

## 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*
- La **carezza** è **specificca** *formazione di semi vitali*
- 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	} <b>MICRO NUTRIENTI</b>
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	} <b>MACRO NUTRIENTI</b>
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	

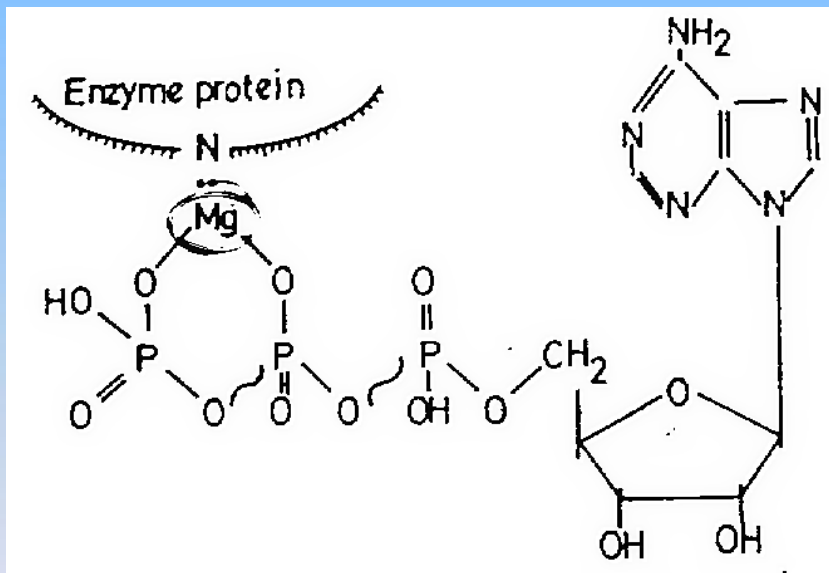
Modificato da Salisbury F.B. e Ross C.W., 1994.

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

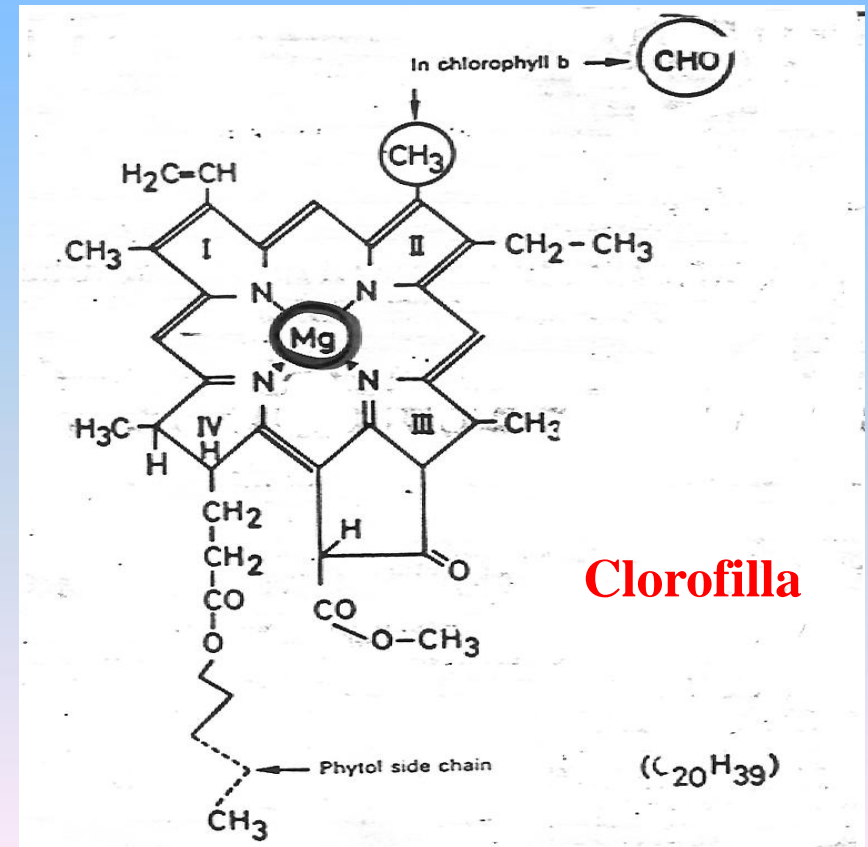
Divisione dal **punto di vista funzionale** :

- 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**



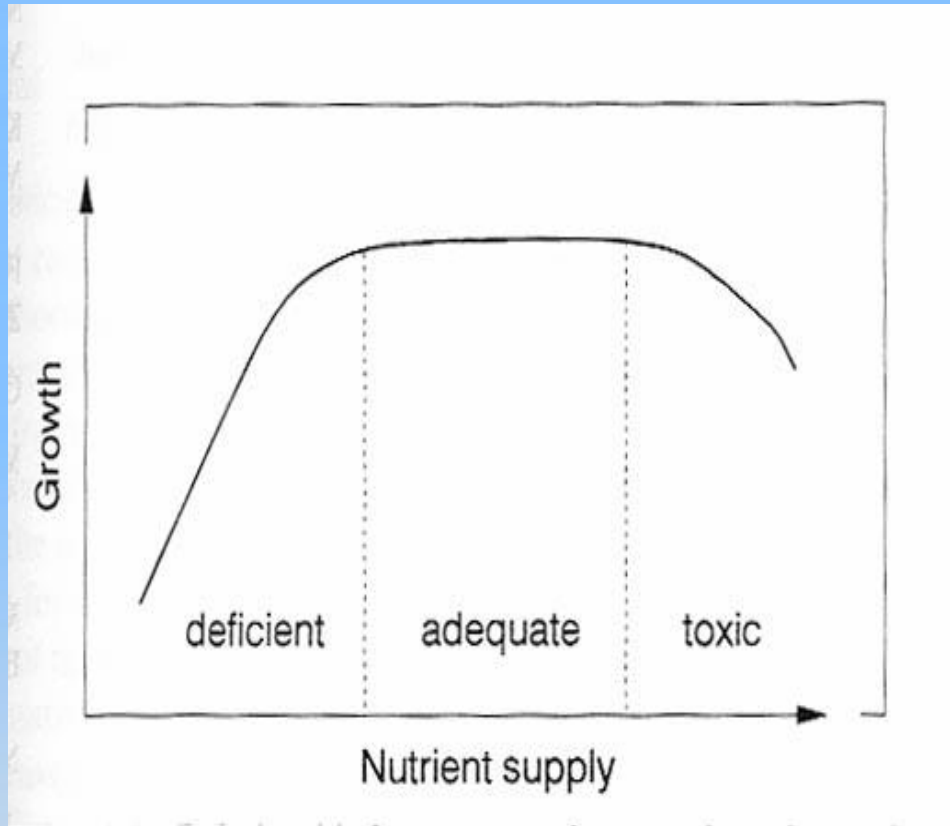
**ATP**



**Clorofilla**

(C<sub>20</sub>H<sub>39</sub>)

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



### 3 regioni definite

*Zona di carenza*

*Zona di sufficienza*

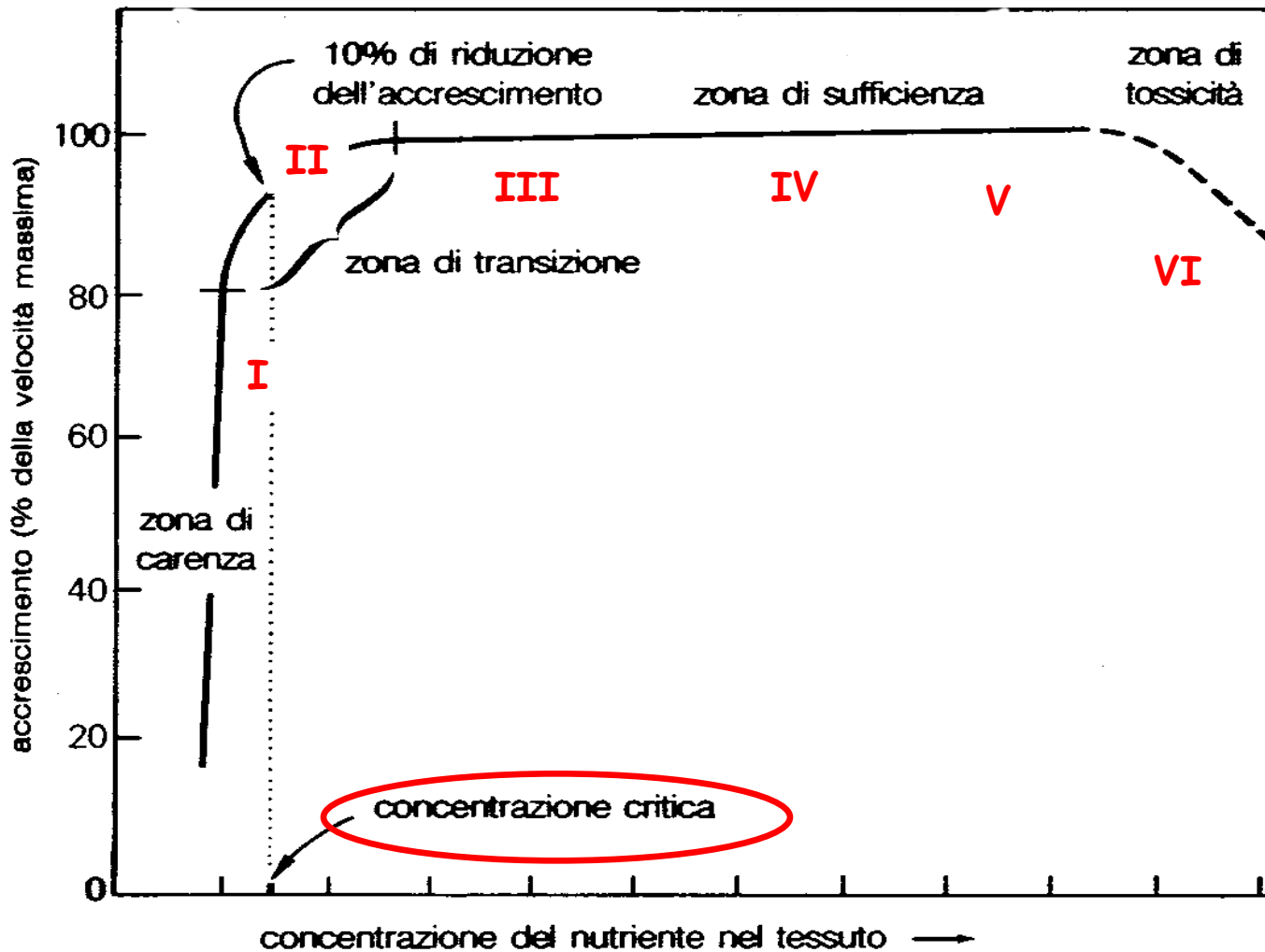
*Zona di tossicità*

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**



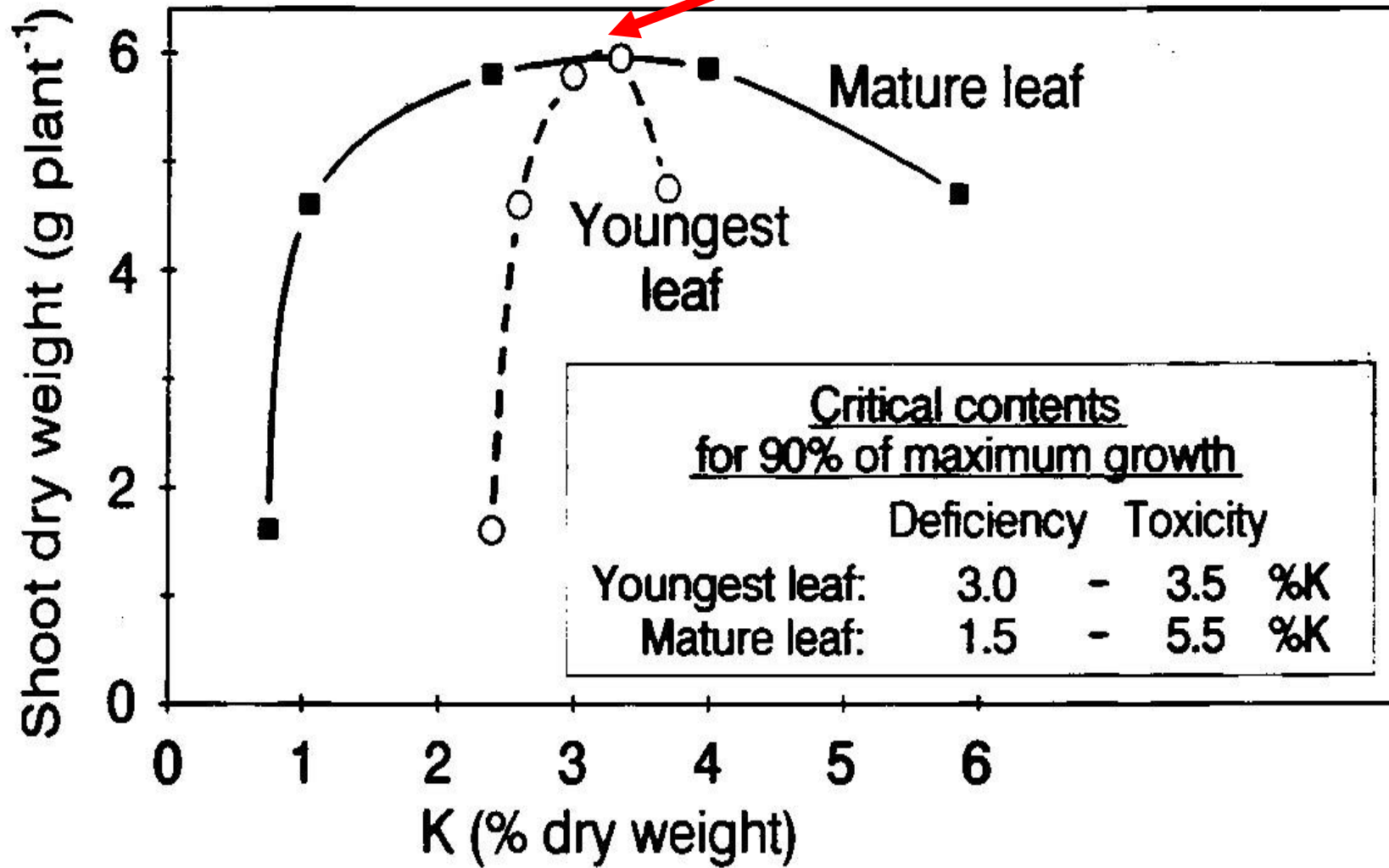
Curva  
caratterizzata  
da diverse zone

**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.*



Mineral Nutrient Contents in the Adequate Range of Some Representative Annual and Perennial Species<sup>a</sup>

Species (organ)	Contents (% dry wt)					Contents (mg kg <sup>-1</sup> dry wt)				
	N	P	K	Ca	Mg	B	Mo	Mn	Zn	Cu
Spring wheat (whole shoot, booting stage)	3.0–4.5	0.3–0.5	2.9–3.8	0.4–1.0	0.15–0.3	5–10	0.1–0.3	30–100	20–70	5–10
Ryegrass (whole shoot)	3.0–4.2	0.35–0.5	2.5–3.5	0.6–1.2	0.2–0.5	6–12	0.15–0.5	40–100	20–50	6–12
Sugar beet (mature leaf)	4.0–6.0	0.35–0.6	3.5–6.0 <sup>b</sup>	0.7–2.0	0.3–0.7	40–100	0.25–1.0	35–100	20–80	7–15
Cotton (mature leaf)	3.6–4.7	0.3–0.5	1.7–3.5	0.6–1.5	0.35–0.8	20–80	0.6–2.0	35–100	25–80	8–20
Tomato (mature leaf)	4.0–5.5	0.4–0.65	3.0–6.0	3.0–4.0	0.35–0.8	40–80	0.3–1.0	40–100	30–80	6–12
Alfalfa (upper shoot)	3.5–5.0	0.3–0.6	2.5–3.8	1.0–2.5	0.3–0.8	35–80	0.5–2.0	30–100	25–70	6–15
Apple (mature leaf)	2.2–2.8	0.18–0.30	1.1–1.5	1.3–2.2	0.20–0.35	30–50	0.1–0.3	35–100	20–50	5–12
Orange ( <i>Citrus</i> spp.) (mature leaf)	2.4–3.5	0.15–0.3	1.2–2.0	3.0–7.0	0.25–0.7	30–70	0.2–0.5	25–125	25–60	6–15
Norway spruce (1–2 year-old-needles)	1.35–1.7	0.13–0.25	0.5–1.2	0.35–0.8	0.1–0.25	15–50	0.04–0.2	50–500	15–60	4–10
Oak; Beech (mature leaves)	1.9–3.0	0.15–0.30	1.0–1.5	0.3–0.5	0.15–0.30	15–40	0.05–0.2	35–100	15–50	6–12

<sup>a</sup>Based on Bergmann (1988, 1992).

<sup>b</sup>Sodium content below 1.5%.

- Non ci sono grosse differenze nella concentrazione dei principali nutrienti all'interno dei tessuti delle varie specie.
- Una significativa variabilità si ha per **Ca** e **Mg**

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

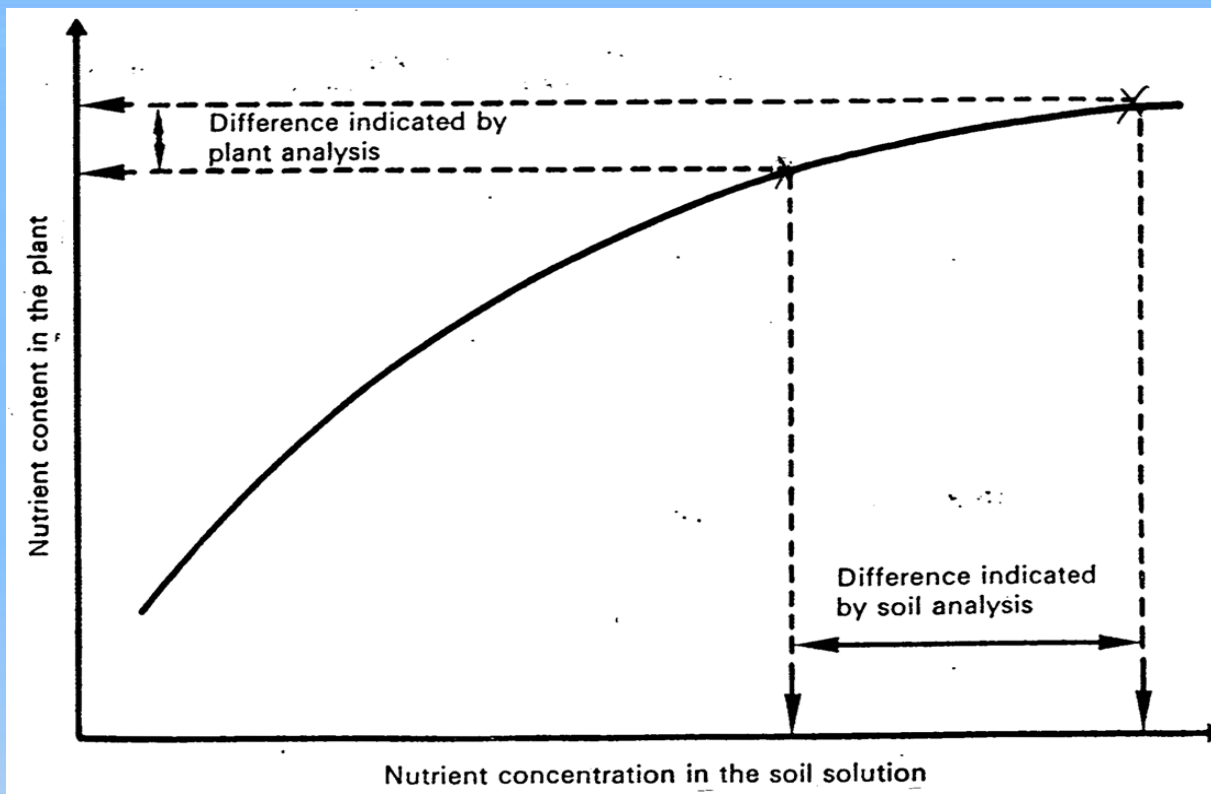
Nelle Dicotiledoni il rapporto  $\frac{\text{cationi divalenti}}{\text{cationi monovalenti}}$  > Monocotiledoni

## 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,

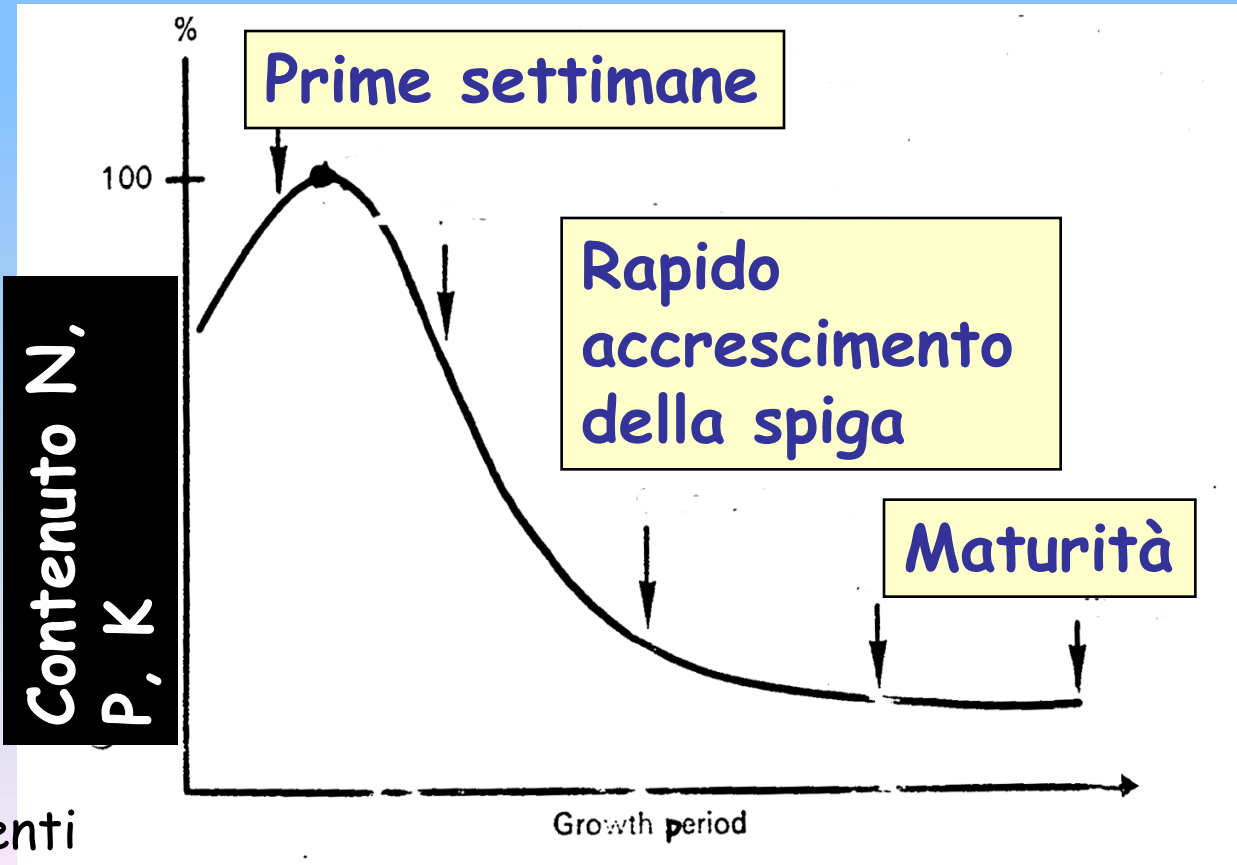
Il contenuto di N, P e K in piante di grano durante il periodo di crescita varia notevolmente.

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

➔ aumento del contenuto minerale nella pianta

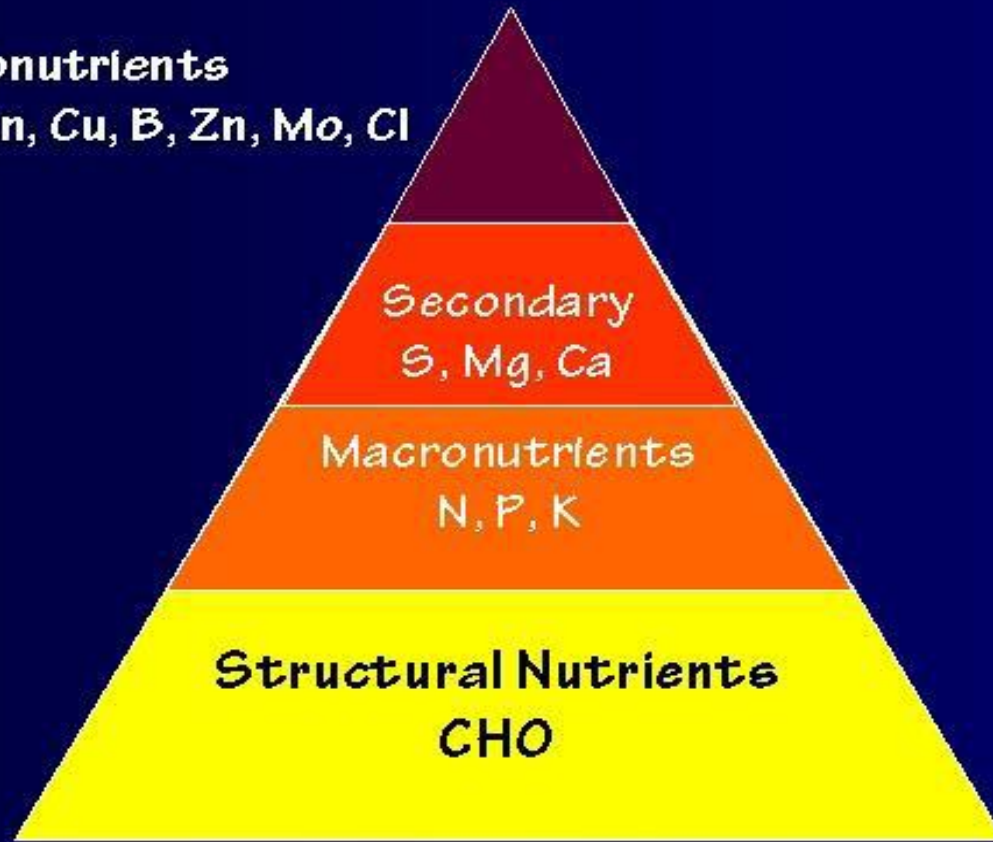
• Rapido allungamento dei fusti  
➔ *effetto diluizione*

• 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

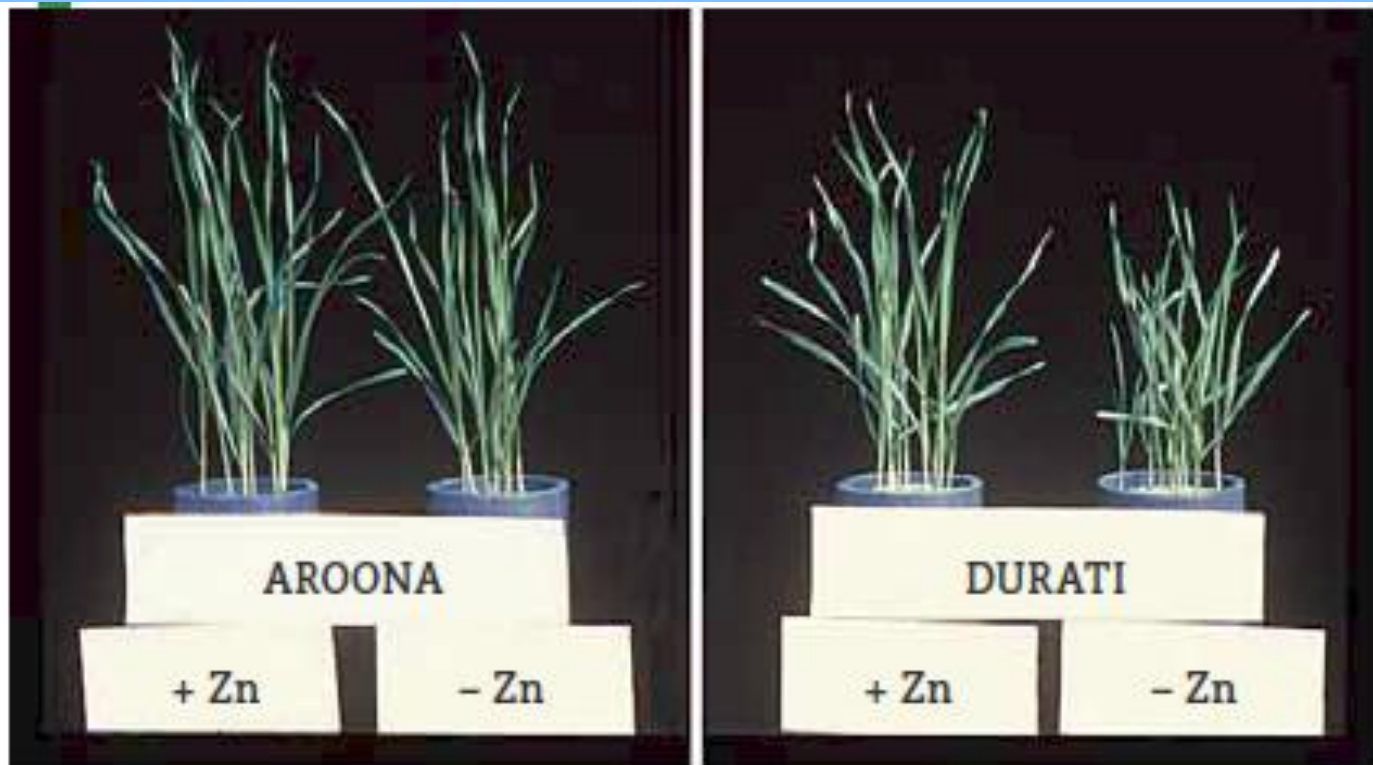
*in specie o ambienti  
particolari*, quali  
sodio (Na), silicio (Si),  
alluminio (Al), selenio  
(Se) e cobalto (Co).

- 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**

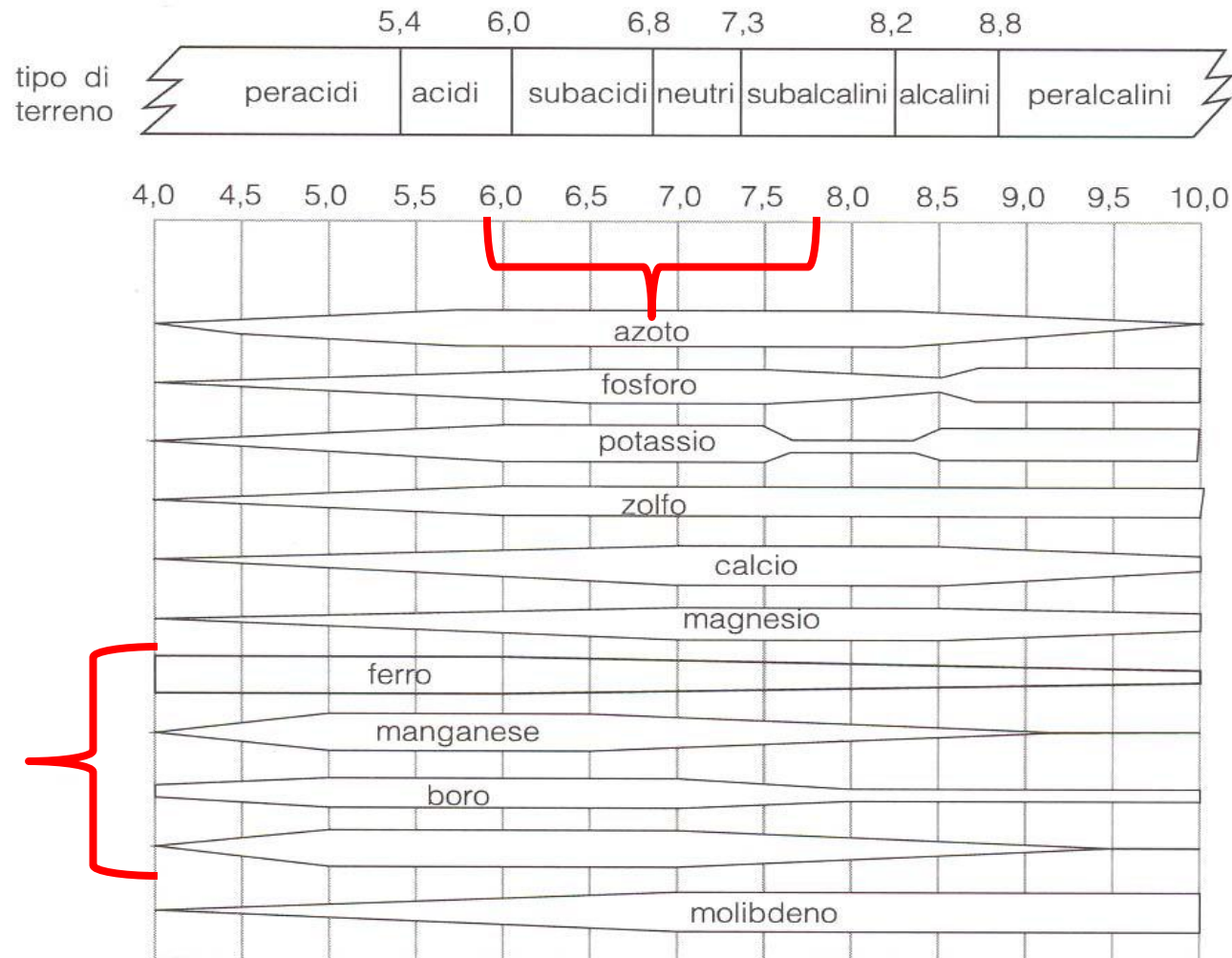
	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo
Citrus	E	E	E	E	B	M
Melo	B	E	E	M	E	B
Vite	E	E	B	M	E/M	B
Avena	M	E	B	E	B	M/B
Fruento	M/B	E	B	E	B	M/B
Mais	M	M/B	E	M	M/B	B
Orzo	M	M	M	E/M	B	B
Riso	E/M	M	E/M	B	M/B	B
Segale	B	B	B	B	B	B
Sorgo	E/M	E/M	E	M	B	B
Barbabietola	E/B	E/M	M	M	E	M
Colza		M	M	B	E	
Erba medica	M	M	B	E	E	M
Fagiolo	E/M	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 è elevato 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.

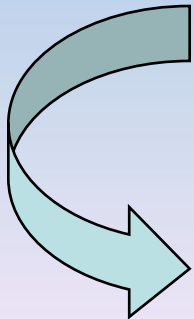
Nei terreni aerati  $Fe^{2+} \longrightarrow$  **ossidazione**  $\longrightarrow$  **Fe<sup>3+</sup>**

- $Fe^{3+} + 3 OH^{-} \longrightarrow$  **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:

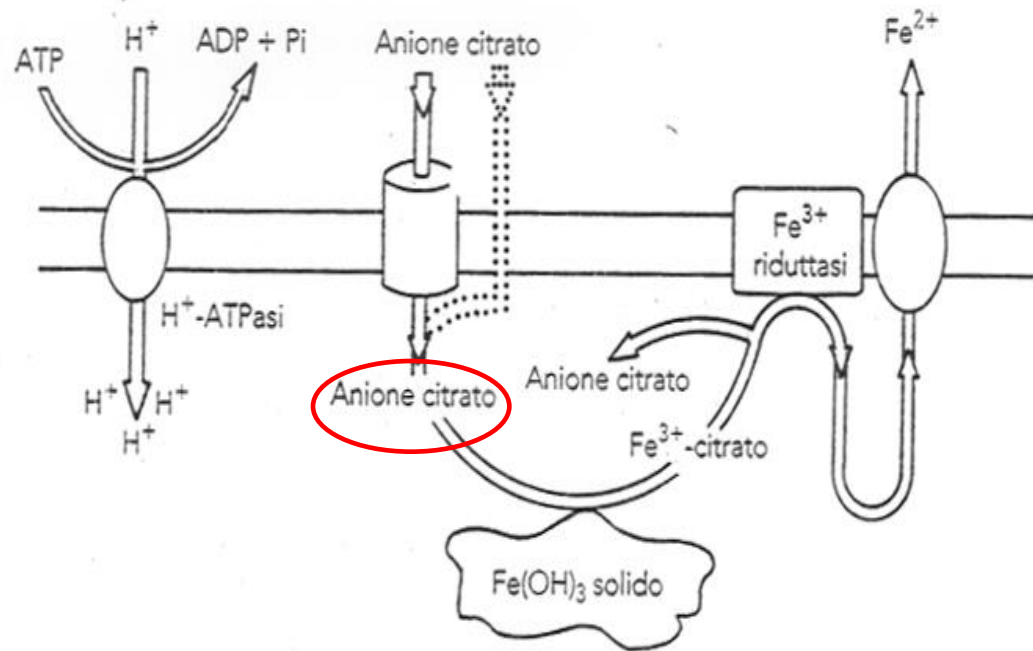
1) *Aumento della capacità reduttasica dell'E. Riduttasi*, legato alla membrana della cellula radicale.

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

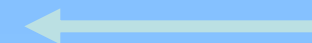
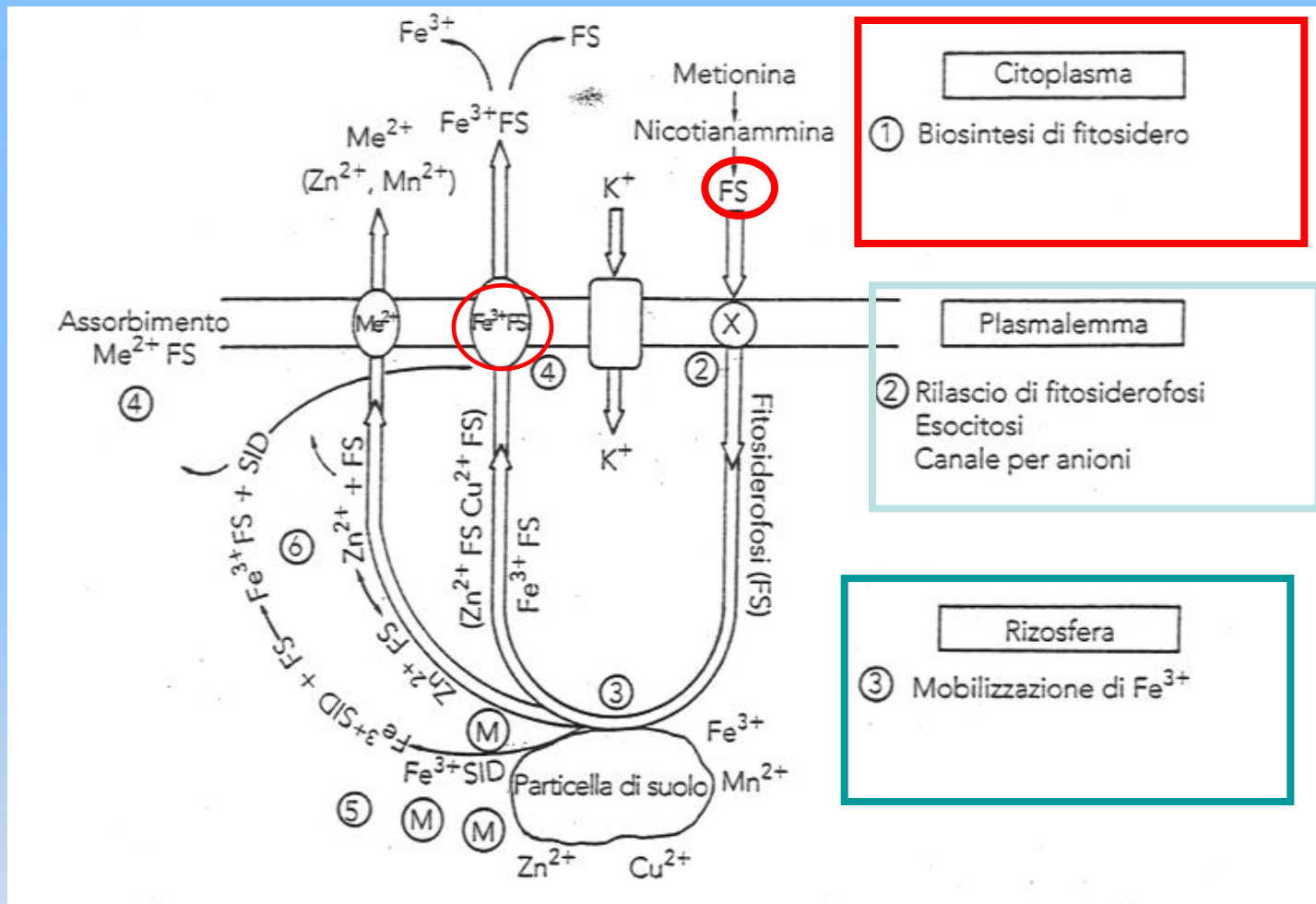
3) *Rilascio di composti chelanti* (anione citrato)

- 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*

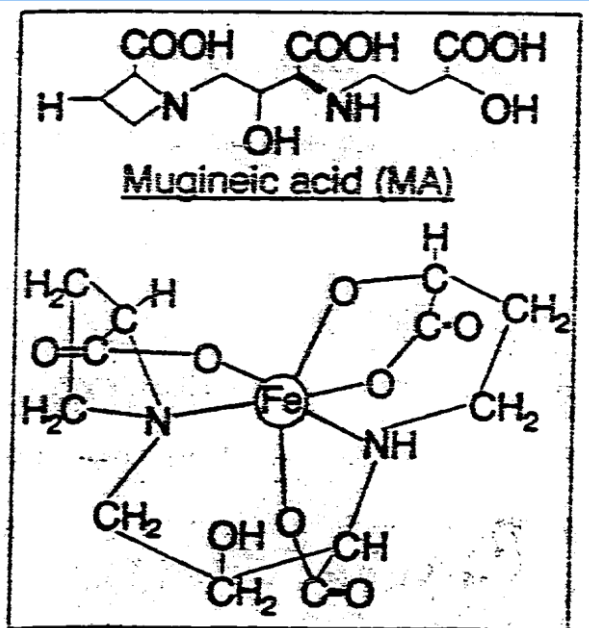
- Un sistema costitutivo di trasporto, altamente specifico, presente sulla membrana plasmatica, trasporta all'interno il complesso  $Fe^{3+}$ -FS
- Assorbimento di micronutrienti mobilizzati dai FS dopo liberazione dai chelati (6)
- Scambio di leganti nella rizosfera fra FS e siderofori (SID) microbici (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<sub>4</sub>**  
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)

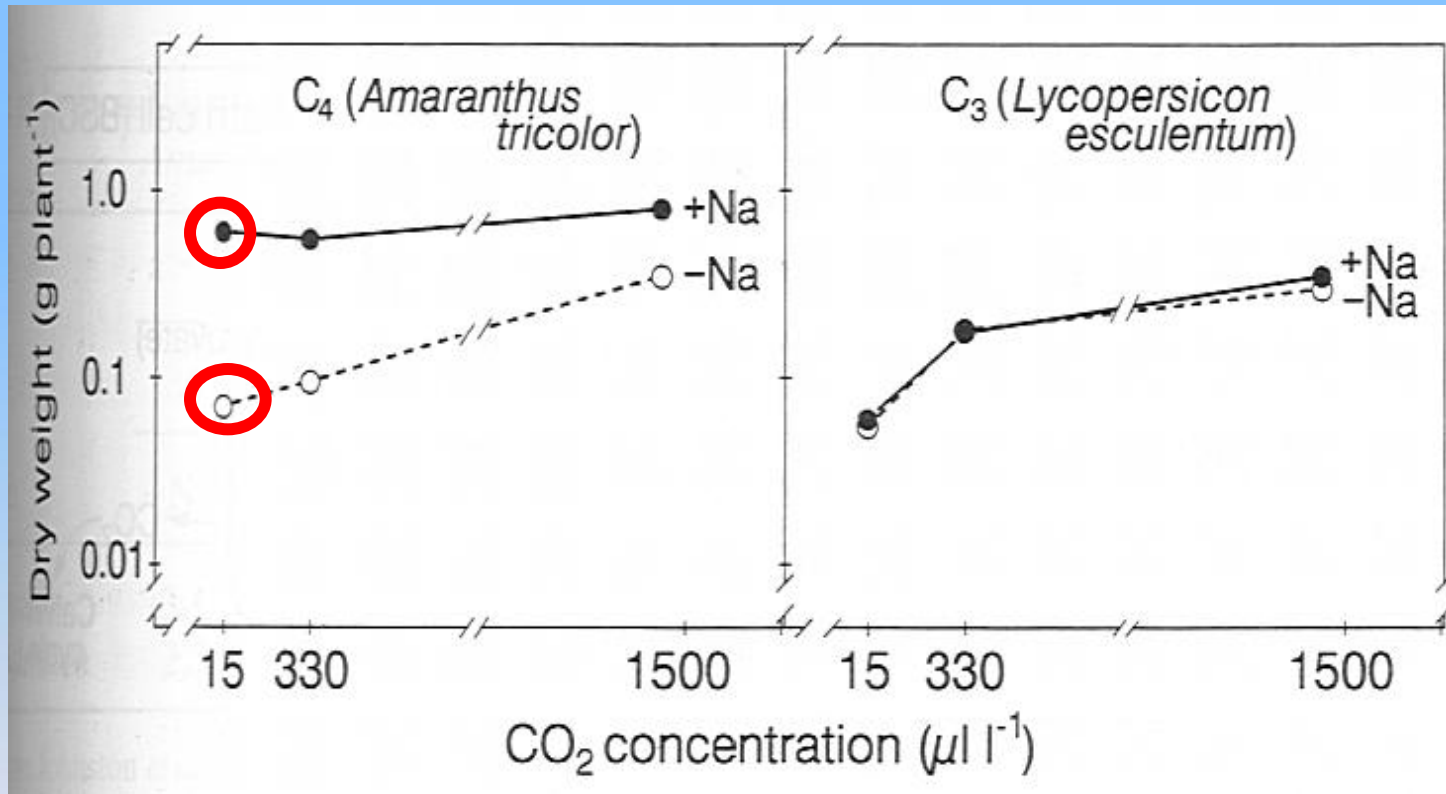
Treatment (mM Na <sup>+</sup> )	Dry wt (mg per 4 plants)	Content of leaves (mmol kg <sup>-1</sup> dry wt)	
		Na	K
→ None	86	10	2834
0.02	398	48	4450
0.04	581	78	2504
0.20	771	296	2225
→ 1.20	1101	1129	1688

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



Nelle *piante C4*

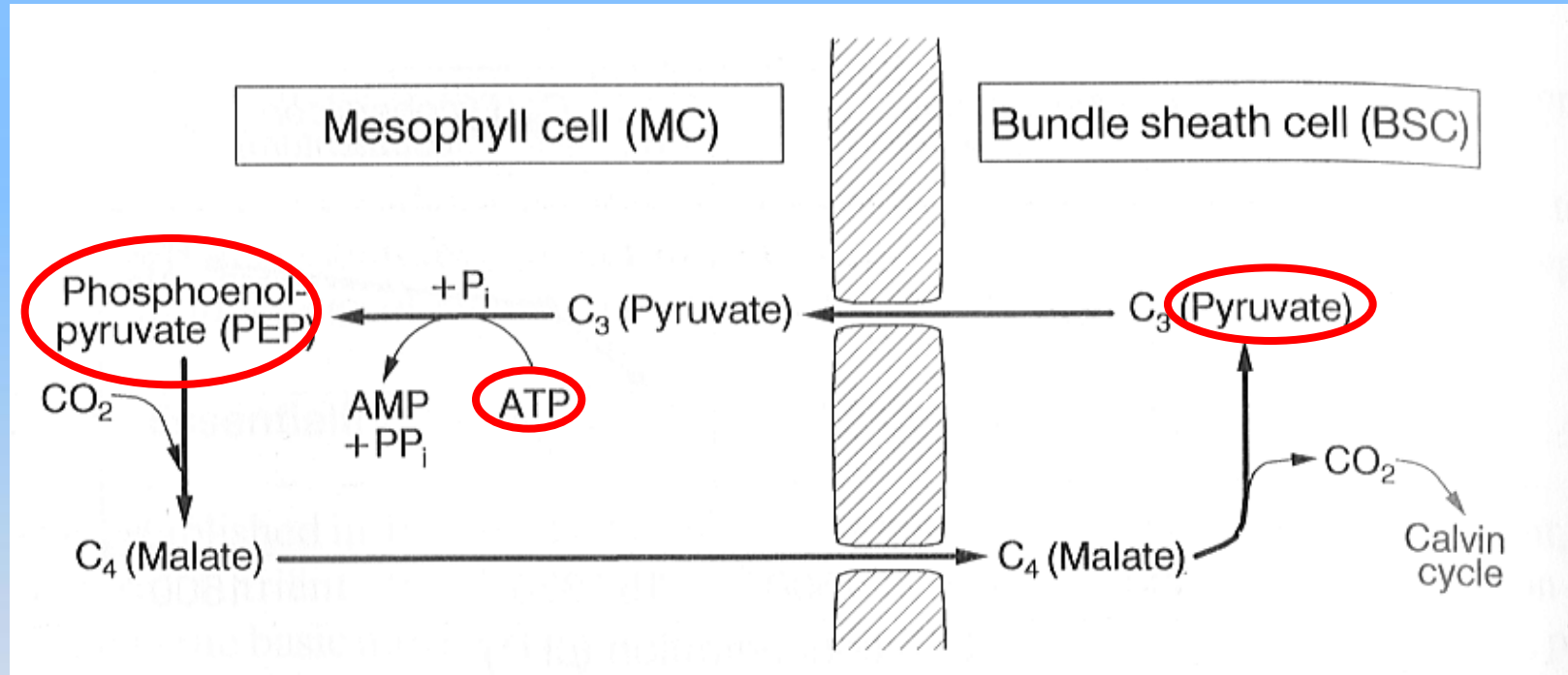
il  $\text{Na}^+$  migliora l'**efficienza fotosintetica**, soprattutto a basse concentrazioni di  $\text{CO}_2$



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

