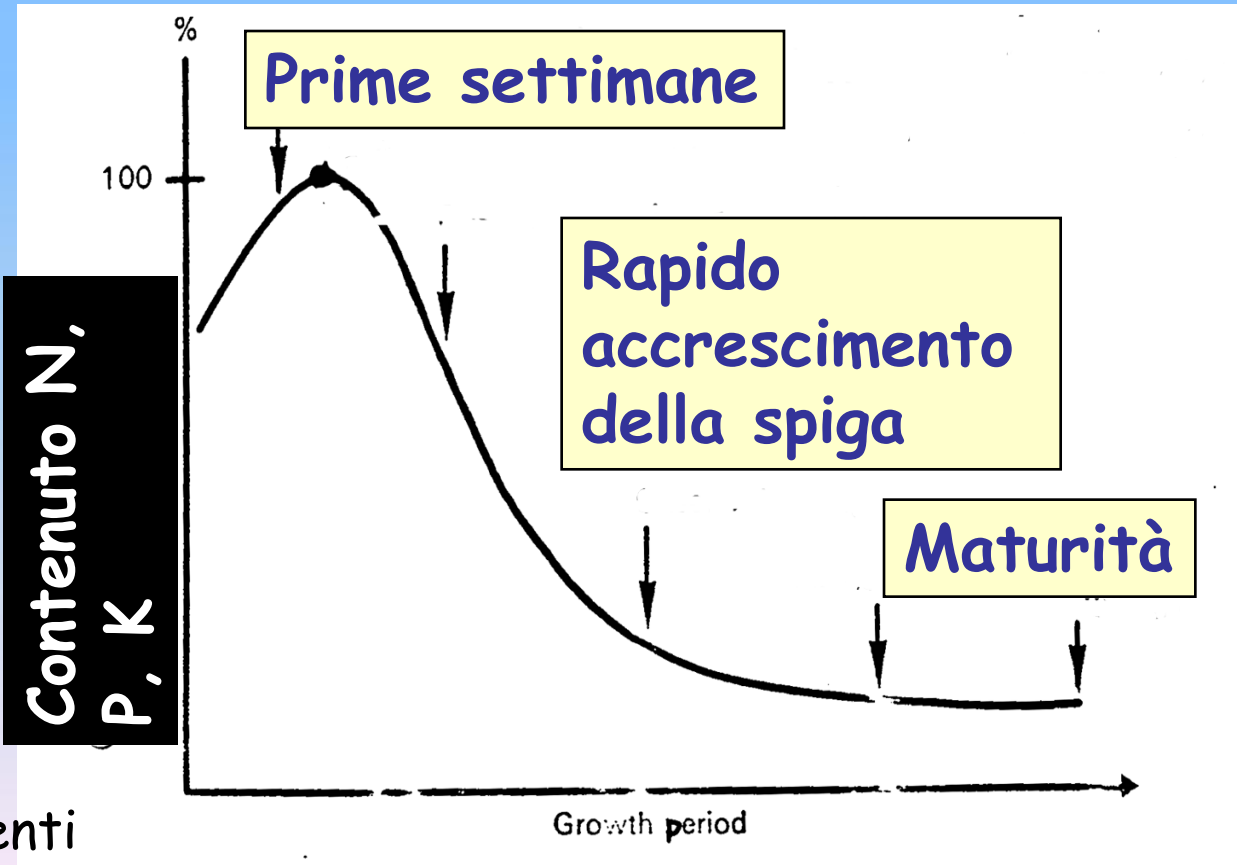
Il contenuto di N, P e K in piante di grano durante il periodo di crescita varia notevolmente.

• Nelle prime settimane l'assorbimento radicale > velocità di crescita

→ aumento del contenuto minerale nella pianta

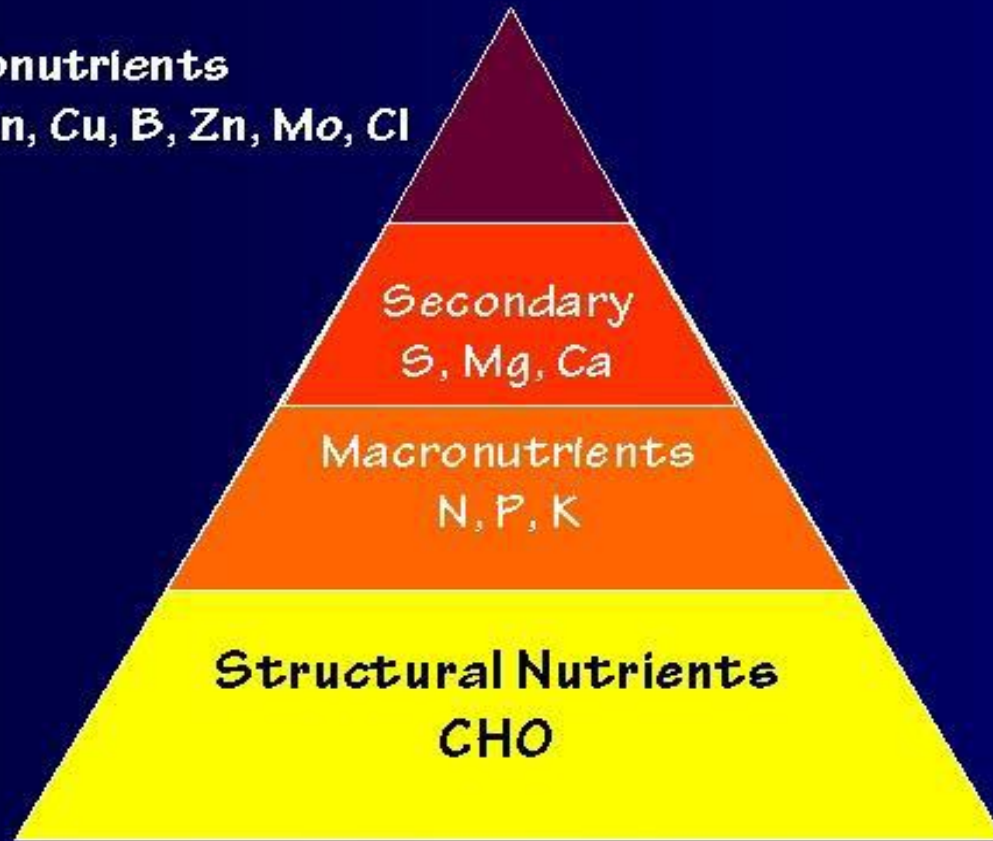
• Rapido allungamento dei fusti → *effetto diluizione*

• Nelle spighe mature → *scarse variazioni* nella conc interna di N, P e K ma grosse traslocazioni degli elementi



## Micronutrients

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



Altri elementi presenti in  
quantità variabile

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

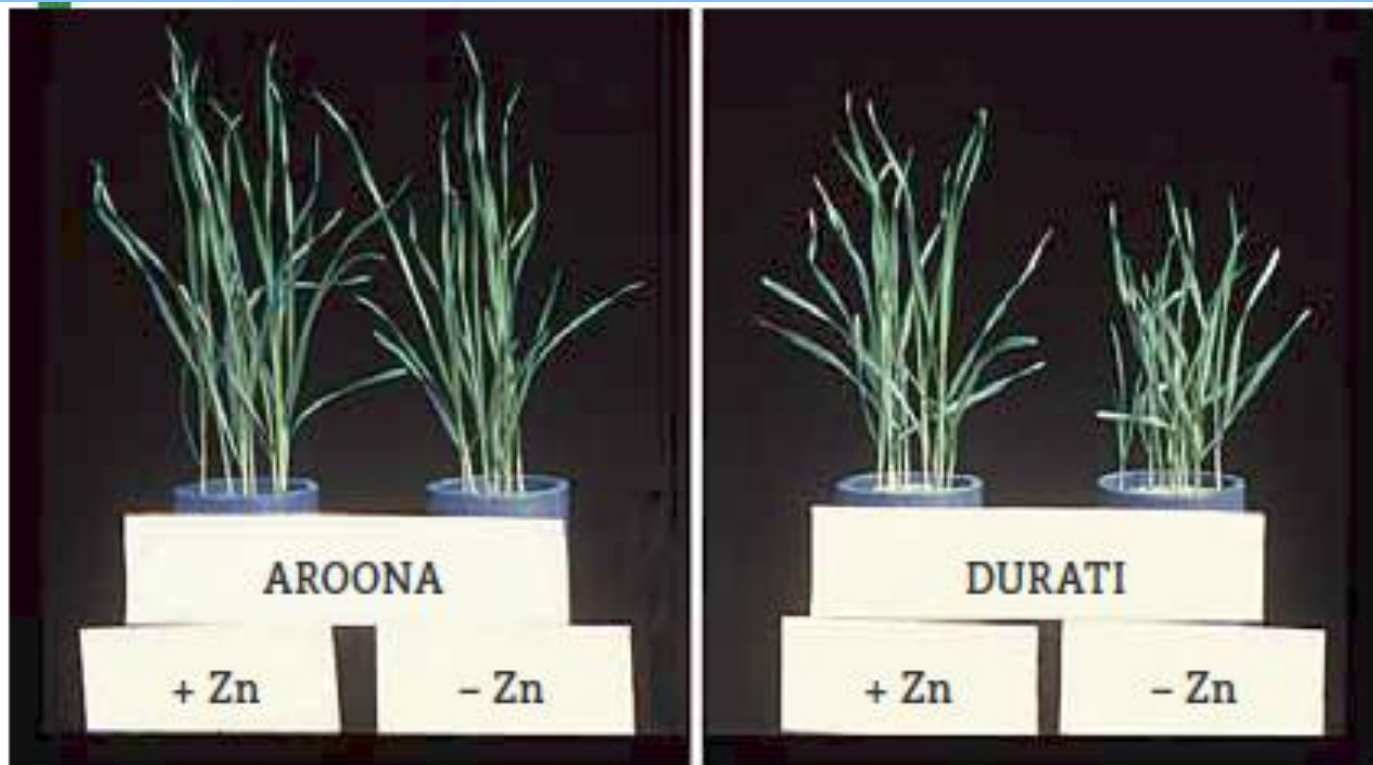
- Fra questi quelli ritenuti benefici (ad esempio cobalto) sono generalmente richiesti in dosi molto limitate rispetto a quanto normalmente disponibile nei terreni, e pertanto non vengono considerati con le concimazioni;

altri sono richiesti o accumulati in quantità apprezzabili solo da particolari piante

(ad esempio il silicio in *Equisetum*).

**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.

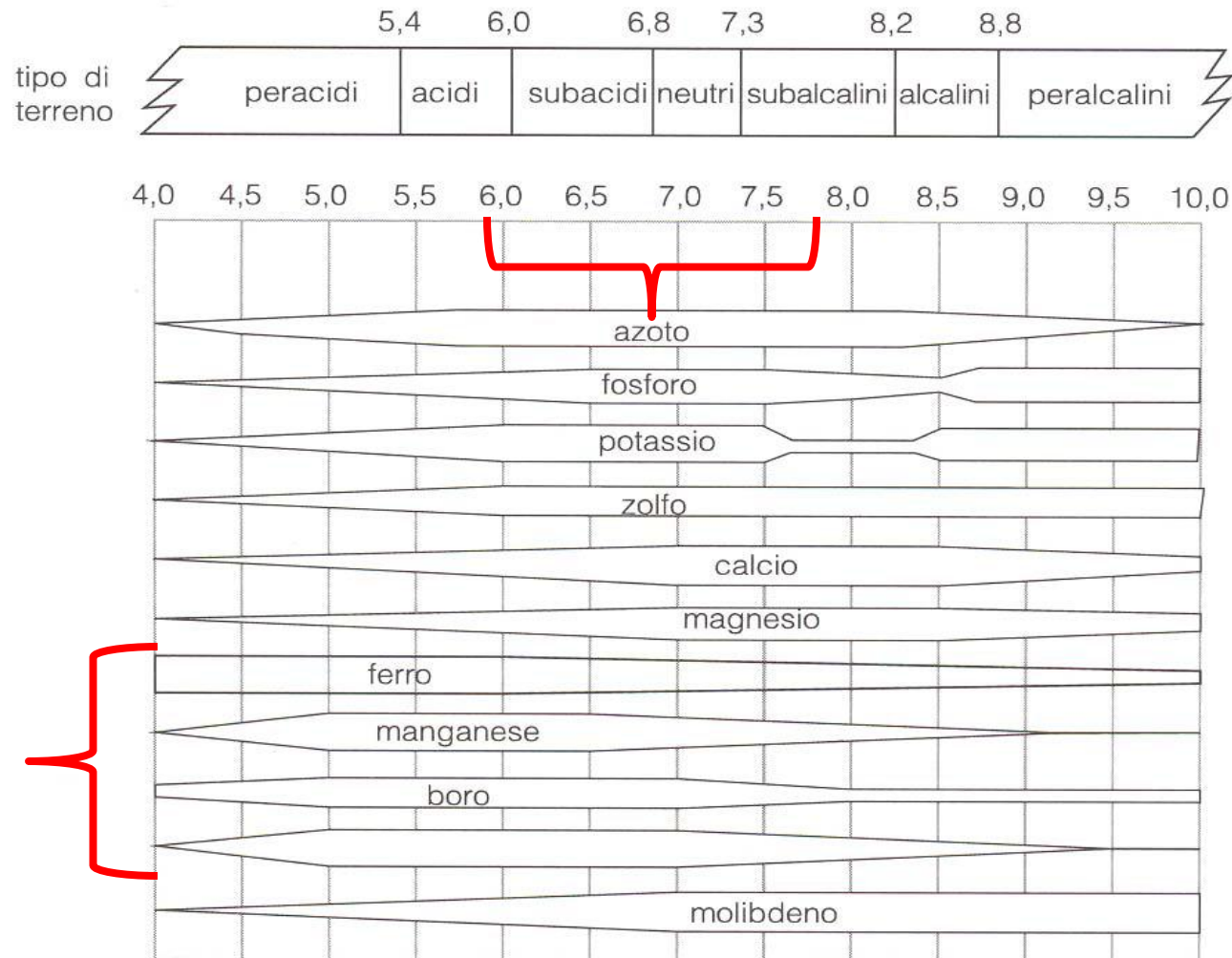
**TABELLA 1 - Sensibilità delle colture alle carenze micronutrizionali**

	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
Sola	E/M	E	M	B	B	E/M
Spinacio	E	E	M	E	M	E

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

## pH del suolo

## Disponibilità di macro e microelementi



Per tutti i  
*micronutrienti cationici*  
la solubilità maggiore  
(disponibilità) è a bassi  
pH (maggiore acidità).  
Al contrario, per il  
*molibdeno* (forma  
anionica in soluzione)  
rischio di carenza  
a pH acido  
mentre concentrazioni  
di potenziale tossicità  
a pH neutro o alcalino.



## I CATIONI DIVALENTI:

*Zn<sup>++</sup>, Mn<sup>++</sup>, Cu<sup>++</sup>, in particolare Fe<sup>++</sup>*

*sono relativamente insolubili a pH > 5, cioè in quasi tutti i suoli agrari.*

*Le carenze di Fe sono molto diffuse:*

il Fe<sup>3+</sup> è molto più abbondante ma meno solubile e meno assorbito dalle radici delle piante.

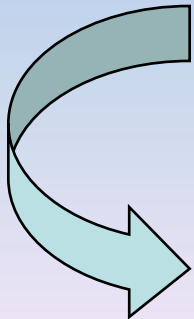
Nei terreni aerati  $Fe^{2+} \longrightarrow$  **ossidazione**  $\longrightarrow$  **Fe<sup>3+</sup>**

- $Fe^{3+} + 3 OH^{-} \longrightarrow$  **Fe(OH)<sub>3</sub>** formazione di ossidi idrati insolubili
- Forma ferrica ossidata **Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** (ruggine dà colorazione bruna)

*necessità di agenti leganti o chelanti*

cedono un e<sup>-</sup> al catione  $\longrightarrow$  formazione di prodotto solubile

**2 principali tipi di leganti formano chelati con il Fe:**



## 1. chelanti sintetizzati dai microrganismi del suolo

*Nei suoli calcarei, ricchi di  $Ca^{++}$  e con  $pH \geq 7$ , più del 90% dei cationi metallici sono chelati con leganti di origine microbica.*

## 2. chelanti sintetizzati dalle radici e secreti nella rizosfera

Nelle piante vengono attuate due differenti strategie per l'acquisizione del Fe:

strategia I:

secrezione di potenti leganti organici (ac. caffeico) specifici per il  $Fe^{3+}$

*Sulla superficie della radice :*



$Fe^{2+}$  si stacca dal legante e viene subito assorbito

strategia II: produzione e secrezione di siderofori:

*Leganti e trasportatori del  $Fe^{3+}$*

*attraverso la membrana plasmatica.*

# STRATEGIA I attuata da dicotiledoni e monocotiledoni non graminacee

3 diverse risposte:

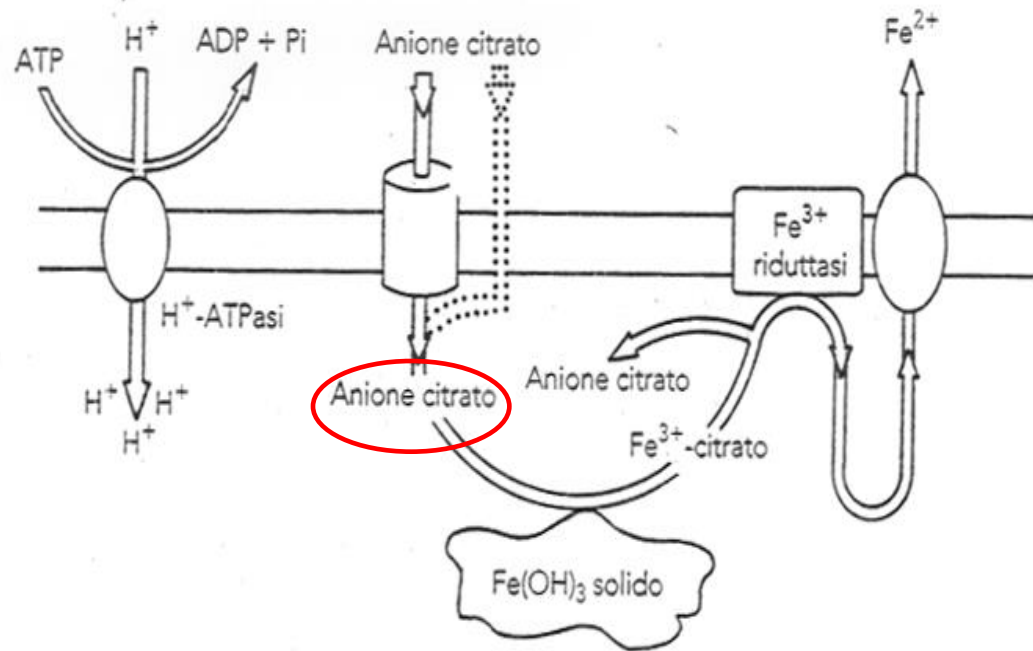
1) *Aumento della capacità reduttasica dell'E. Riduttasi*, legato alla membrana della cellula radicale.

2 distinte Reduttasi (Rd): 1 costitutiva a bassa capacità e un'altra Rd, indotta dalla Fe-carezza e con elevata capacità di riduzione  $\text{Fe}^{3+} \longrightarrow \text{Fe}^{2+}$

2) *Aumento dell'efflusso netto di  $\text{H}^+$* .  $\longrightarrow$  In Fe-carezza, la pompa redox transmembrana aumenta l'escrezione di protoni  $\text{H}^+ \longrightarrow$  diminuzione del pH  $\longrightarrow$  stimolazione dell'attività della Rd

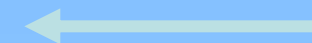
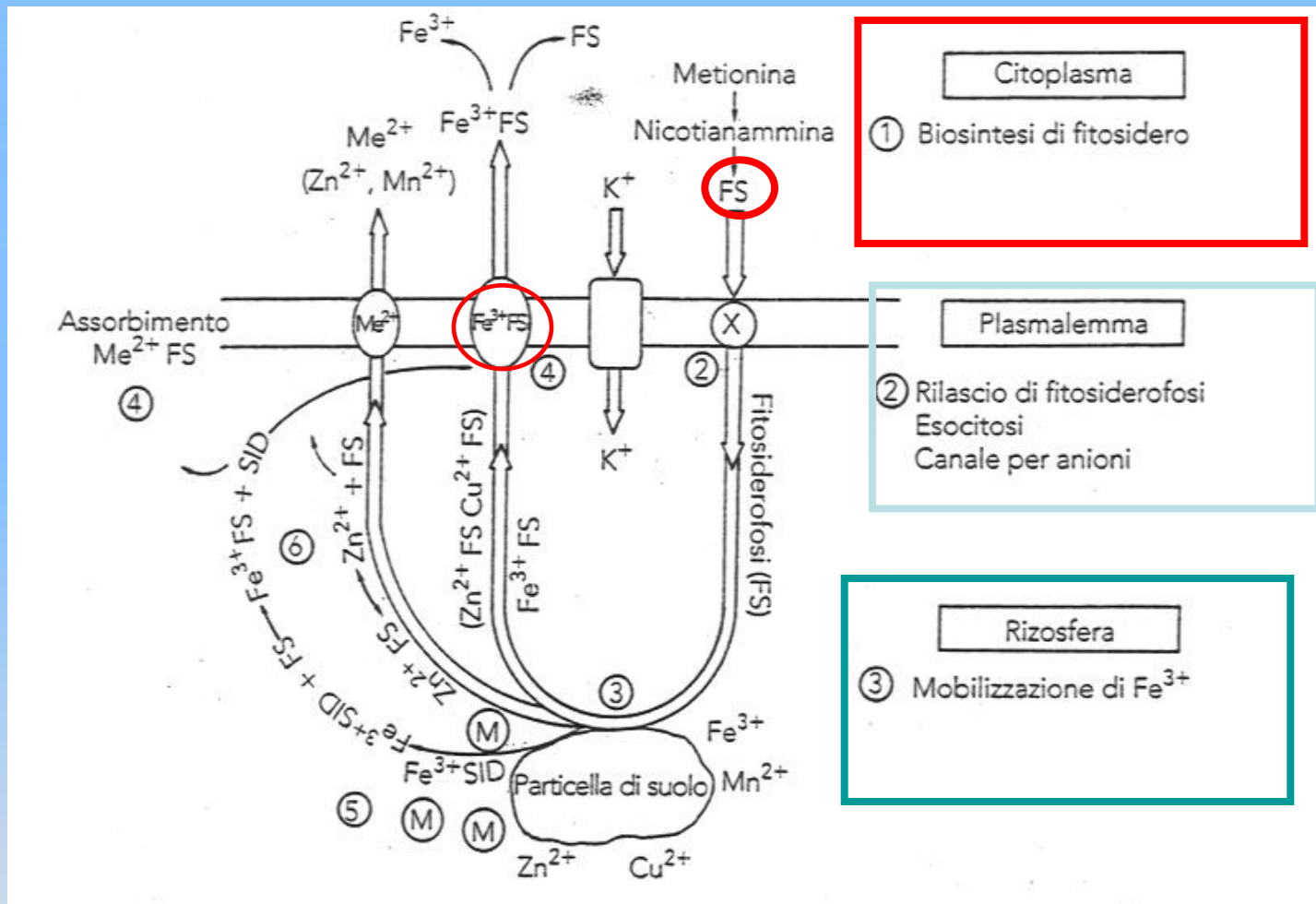
3) *Rilascio di composti chelanti* (anione citrato)

- Formazione del complesso  $\text{Fe}^{3+}$ -citrato e successiva riduzione del complesso  $\text{Fe}^{3+}$ -citrato sulla superficie del plasmalemma ad opera dell'enzima Rd
- Assorbimento del  $\text{Fe}^{2+}$  ridotto attraverso uno specifico canale
- Restituzione alla soluzione del suolo dell'anione citrato



## STRATEGIA II

attuata solo dalle graminacee e in particolare dai cereali



- La Fe-carencia induce il rilascio di fitosiderofori (FS) leganti specifici per il Fe, tramite esocitosi o mediante canali anionici
- Contemporaneo bilanciamento delle cariche per liberazione di ioni K<sup>+</sup>
- Mobilizzazione nella rizosfera di Fe<sup>3+</sup> (Zn<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>): Formazione complesso *Fe<sup>3+</sup>Sideroforo*

- Un sistema costitutivo di trasporto, altamente specifico, presente sulla membrana plasmatica, trasporta all'interno il complesso  $Fe^{3+}$ -FS
- Assorbimento di micronutrienti mobilizzati dai FS dopo liberazione dai chelati (6)
- Scambio di leganti nella rizosfera fra FS e siderofori (SID) microbici (M)

- Il  $Fe^{3+}$   $\longrightarrow$   $Fe^{2+}$  all'interno  
i cationi bivalenti sono mantenuti in soluzione nel succo citoplasmatico mediante formazione di chelati con leganti cellulari:

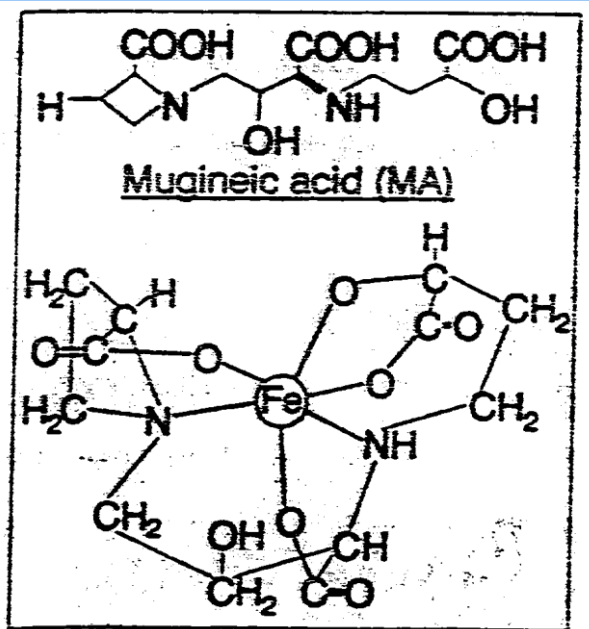
*anioni di Ac organici (ac. Citrico, malico)*

- *Il FS viene poi degradato o riemesso all'esterno per catturare altro  $Fe^{3+}$*

*I siderofori:*

*ac. mugineico, ac. avenico*

*legano il  $Fe^{3+}$  mediante gli atomi di O e di N*



Alcune specie hanno l'esigenza di **altri elementi essenziali**

**Il SODIO (Na)** è un elemento essenziale per:

- **alcune alofite**

- **alcune non alofite con via fotosintetica  $C_4$**   
richiedono il Na alle concentrazioni di un micronutriente

- Amaranthaceae
- Chenopodiaceae
- Cyperaceae

- **piante CAM**

Queste piante in **carenza** di Na



- Scarsa crescita
- Sintomi di clorosi e necrosi
- Difficoltà nella produzione di fiori

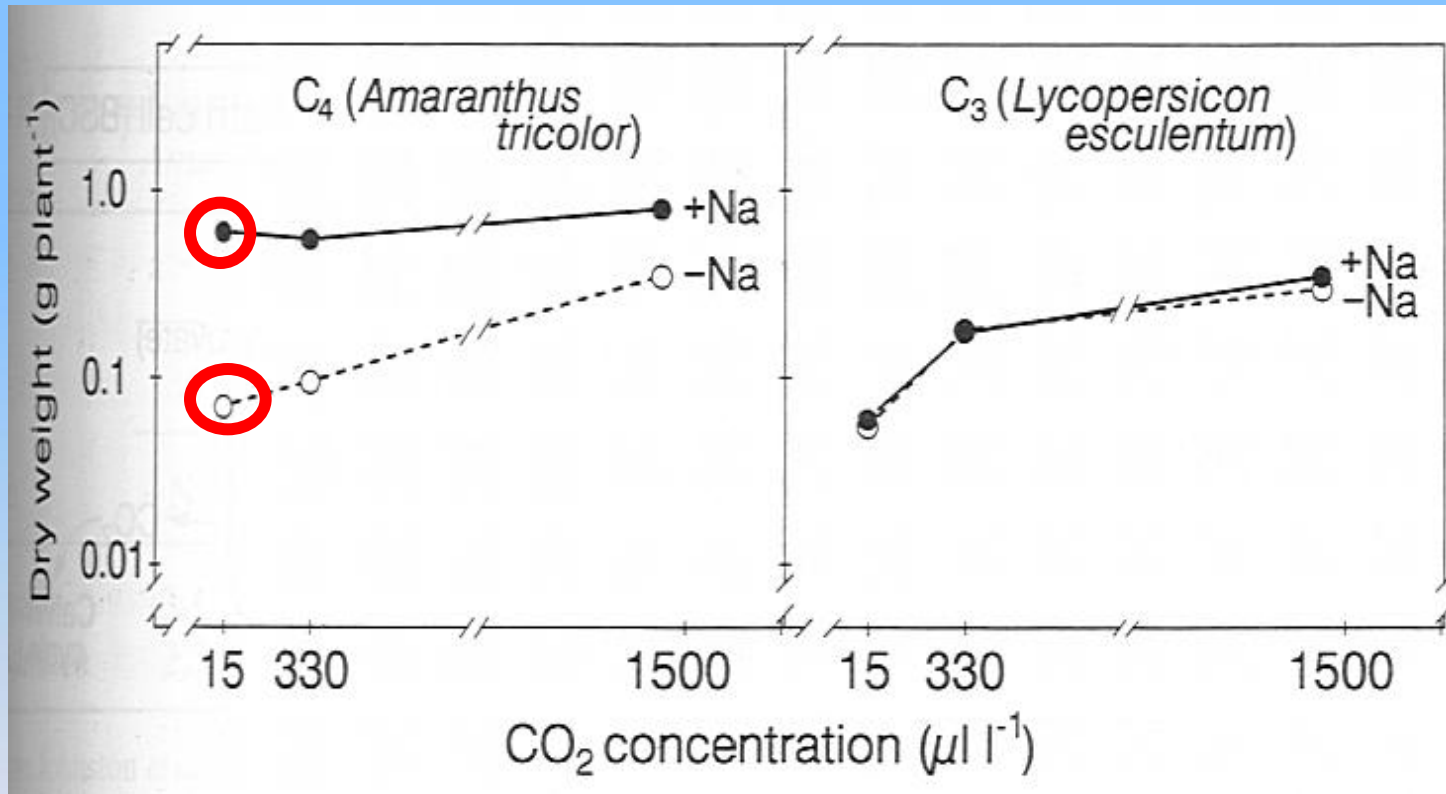
L'alofta **Atriplex vesicaria** a basse concentrazioni di Na diventa **clorotica e necrotica**,  
**la crescita è ridotta** nonostante l'elevato contenuto di Potassio (K)

Treatment (mM Na <sup>+</sup> )	Dry wt (mg per 4 plants)	Content of leaves (mmol kg <sup>-1</sup> dry wt)	
		Na	K
→ None	86	10	2834
0.02	398	48	4450
0.04	581	78	2504
0.20	771	296	2225
→ 1.20	1101	1129	1688

<sup>a</sup>From Brownell (1965). The basic nutrient solution contained 6 mM potassium.

Nelle *piante C4*

il  $\text{Na}^+$  migliora l'**efficienza fotosintetica**, soprattutto a basse concentrazioni di  $\text{CO}_2$

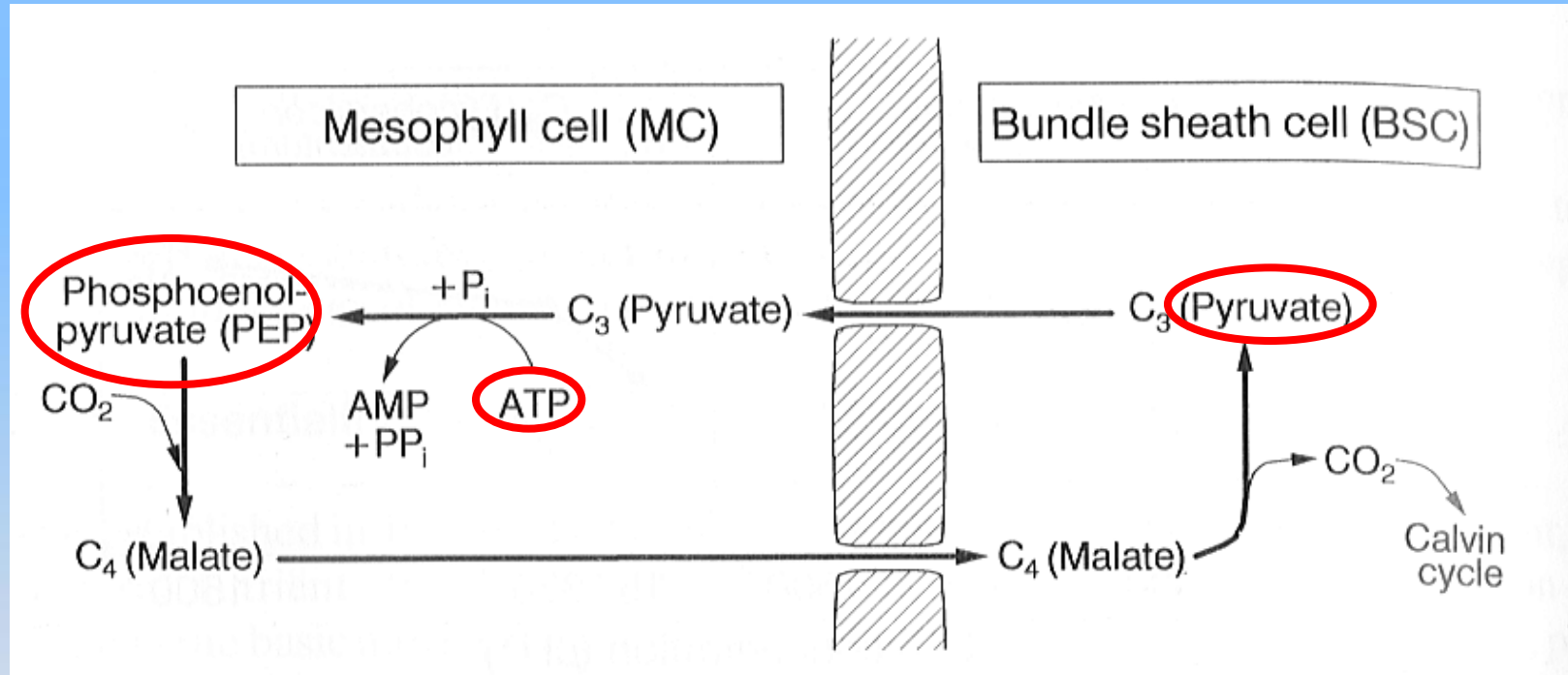


Nelle *piante C3* non c'è alcun effetto benefico dovuto al  $\text{Na}^+$  sull'efficienza fotosintetica.



**CELLULA  
MESOFILLO**

**CELLULA GUAINA  
DEL FASCIO**



*La carenza di Na sembra interferire sulla conversione da  
PIRUVATO a FOSFOENOLPIRUVATO*

## *In carenza di Na :*

- accumulo di piruvato e alanina
- diminuzione di PEP, malato e aspartato
- riduzione dell'attività del PSII nei cloroplasti del mesofillo per alterazione dell'ultrastruttura del cloroplasto (meccanismo non noto)
- riduzione dell'assorbimento del nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) nelle radici
- riduzione dell'assimilazione del nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) nelle foglie:

*l'attività della Nitrato Reduttasi è bassa nelle*

*piante  $C_4$  Na-carenti*

Gli *effetti positivi del Na sulla crescita*, nelle piante natrofile, oltre alla capacità di sostituire positivamente il K sono da attribuire ai meccanismi di

- **Espansione cellulare** e influenza sul bilancio idrico:

abbassamento del  $\psi$  nei vacuoli  $\longrightarrow$  richiamo di  $H_2O$   $\longrightarrow$

**aumento della pressione di turgore e dell'espansione cellulare**

$\longrightarrow$  **Aumento dell'area fogliare e del numero di stomi**

Foglie di Barbabietola	Stomata	Chlorophyll	Net photosynthesis
	lower surface (no. $cm^{-2}$ )	( $mg\ g^{-1}$ dry wt)	( $mg\ CO_2\ cm^{-2}\ h^{-1}$ )
mM 5.0 $K^+$	11 807	12.1	15.2
0,25 $K^+$ + 4.75 $Na^+$	15 127	9.2	14.4

*La crescita maggiore non è conseguenza di maggiore efficienza fotosintetica:*

*Il contenuto di clorofilla è più basso per cui la percentuale netta di fotosintesi per unità di area fogliare, risulterà minore.*

Tuttavia la **maggiore area fogliare**  $\longrightarrow$  **aumento dell'intercettazione della luce**

- **Miglioramento del bilancio idrico** nelle piante natrofile mediante **regolazione stomatica.**

*La regolazione stomatica interviene se il rifornimento idrico è limitato :*

➡ **rapida chiusura degli stomi**  
nelle piante + Na rispetto a quelle con solo K

➡ **più lenta riapertura degli stomi**  
alla fine del periodo di stress

## FOGLIE DI BARBABIETOLA

