



La fertirrigazione in serra

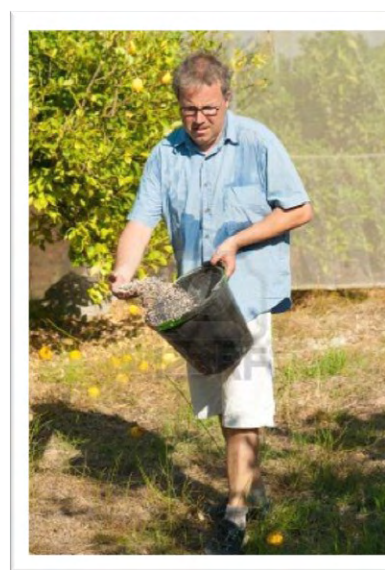
Francesco Giuffrida

DISPA - Università degli Studi di Catania

francesco.giuffrida@unict.it

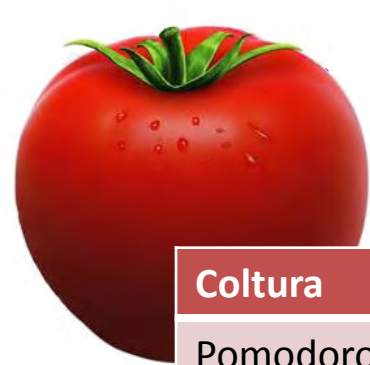
...PERCHÉ?

- ✓ Maggiore efficienza d'uso dei nutrienti
 - riduzione delle perdite per dilavamento e insolubilizzazione
 - applicazione dei nutrienti in funzione dei ritmi di assorbimento della coltura
- ✓ Maggiore uniformità di applicazione
- ✓ Minore accumulo di sali nel terreno
- ✓ Riduzione della manodopera
- ✓ Riduzione della circolazione nel campo (minori danni meccanici e compattamento del suolo)
- ✓ Possibilità di fertilizzare anche in condizioni di mancata accessibilità



Intensificazione dei processi produttivi & input superiori rispetto agli altri sistemi





Riduzione dell'input di nutrienti (kg/ha) migliorando l'efficienza di distribuzione dei nutrienti (0.6 vs 0.9)

Coltura	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Pomodoro da mensa in pien'aria	-156	-33	-206
Pomodoro da mensa in serra	-317	-50	-642
Pomodoro da industria	-111	-27	-102

€/ha

→ -1008

→ -2917

→ -547



Efficienza dei principali metodi irrigui

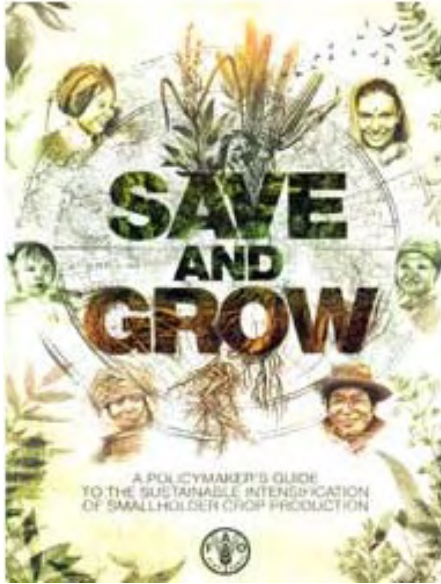
Metodo irriguo	Efficienza
Infiltrazione laterale	0.55 – 0.75
Aspersione	0.80 – 0.85
Localizzato	0.90 – 0.95



Sostenibilità economica e ambientale



Politiche internazionali rivolte al contenimento degli input



Alcune delle principali linee di intervento:



Individuazione delle aree di maggiore rischio

Applicazione delle buone pratiche agricole (GAP)

Individuazione di possibili strategie rivolte alla riduzione dell'impatto delle produzioni agricole

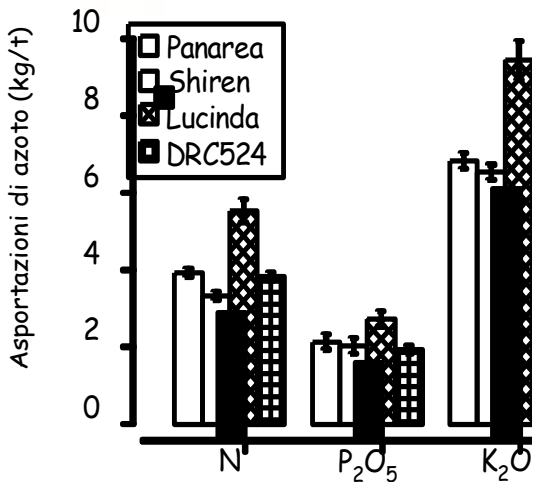
Asportazioni culturali (kg/t di frutti)

- ✓ Rappresentano la base per definire le unità di fertilizzante da apportare
- ✓ Variano in rapporto alla varietà di frutto



Indirizzo
produttivo

Cultura	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
modoro da mensa in pien'aria	2.8	0.6	3.7
modoro da mensa in serra	3.8	0.6	7.7
modoro da industria	2.5	0.6	2.3



Cultivar

...ori
...si (es.
comb.
innesto)

	N	P	K	Ca	Mg	S
autoinnestata	3.1 b	0.14 b	3.4	0.7 b	0.2	0.1 c
/ PG3	3.8 ab	0.39 a	3.6	1.3 b	0.3	0.4 b
/ Energy	5.0 a	0.48 a	5.9	2.7 a	0.4	0.7 a
/ Beaufort	4.1 ab	0.43 a	4.7	1.6 ab	0.3	0.4 b

Come determinare quanto fertilizzanti utilizzare:

- ✓ L' approccio della quantità basato sulle asportazioni colturali
- ✓ L' approccio della concentrazione basato sulla contenuto nella rizosfera
- ✓ L' approccio della “speaking plant” basato su parametri diretti e indiretti



Dalle asportazioni agli apporti: **PIANO DI FERTILIZZAZIONE**

Per una stima degli elementi nutritivi da apportare oltre che le asportazioni bisogna considerare :

- ✓ Disponibilità di nutrienti nel terreno
- ✓ Perdite dovute a lisciviazione, immobilizzazione, volatilizzazione e denitrificazione
- ✓ Apporti precessione colturale
- ✓ Apporti derivanti dalla mineralizzazione della sostanza organica
- ✓ Apporti legati al contenuto ionico delle acque irrigue



Dalle asportazioni agli apporti: **AZOTO**

$$N = N_{asp} \pm N_{terr} - N_{H_2O} - N_{so} - N_{prec\ colt} + N_{lisc} + N_{imm} \\ (N_{terr} \times fc)$$



Valutazione	N totale (‰)
Povero	< 1
Mediamente dotato	1 – 1.5
Ben dotato	1.5 – 2.2
Ricco	2.2 – 5
Eccessivamente dotato	> 5

Azoto mineralizzato (kg/ha) disponibile in un anno – Linea guida nazionale per la fertilizzazione della produzione integrata

RAPPORTO C/N	TESSITURA	N MINERALIZZATO (kg/ha)
< 9	Tendenzialmente sabbioso	42 x S. O. (%)
	Franco	26 x S. O. (%)
	Tendenzialmente argilloso	18 x S. O. (%)
9-12	Tendenzialmente sabbioso	36 x S. O. (%)
	Franco	24 x S. O. (%)
	Tendenzialmente argilloso	12 x S. O. (%)
> 12	Tendenzialmente sabbioso	24 x S. O. (%)
	Franco	20 x S. O. (%)
	Tendenzialmente argilloso	6 x S. O. (%)

Fattori di correzione (fc) da utilizzare per valutare l'immobilizzazione e la dispersione dell'azoto nel terreno

DRENAGGIO	TESSITURA		
	Tendenzialmente sabbioso	Franco	Tendenzialmente argilloso
Lento o impedito	0,30	0,35	0,40
Normale	0,20	0,25	0,30
Rapido	0,15	0,20	0,25

Azoto perduto per lisciviazione (kg/ha) in un anno – Linea guida nazionale per la fertilizzazione della produzione integrata

DRENAGGIO	TESSITURA		
	Tendenzialmente sabbioso	Franco	Tendenzialmente argilloso
Lento o impedito	50 (*)	40 (*)	50 (*)
Normale	40	30	20
Rapido	50	40	30

Dalle asportazioni agli apporti: **FOSFORO**

$$P = P_{\text{asp}} - P_{\text{terr}}$$

$$P = P_{\text{asp}} + P_{\text{terr}} \times \text{Coeff}_{\text{imm}}$$

↓

$$\text{Coeff}_{\text{imm}} = a + 0.02 \times \text{calcare totale (\%)}$$

↓

Valutazione della disponibilità di fosforo assimilabile (metodo Olsen) in base alla dotazione del terreno – Linea guida nazionale per la fertilizzazione della produzione integrata con modifiche

Disponibilità	Espressione della dotazione (*)	
	Fosforo (P) (ppm)	Anidride fosforica (P ₂ O ₅) (ppm)
Molto bassa	<5	< 12
Bassa	5 - 10	12 - 23
Media	11 - 15	25 - 34
Alta	16 - 30	37 - 70
Molto alta	>30	> 70

(*) si ricorda che $P_2O_5 = P \times 2,291$; $P = P_2O_5 \times 0,436$

↓

Terreno	a
Sabbioso	1.2
Franco	1.3
Argilloso	1.4



Dalle asportazioni agli apporti: **POTASSIO**

$$K = K_{asp} + K_{lisc} - K_{terr}$$

$$K = K_{asp} + K_{lisc} + K_{terr} \times \text{Coeff}_{imm}$$

Valutazione della disponibilità di potassio scambiabile in base alla dotazione del terreno - Linea guida nazionale per la fertilizzazione della produzione integrata con modifiche

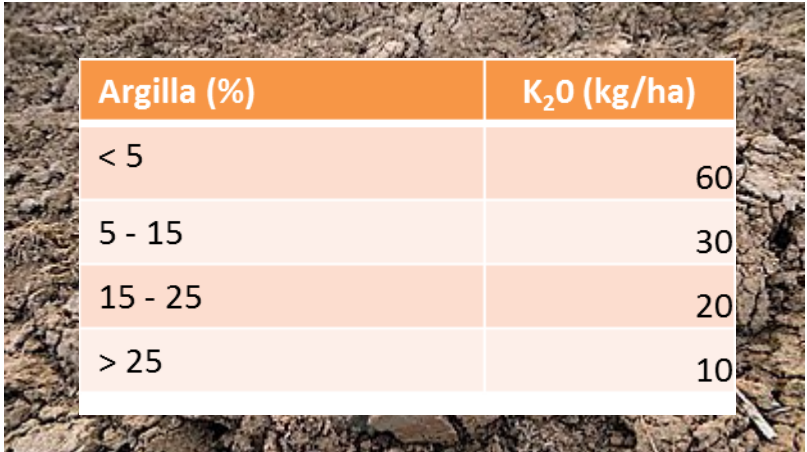
Disponibilità	terreni sabbiosi		terreni medio impasto		terreni argillosi e limosi	
	K (ppm)	K ₂ O (ppm)	K (ppm)	K ₂ O (ppm)	K (ppm)	K ₂ O (ppm)
Molto bassa	<40	48	<60	72	<80	96
Bassa	40-80	48-96	60-100	72-121	80-120	96-145
Media	81-120	98-145	101-150	122-181	121-180	146-217
Elevata	>120	>145	>150	>181	>180	>217

(*) si ricorda che $K_2O = K \times 1,205$; $K = K_2O \times 0,830$



$$\text{Coeff}_{imm} = 1 + [0.018 \times \text{argilla (\%)}]$$

Perdite di K₂O (kg/ha) per lisciviazione in rapporto al contenuto di argilla



Argilla (%)	K ₂ O (kg/ha)
< 5	60
5 - 15	30
15 - 25	20
> 25	10

Perdite di K₂O (kg/ha) per lisciviazione in rapporto al drenaggio del terreno

DRENAGGIO	TERRENO		
	TENDENZIALMENTE SABBIOSO	FRANCO	TENDENZIALMENTE ARGILLOSO
Lento o normale	25	15	7
Rapido	35	25	17

Dalle asportazioni agli apporti: **ESEMPIO DI CALCOLO**

$$N = N_{asp} - N_{terr} - N_{H_2O} - N_{so} - N_{prec\ colt} + N_{lisc} + N_{imm}$$

$$= 494 - 7 - 101 - 32.4 - \text{-----} + \text{-----}^* + 3 = 356.6 \text{ kg/ha}$$

$$P = P_{asp} + P_{terr} \times \text{Coeff}_{imm}$$

$$= 33.8 + 27.2 = 61 \text{ kg/ha}$$

$$K = K_{asp} + K_{terr} \times \text{Coeff}_{imm} + K_{lisc}$$

$$= 830.7 + 65.5 + \text{-----}^* = 884.2 \text{ kg/ha}$$

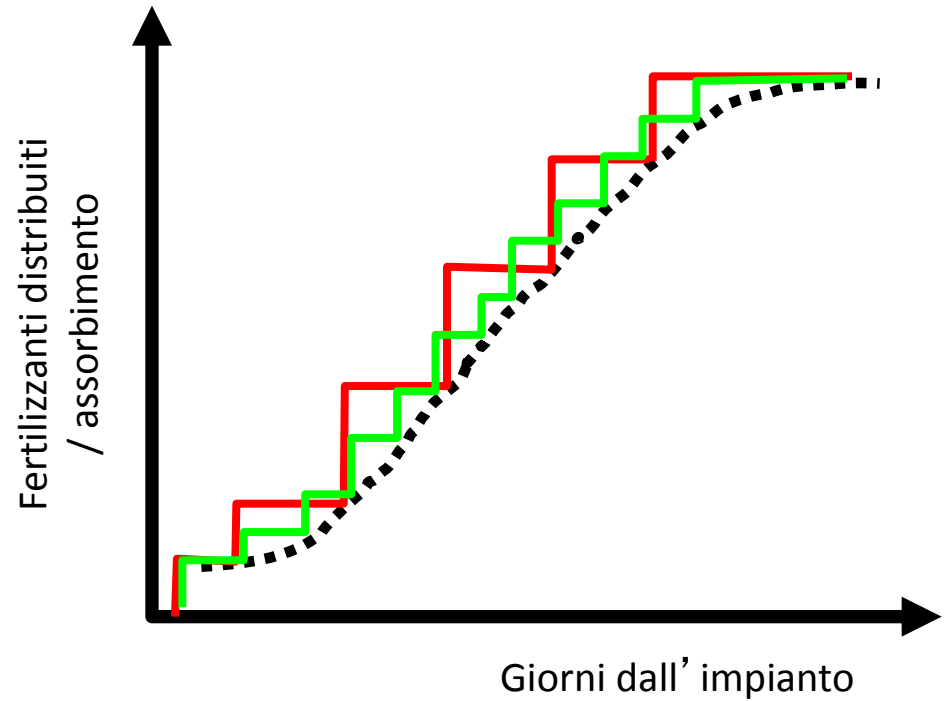
N 494 > 356 kg/ha (-28%)

* Può assumere valori significativi utilizzando acque a elevata EC che comportano cospicui volumi irrigui per la lisciviazione

PARAMETRO	VALORE	NOTE
Asportazioni N (kg/t di prodotto)	3,8	"Linea guida"
Asportazioni P (kg/t di prodotto)	0,26	"Linea guida"
Asportazioni K (kg/t di prodotto)	6,39	"Linea guida"
Resa prevista (t/ha)	130	dati ISTAT o esperienza pregressa
Sostanza organica (%)	2,7	analisi terreno
Rapporto C/N	9,8	analisi terreno
Azoto totale (%)	1,6	analisi terreno
P assimilabile (ppm)	8,2	analisi terreno
K scambiabile (ppm)	91,3	analisi terreno
Calcare totale (%)	9,8	analisi terreno
Argilla (%)	25	analisi terreno
Tessitura	M.I.	analisi terreno
Azoto acqua irrigazione (ppm) (150 ppm NO ₃ ⁻)	33,7	analisi acque

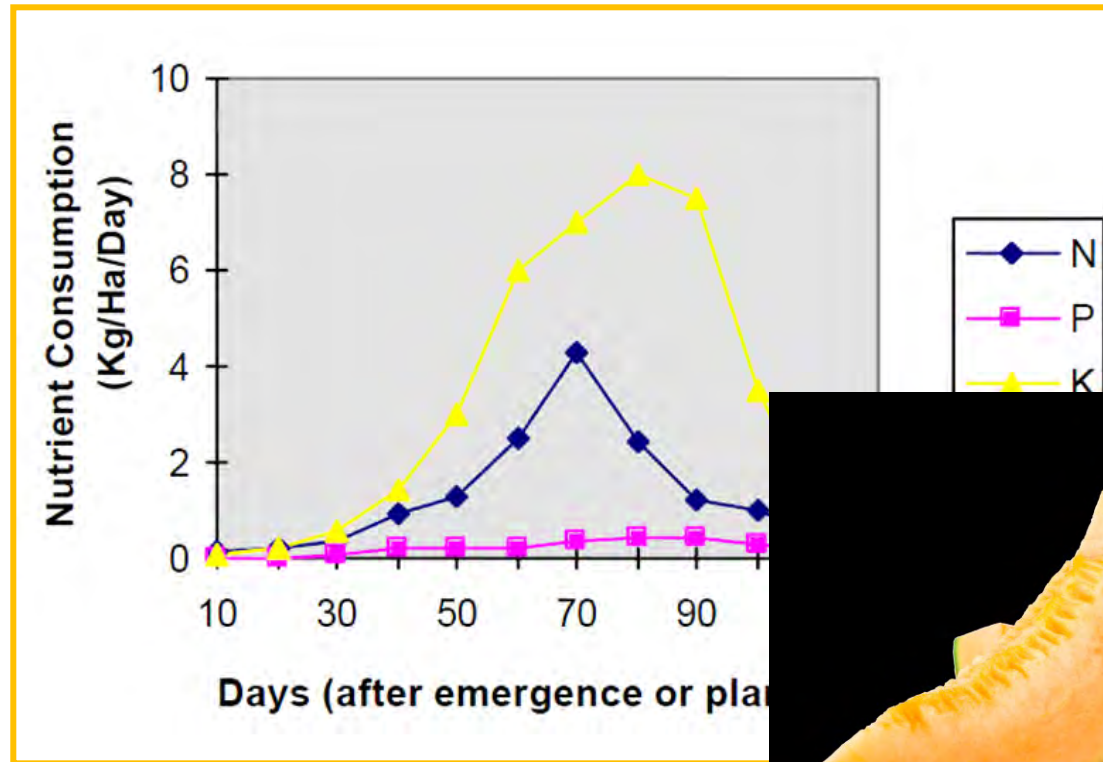
Nelle acque utilizzate per l'irrigazione in alcune zone del territorio di Vittoria sono presenti 500 mg/l NO₃ che apportano al terreno 337 kg/ha di azoto (calcolato sulla base di un input di acqua di 3000 m³/ha)

FREQUENZA DI DISTRIBUZIONE



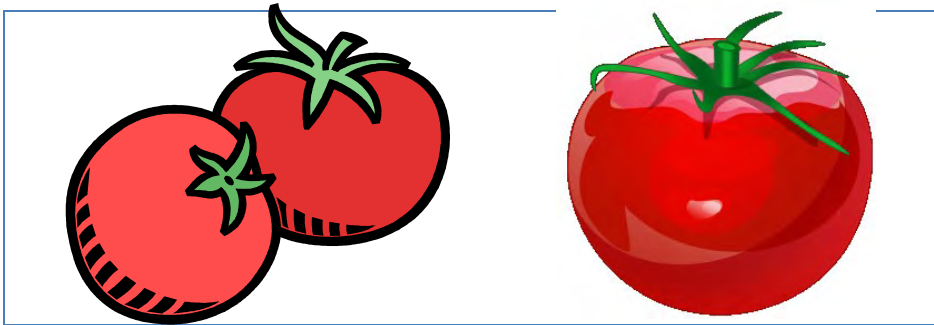
- ☐ Ritmo di assorbimento della coltura
- ☐ Caratteristiche del suolo
- ☐ Volume della rizosfera
- ☐ Lisciviazione
- ☐ Impianti di fertirrigazione/Organizzazione del lavoro

Frequenza di distribuzione: **RITMO DI ASSORBIMENTO DELLA COLTURA**



Asportazione media giornaliera di azoto, fosforo e potassio durante il ciclo colturale di melone in pieno campo

Consumo giornaliero ($\text{kg ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$) di N, P e K, in pomodoro coltivato in serra su terreno sabbioso e irrigato “a goccia” (densità= 23 000 piante ha^{-1} ; resa = 195 t ha^{-1}). DAP = Giorni dall'impianto. (**Scaife and Bar-Yosef, 1995**, modificato).



DAP	N	P	K
1-10	1.00	0.10	2.00
11-20	1.00	0.10	4.00
21-30	1.00	0.10	3.50
31-40	2.50	0.20	3.50
41-50	2.50	0.40	5.50
51-60	2.50	0.60	6.00
61-70	2.50	0.30	4.00
71-80	2.50	0.30	6.00
81-90	1.50	0.30	1.00
91-100	1.50	0.10	1.00
101-110	1.00	0.10	1.00
111-120	1.00	0.10	1.00
121-130	1.50	0.20	1.00
131-150	1.50	0.35	1.30
151-180	4.00	0.50	3.80
181-200	2.00	0.30	3.00
Total	450	65	710

Frequenza di distribuzione: **RITMO DI ASSORBIMENTO DELLA COLTURA**

Dosi ed epoca di distribuzione dei principali elementi nutritivi
per una coltivazione di pomodoro

Epoca di somministrazione	N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	%	k/ha	%	k/ha	%	k/ha
Pre-trapianto			30	42		
In copertura						
Trapianto-fioritura	12	43	20	28	7	74.5
Fioritura - allegagione	14	50	20	28	11	117
Allegaggione – I raccolta	24	86	15	21	27	287.5
I raccolta – fine raccolta	50	179	15	21	55	586
Totale		358		140		1065



✓ Pre-impianto: fosforo e potassio

Suoli sabbiosi

(ridotta ritenzione idrica e CSC)



8-10 interventi mensili



Suoli argillosi

(elevata ritenzione idrica e CSC)



2-4 interventi mensili

Tipologia di terreno	Capacità di campo (% sul peso secco)
Medio impasto	20 – 30

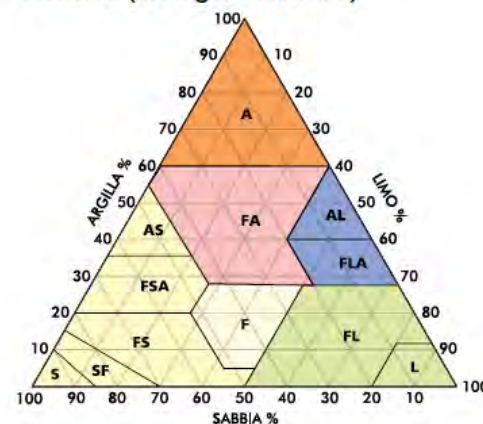
Natura del suolo	CSC (meq/100 g)
Argilloso	Tra 15 e 50

Frequenza di distribuzione: RISCHI DI LISCIVIAZIONE

Tessitura suolo	Capacità di campo (% vol.)	Punto di appassimento (% vol.)	Acqua disponibile (% vol.)	Acqua disponibile (L/m ²)
Sabbio-limoso	8,0	4,2	3,8	15,2
Limo-sabbioso	9,2	5,2	4,0	16,0
Limoso	12,7	6,3	6,4	25,6
Limo-argilloso	18,4	6,3	12,1	48,4
Franco	24,4	14,3	10,1	40,4
Argilloso	45,9	26,0	19,9	79,6

* 40 cm terreno

Tessitura (Triangolo U.S.D.A.)



cod. descrizione

S	sabbioso
SF	sabbioso franco
L	limoso
FS	franco sabbioso
F	franco
FL	franco limoso
FSA	franco sabbioso argilloso
FA	franco argilloso
FLA	franco limoso argilloso
AS	argilloso sabbioso
AL	argilloso limoso
A	argilloso



Esempio di fabbisogno irriguo del pomodoro da mensa in serra
fredda, in presenza di pacciamatura su terreno sciolto

Periodo	Volume di adacquamento l m^{-2}	Interventi irrigui n°	Volume totale del periodo l m^{-2}
Marzo (trapianto)	10	1	10
Aprile (fioritura)	10	3	30
Aprile (ingross. frutti)	15	4	60
Maggio (pre-raccolta)	15	4	60
Maggio (inizio produzione)	17	4	68
Giugno (produzione)	20	8	160
Luglio (produzione)	22	8	176
Fabbisogno totale (volume stagionale)		32	564

La fertirrigazione nella coltivazione fuori suolo

Assenza del terreno agrario



Minore disponibilità idrica e minerale



Natura della rizosfera	Volume della rizosfera (L/pianta)	Acqua disponibile (%)	Acqua disponibile (L/pianta)
Suolo (sabbioso)	150	8	12
Perlite	6	10	0.6
Perlite/torba	6	28	1.7
Nutrient film technique (NFT)			1

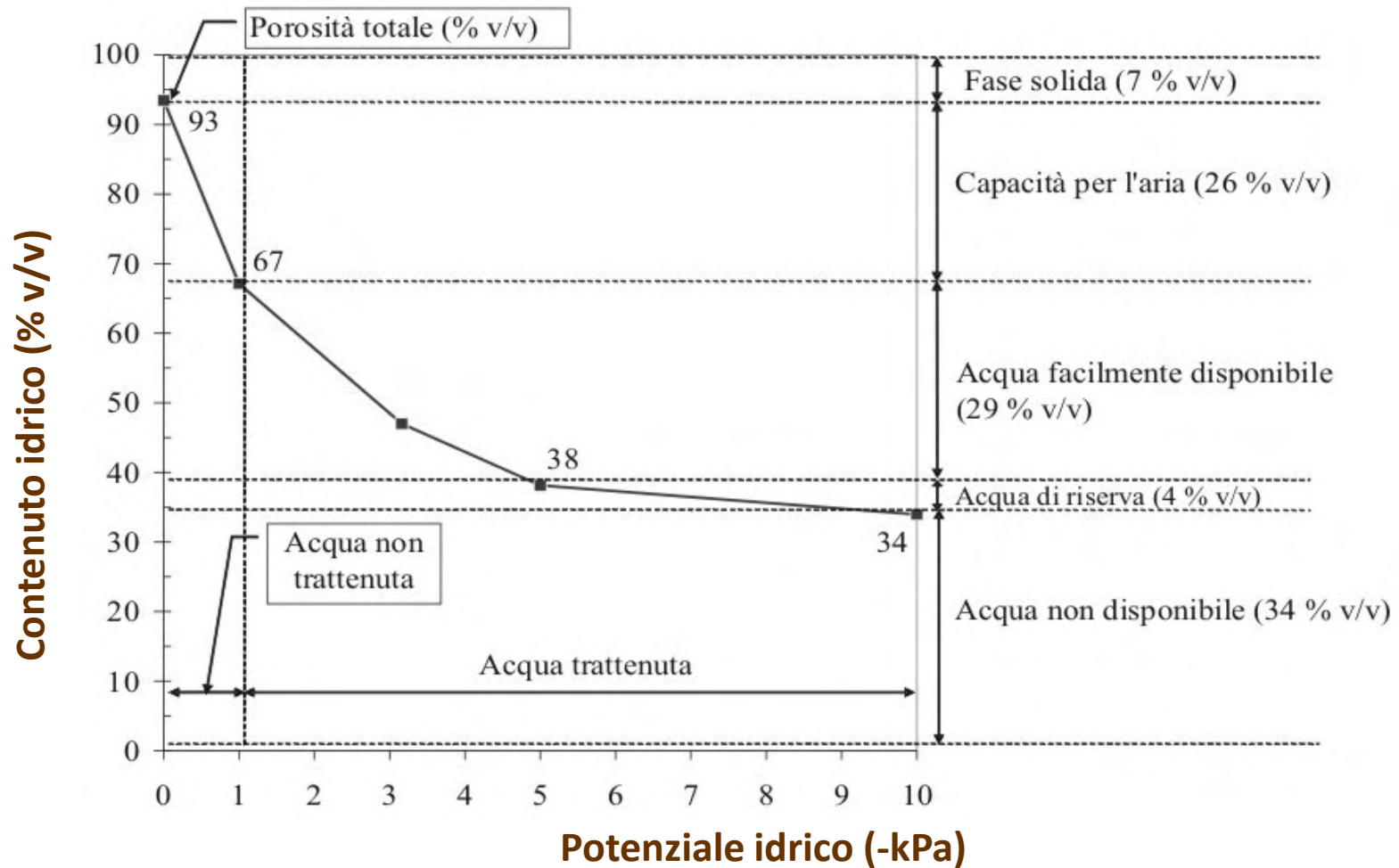
La fertirrigazione nella coltivazione fuori suolo

Substrati

- caratteristiche idrologiche del substrato
- composizione, pH e CSC



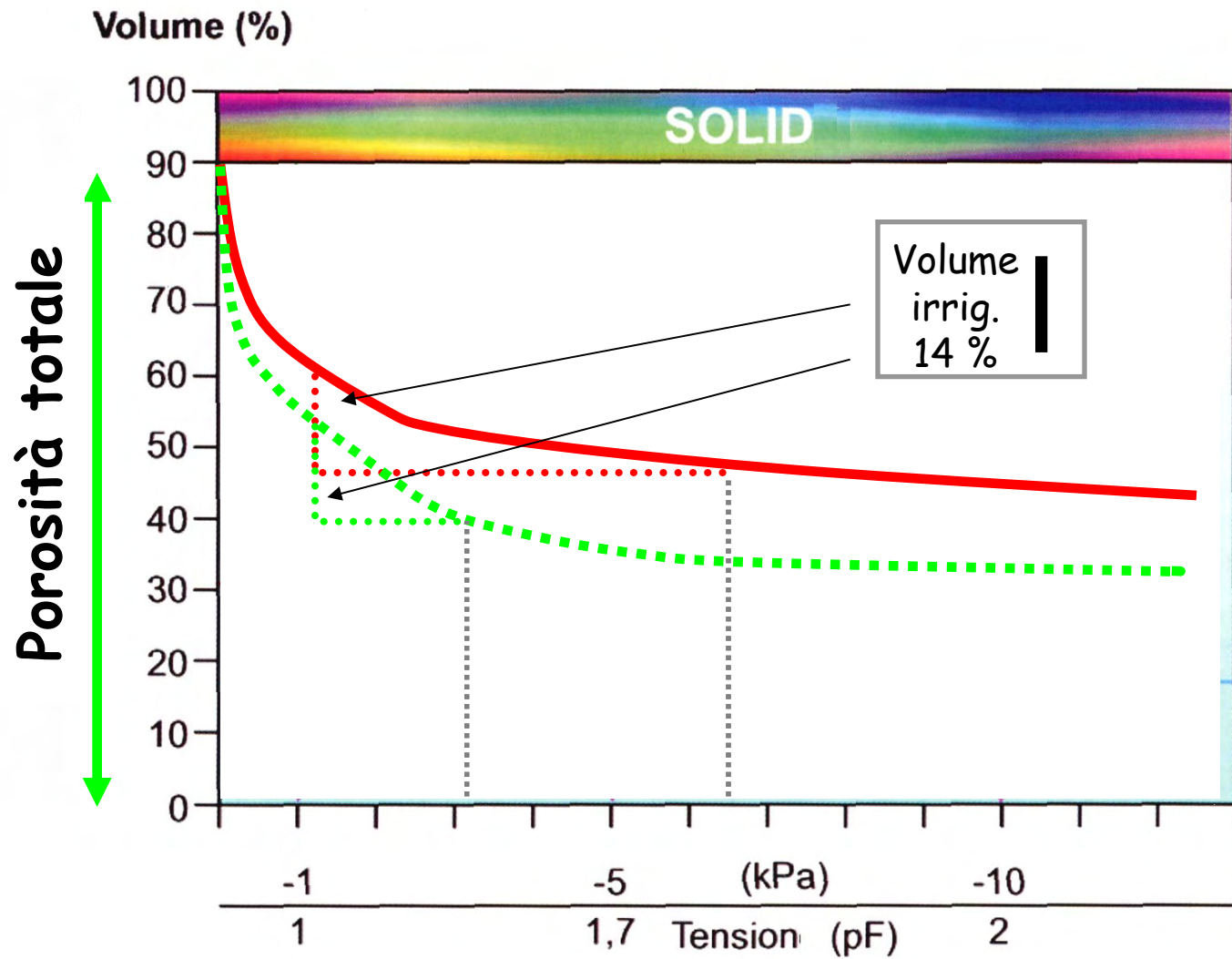
Curva di ritenzione idrica di un substrato



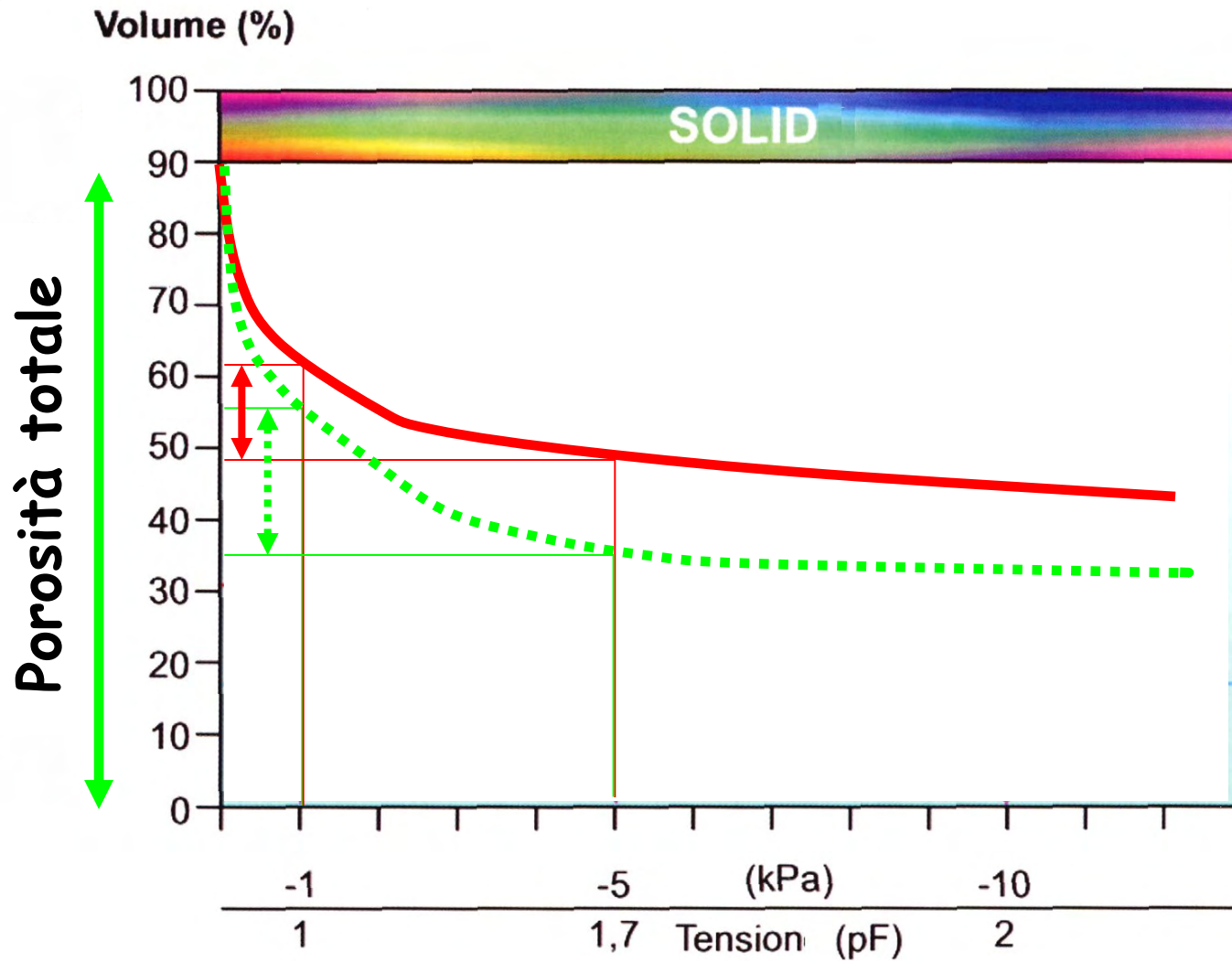
*Alcuni ordini di
grandezza*

Substrato	Densità apparente (kg/m ³)	Porosità totale (% vol.)	Capacità aria (% vol.)	Capacità acqua (% vol.)	Acqua facilmente disponibile (% vol.)
Lana di roccia	80-90	94-97	10-15	80-85	75-80
Argilla espansa (4-10 mm)	500-600	85-90	60-70	35-40	10-15
Perlite (0.2-1 mm)	150-200	85-90	25-30	50-60	35-40
Perlite (1-4 mm)	80-120	85-90	50-60	30-35	10-15
Fibra di cocco	90	90-95	25-30	65-70	35-40

Caratteristiche
fisiche e gestione
dell'irrigazione



Caratteristiche
fisiche e gestione
dell'irrigazione



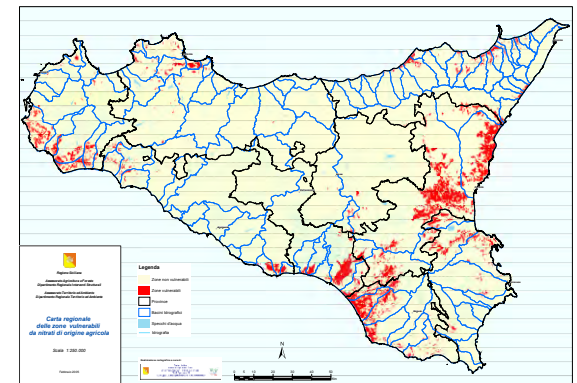
La gestione dell'irrigazione



È importantissima e da essa dipendono i risultati produttivi della coltura

Carenza idrica determina stress alla coltura con significative riduzioni dei livelli produttivi

Eccesso idrico può determinare: /asfissia radicale (ridotto accrescimento della pianta) nei substrati con bassa capacità per l'aria e /spreco di acqua e nutrienti nei sistemi di coltivazione a ciclo aperto



La gestione dell'irrigazione

Le due principali variabili da considerare sono:

Dose / volume di acqua da apportare ad ogni intervento

Dipende dalle caratteristiche idrologiche del substrato e dalla percentuale di dilavamento necessaria per contenere l'accumulo di sali nel substrato

Frequenza / momento dell'intervento irriguo

Dipende dal consumo idrico della coltura (evapotraspirazione)

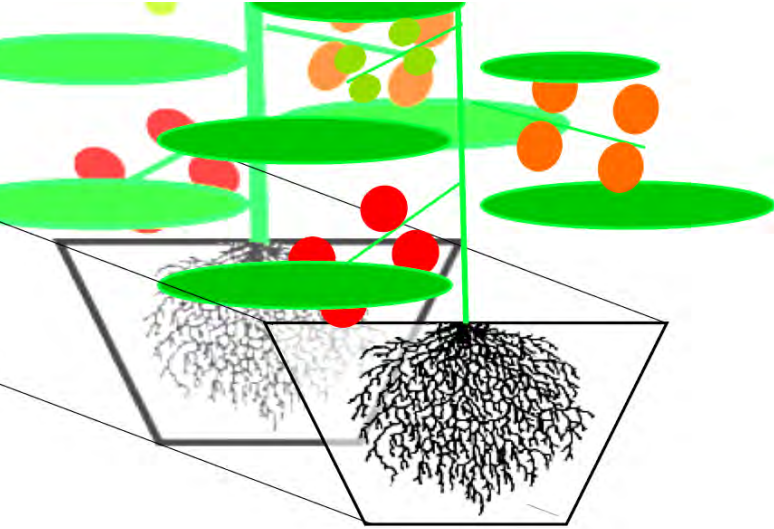


Dose

Di norma si fa riferimento all'acqua facilmente disponibile considerando diverse soglie per l'intervento (% AFD)



Substrato	Acqua facilmente disponibile (% vol.)
Lana di roccia	75-80
Argilla espansa (4-10 mm)	10-15
Perlite (0.2-1 mm)	35-40
Perlite (1-4 mm)	6-12
Fibra di cocco	35-40



Dose: esempio di calcolo

-Caratteristiche idrologiche

Es. Perlite (6 litri/pianta)

Acqua facilmente disponibile 8% = 0.48 litri

Intervento irriguo al 50% AFD = 0.24 litri

- Percentuale di dilavamento 30%

- Dose totale $0.24 / 0.7 = 0.343$ litri/pianta

- Portata gocciolatore 2 l/h = 0.033 l/min

- Minuti irrigazione = $0.343 / 0.033 = 10.4$

Alcuni fattori da considerare

-Effettivo volume erogato

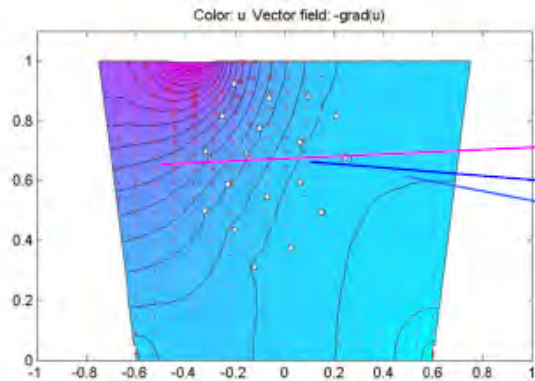
Efficienza gocciolatore

-Numero gocciolatori/pianta

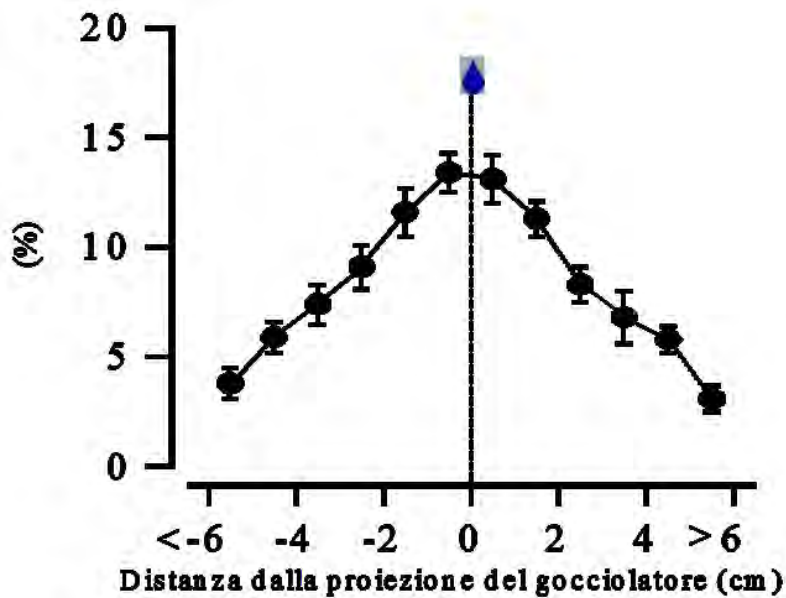
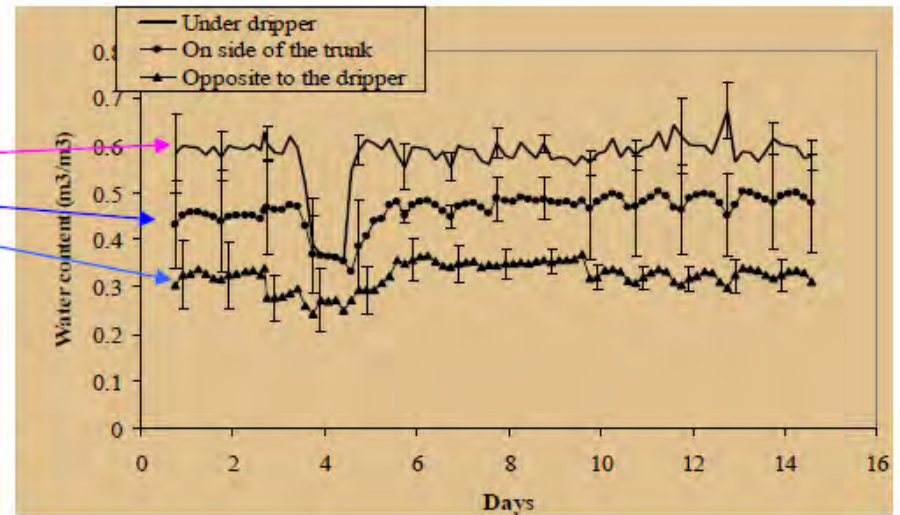
Distribuzione acqua nel substrato

- Volume dell'apparato radicale

Volume irriguo



Variations of water content in a pot & heterogeneity of its distribution according to the position of the dripper (Charpentier *et al.*, 2004)

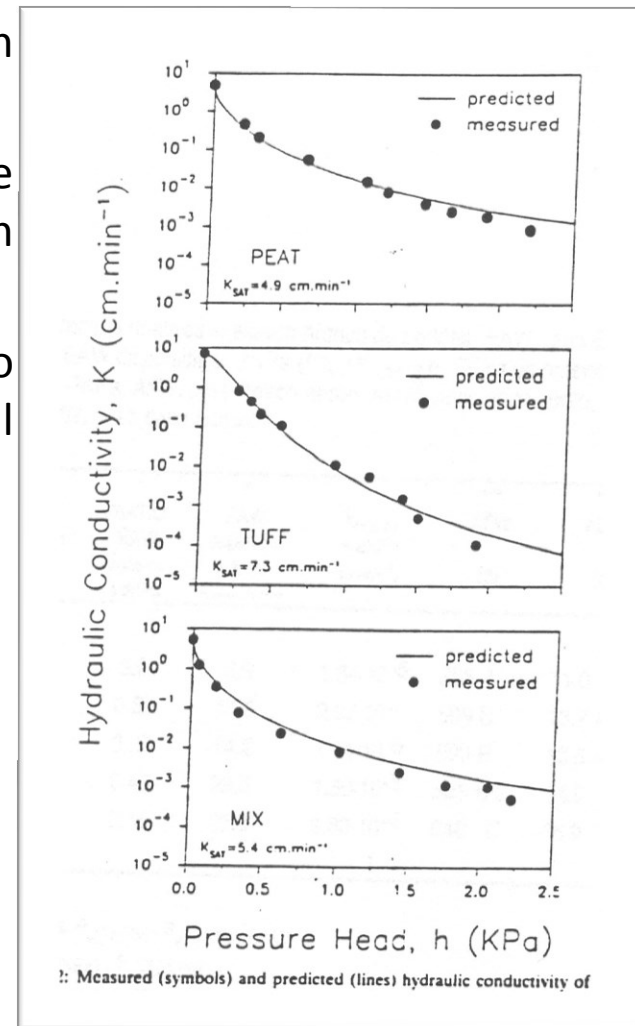
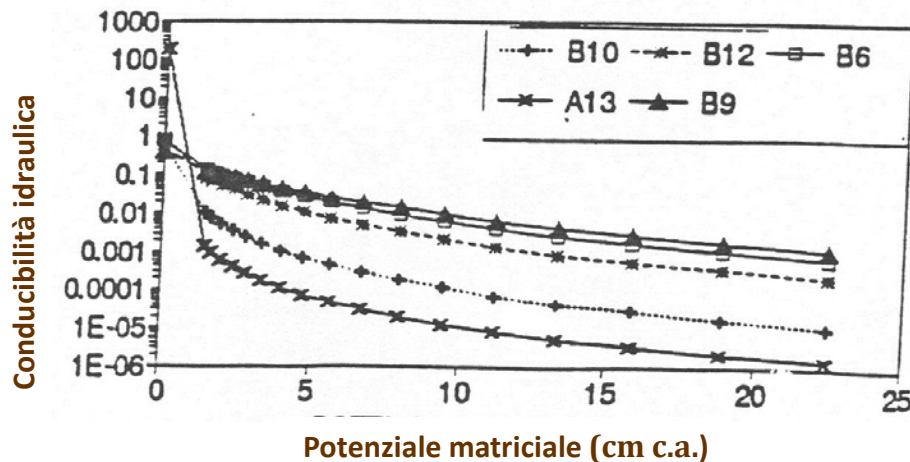


Conducibilità idraulica

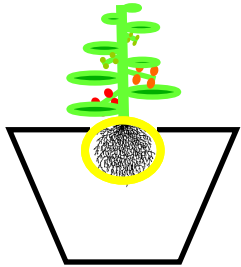
Misura il flusso di acqua nel substrato in condizioni di saturazione (**conducibilità idraulica saturata - K_{sat}**) e di non saturazione (**conducibilità idraulica non saturata - K_{unsat}**):

- ✓ K_{sat} è in relazione con la velocità di percolazione e determina la velocità con la quale il substrato entra in equilibrio dopo l'irrigazione (varia fra 10 e 100 cm/h);
- ✓ K_{unsat} a causa dell'elevata porosità dei substrati, esso diminuisce rapidamente (vari ordini di grandezza) al diminuire del potenziale idrico.

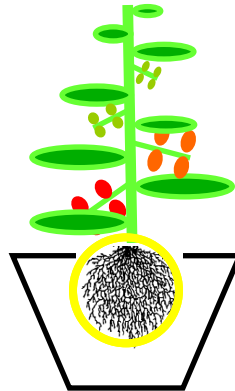
Relazione tra il potenziale matriciale del substrato ψ_m (cm c.a.) e la sua conducibilità idraulica (cm min⁻¹) in cinque tipi di perlite



Dose,
.... adattamenti in rapporto all'accrescimento della coltura



Substrato esplorato dalle
radici 1 litro/pianta
Acqua facilmente
disponibile 10% = 0.1 litri



Substrato esplorato dalle
radici 3 litri/pianta
Acqua facilmente
disponibile 10% = 0.3 litri

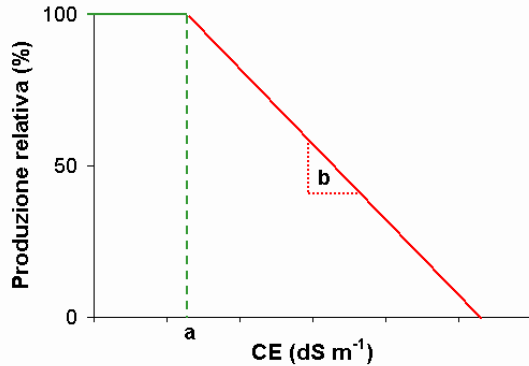


Substrato esplorato
dalle radici 6 litri/pianta
Acqua facilmente
disponibile 10% = 0.6 litri

I sali in eccesso, non
assorbiti dalla pianta
vanno dilavati

Quale percentuale di dilavamento (drenato)?

- Conducibilità elettrica soluzione nutritiva
- Tolleranza della coltura alla salinità



$$EC_{dren} = EC_{sn} / PD$$

$$EC_{dren} = 3 / 0.3 = 10 \text{ dS/m}$$

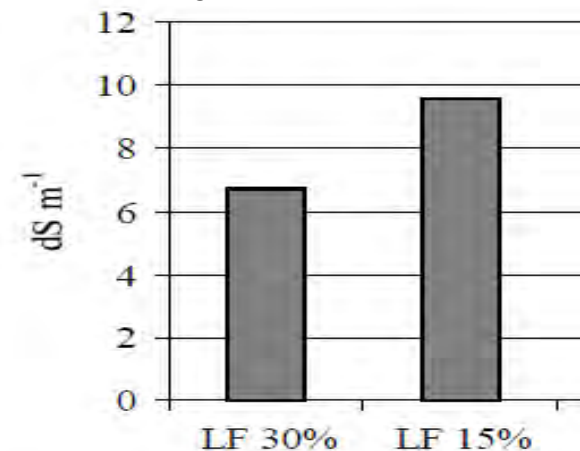
$$EC_{sub} = (3 + 10) / 2 = 6.5 \text{ dS/m}$$

$$PD = EC_{sn} / EC_{dren}$$

$$PD = 3 / 10 = 0.3$$

Variazione della salinità del
substrato in rapporto alla
percentuale di dilavamento (LF);

$$EC_{sn} = 3.4 \text{ dS/m}$$



I sali in eccesso, non assorbiti dalla pianta vanno dilavati

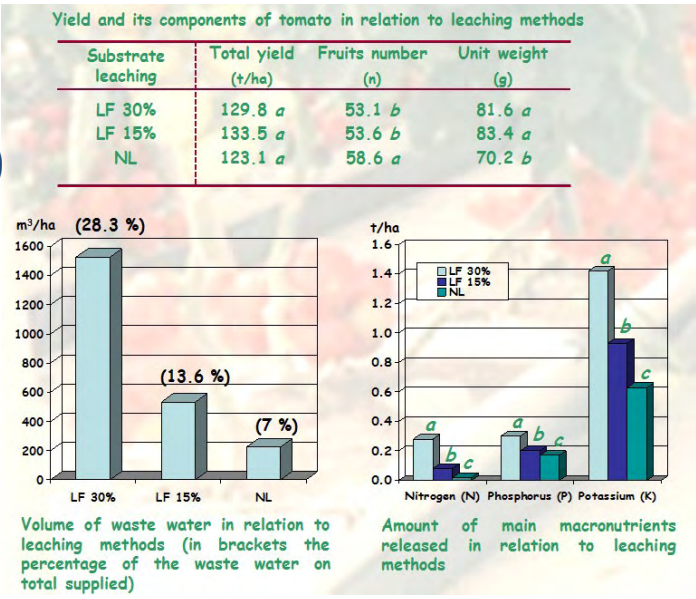
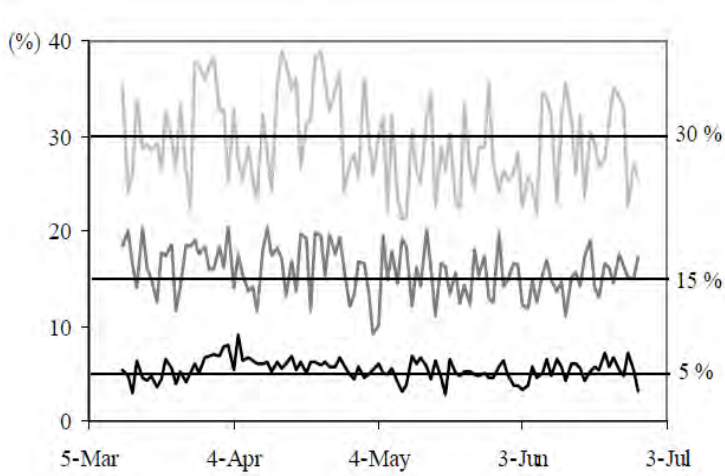
Come ridurre la percentuale di dilavamento?

Rispetto ai sistemi tradizionali a ciclo aperto:

- input 5500 m³/ha - drenato ~ 30 %
- output 1650 m³/ha

Ridurre la percentuale di drenaggio al 15 %

- input 4000 m³/ha
- drenato ~ 14 %
- output 550 m³/ha (-65 % rispetto drenato 30%)
- N, P, K rilasciati nell'ambiente - 40%



I sali in eccesso, non assorbiti dalla pianta vanno dilavati

Effettuare un dilavamento giornaliero (300g/p):

- input 3600 m³/ha - drenato ~ 7 %
- output 250 m³/ha (-65 % rispetto drenato 30%)
- N, P, K rilasciati nell'ambiente - 59%

Volumi di lisciviazione (LI):
 Drenaggio 6%
 LI 0= 0 g/pianta/d
 LI 1= 95 g/pianta/d
 LI 2= 220 g/pianta/d
 LI 3= 470 g/pianta/d

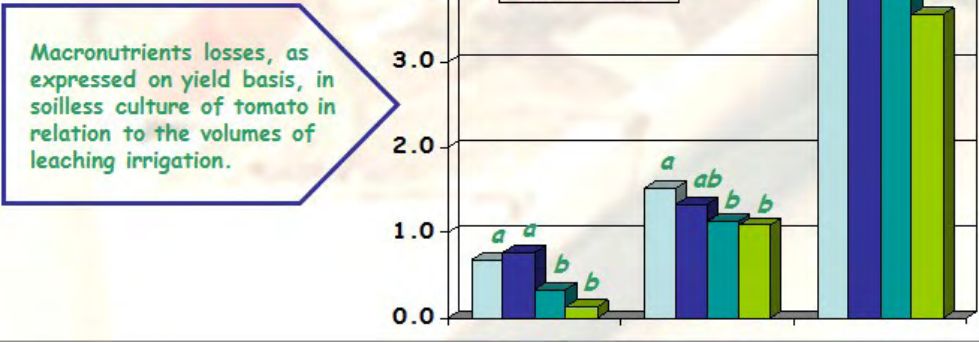
Plant biometric parameters, yield and its components of tomato in relation to the volumes of leaching irrigation.

Leaching irrigation volumes	Height (cm)	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	Total yield (t ha ⁻¹)	Fruit number (n plant ⁻¹)	Unit weight (g)
LI 0	165.2	4621 <i>b</i>	452.3 <i>b</i>	102.1 <i>b</i>	53.8	65.7 <i>b</i>
LI 1	170.5	4885 <i>b</i>	448.6 <i>b</i>	109.4 <i>b</i>	55.4	65.8 <i>b</i>
LI 2	176.2	5433 <i>a</i>	496.5 <i>a</i>	123.1 <i>a</i>	58.6	72.2 <i>a</i>
LI 3	176.1	5876 <i>a</i>	509.0 <i>a</i>	129.2 <i>a</i>	57.2	75.4 <i>a</i>

In the tables and the figures different letters represent significant differences according to SNK test (P ≤ 0.05)

Leaching irrigation volumes	Epigeous dry matter/ water used (kg m ⁻³)	Yield/ water used (kg m ⁻³)
LI 0	5.27 <i>a</i>	39.7 <i>a</i>
LI 1	4.74 <i>b</i>	38.6 <i>a</i>
LI 2	4.61 <i>b</i>	38.1 <i>a</i>
LI 3	3.75 <i>c</i>	31.8 <i>b</i>

Water use efficiency in relation to the volumes of leaching irrigation.



Frequenza dell'irrigazione

E' legata al consumo di acqua della coltura
(evapotraspirazione - ETE)

$$F = ETE / AD$$

La stima dell'ETE:

a) criteri empirici

b) modelli a partire da dati meteorologici

c) mediante la misura del contenuto in
acqua del substrato

d) per via gravimetrica (bilancia)

a) criteri empirici
(frequenze e volumi di
irrigazione controllati da
un timer, regolati sulla
base dell'esperienza
acquisita dall'operatore)



b) Modelli matematici per la stima dell'evapotraspirazione (ETE)

La traspirazione è influenzata da:

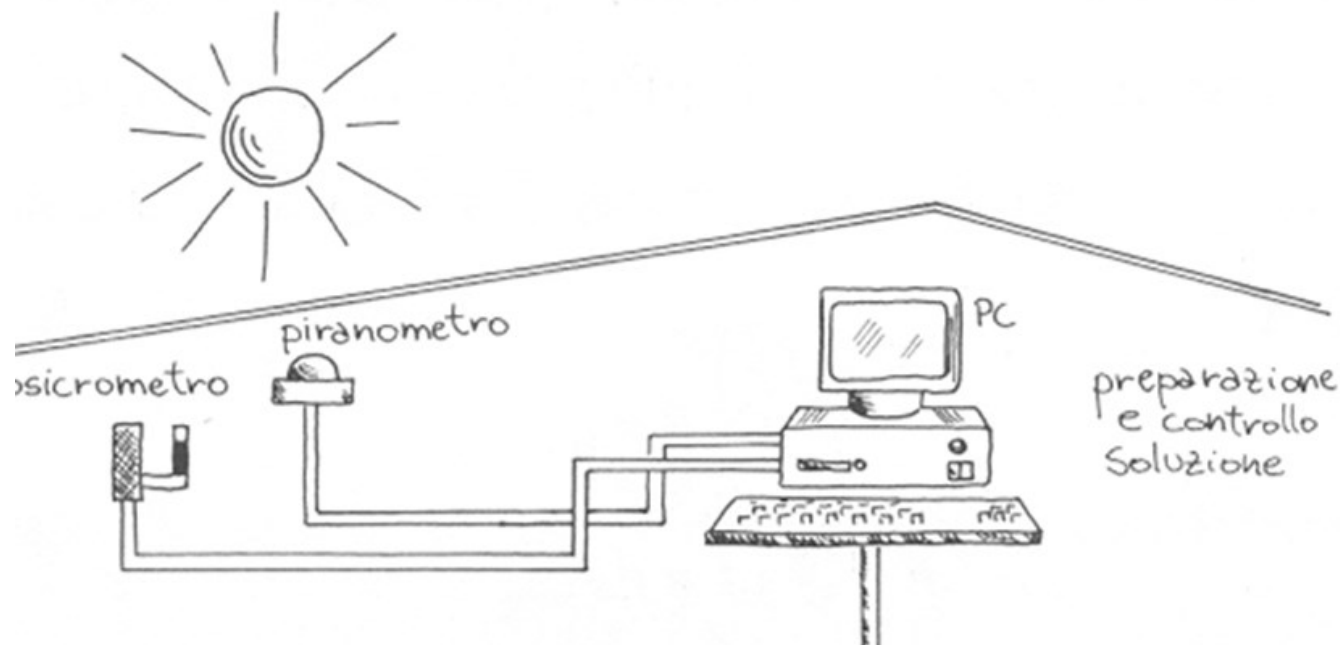
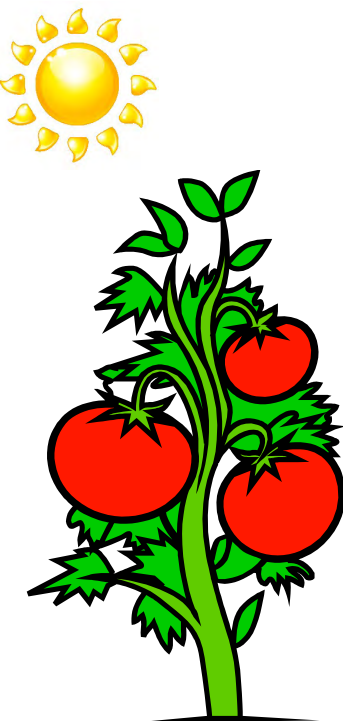
- Radiazione
- Deficit di vapore (VPD)
- Area fogliare (LAI)
- Resistenza stomatica (stato idrico e specie)

-ETE (mm) Equazione di Penman-Monteith

$$\text{-ETE (mm)} = \text{ETE/ETP} \times 0.4 \times \text{RG (MJ/m}^2\text{)}$$
$$\text{ETE/ETP} = 0.7\text{-}0.8$$

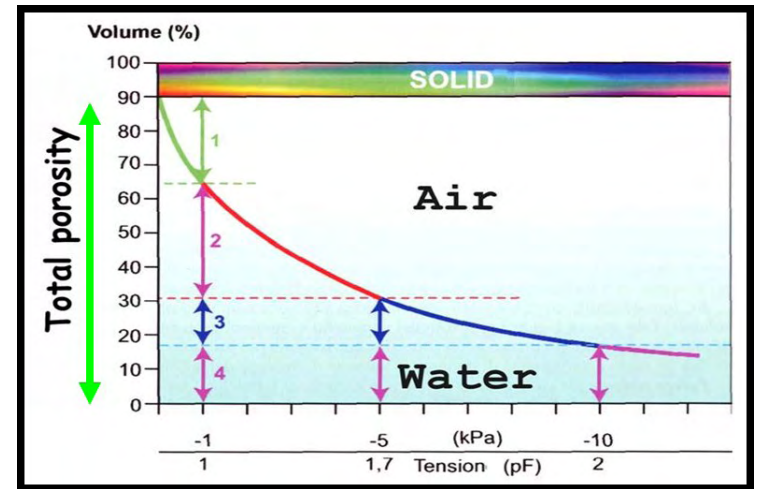
$$\text{-ETE (mm)} = a \text{ LAI} \times \text{RG} \times 0.4 + b \times \text{LAI} \times \text{VPD}$$
$$a=0.2\text{-}0.4; b=0.01\text{-}0.2$$

mm= litri/m²



c) Contenuto in acqua del substrato

- Direttamente:
sensori TDR, FDR, WET
- Indirettamente (curva di ritenzione):
tensiometri



d) per via gravimetrica (bilancia)



Altri aspetti da considerare
nella gestione del substrato:

La capacità di scambio ionico

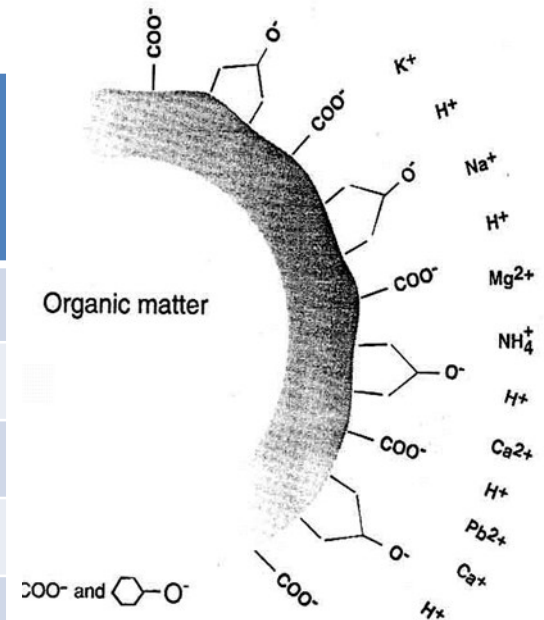
Nutrienti trattenuti dal substrato



Nutrienti nella soluzione circolante



Substrato	Capacità di scambio cationica (meq/100g)	pH
Lana di roccia	0.2	7-7.5
Argilla espansa (4-10 mm)	10-15	5-7
Perlite (0.2-1 mm)	1.5-4	7-7.5
Perlite (1-4 mm)	1.5-4	7-7.5
Torba bionda	100-200	2.5-4
Fibra di cocco	60-130	5-6.8



Growing media	CEC (c mol L ⁻¹)	pH
Perlite	< 3	7
Rockwool	0	7
Expanded clay	0	7
Vermiculite	30	5,5 – 8
Sand	0	4 – 8
Clay soil	20 - 30	5 – 7,5
Coco	3 - 10	5 – 7
Peat	10 - 30	3,5 – 5
Fresh pine bark	5 - 10	5 – 5,5
Composted pine bark		7 – 7,5
Compost	15 - 20	7 – 9

CSC = 0

- Possibili variazioni repentine di pH e salinità dovute a fattori esterni
- Il pH del substrato è controllato dal pH della soluzione nutritiva

Altri aspetti da considerare nella gestione del substrato:

Inerzia chimica del substrato

CEC +

- Minori fluttuazioni di pH e salinità
- Minore lisciviazione dei nutrienti
- Il pH del substrato non si modifica significativamente per effetto della soluzione nutritiva

I substrati a elevata CSC

Il complesso di scambio cationico può essere occupato

- 1) H^+ (substrati a reazione acida, es. torba)
- 2) cationi alcalino-terrosi (substrati a reazione neutra o leggermente basica, es. fibra di cocco)

Es. torba

CSC $10-30 \text{ cmol L}^{-1}$; pH 3.5-5

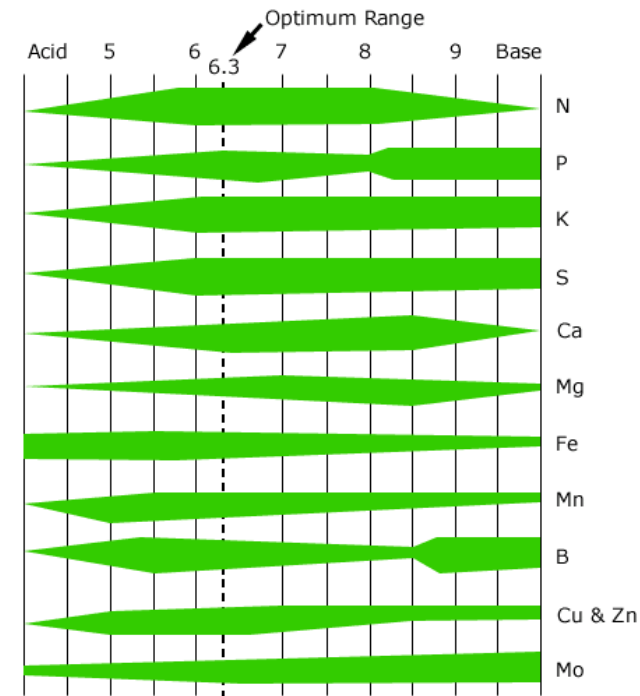
H^+ torba = 1 cmol L^{-1}

H^+ soluzione nutritiva a pH 6 (0.5 L trattenuti dal substrato)
= $10^{-4} \text{ cmol L}^{-1}$

Differenza di 10000 volte

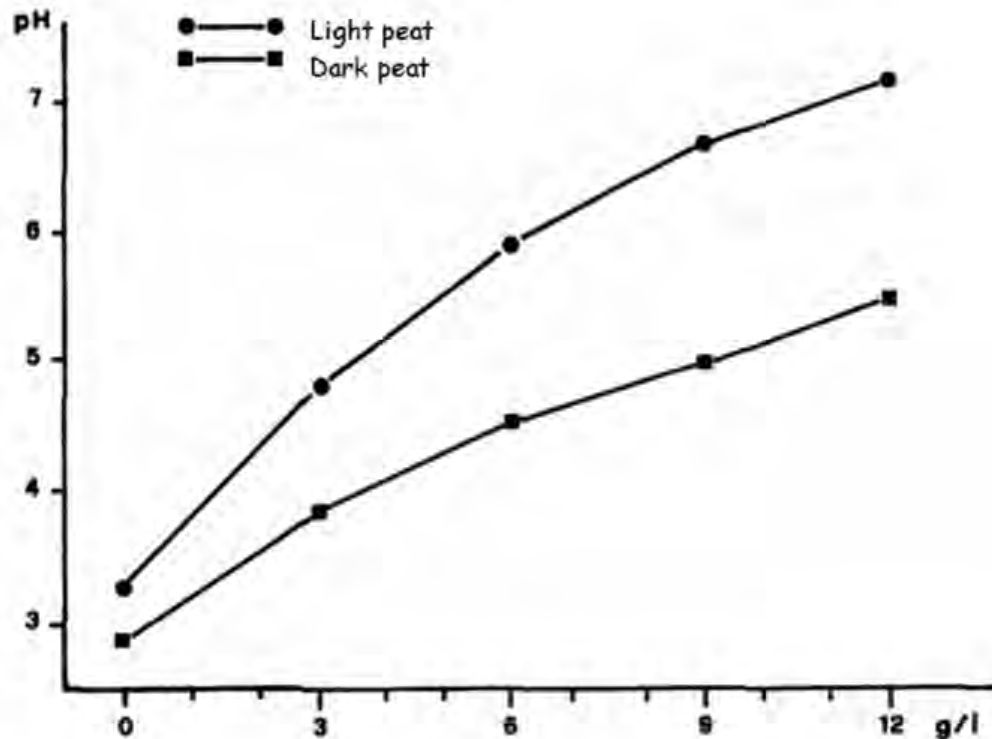
Il pH della soluzione circolante sarà determinato dall'equilibrio di scambio con gli H^+ presenti nella CSC e quindi da pH del substrato

Possibili squilibri nutrizionali



Risulta quindi opportuno procedere con la **neutralizzazione del substrato** tenendo conto dell'equilibrio fra **CSC del substrato** e **composizione della soluzione nutritiva**

Determinazione analitica del fabbisogno in carbonato di calcio



pH variations of peat one week after adding different amount of calcium carbonate



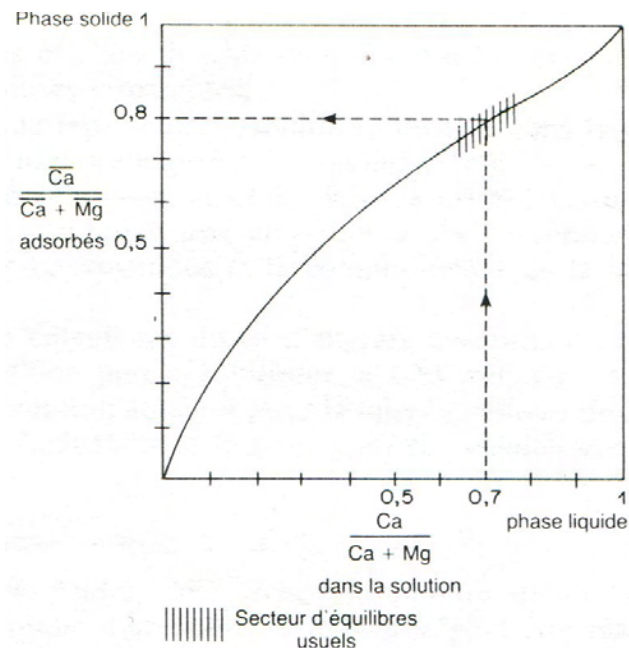
Es. Calcolo torba

Soluzione nutritiva (in equivalenti)

$$\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+} = 2.3 > \text{Ca}^{2+}/(\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}) = 0.7$$

$$\underline{\text{Ca}^{2+}}/(\underline{\text{Ca}^{2+}}+\underline{\text{Mg}^{2+}}) = 0.8 > \underline{\text{Ca}^{2+}}/\underline{\text{Mg}^{2+}} = 4$$

Equilibrio di scambio tra Ca e Mg nella fase solida e liquida in una torba bionda (Andr , 1981)



1) **Correzione pH substrato**

Es. Dal calcolo del fabbisogno in calce otteniamo 5 g/l

5 g/l CaCO_3 > neutralizzano 100 meq di H^+ per litro di substrato

Utilizzando Ca^{2+} e Mg^{2+} > $\underline{\text{Ca}^{2+}}/(\underline{\text{Ca}^{2+}}+\underline{\text{Mg}^{2+}}) = \underline{\text{Ca}^{2+}}/100 = 0.8 >$
 $\text{Ca}^{2+} = 80 \text{ meq/l}$ e $\text{Mg}^{2+} = 20 \text{ meq/l}$

20 meq/l Ca^{2+} e 20 meq/l Mg^{2+} da 1840 mg/l di dolomite
60 meq/l Ca^{2+} da 3000 mg/l di CaCO_3



Es. Calcolo torba

2) Equilibrio fra CSC del substrato e composizione della soluzione nutritiva

Soluzione nutritiva

$$\text{Ca}^{2+} = 6 \text{ meq/l}$$

$$\text{Mg}^{2+} = 2 \text{ meq/l}$$

$$\text{K}^{+} = 4 \text{ meq/l}$$

$$\text{NH}_4^{+} = 3 \text{ meq/l}$$

Dati analitici substrato (Densità apparente 0.09 kg/l;

Capacità di ritenzione 0.78 l/l)

$$\text{Ca}^{2+} = 880 \text{ meq/kg (dopo correzione pH)}$$

$$\text{Mg}^{2+} = 220 \text{ meq/kg (dopo correzione pH)}$$

$$\text{K}^{+} = 5 \text{ meq/kg}$$

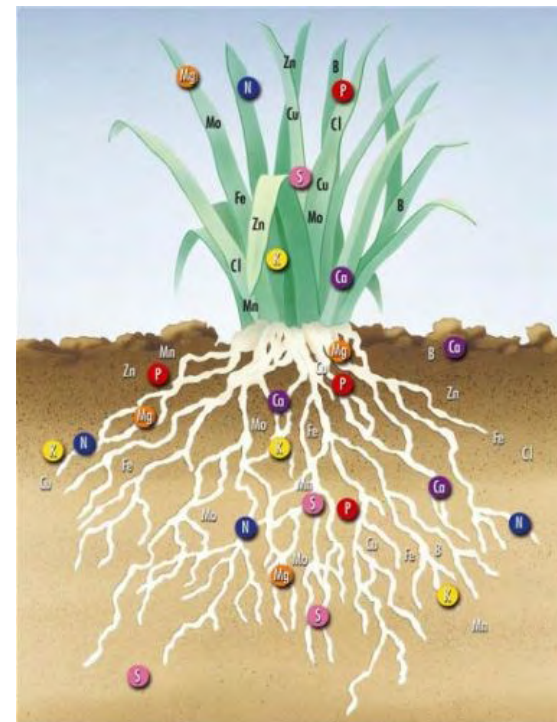
$$\text{NH}_4^{+} = 5 \text{ meq/kg}$$

P assimilabile = 2890 mg/kg (potere fissatore: 260 mg/l a pH 6)

$(\text{K}^{+} + \text{NH}_4^{+})/(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) = 0.08$ ($\text{K}^{+} + \text{NH}_4^{+})/(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ (relazione determinata sperimentalmente come fra calcio e magnesio e riportata in figura)

sostituendo:

$$(\text{K}^{+} + \text{NH}_4^{+})/1100 = 0.08 \quad (4 + 3)/(6 + 2) > \text{K}^{+} + \text{NH}_4^{+} = 77 \text{ meq/kg}$$



Es. Calcolo torba

Essendo: $(\underline{K}^+ / \underline{NH_4}^+) = (K^+ / NH_4^+)$ (relazione determinata sperimentalmente come i precedenti)

$$(\underline{K}^+ / \underline{NH_4}^+) = 4/3 = 1.33 > \underline{K}^+ / (\underline{K}^+ / \underline{NH_4}^+) = 1.33 / (1.33 + 1) = 0.57$$

$$\underline{K}^+ = 0.57 \times 77 = 44 \text{ meq/kg}$$

$$\underline{NH_4}^+ = 77 - 44 = 33 \text{ meq/kg}$$

Considerando la dotazione del terreno

$$\underline{K}^+ = 44 - 5 = 39 \text{ meq/kg ossia } 1825 \text{ mg } K_2O/\text{kg}$$

$$\underline{NH_4}^+ = 33 - 5 = 28 \text{ meq/kg ossia } 392 \text{ mg } NH_4^+/\text{kg}$$



Es. Calcolo torba

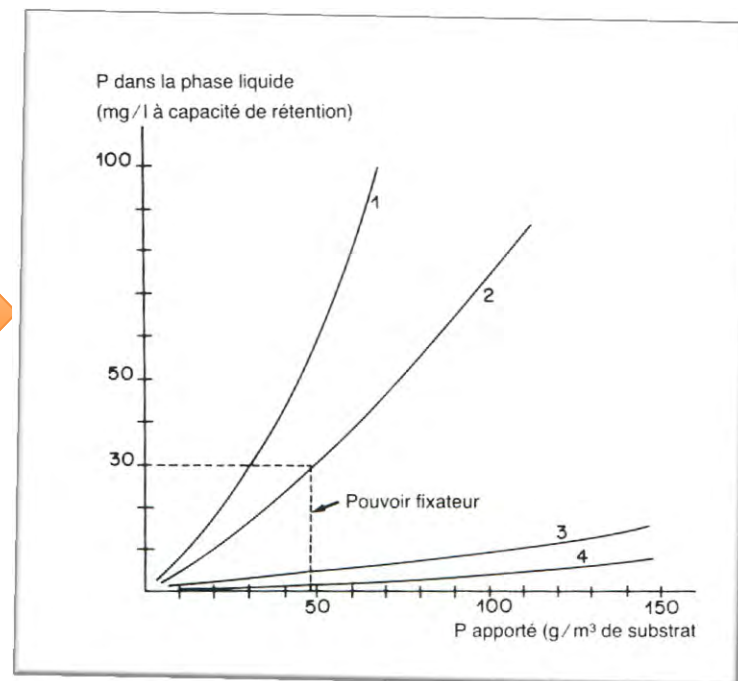
FOSFORO

- ✓ I processi di fissazione e scambio del fosforo in substrati ricchi in sostanza organica sono complessi e dipendono largamente dal pH del substrato
- ✓ Il potere fissatore viene determinato sperimentalmente per i diversi substrati aggiungendo dosi crescenti di fosfato a differente pH

Potere fissatore dei fosfati di una torba bionda e una bruna in funzione del pH dell'acqua

1. Torba bionda, pH acqua 3.8 2. Torba bionda, pH acqua 7.0

3. Torba bruna, pH acqua 4.5 4. Torba bruna, pH acqua 6.3

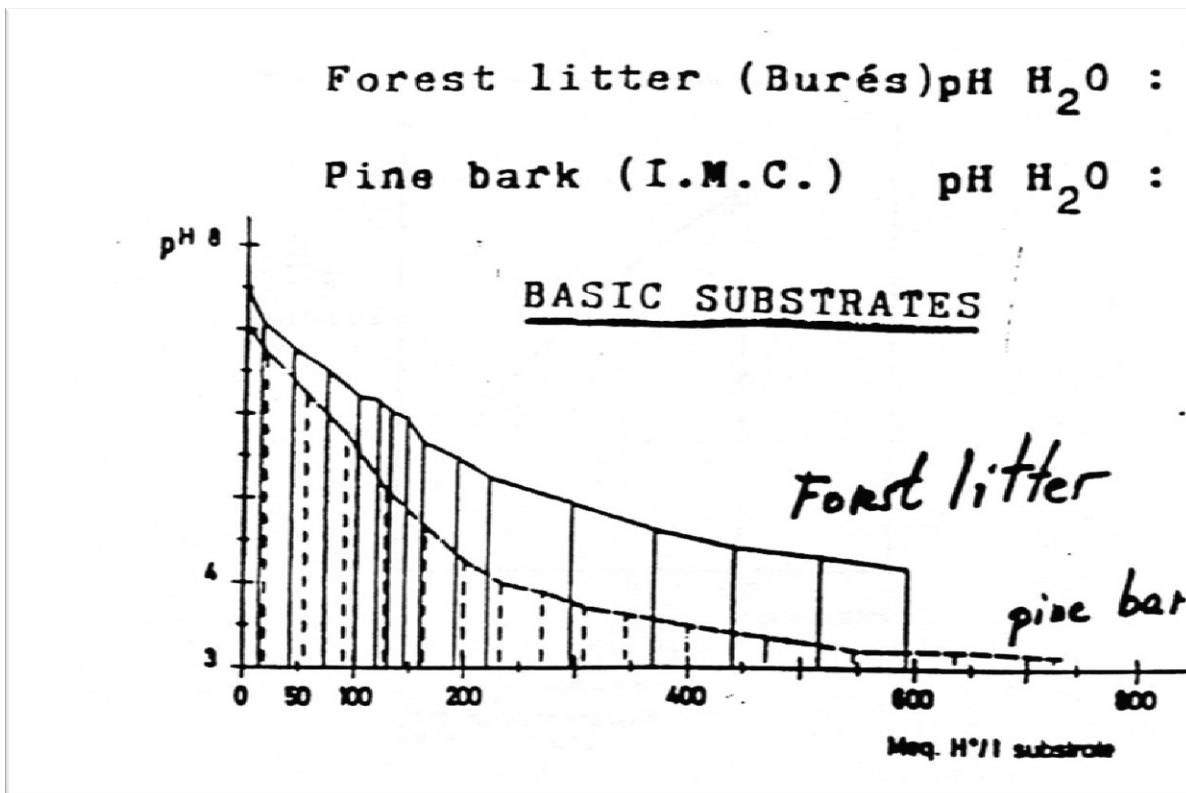


Es. Fibra di cocco

CSC 6-10 cmol L⁻¹; pH 5-7

1) Correzione pH substrato

Determinazione analitica del fabbisogno in acido solforico o gesso



2) Equilibrio fra CSC del substrato e composizione della soluzione nutritiva (vedi es. torba)

Il monitoraggio del drenato fornisce
sufficienti indicazioni sulla corretta gestione
della fertirrigazione?



**Cosa
monitorare**

Volume (% rispetto al volume apportato)
Conducibilità elettrica (drenato vs soluzione circolante)
pH (drenato vs soluzione circolante)
Nutrienti (drenato vs soluzione circolante)

**Su quali
piante**

Misurazione su più piante rappresentative (no ai
bordi della serra o nelle testate)

Come agire

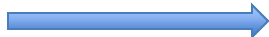
\!/?

Drenaggio inferiore al valore prefissato
- incremento dose di irrigazione
- riduzione frequenza di irrigazione

Drenaggio superiore al valore prefissato
- riduzione volume di irrigazione
- incremento frequenza di irrigazione

Fertilità del substrato nel corso della coltivazione

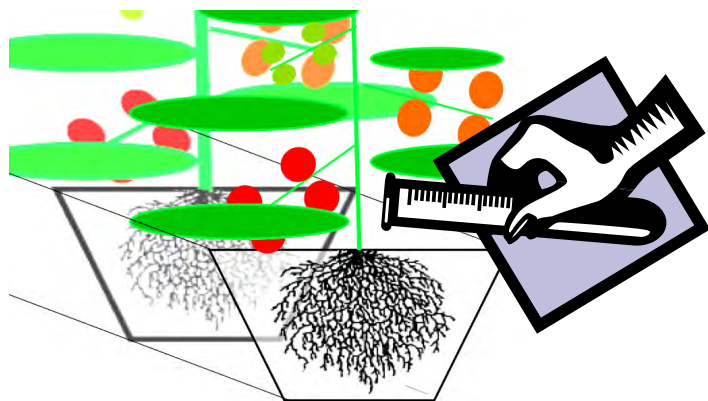
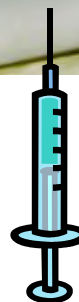
Soluzione circolante direttamente



indirettamente



- Estratto acquoso (1/1,5; v/v; substrato/acqua distillata)
- Percolato indotto
- Drenaggio



100 ml di soluzione nutritiva versata lentamente (2 min) nel substrato (vicino alla capacità del contenitore) sopra il gocciolatore
Dislocamento per effetto pistone della soluzione circolante



50-70 ml

Table 4

Parameters of the fitted lines corresponding to linear regressions between water extracts (EX, x axis) and induced percolates (IP, y axis).

Parameter	Fitted line	R coefficient	Significance
pH	$y = 1.072x - 0.5889$	0.7902	ns
CE	$y = 3.2779x - 0.3148$	0.9713	**
NO_3^-	$y = 3.5031x - 2.269$	0.9790	**
K^+	$y = 1.757x + 1.4627$	0.9656	**
H_2PO_4^-	$y = 0.9079x + 0.1645$	0.9553	**
Ca^{2+}	$y = 2.2558x - 2.3274$	0.9851	***
Mg^{2+}	$y = 1.9002x - 0.6357$	0.9700	**
SO_4^{2-}	$y = 2.9264x + 2.2267$	0.9746	**
Na^+	$y = 0.7121x + 2.4182$	0.9229	*

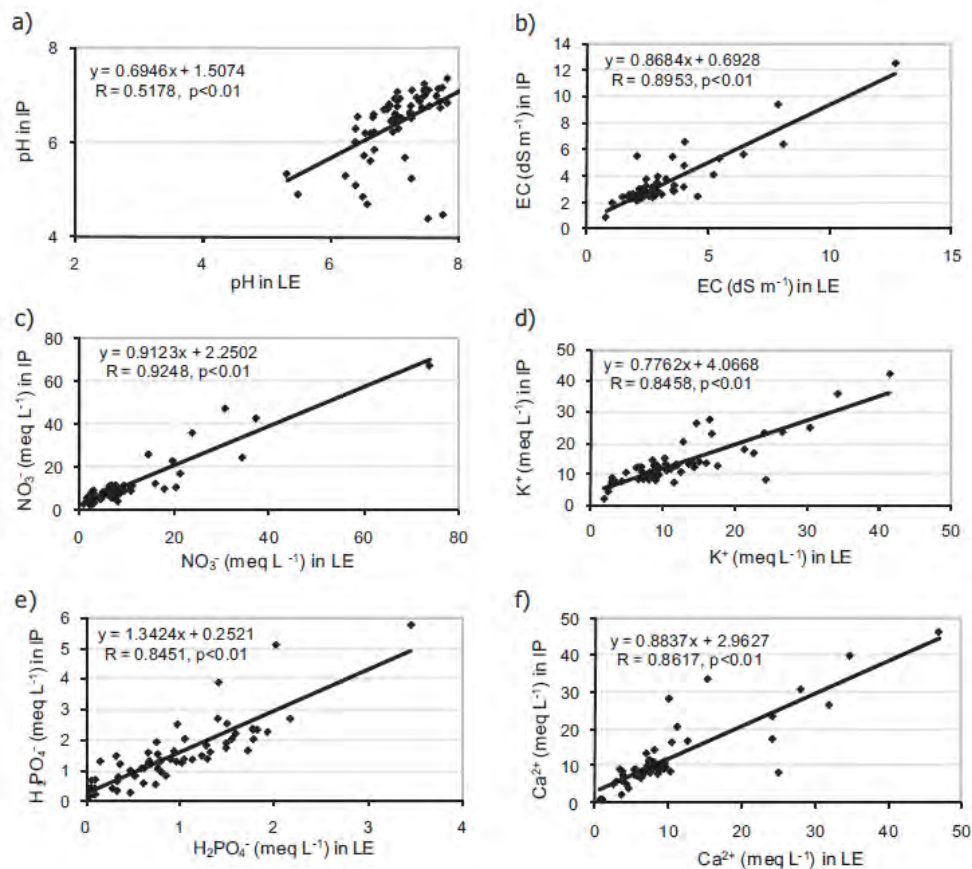
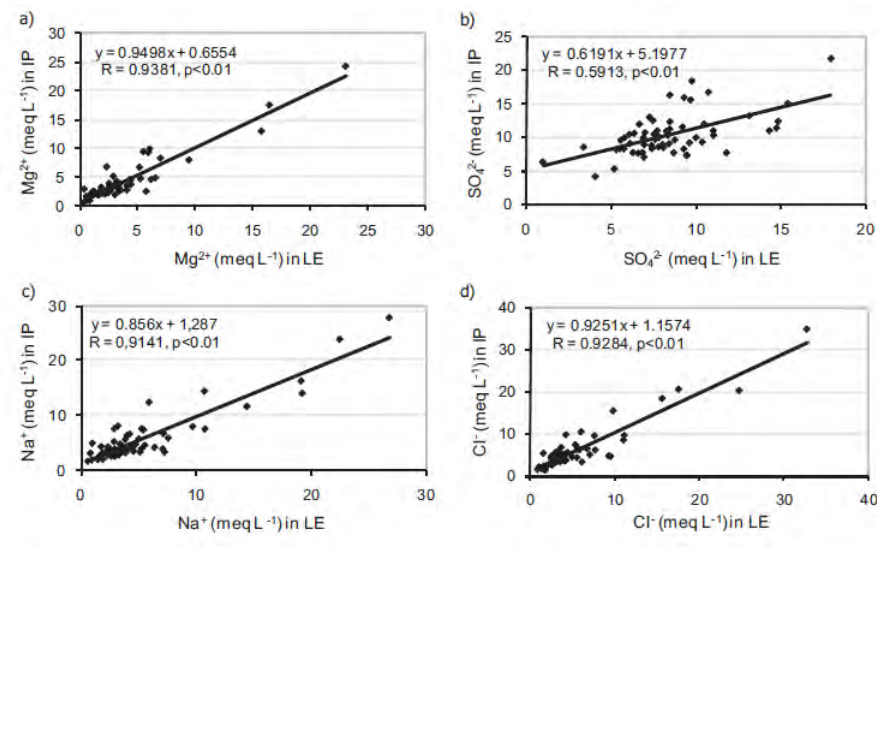
ns, *, **, ***, ****: not significant or significant at $p \leq 0.10, 0.05, 0.02$ or 0.01 , respectively.

Linear regressions are based on 4 pairs of values.

Confronto metodi indiretti

Estratto saturo vs percolato indotto

Drenaggio vs percolato indotto



Fertirrigazione su fuori suolo a ciclo aperto vs suolo

Nutrienti	meq/L	mg/l	Input s.n. m ³ /ha	F.S.	Suolo	F.S./S
				Input nutrienti Kg/ha	Input nutrienti Kg/ha	
NO ₃ ⁻	12	171 N	5500	940.5	357	2.63
NH ₄ ⁺	0.25					
H ₂ PO ₄ ⁻	1.25	38 P		209	61	3.43
K ⁺	6.25	244 K		1342	884	1.52



La composizione della soluzione nutritiva

Concentrazione di assorbimento della coltura di un nutriente (C_a) =

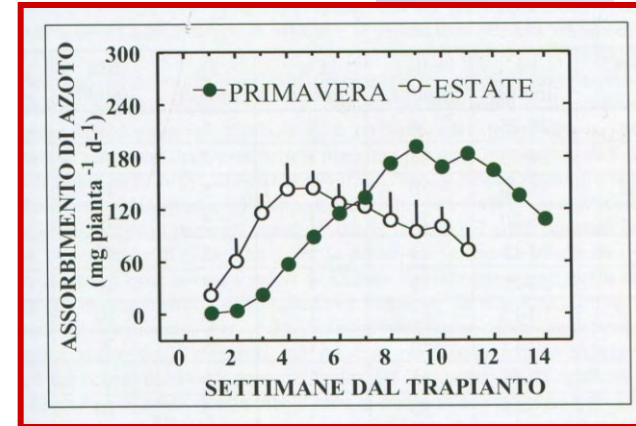
assorbito
assorbita

Composizione ideale della s.n.

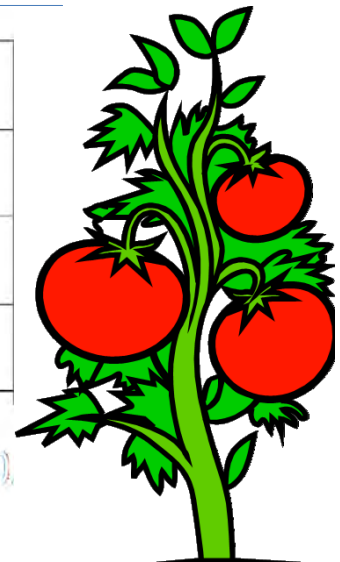
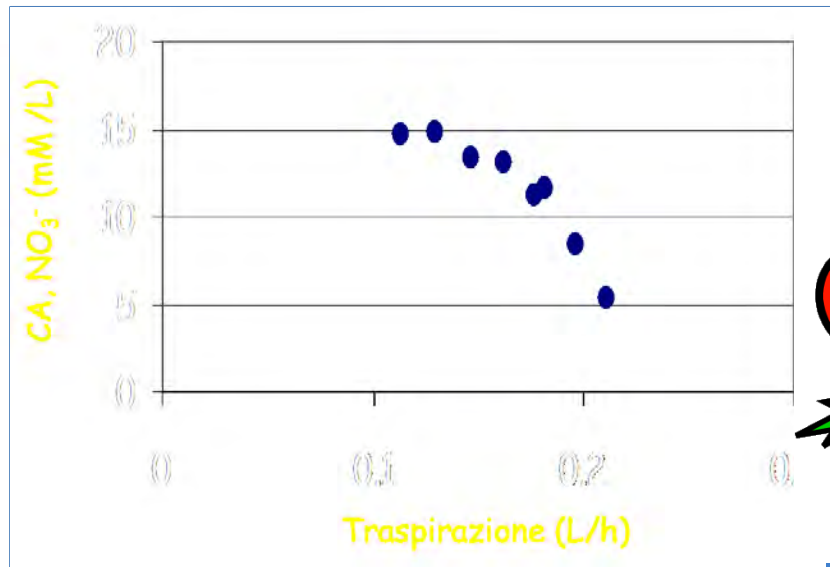
$$C_i \simeq C_a$$

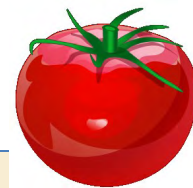
dove C_i è la concentrazione dello ione nella s.n.

C_a varia in rapporto alle condizioni climatiche e alla fase di sviluppo della pianta (difficile misurazione nelle diverse condizioni operative)



C_a del nitrato in rapporto alla traspirazione

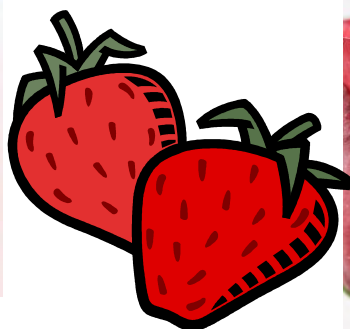




Teoria della ricetta universale

(Hoagland e Arnon, 1938)

Element mg/l	Hoagland and * Arnon [1938]	Hewitt [1966]	Steiner** [1984]
Nitrogen	210	168	167
Phosphorus	31	41	31
Potassium	234	156	277
Magnesium	48	36	49
Calcium	160	160	183
Sulphur	64	48	111
Iron	2.5	2.8	1.33
Manganese	0.5	0.55	0.62
Boron	0.5	0.54	0.44
Copper	0.02	0.064	0.02
Zinc	0.05	0.065	0.11
Molybdenum	0.01	0.048	0.048



Teoria della ricetta specie-specifica

Tab. 6.5. Composizione della soluzione nutritiva (per i macronutrienti, espressa in mmol/L) per le principali specie di interesse orto-floricolo. (Autori vari).

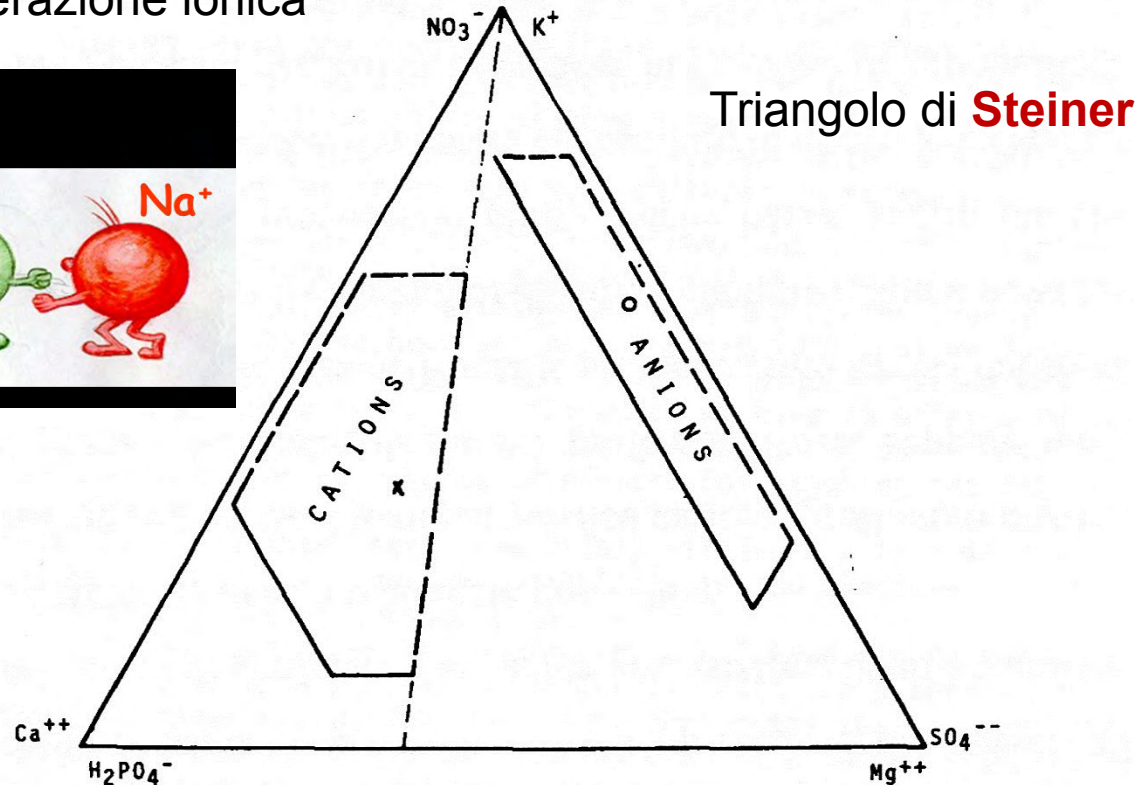
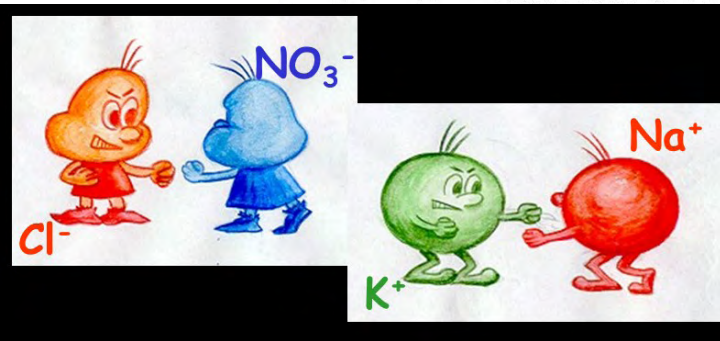
Coltura	N-NO ₃ mmol/L	N-NH ₄ mmol/L	P-PO ₄ mmol/L	S-SO ₄ mmol/L	K mmol/L	Ca mmol/L	Mg mmol/L
Pomodoro	11-15	1-1.5	1.5-2	3.5-4.5	5-9	3.5-5	2-2.5
Peperone	14-17	1-1.25	1.5-2.5	1.7 5-2	4-7	4-5	1.5-2
Melanzana	13-17	1.5-2	1.5-2	1.25-2	4-6	3-3.5	2-2.5
Cetriolo	16-18	1-1.25	1.25-2	1.25-2	5-8	3.5-4	1.5-2
Zucchini	15-18	1-1.5	1.5-2	1.75-2	5-8	3.5-4.5	2-2.5
Fragola	11-13	1-1.25	1-1.75	1-1.5	4-6	3-3.5	1-1.5
Melone	16-19	0.5-1	1-1.75	1.25-2	5-8	4-5	1.5-2
Garofano	13-16	1.5-2.5	2-2.5	3-3.5	7-9	3.5-4	2-2.5
Gerbera	11-13	0.5-1.5	1.75-2	3-3.5	4.5-6	3.5-4	1.5-2
Rosa	12-15	1-1.5	1.5-2	2.75-3	4.5-6	3.5-4.5	2-2.5
Solidago	12-14	1.5-2	2-2.5	1-1.5	5-8	3.5-4	1.75-2
Statice	10-13	1-1.5	1.75-2	1-1.5	5-7	3.5-4	1-1.5
Lisianthus	13-15	1-1.5	1.75-2	1-1.5	4-7	3.5-4	1.5-2
Anthurium	7.5-9	0.5-1	1-1.25	1-1.5	4.5-5.5	1-1.75	1-1.25

Tab. 6.6. Composizione della soluzione nutritiva (per i micronutrienti, espressa in µmol/L) per le principali specie di interesse orto-floricolo. (Autori vari)

Coltura	Fe µmol/L	B µmol/L	Cu µmol/L	Zn µmol/L	Mn µmol/L	Mo µmol/L
Pomodoro	20-25	30	1	5	10	0,5
Peperone	20-25	30	1	7	10	0,5
Melanzana	15-20	30	1	5	10	0,5
Cetriolo	15-20	25	1	5	10	0,5
Zucchini	10-15	30	1	5	10	0,5
Fragola	20-25	15	1	7	10	0,5
Melone	10-15	25	1	5	10	0,5
Garofano	30-35	30	1	5	5	0,5
Gerbera	35-45	35	2	5	5	0,5
Rosa	35-45	30	1	5	10	0,5
Solidago	25-35	30	1	5	10	0,5
Statice	10-20	25	1	5	10	0,5
Lisianthus	25-35	30	1	5	10	0,5
Anthurium	15-20	20	0,5	3	5	0,5

Rapporto tra ioni nelle soluzioni nutritive

- Assorbimento della pianta ed effetti sulla produzione
- Fenomeni di interazione ionica



The composition of Steiner's universal nutrient solution (● and x) and the favourable areas for plant production

solid lines = precipitation limits at 0.7 atm. osmotic pressure and pH 6.5

broken lines = physiological limits

Rapporto tra ioni nelle soluzioni nutritive

Come interpretare il triangolo di **Steiner**

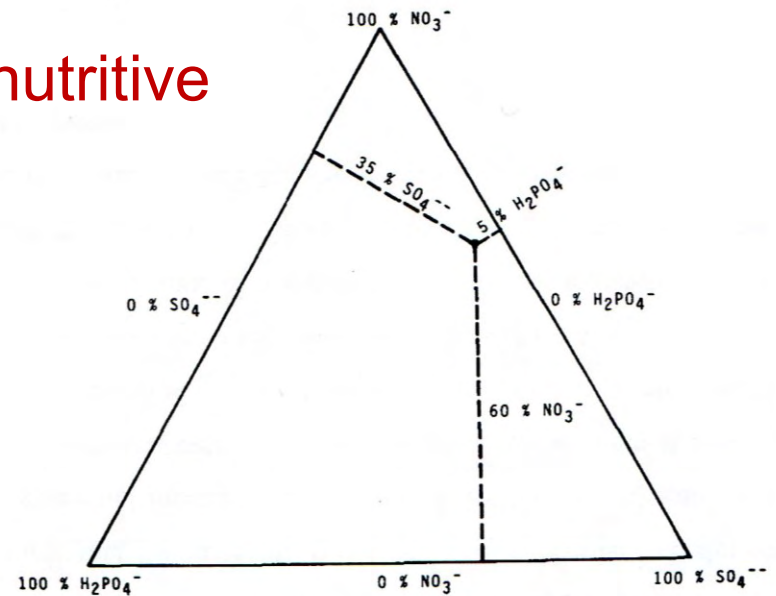


Figure 1 - The mutual ratio between the anions (based on equivalents) in Steiner's universal nutrient solution

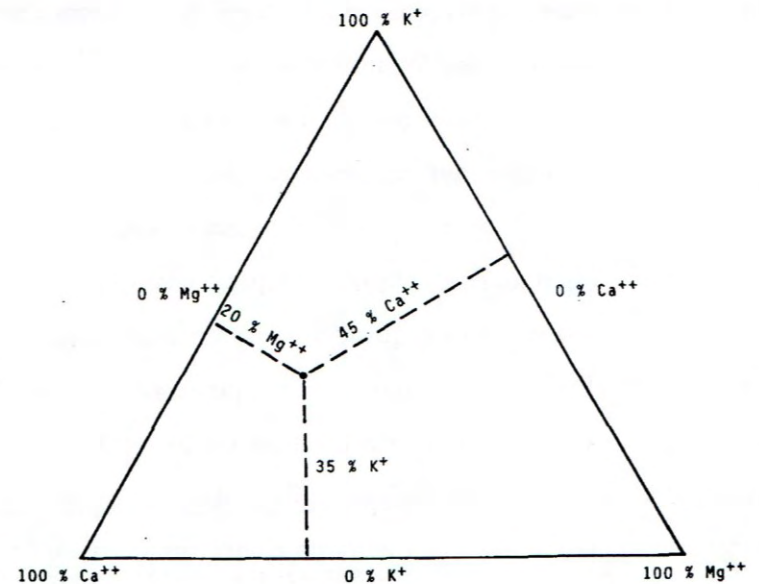


Figure 2 - The mutual ratio between the cations (based on equivalents) in Steiner's universal nutrient solution

Soluzioni nutritive di norma messe a punto per ambienti diversi da quello mediterraneo



diversa concentrazione di assorbimento dei nutrienti

Composizione della soluzione nutritiva impiegata nella coltivazione fuori suolo del peperone (mM/L)*

	NO_3^-	H_2PO_4^-	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	SO_4^{--}	NH_4^+
Min	12.0	1.0	5.8	3.3	1.0	1.0	0.0
Media	12.9	1.2	6.6	3.7	1.1	1.1	0.4
Max	14.0	1.5	7.5	4.0	1.3	1.3	1.0

* da Hoogland 1950; Sonneveld 1996; Lycoskoufis 2005; Navarro 2006; Gavvas 2007



Tesi allo studio:

Soluzione nutritiva (mM/L)

	100 %	60 %
NO_3^-	12.0	7.20
NH_4^+	0.25	0.15
H_2PO_4^-	1.25	0.65
K^+	6.25	3.75
Ca^{++}	3.25	1.95
Mg^{++}	1.13	0.68
SO_4^{--}	1.0	0.60

Soluzione nutritiva	Commerciale		Non commerciale (BER)		Totale	
	Numero	Peso (g)	Numero	Peso (g)	Numero	Peso (g)
100%	8.3	1469	4.7	573	12.9	2043
60%	9.5	1755	2.4	253	11.9	2008
Significatività	n.s.	*	*	*	n.s.	n.s.

Soluzione nutritiva	Output azoto / Produzione commerciale	Output fosforo / Produzione commerciale	Output potassio / Produzione commerciale
	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)
100%	2.30	0.47	4.05
60%	0.37	0.09	0.72
Significatività	***	***	***

Soluzione nutritiva	Rizobatteri	Produzione totale		Produzione non comm.	
		n. frutti	Peso (g)	n. frutti (%)	Peso (%)
Fattori principali					
100%		131	3088	6,7	4,4
50%		132,9	3415	8,6	5,8
	No	130,6	3208	7,3	4,8
	Si	133,3	3295	8,1	5,4
Interazione					
100%	No	127	3051	5,6	3,6
	Si	135,1	3125	7,8	5,2
50%	No	134,2	3365	8,9	5,9
	Si	131,6	3465	8,3	5,6
Significatività					
Soluzione nutritiva (SN)		<i>n.s.</i>	**	**	*
Rizobatteri (R)		<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
SN x R		<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	*	*

Pomodoro

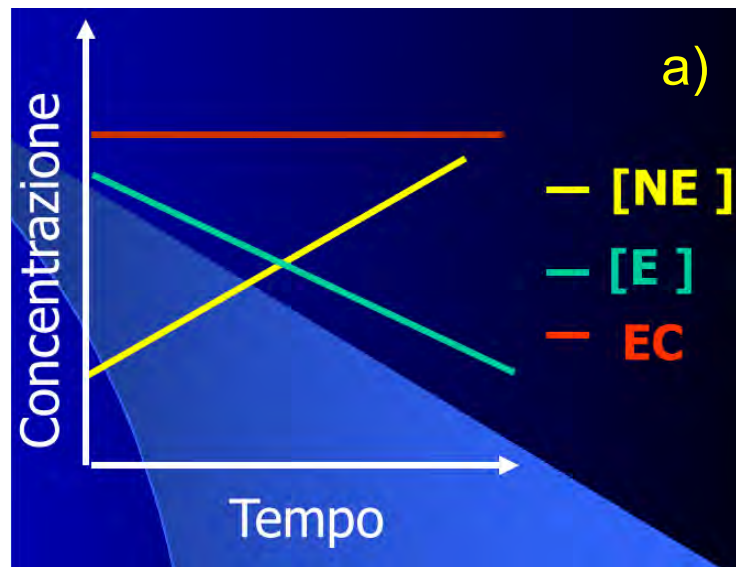
Melanzana



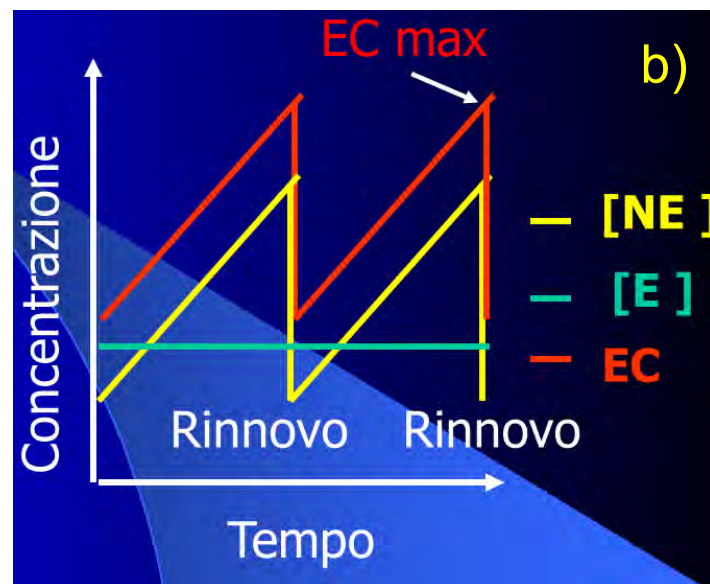
Treatment	Production (kg plant ⁻¹)	Fruit unit weight (g)	Fruits (n° plant ⁻¹)
Rootstock (R)			
<i>S. melongena</i> (self-grafted)	1.57	484	3.23
<i>S. torvum</i>	1.93	625	3.09
	* ⁽¹⁾	***	n.s.
Nutrient solution (NS)			
Full strength-100%	1.73	553	3.20
Reduced strength-60%	1.73	556	3.13
	n.s.	n.s.	n.s.
R x NS	n.s.	n.s.	n.s.

La gestione della soluzione nutritiva nei sistemi di coltivazione a ciclo chiuso

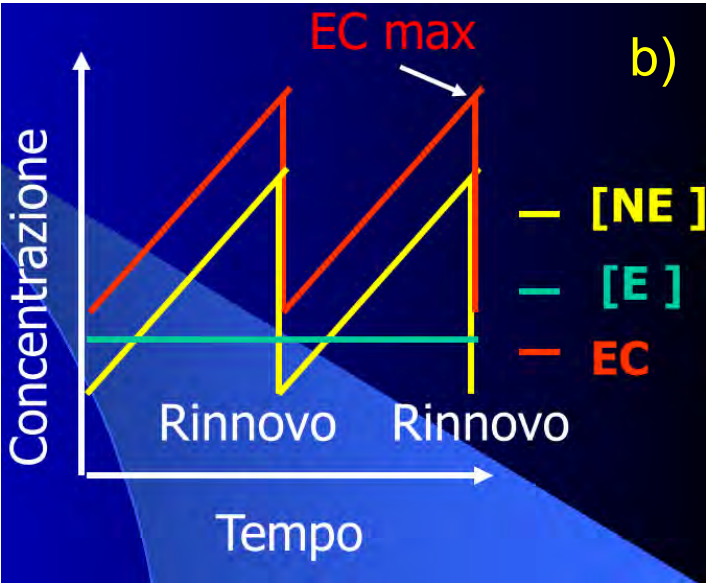
- 1) Analisi del drenaggio e integrazione dei nutrienti laboratorio, on-line
- 2) Il drenaggio viene miscelato con la s.n. fresca
 - a) sistemi a conducibilità costante
 - b) sistemi a concentraz. dei nutrienti costante



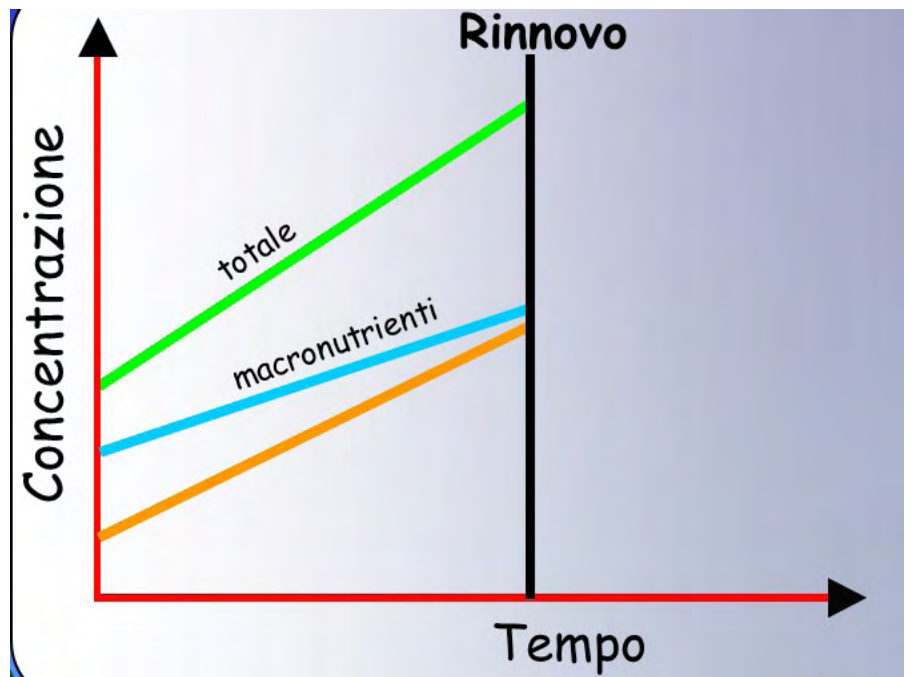
- Acque di scarsa qualità
- Soglia tossicità ioni NE
- Soglia carenza ione E



- Soglia EC per la sostituzione



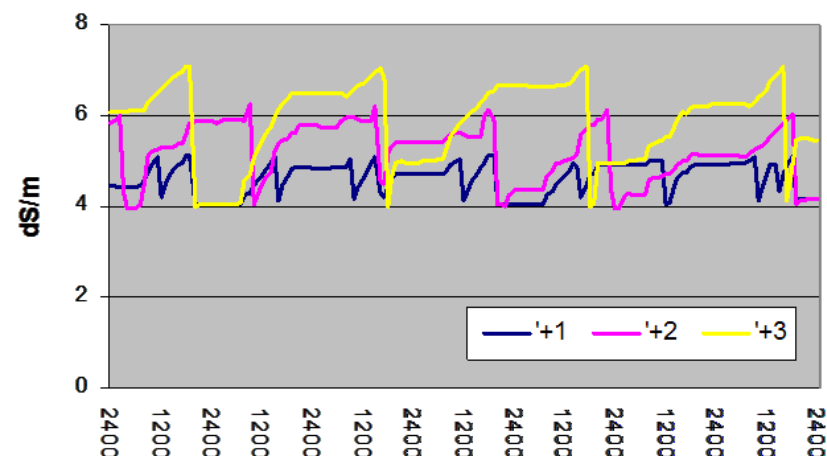
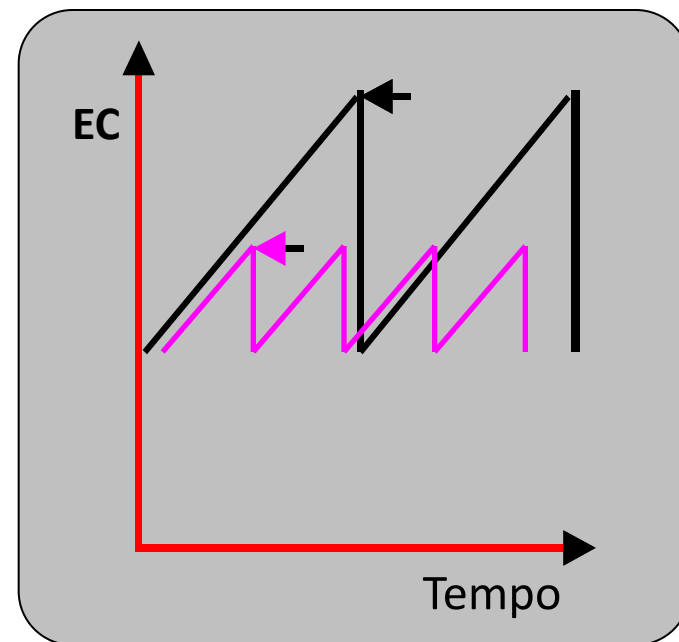
Soluzioni nutritive non ben formulate
 $C_i > C_a$



L'adattamento del sistema a ciclo chiuso

Prolungare i tempi di ricircolo attraverso l'adozione di:

- soglie crescenti di EC per la sostituzione della soluzione

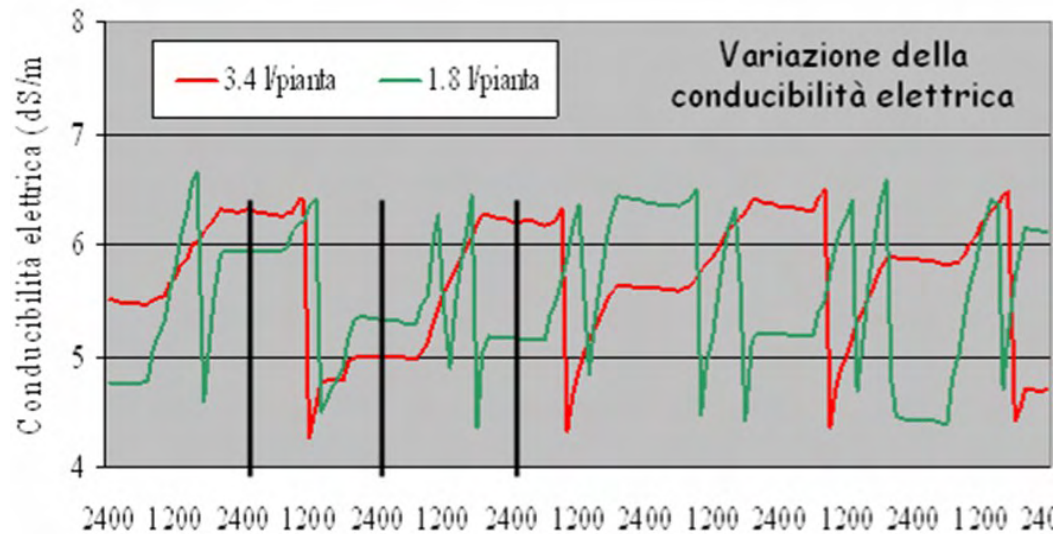
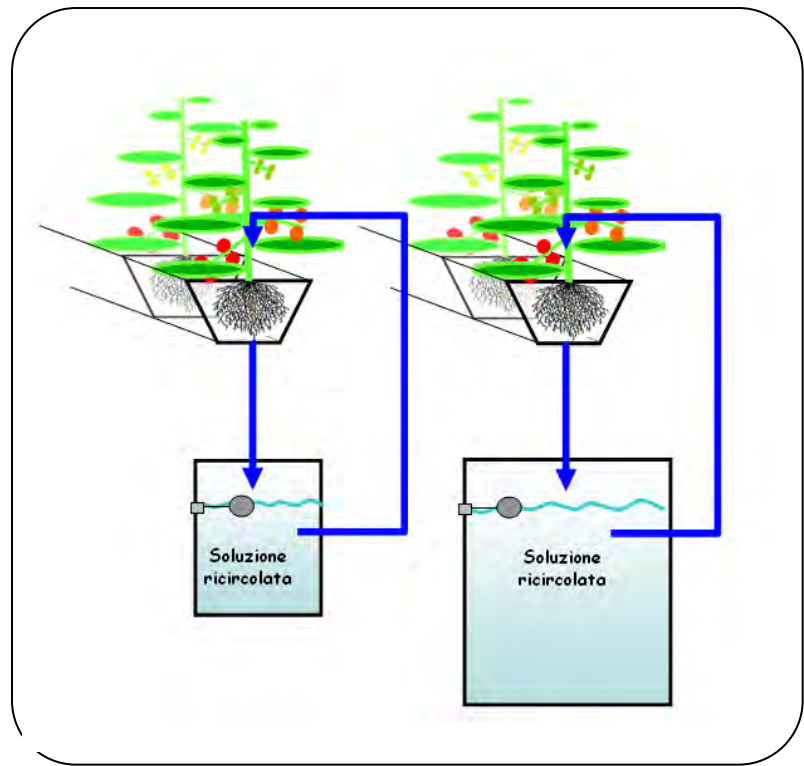


Rinnovo soluzione	Ciclo coltivazione	Produzione commerciale (kg)			
		/ Acqua (m ³)	/ Azoto (kg)	/ Fosforo (kg)	/ Potassio (kg)
Δ 1		13.7 c	111.7 c	345.7 c	53.0 c
Δ 2		16.1 b	131.1 b	405.5 b	62.2 b
Δ 3		20.3 a	165.4 a	511.6 a	78.5 a
	Primav.-est.	15.2 b	123.5 b	382.1 b	58.6 b
	Autun.-vern.	18.3 a	148.6 a	459.7 a	70.5 a

L'adattamento del sistema a ciclo chiuso

Prolungare i tempi di ricircolo attraverso l'adozione di:

- differenti volumi di soluzione nutritiva in ricircolo

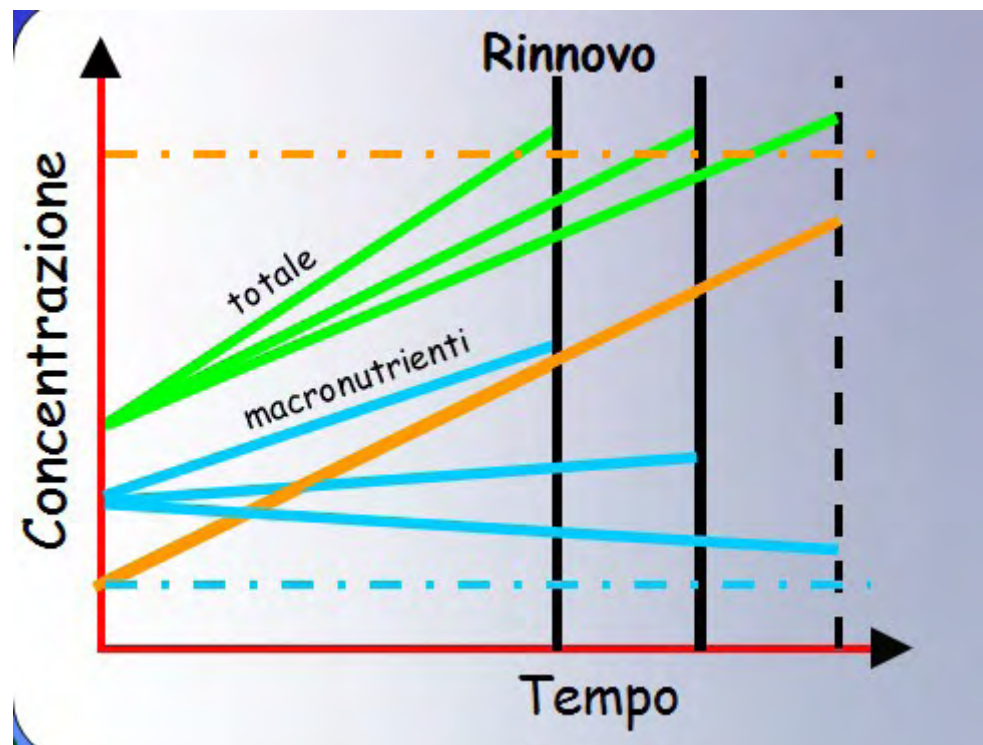


	Volume soluzione in ricircolo (l/pianta)	
	1.8	3.4
WUE (kg/m ³)	17.8 a	20.7 b
Azoto (kg/t)	1.46 a	1.26 b
Fosforo (kg/t)	1.42 a	1.10 b
Potassio (kg/t)	4.11 a	3.47 b

L'adattamento del sistema a ciclo chiuso

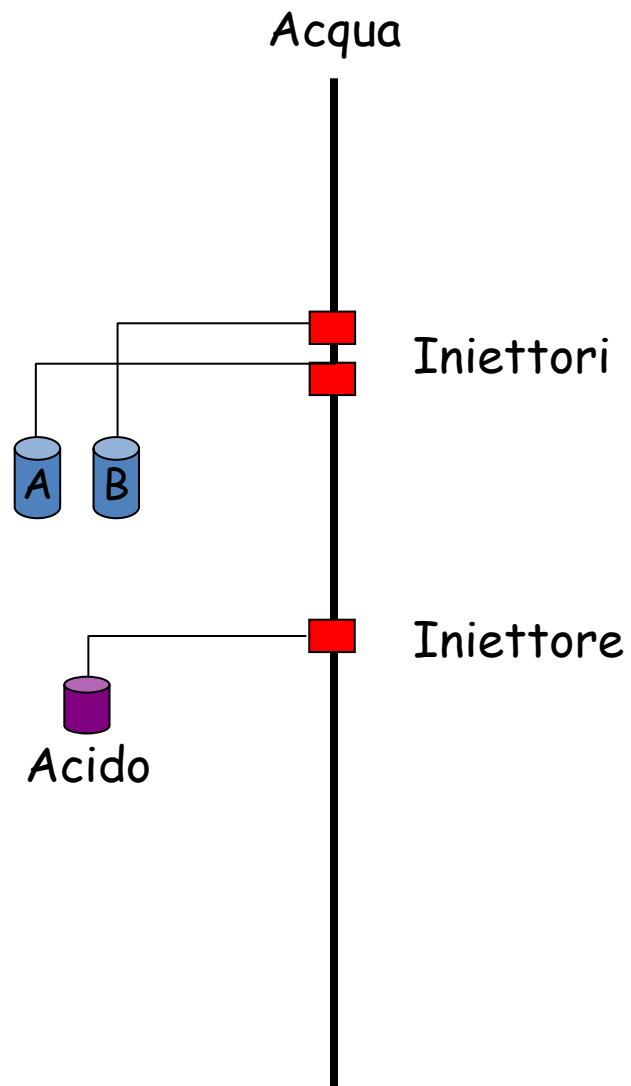
Prolungare i tempi di ricircolo attraverso l'adozione di:

- concentrazioni variabili della soluzione nutritiva



Soluzione nutritiva	Output azoto / Produzione commerciale	Output fosforo / Produzione commerciale	Output potassio / Produzione commerciale
	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)
100%	2.30	0.47	4.05
60%	0.37	0.09	0.72
Significatività	***	***	***

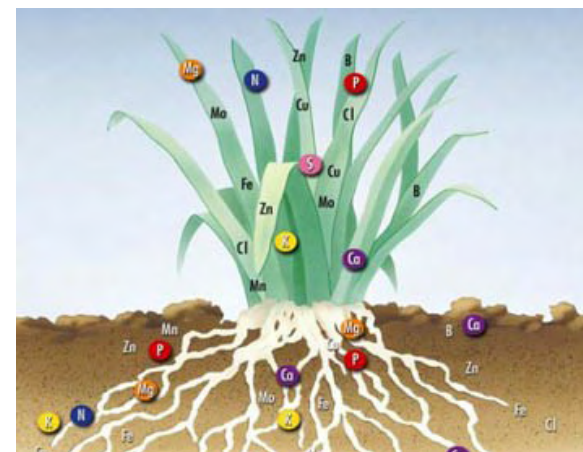
IMPIANTI DI FERTIRRIGAZIONE





Concimi da utilizzare:

- ☐ Solubili
- ☐ Costo unità fertilizzante
- ☐ pH



Materiali	Composizione (%)	Solubilità (g/100 g; 20 ° C)
Nitrato di calcio	15.5 N; 19 Ca	122
Nitrato di potassio	13 N; 38 K	31
Nitrato di ammonio	35 N	195
Fosfato monoammonico	12 N; 27 P	38
Solfato di potassio	45 N; 18 S	11
Solfato di ammonio	21 N; 23 S	76
Urea	46 N	105



Solubilità dei concimi a diverse temperature (g/100 g di acqua)

Temperature	KH_2PO_4	K_2SO_4	KNO_3	NH_4NO_3	Urea
10°C	18	9	21	158	84
20°C	23	11	31	195	105
30°C	29	13	45	242	133
10°C vs 30°C (%)	- 38	- 31	- 54	- 35	- 37

Compatibilità dei principali concimi idrosolubili nella preparazione delle soluzioni concentrate

		Urea (Urea)	Nitrato Ammonico (AN)	Solfato Ammonico (AS)	Nitrato di Calcio (CN)	Acido Fosforico (PA)	Fosfato Monoammonico (MAP)	Fosfato Monopotassico (MKP)	Nitrato di Potassio (PN)	Nitrato di Magnesio (N+Mg)	Solfato di Magnesio (MgS)	Solfato di Potassio (SOP)	Urea Fosfato (UP)	Polifosfati Potassici (VitaPhos-K)
Urea	(Urea)		C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Nitrato Ammonico	(AN)	C		C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Solfato Ammonico	(AS)	C	C		L	C	C	C	L	C	C	C	C	C
Nitrato di Calcio	(CN)	C	C	L		X	X	X	C	C	L	L	C	X
Acido Fosforico	(PA)	C	C	C	X		C	C	C	X	X	C	C	C
Fosfato Monoammonico	(MAP)	C	C	C	X	C		C	C	X	X	C	C	C
Fosfato Monopotassico	(MKP)	C	C	C	X	C	C		C	X	X	C	C	C
Nitrato di Potassio	(PN)	C	C	L	C	C	C	C		C	L	C	C	C
Nitrato di Magnesio	(N+Mg)	C	C	C	C	X	X	X	C		C	C	C	X
Solfato di Magnesio	(MgS)	C	C	C	L	X	X	X	L	C		C	C	X
Solfato di Potassio	(SOP)	C	C	C	L	C	C	C	C	C	C		C	C
Urea Fosfato	(UP)	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C		C
Polifosfati Potassici	(VitaPhos-K)	C	C	C	X	C	C	C	C	X	X	C	C	

C = compatibile X = non compatibile L = limitata compatibilità precipitati alte concentrazioni L = limitata compatibilità solubilità ridotta alte concentrazioni

CONCLUSIONI

La fertirrigazione può essere considerata una “buona pratica agricola” (GAP), altamente compatibile con le colture in ambiente protetto a patto che

- I **fabbisogni colturali** in termini di fertilizzanti e di acqua siano noti
- Si conoscano le **caratteristiche** delle **acque** e del **terreno/substrato**
- Il **sistema di distribuzione** e la relativa gestione venga adattato e semplificato in rapporto alle esigenze aziendali/colturali

