

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 **carenza** è **specifica** *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 ⁻¹	%	
Molibdeno	MoO ₄ ²⁻	0.1	0.00001	} MICRO NUTRIENTI
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	} MACRO NUTRIENTI
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	

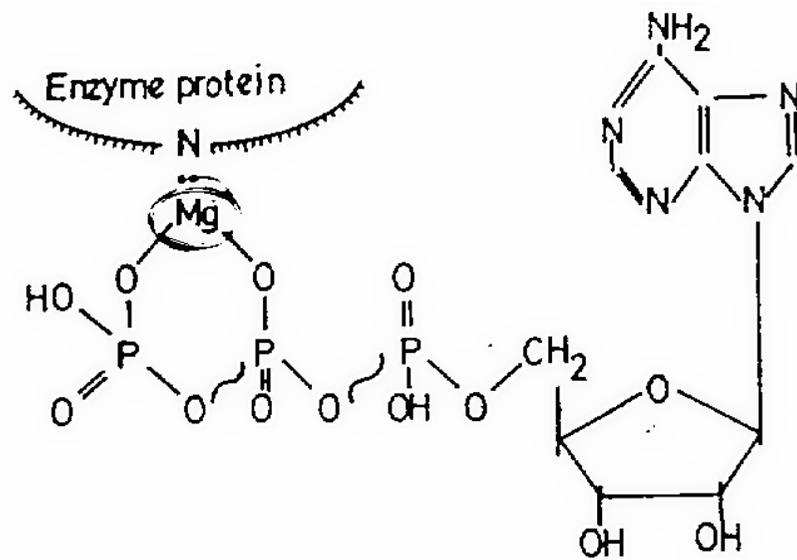
Modificato da Salisbury F.B. e Ross C.W., 1994.

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

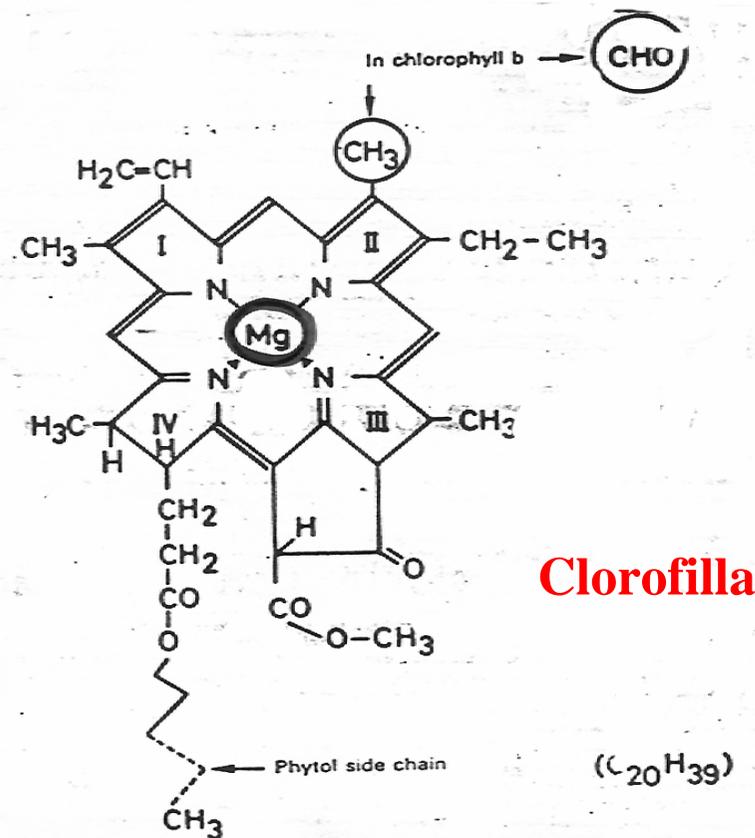
Divisione dal **punto di vista funzionale** :

- 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

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

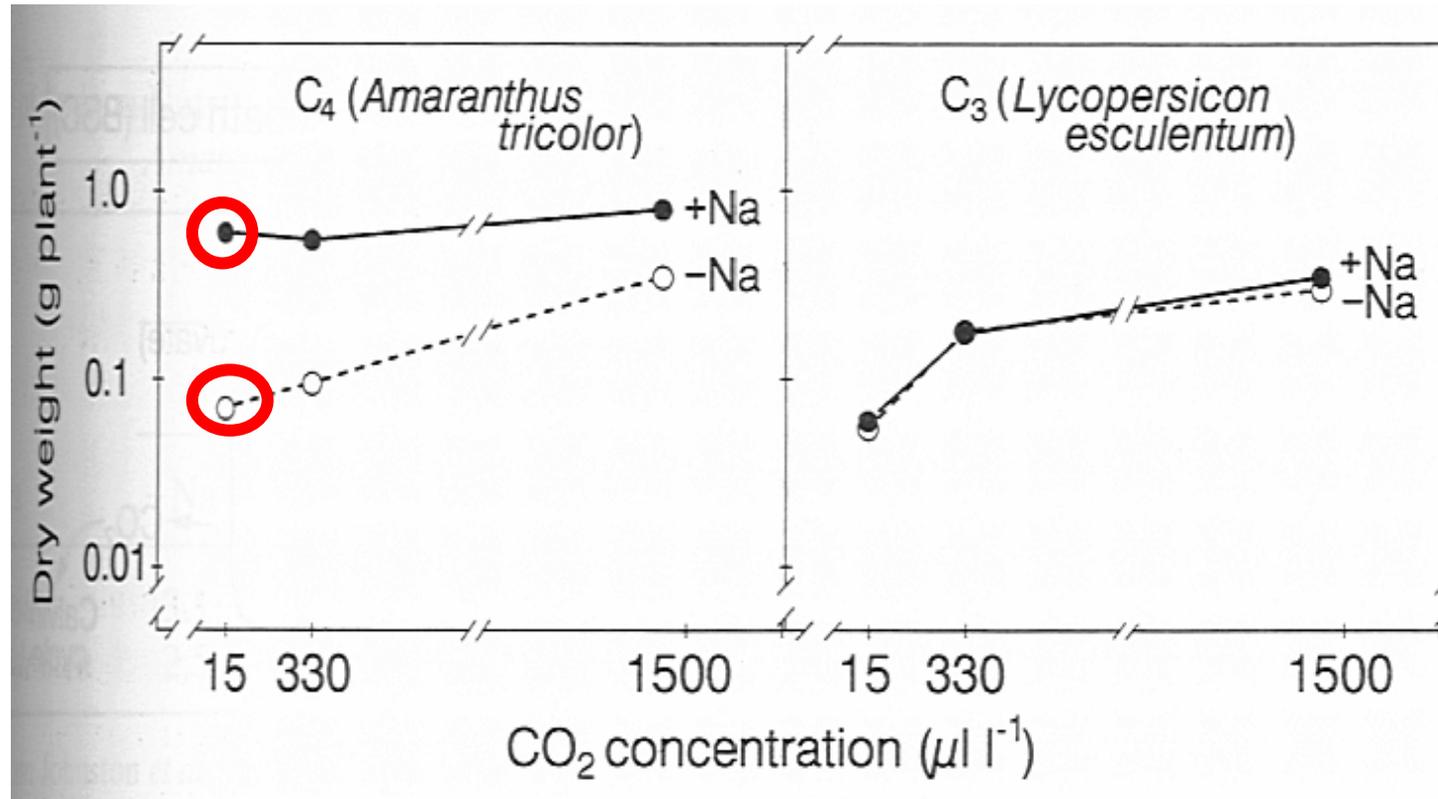
L'alofita **Atriplex vesicaria** a basse concentrazioni di Na diventa **clorotica e necrotica**,
la crescita è ridotta nonostante l'elevato contenuto di Potassio (K)

Treatment (mM Na ⁺)	Dry wt (mg per 4 plants)	Content of leaves (mmol kg ⁻¹ 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

^aFrom Brownell (1965). The basic nutrient solution contained 6 mM potassium.

Nelle *piante C4*

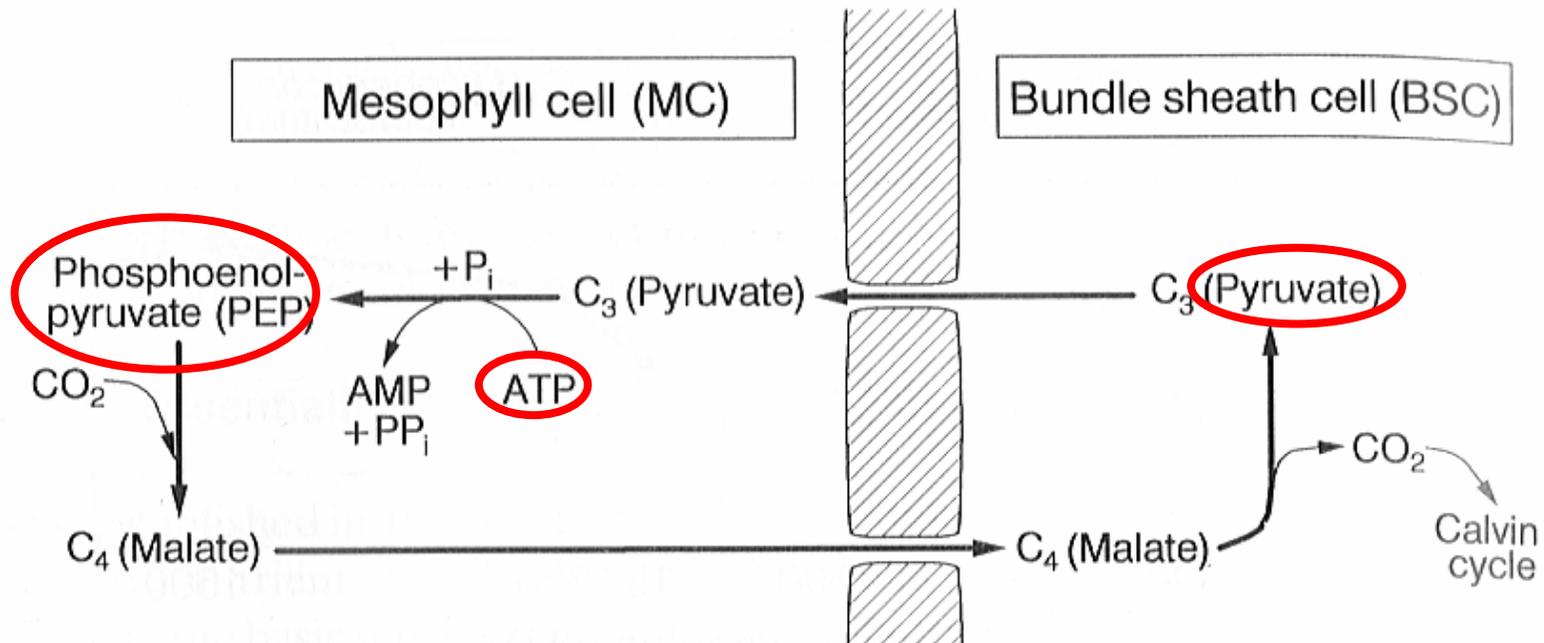
il Na^+ migliora l'**efficienza fotosintetica**, soprattutto a basse concentrazioni di CO_2



Nelle *piante C3* non c'è alcun effetto benefico dovuto al 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 (NO_3^-) nelle radici
- riduzione dell'assimilazione del nitrato (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 ψ 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 lower surface (no. cm^{-2})	Chlorophyll ($mg\ g^{-1}$ dry wt)	Net photosynthesis ($mg\ CO_2\ cm^{-2}\ h^{-1}$)
mM 5.0 K^+	11 807	12.1	15.2
0,25 K^+ + 4.75 Na^+	15 127	9.2	14.4

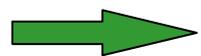
La crescita maggiore non è conseguenza di maggiore efficienza fotosintetica:

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*

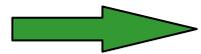
- **Miglioramento del bilancio idrico** nelle piante natrofile mediante **regolazione stomatica.**

La regolazione stomatica interviene se il rifornimento idrico è limitato :



rapida chiusura degli stomi

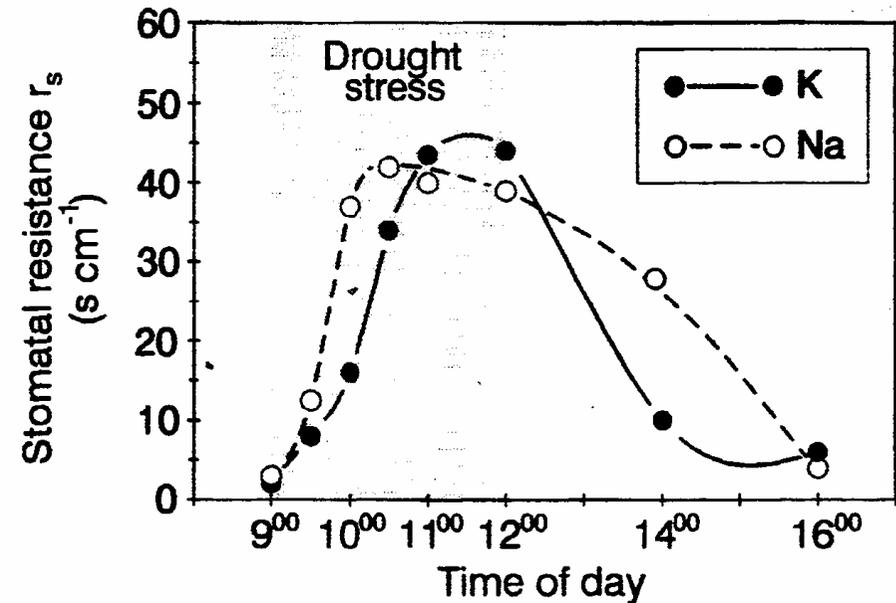
nelle piante + Na rispetto a quelle con solo K



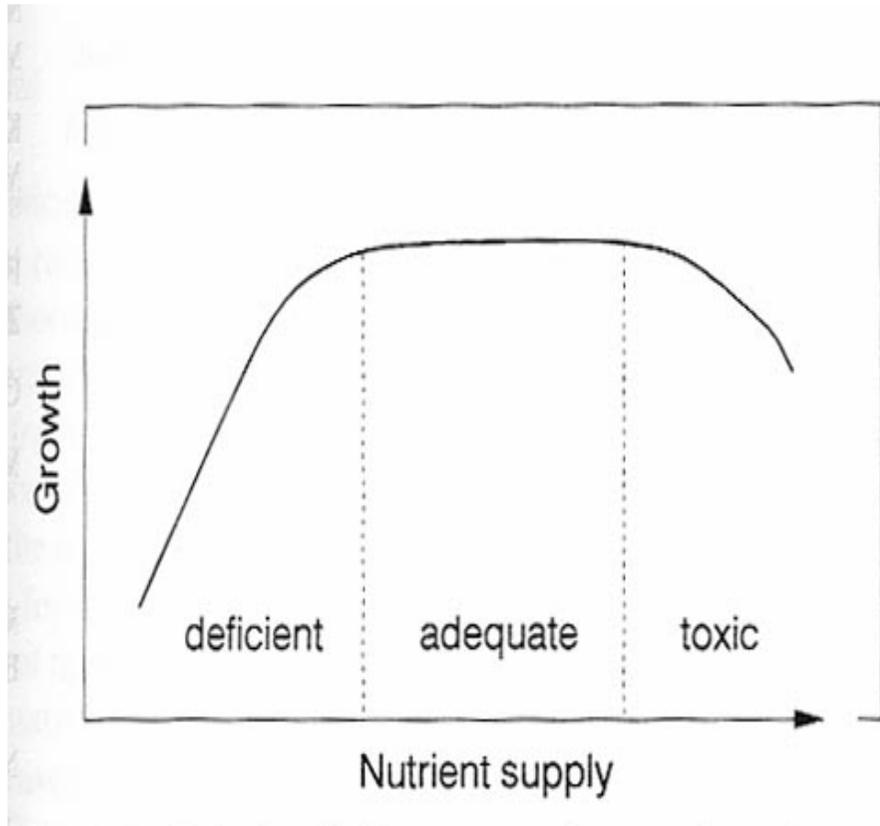
più lenta riapertura degli stomi

alla fine del periodo di stress

FOGLIE DI BARBABIETOLA



Curva della crescita in funzione dell'apporto di nutrienti:



3 regioni definite

Zona di carenza

Zona di sufficienza

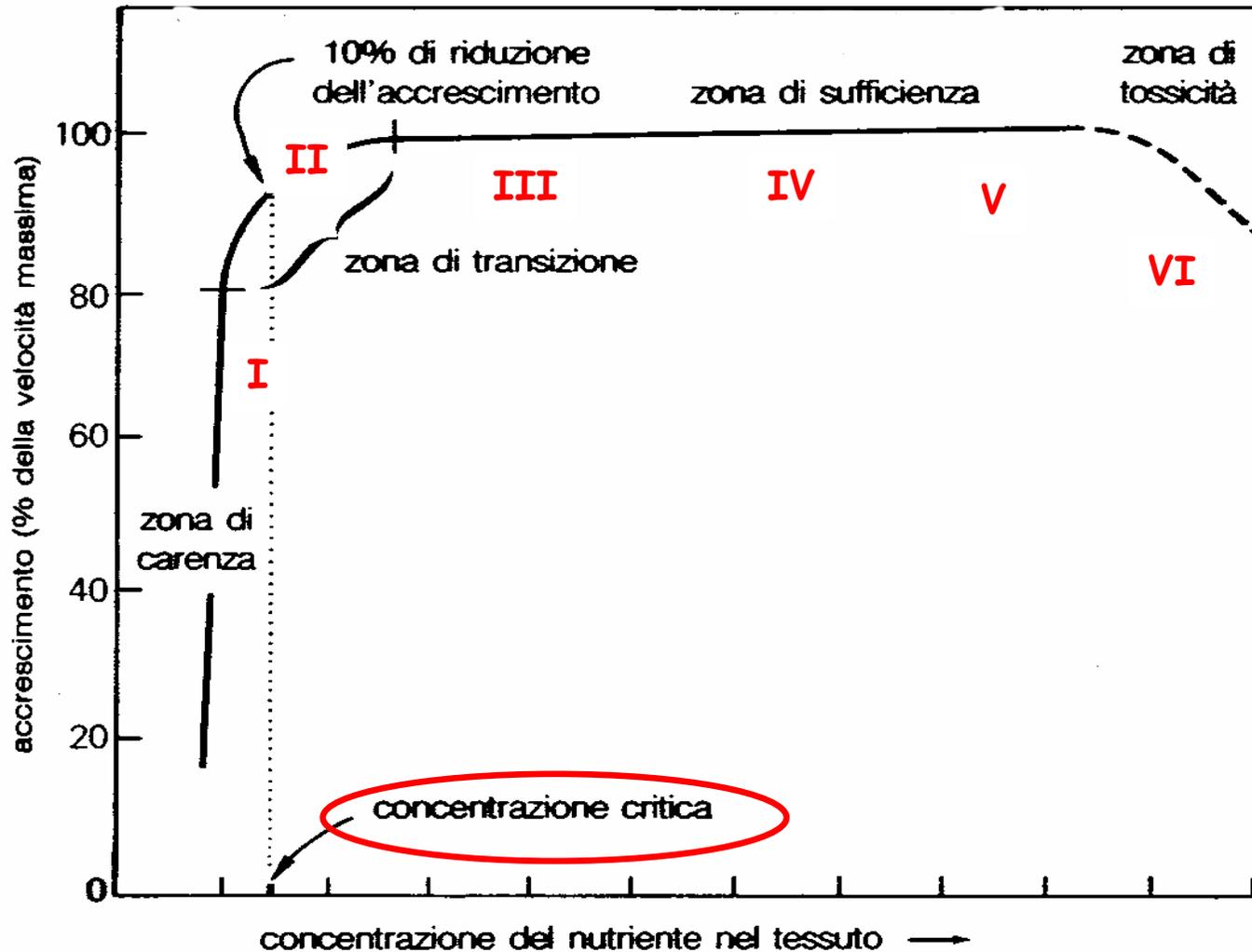
Zona di tossicità

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

Nelle varie zone le *quantità dei nutrienti* presenti nel tessuto fogliare delle varie specie vengono indicati come *range*

Range	I deficient	II low	III adequate	IV high	V toxic
Element *					
P (%)	<0.16	0.16-0.25	0.26-0.50	0.51-0.80	>0.80
K (%)	<1.26	1.26-1.70	1.71-2.50	2.51-2.75	>2.75
Mn (mg kg ⁻¹)	< 15	15 - 20	21 -100	101 - 250	> 250

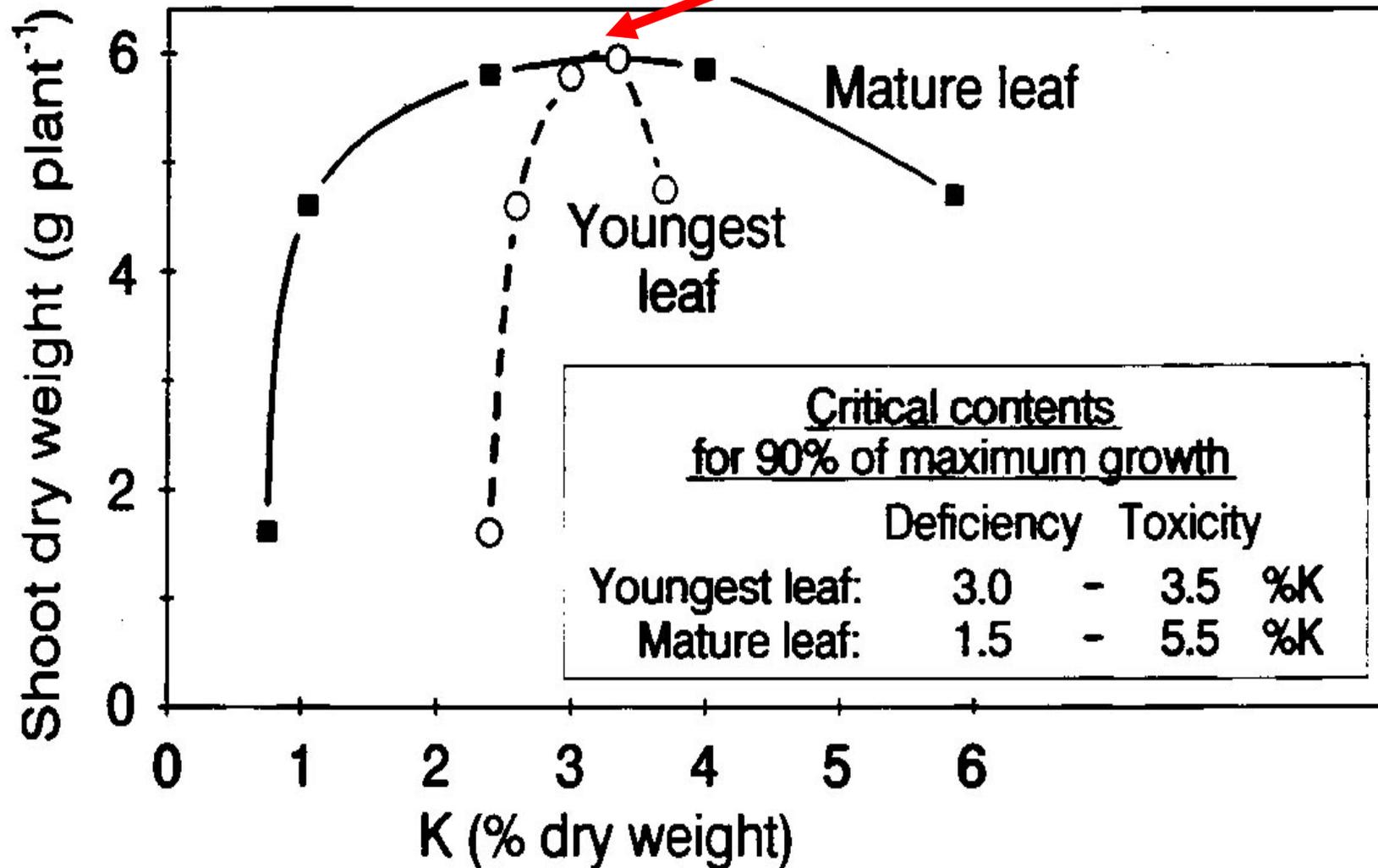
* Soybean, upper leaves (from Jones, 1967)

Il contenuto di K è caratterizzato da un range molto ristretto che delimita il passaggio dalla zona di sufficienza a quella di tossicità:

2,5 - 2,75 %

La tabella si riferisce a foglie giovani

Passaggio da sufficienza a tossicità

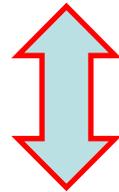


- Il valore CDC è minore negli organi maturi rispetto alle parti giovani*

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^a

Species (organ)	Contents (% dry wt)					Contents (mg kg ⁻¹ 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 ^b	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> ssp.) (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

^aBased on Bergmann (1988, 1992).

^bSodium 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 ;

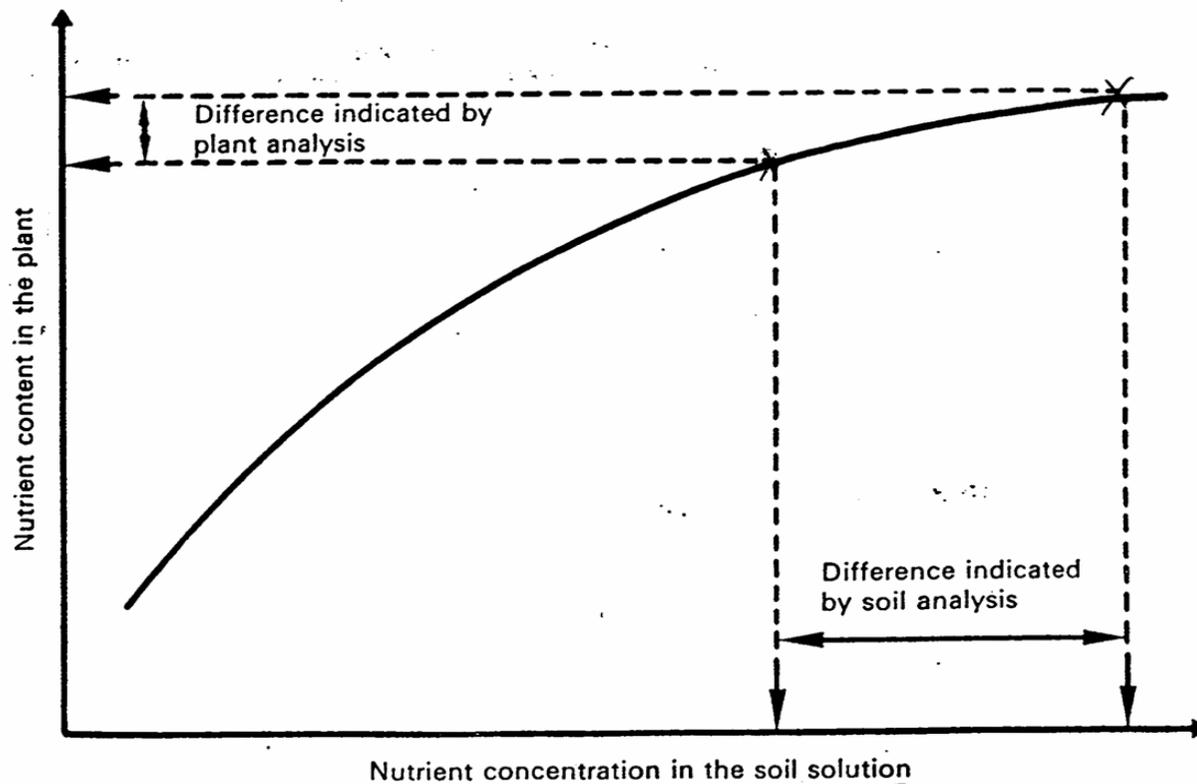
la conc di P e Mg è da 100 a 1000 volte > dei micronutrienti

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

