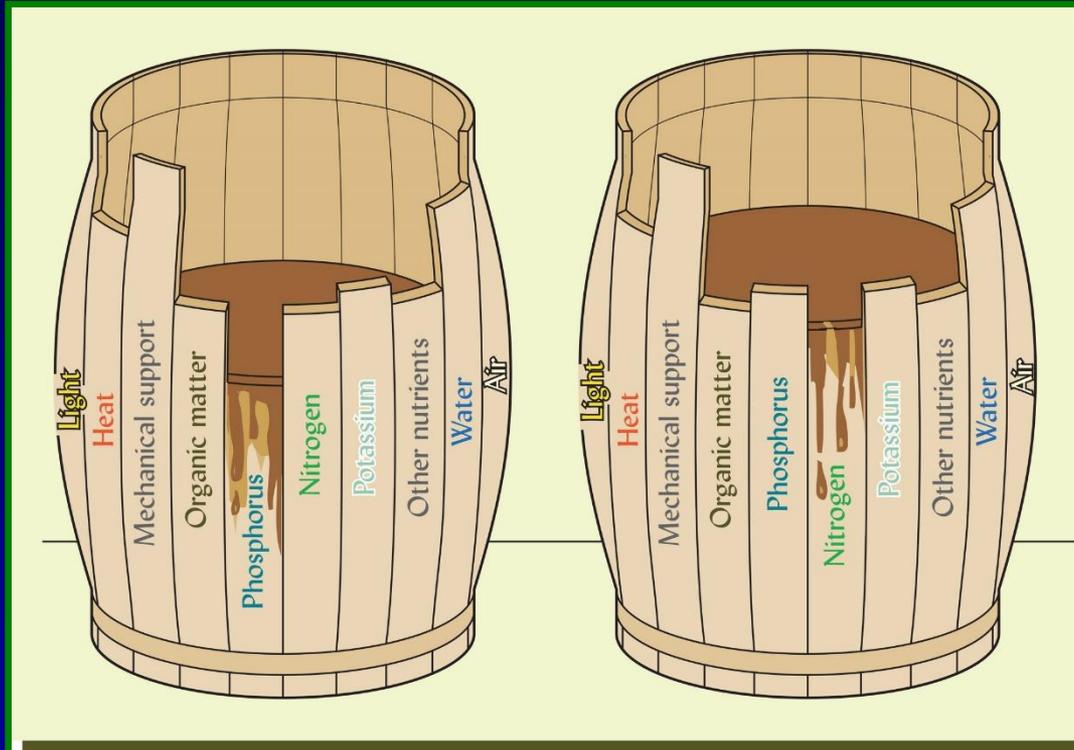


Le leggi della produttività

Liebig (1840) formalizzò la "legge del minimo"



(da Weil & Brady, 2017)

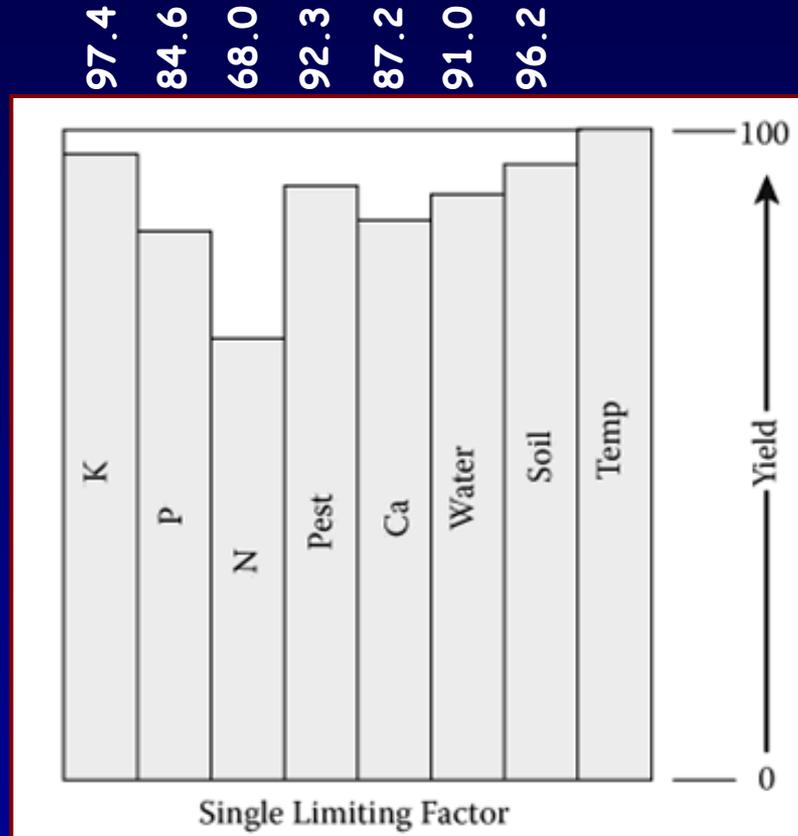
La crescita della pianta è controllata dal fattore di crescita presente in quantità minore (limitante) rispetto al fabbisogno.

La legge del minimo di Liebig



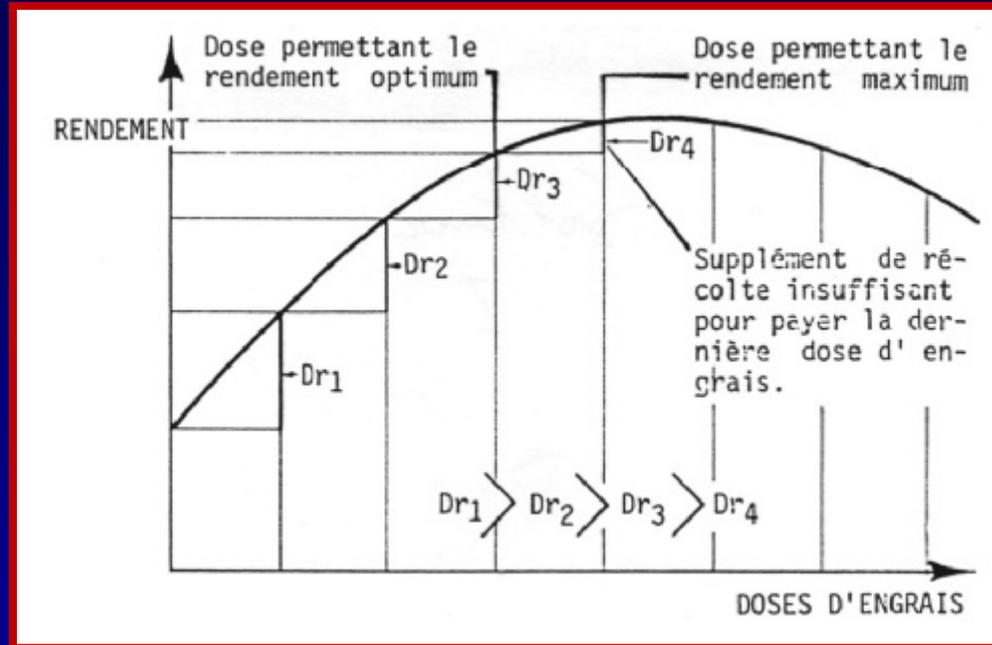
Va tuttavia osservato che la resa agronomica tiene complessivamente conto e dipende da tutti i fattori di crescita limitanti.

La legge del minimo di Liebig



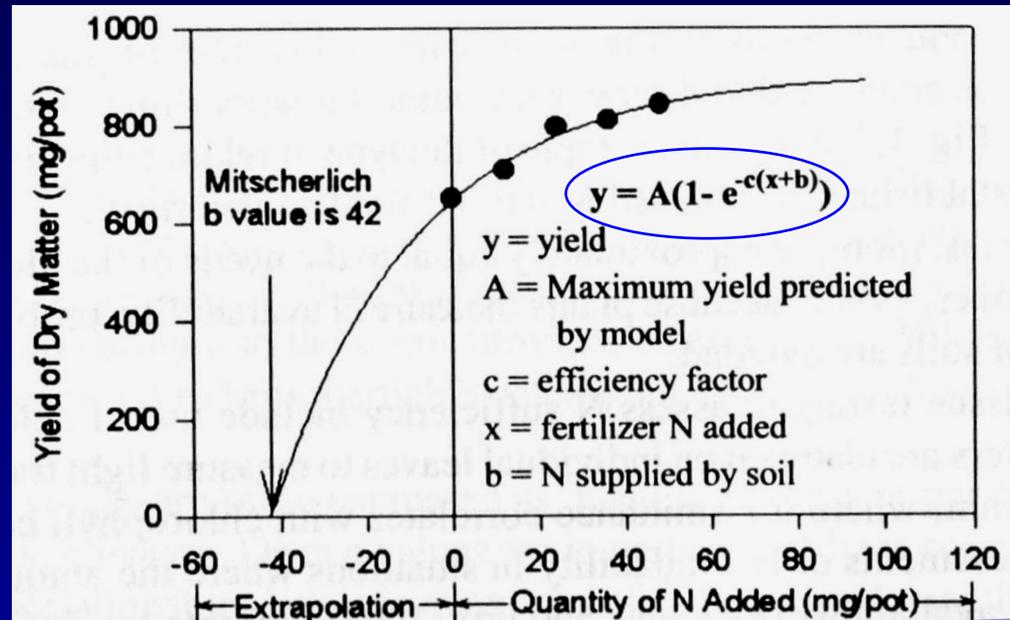
La resa complessiva è la risultante dell'azione di tutti i fattori limitanti (39.5%)

Legge della "produttività decrescente" o legge di Mitscherlich (1930)



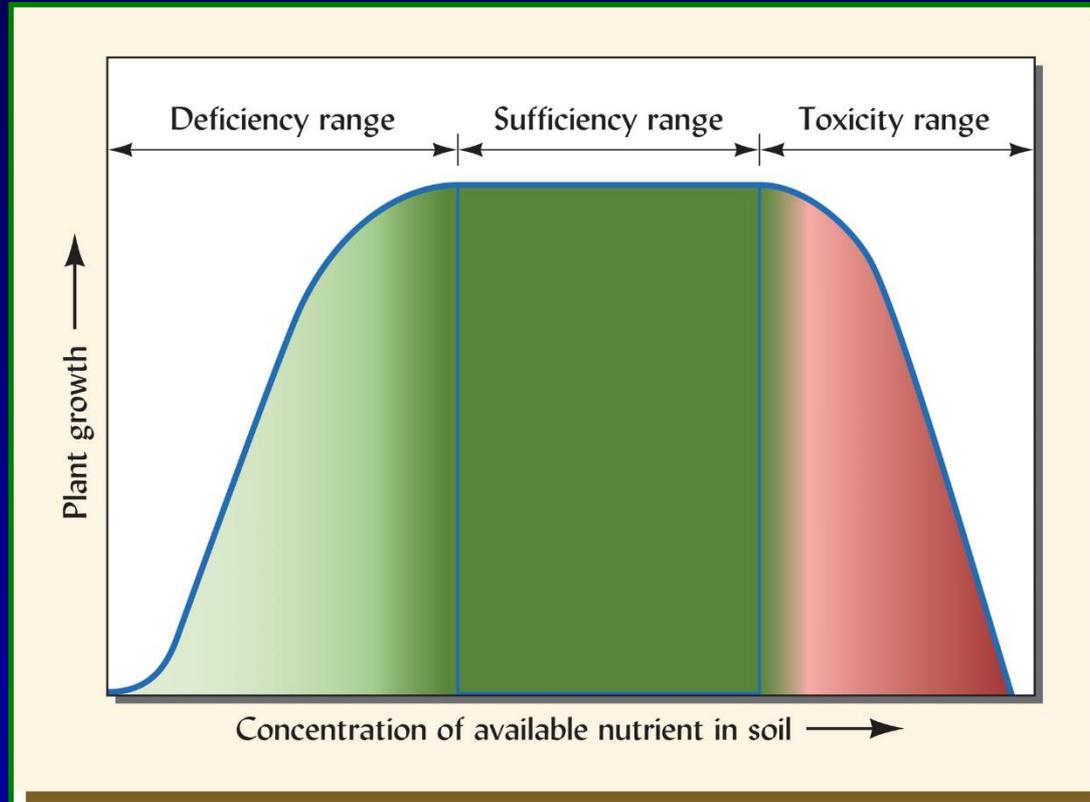
Quando si apportano al suolo dosi crescenti di un fattore limitante, gli incrementi di resa ottenuti sono sempre minori via via che le quantità apportate aumentano.

Legge della "produttività decrescente"



Curva di Mitscherlich adattata a dati di crescita ottenuti su piantine di mais allevate in serra ed esposte a dosi crescenti di apporto azotato.

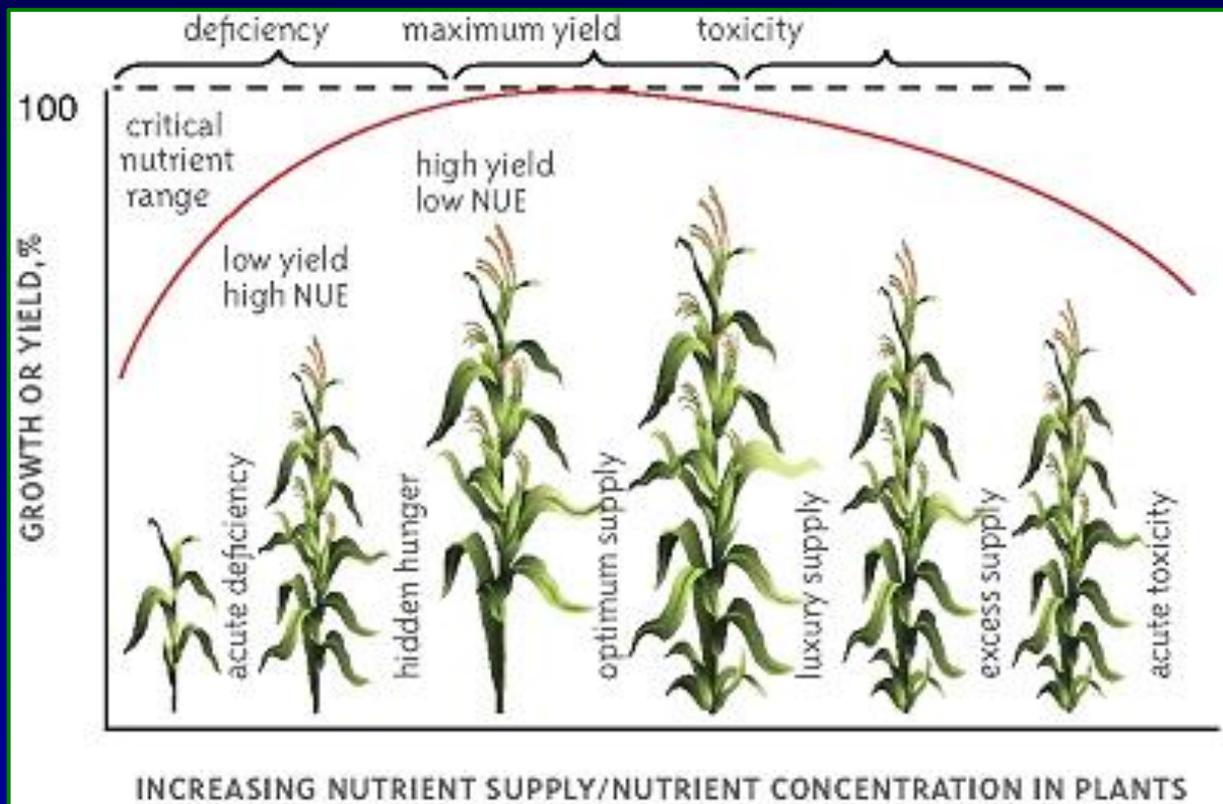
Relazione empirica tra la risposta di crescita della coltura (o la sua resa fisiologica) e la concentrazione del nutriente in forma assimilabile nel suolo.



(da Weil & Brady, 2017)

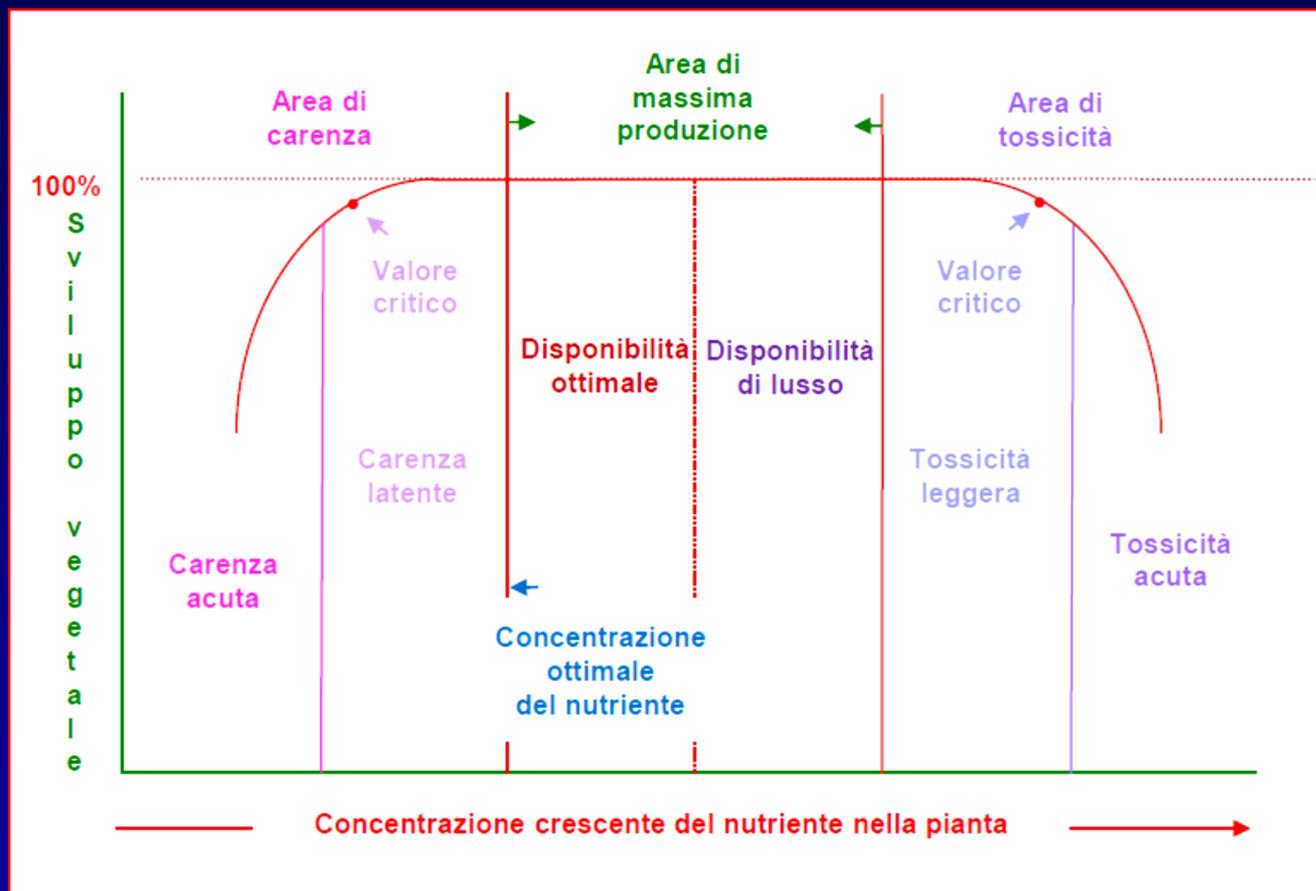
Tale condizione si realizza quando un solo fattore di crescita viene variato e tutti gli altri sono mantenuti costanti.

Relazione empirica tra la risposta di crescita della coltura (o la sua resa fisiologica) e la concentrazione del nutriente in forma assimilabile nel suolo (o nella pianta).



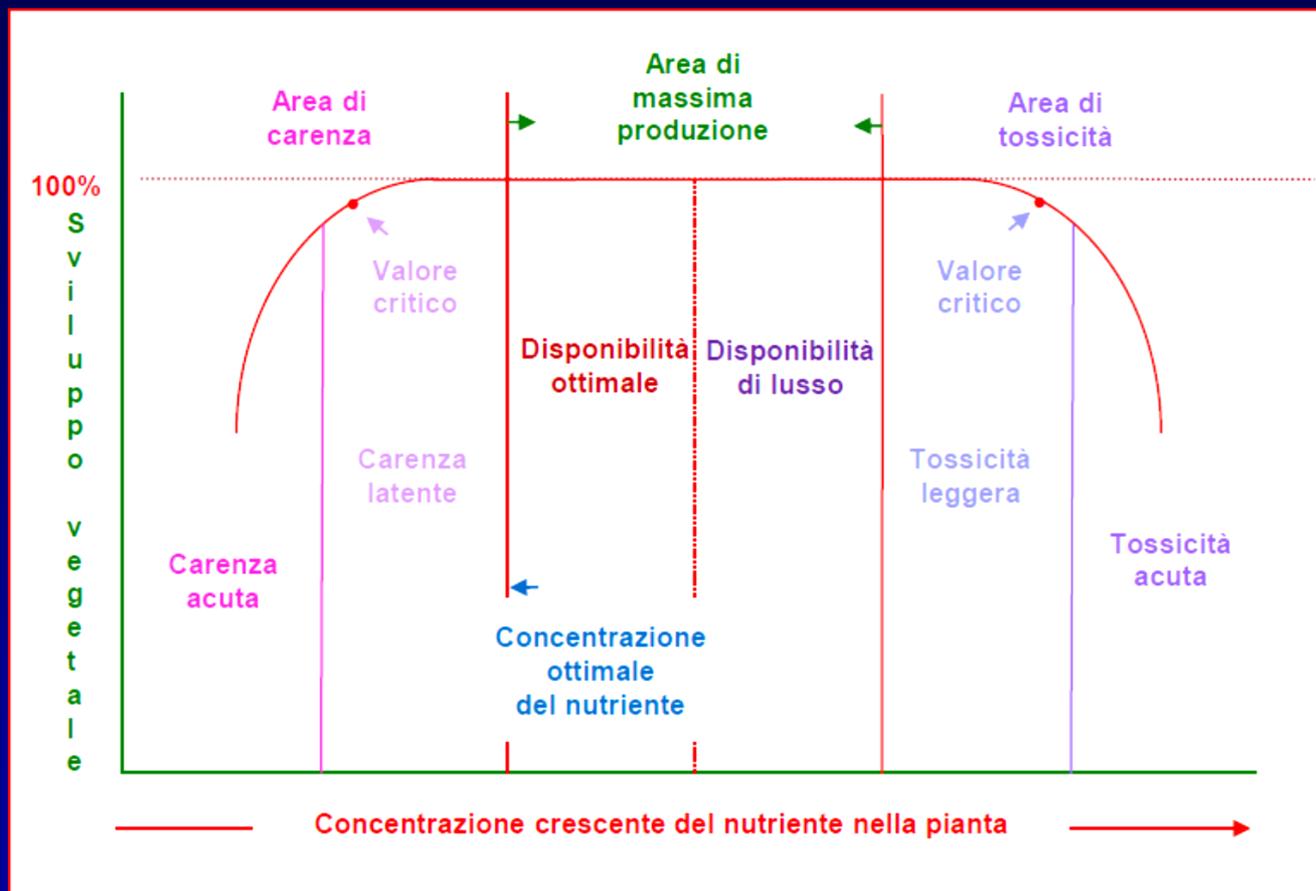
Tale condizione si realizza quando un solo fattore di crescita viene variato e tutti gli altri sono mantenuti costanti.

Relazione empirica tra la risposta di crescita della coltura (o la sua resa fisiologica) e la concentrazione del nutriente in forma assimilabile nel suolo (o nella pianta).



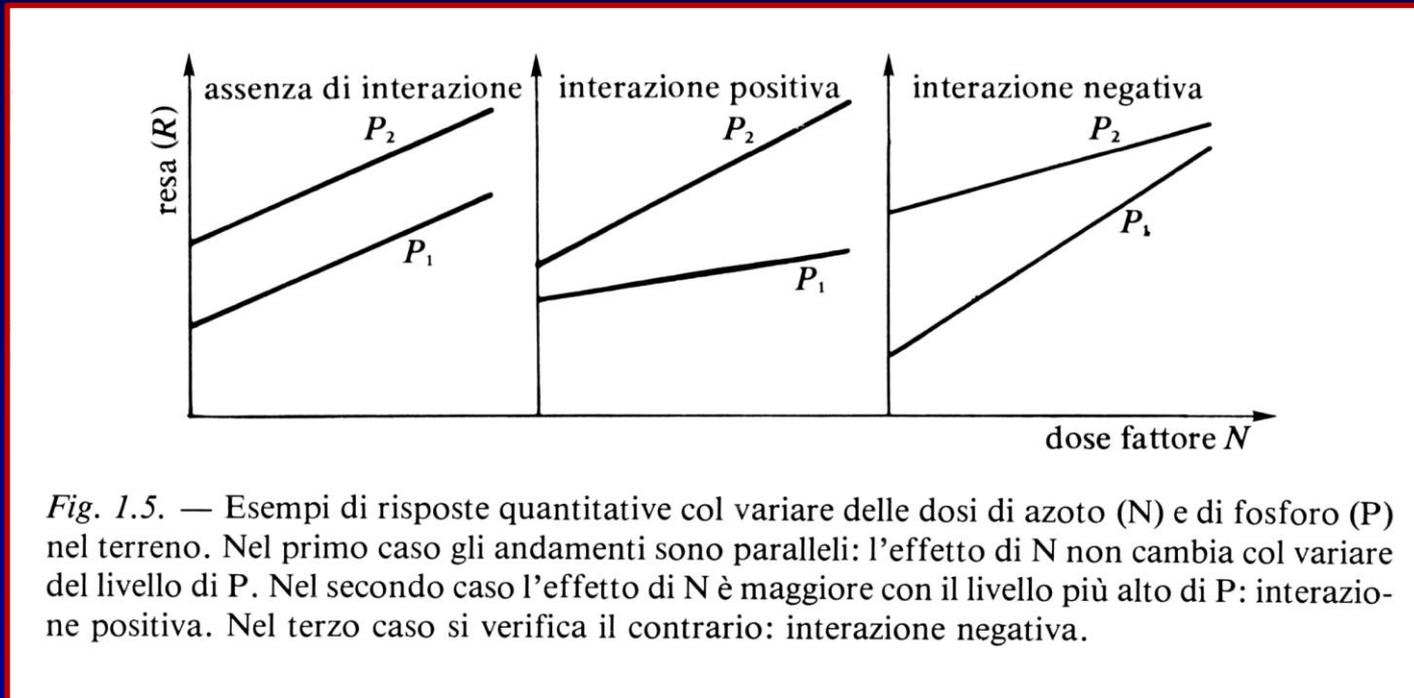
Tale condizione si realizza quando un solo fattore di crescita viene variato e tutti gli altri sono mantenuti costanti.

Relazione empirica tra la risposta di crescita della coltura (o la sua resa fisiologica) e la concentrazione del nutriente in forma assimilabile nel suolo (o nella pianta).



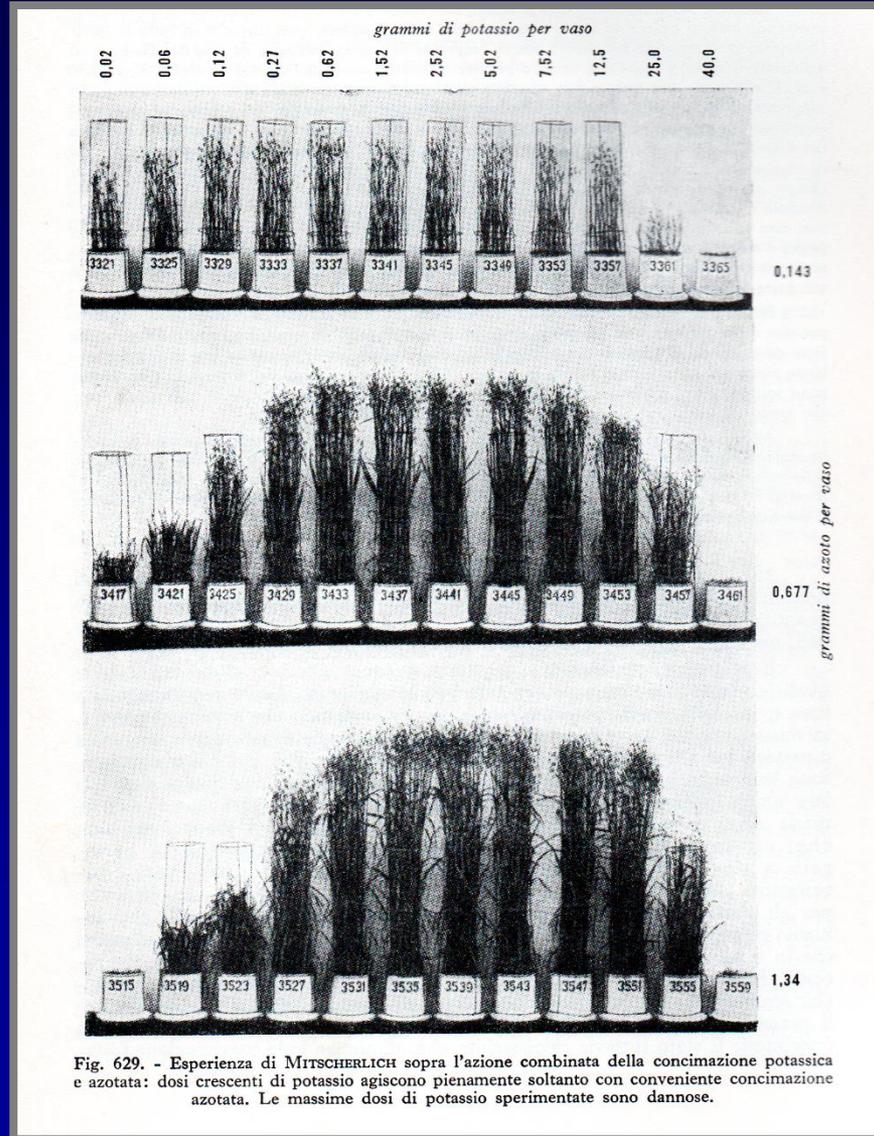
Raramente il suolo è capace di fornire tutti gli elementi essenziali in quantità bilanciata per sostenere produzioni elevate nel lungo periodo, in assenza di fertilizzazione.

Legge della "interdipendenza tra i fattori di crescita"



Incrementare un fattore non limitante non aumenta in modo costante la resa produttiva, perché esiste un rapporto di interdipendenza tra i fattori di crescita.

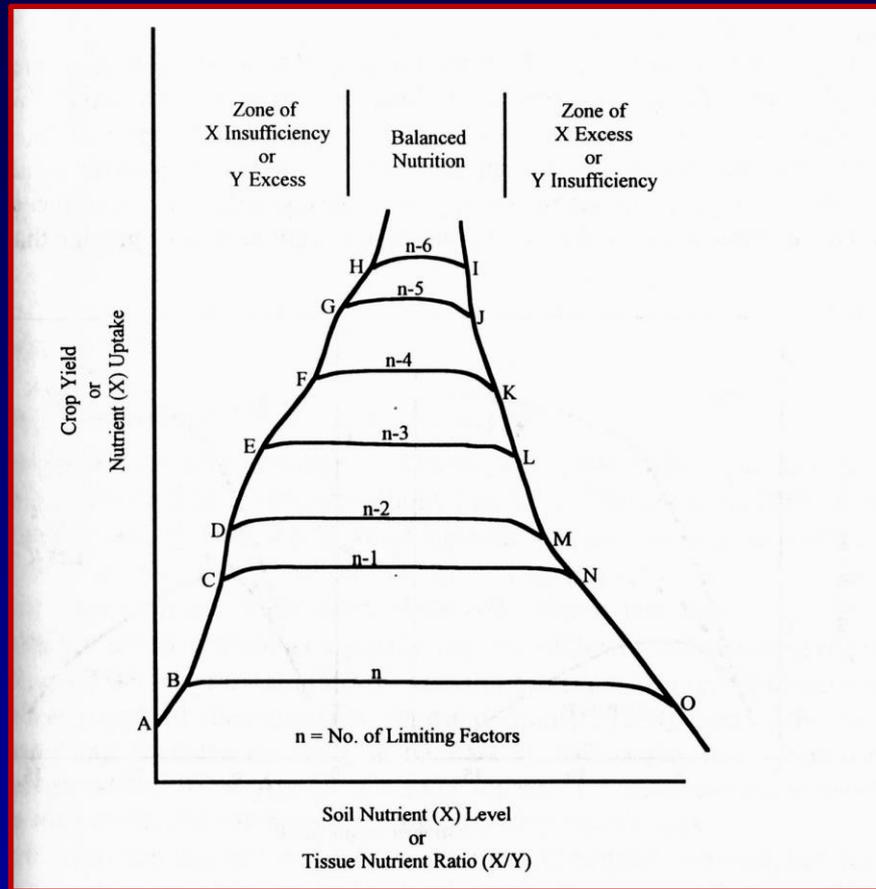
Esperienza di Mitscherlich con sistemi confinati



N

Risposte dell'interazione N-K sulla crescita della pianta

Interdipendenza tra i fattori di crescita



Interpretative model illustrating the response of a crop to a number of limiting factors (from Sumner and Farina, 1986)

Interazioni tra gli elementi essenziali della nutrizione minerale della pianta

- ✓ La nutrizione minerale della pianta dipende dalla fornitura dei nutrienti in forma disponibile e bilanciata.
- ✓ L'interazione tra nutrienti può essere valutata in termini di **assorbimento** (*nutrient uptake*, ovvero all'interfaccia suolo-pianta) o di **assimilazione** (ovvero *nutrient utilization* a livello di biosintesi vegetale e quindi di qualità e quantità della produzione).
- ✓ E' pertanto importante conoscere le relazioni che si instaurano tra:
 - i nutrienti disponibili nel suolo ed il loro assorbimento,
 - la concentrazione dei nutrienti nella pianta e la crescita vegetale.

Interazioni tra gli elementi essenziali della nutrizione minerale della pianta

	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mo	Cl	Na	B	Mn	Cu	Zn
N		S	S			S	S	S			S			
P	S			I			P					I		I
K	S			A	A		SI			A	S			
Ca		I	A		A		A			A	I	I	I	I
Mg		I	A	A						A				
S	S						S		A					
Fe	S	P	SI	A		S						A	A	A
Mo	S												A	
Cl						A								
Na			A	A	A									
B	S		S	I										
Mn		I		I			A						A	A
Cu				I			A	A						
Zn		I		I			A					A	A	

A – Antagonismo

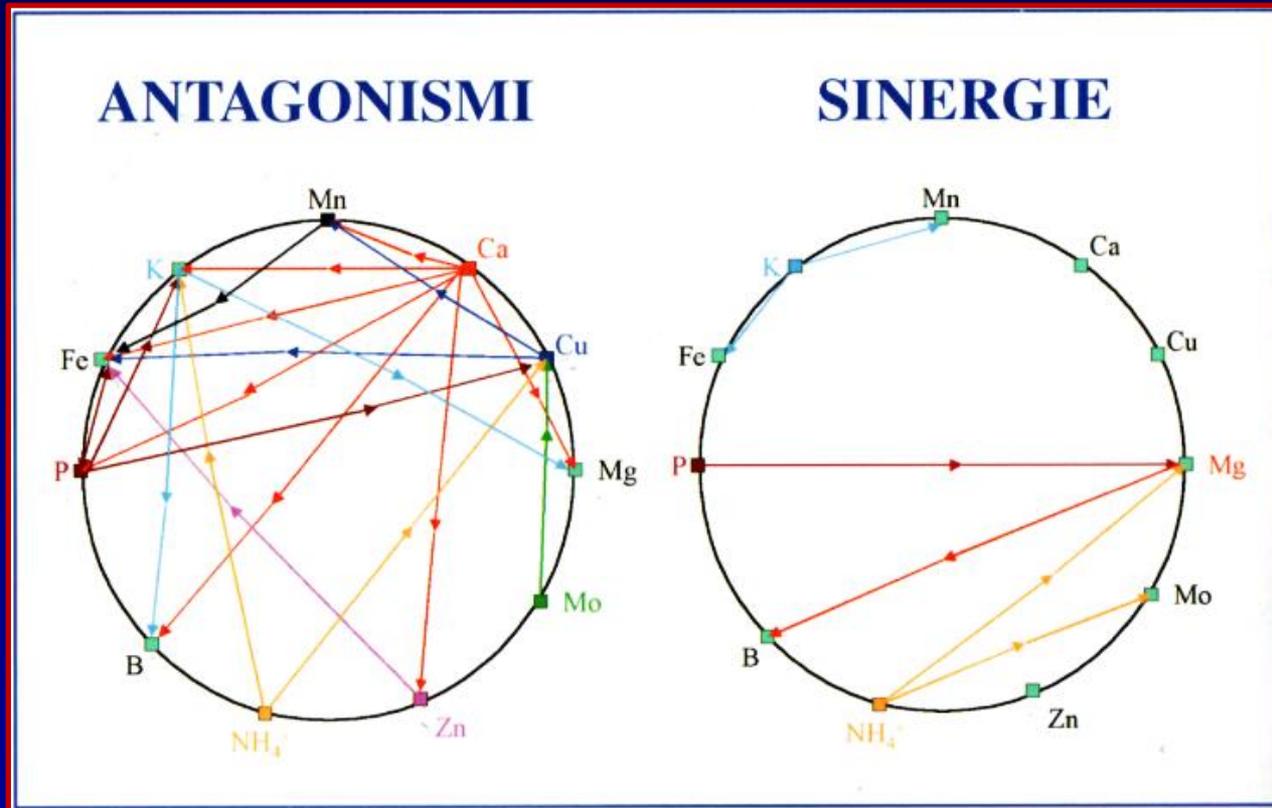
I – Inibizione

P – Precipitazione

S – Sinergia o
Interazione positiva

Rapporti, definiti da fenomeni di antagonismo, inibizione, precipitazione o sinergia, che possono stabilirsi tra i micronutrienti e tra questi e i macronutrienti

Interazioni tra elementi essenziali della nutrizione minerale della pianta



(Pimpini et al., 2001)

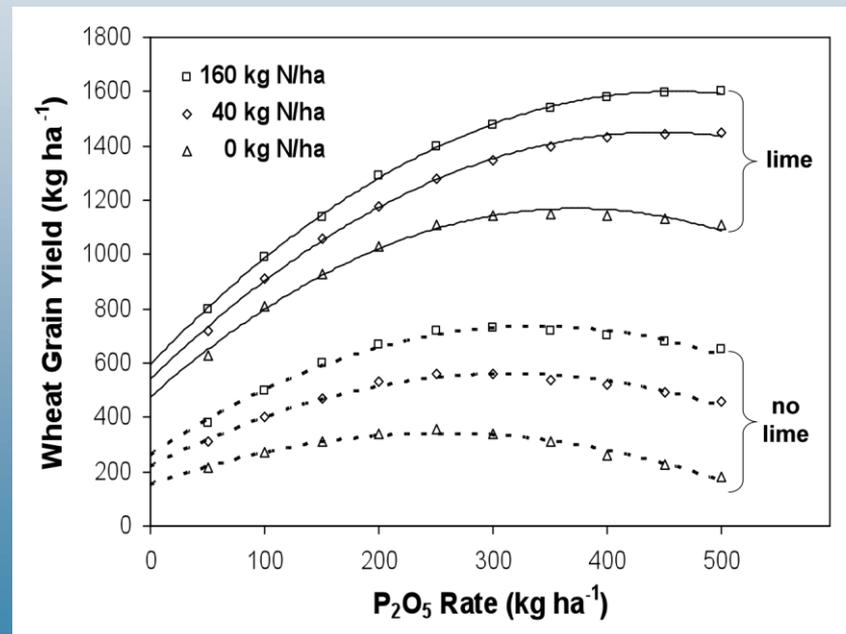
Inserire l'antagonismo P versus Zn; la sinergia N-S-Fe e N-B-K.

Nutrient Interactions

Interactions Between Nutrients

Macronutrients

N-P and N-K interactions are commonly observed. For example, under low pH, grain yield responses to N and P are substantially reduced compared to responses on optimum pH soil

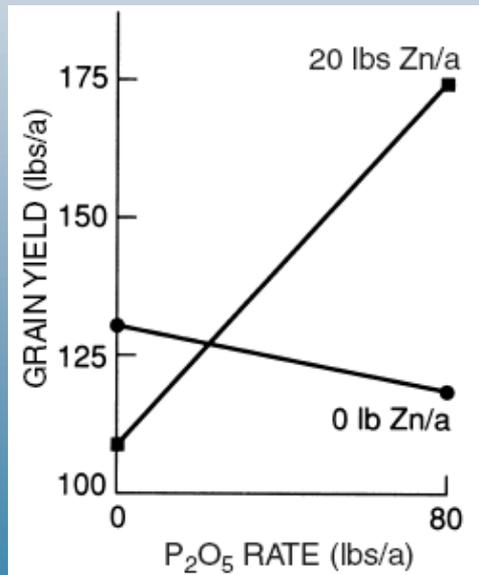


Nutrient Interactions

Interactions Between Nutrients (cont.)

Micronutrients

Interactions with micronutrients can be dramatic. For example, on a soil testing low in P and Zn, adding P without Zn decreased yield by 12 bu/a, while adding Zn without P decreased yield by 22 bu/a.



-P -Zn

-P +Zn

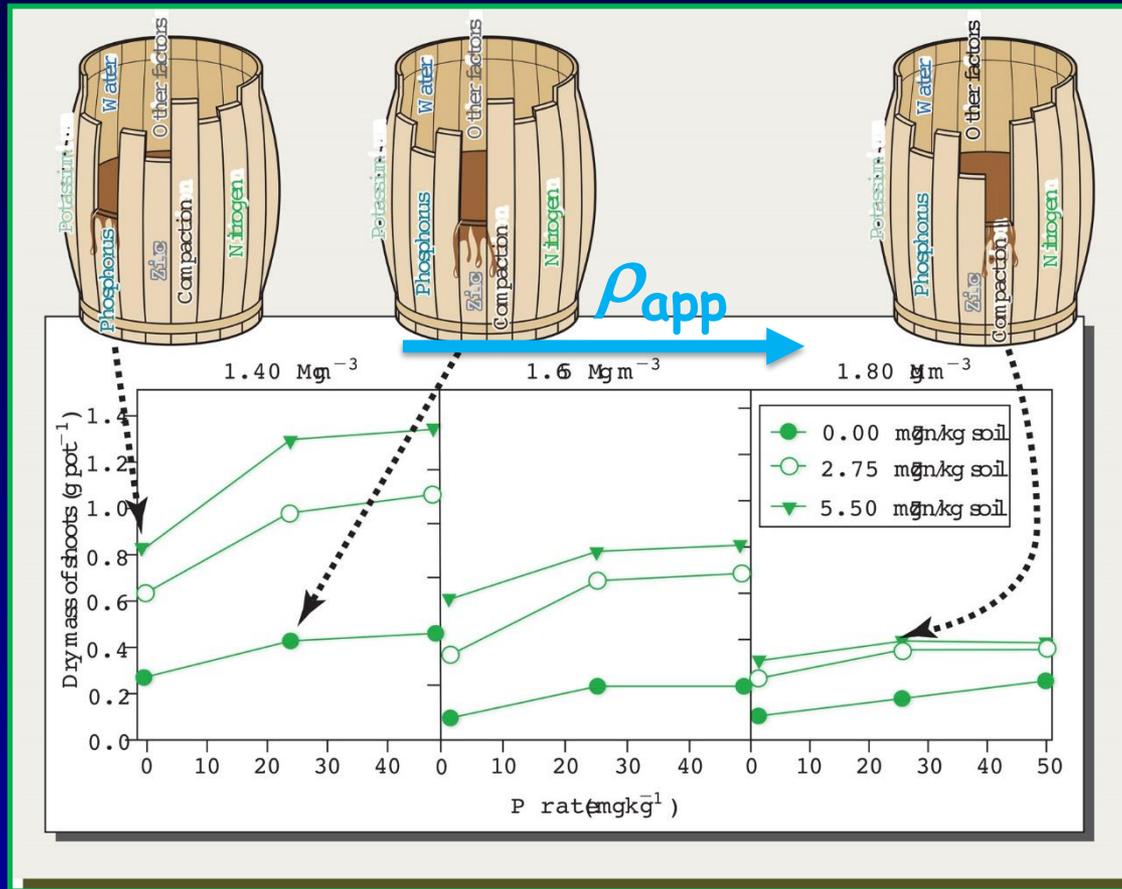
+P +Zn

+P -Zn

Somministrando sia P, sia Zn la produzione aumenta.

Somministrando solo P o Zn la produzione diminuisce.

Interazione tra i fattori di crescita



P →

(da Weil & Brady, 2017)

Risposte produttive di piantine di frumento allevate in vaso all'interazione tra tre fattori limitanti: due nutrizionali (P e Zn) e uno fisico (massa volumica apparente).

Ne consegue che...

- ✓ incrementare un fattore limitante non aumenta linearmente la resa produttiva
- ✓ esiste un rapporto di interdipendenza tra i fattori di crescita
- ✓ gli elementi nutritivi sono assimilati secondo rapporti stechiometrici ben definiti
- ✓ la carenza di un nutriente, sebbene tutti gli altri siano alle idonee concentrazioni, fa sì che la biosintesi di un composto o lo svolgersi di un processo fisiologico non avvengano
- ✓ la resa attesa può differire dalla resa di riferimento

Quindi:

il rapporto tra resa produttiva e fabbisogno di nutrienti non è costante, ma devia rispetto alle rese di riferimento in ogni singolo contesto di coltivazione

è necessario, pertanto, per ogni contesto territoriale e sistema colturale, applicare un fattore di correzione degli elementi nutritivi da somministrare al suolo mediante la concimazione minerale

$$\text{fattore di correzione} = \frac{\text{resa attesa}}{2 \times \text{resa di riferimento}} + 0.5$$