



Efficienza d'uso dell'acqua in orticoltura

Francesco Orsini, Giorgio Gianquinto

CENTRO STUDI E RICERCHE IN AGRICOLTURA URBANA E BIODIVERSITÀ,

DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE, ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA





Temi trattati

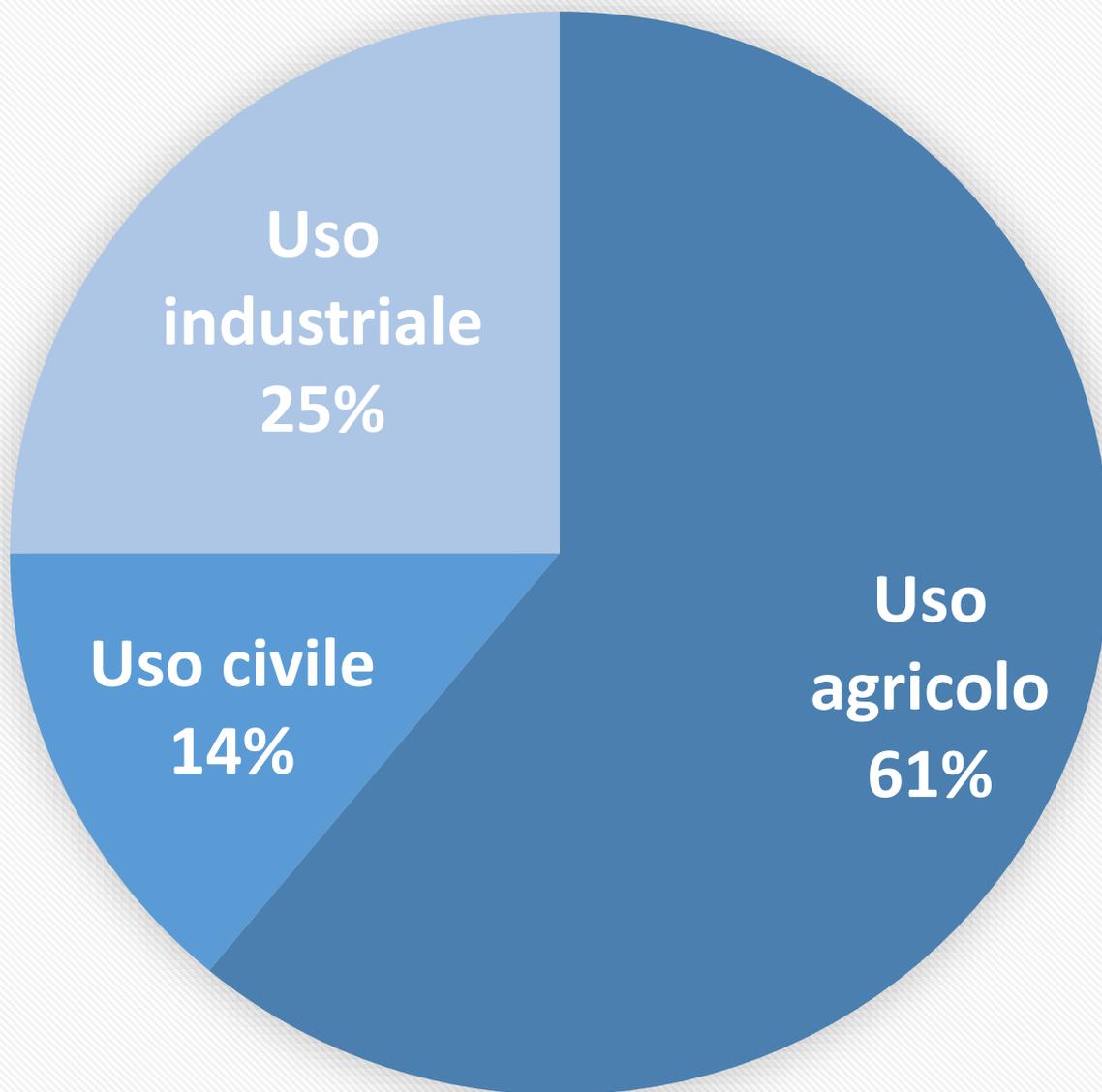
- Uso delle risorse idriche in orticoltura.
- Diagnostica dello stato idrico.
- Tecnologie per il risparmio idrico in orticoltura.
- Fonti idriche alternative.

Orticoltura mediterranea e risorse idriche





Consumi di acqua in Italia ~50 miliardi di m³ all'anno.





Apporto irriguo

COLTURE	Litri per m ²	Litri per pianta
Girasole	450	90
Pomodoro	500-1000	150-300
Peperone	850	250
Agrumi	550	4500
Rosa	1000	170

Gestione degli input in orticoltura e rischio ambientale

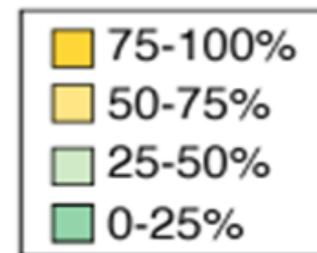
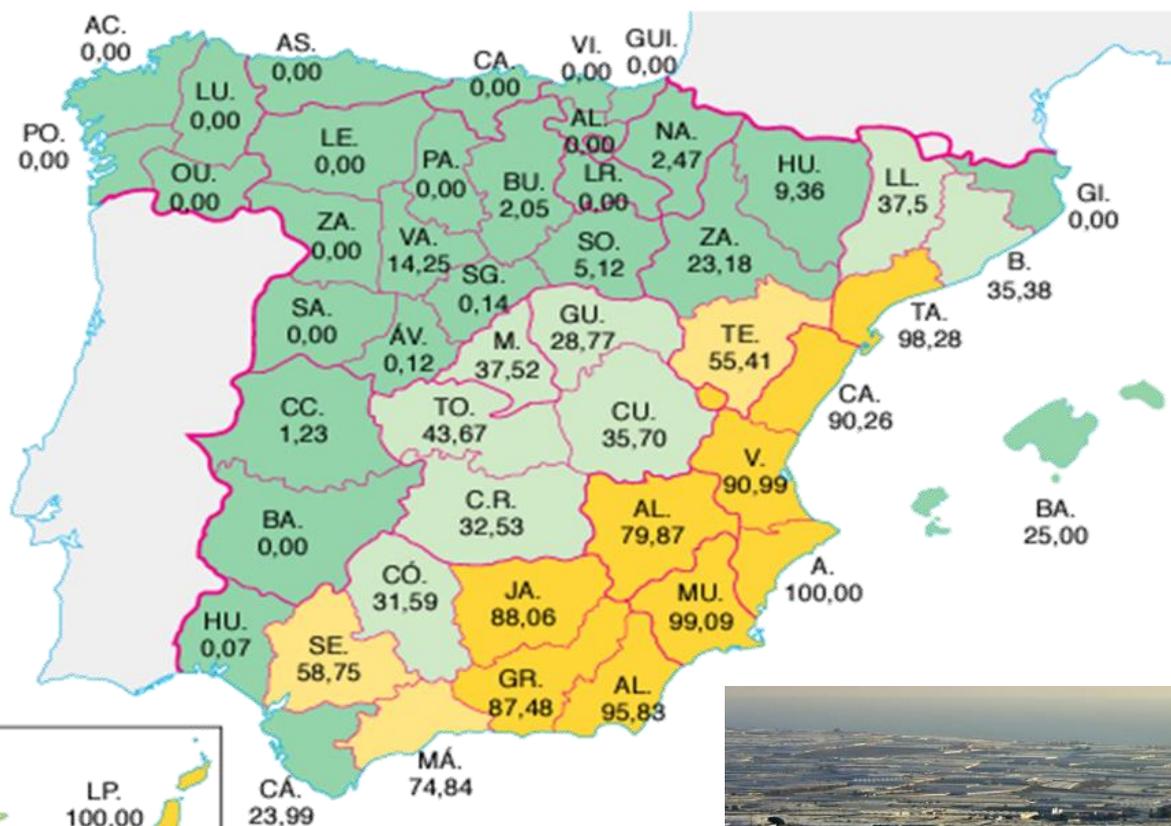


L'agricoltore tende a fornire apporti non limitanti di acqua e nutrienti per garantire la crescita delle piante

- *Eccesso idrico per evitare la salinità*
- *Fertilizzazione in eccesso per compensare il dilavamento di nutrienti*

Fino al 50% di nutrienti e acqua in eccesso nelle serre mediterranee → **COSTO? AMBIENTE?**

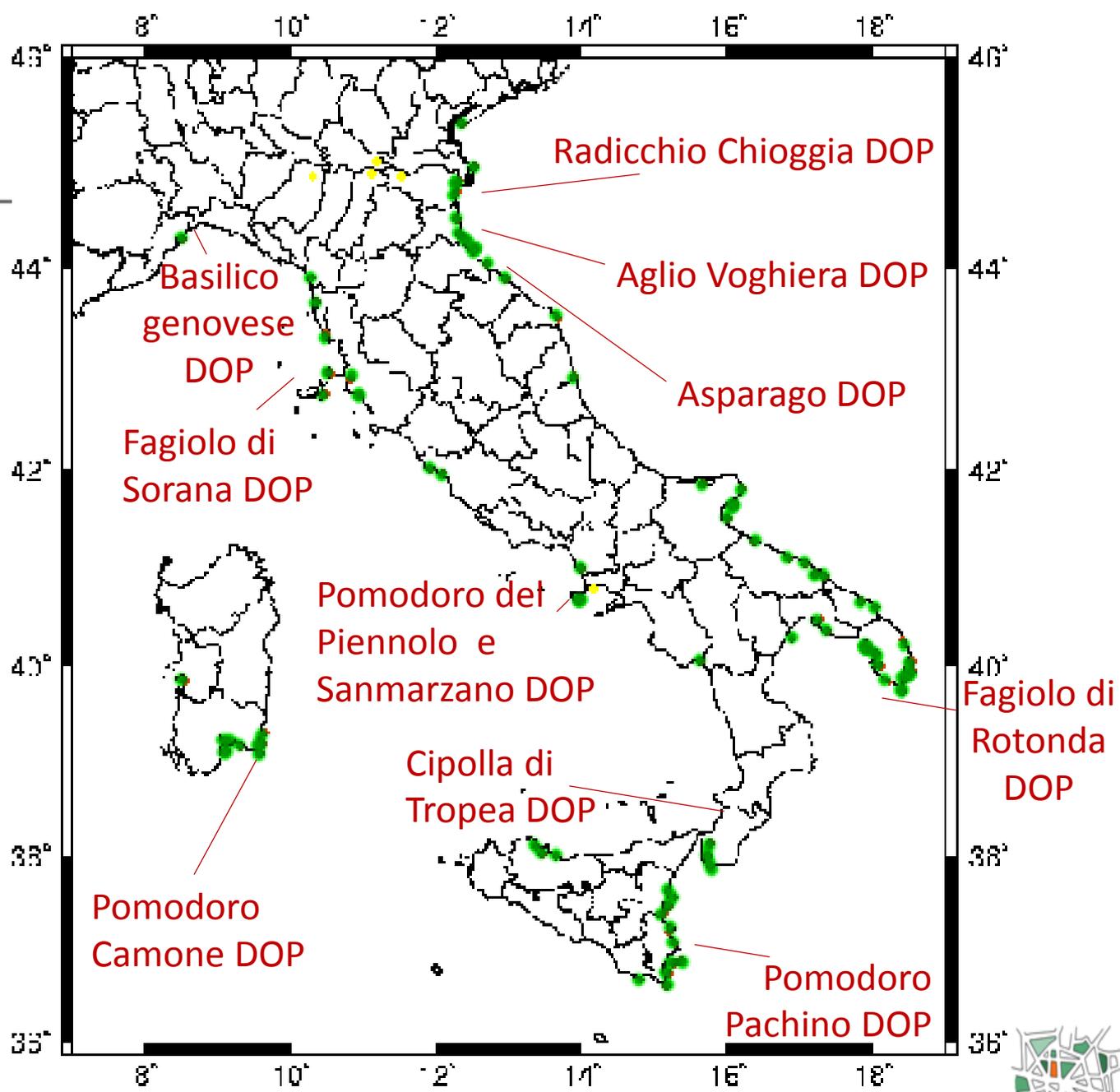
% di superficie a rischio di desertificazione in Spagna



Fonte: Ministero dell'ambiente di Spagna, 2012



Salinizzazione di aree agricole in Italia



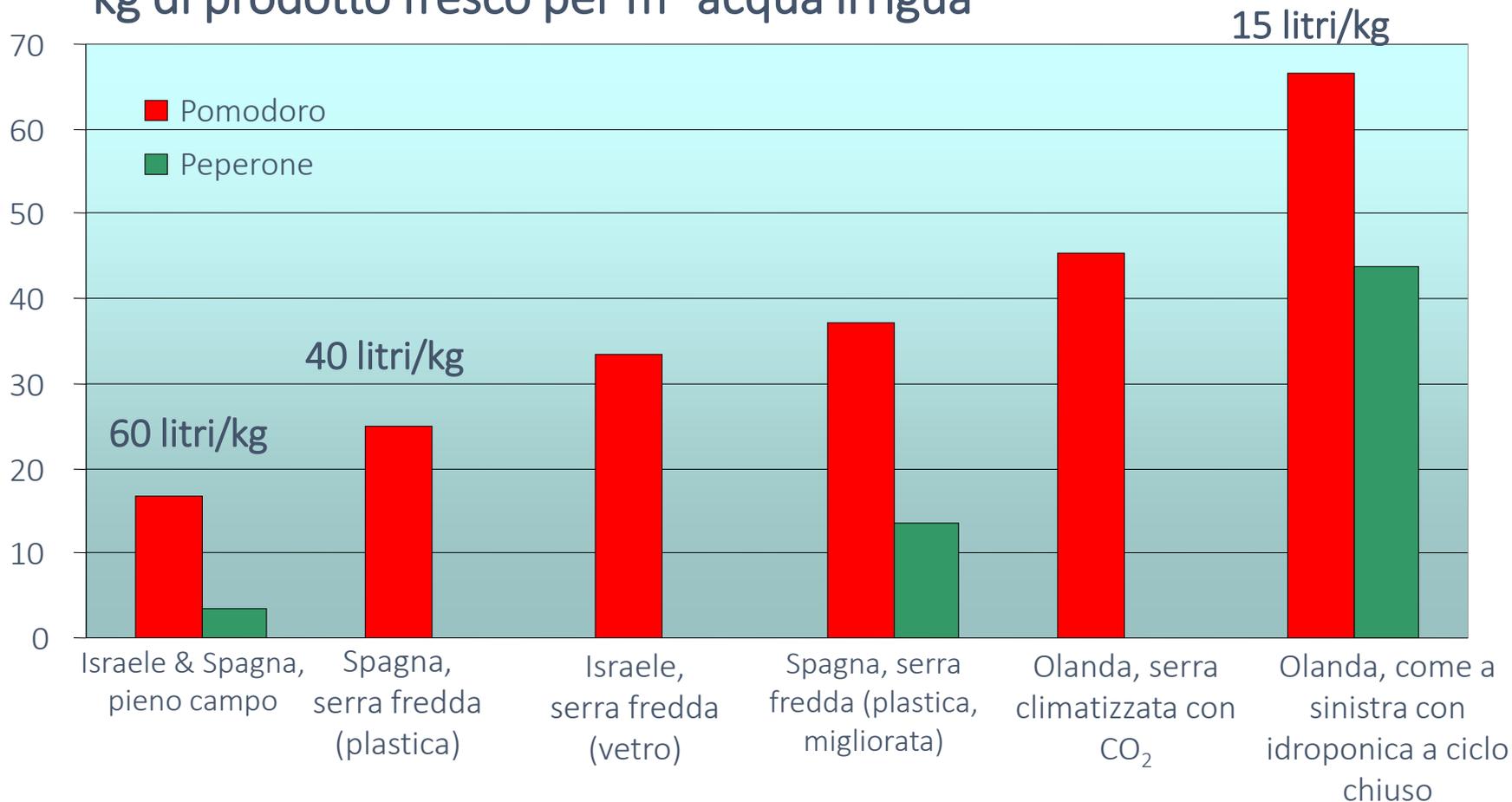


Orticoltura in serra ed efficienza d'uso dell'acqua

- Ridotta ET potenziale a causa di minore radiazione solare, vento e maggior umidità all'interno della serra;
- Produttività più elevata della coltura per migliore controllo di patologie e parametri climatici (radiazione globale e temperatura dell'aria);
- Impiego di sistemi irrigui ad alta efficienza (irrigazione localizzata, sistemi a ciclo chiuso)

L'efficienza aumenta con...

kg di prodotto fresco per m³ acqua irrigua



Sistema colturale

Controllo crescente dei fattori di produzione



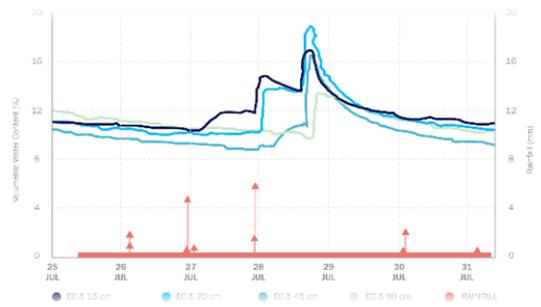
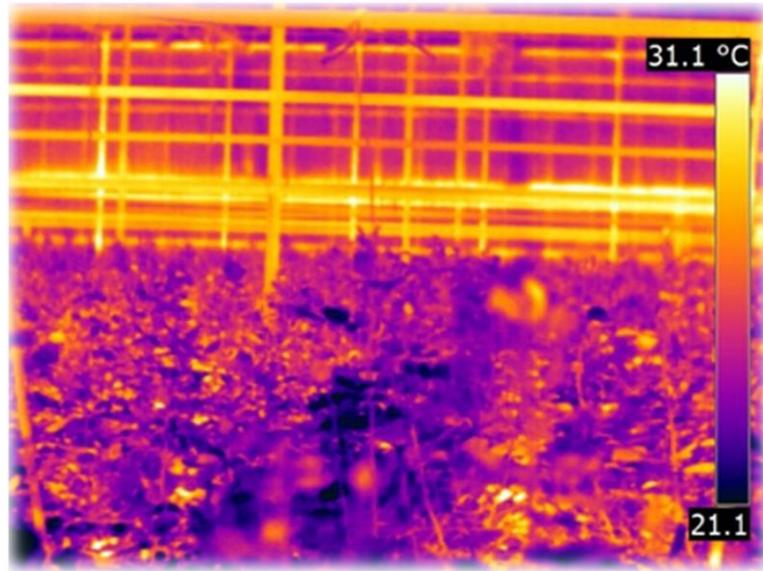
Risparmio idrico in orticoltura. Soluzioni:

- Biologiche:
 - Scelta specie/cultivar
 - Miglioramento genetico
- Tecnologiche
 - Metodo irriguo
 - Programmazione dell'irrigazione
 - Fuorisuolo a ciclo chiuso
 - Recupero acque meteoriche
 - Trattamento acque saline/reflue





Diagnostica dello stato idrico



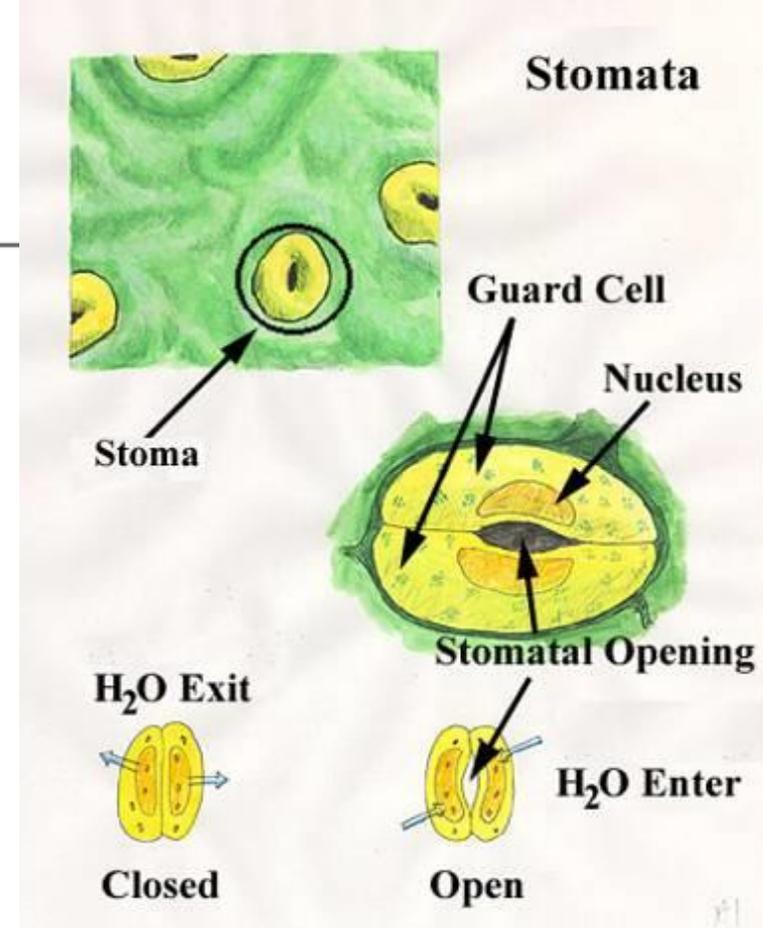
Studio della pianta



Turgore

L'acqua è responsabile del turgore cellulare indispensabile per:

- conferire resistenza meccanica agli organi
- l'accrescimento per distensione delle cellule
- l'apertura degli stomi, che consente scambi gassosi fra pianta ed atmosfera (H_2O e CO_2)

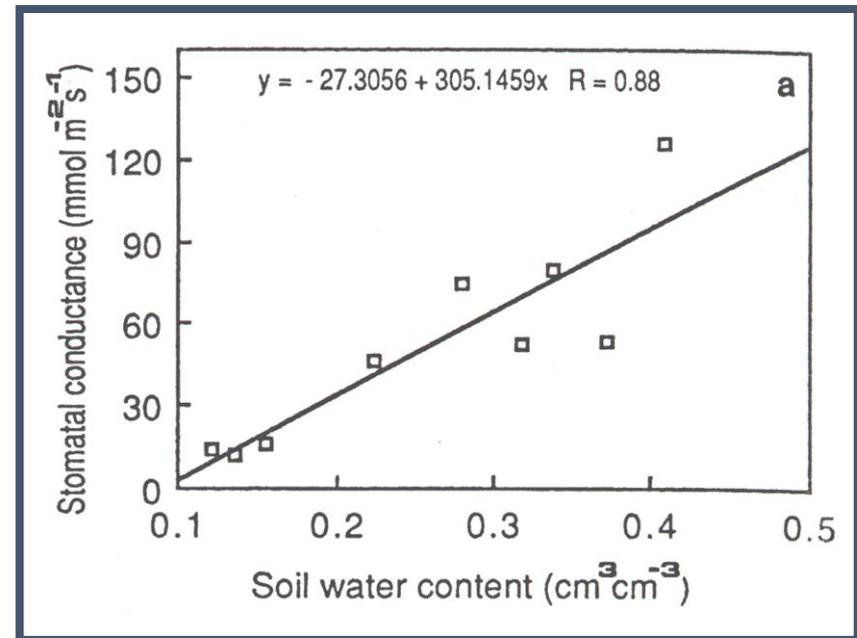




Le piante rispondono allo stress idrico chiudendo gli stomi, al fine di ridurre la traspirazione e la perdita d'acqua

La superficie delle cellule di guardia dello stoma non è protetta da cuticola. La disidratazione è pertanto più rapida, portando a chiusura (idropassiva) degli stomi)

Esiste anche una chiusura idroattiva degli stomi, mediata dalla produzione di Acido Abscissico in risposta allo stress



Metodi di valutazione dello stato idrico: la resistenza stomatica

Porometro o analizzatore scambi gassosi



Modelli empirici (basati su irradianza)

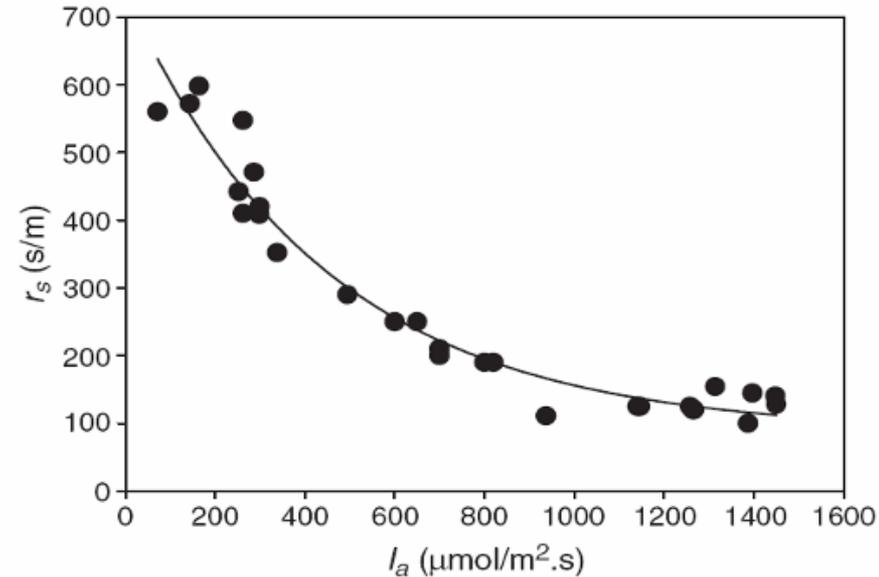


Fig. 3. Instantaneous values of leaf stomatal resistance (r_s) measured on zucchini squash with a porometer as a function of photosynthetically active radiation at the top of the canopy (I_a) measured during the entire growing cycle. $r_s = 87.30 + 647.24 \exp(-0.0022I_a)$, coefficient of determination $R^2 = 0.95$, s.e. of estimate = $36.2 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$.

Termometria a infrarossi





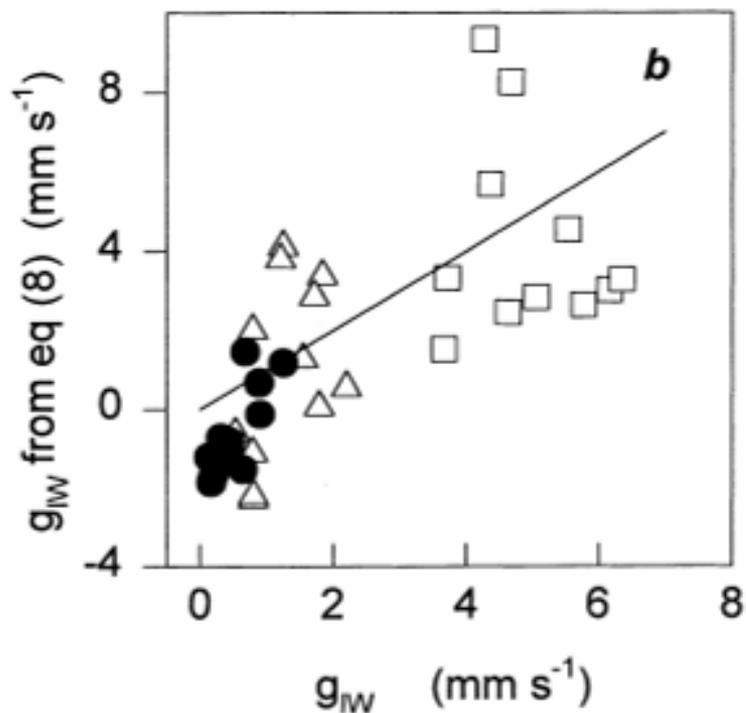
Stato idrico della coltura: porometro



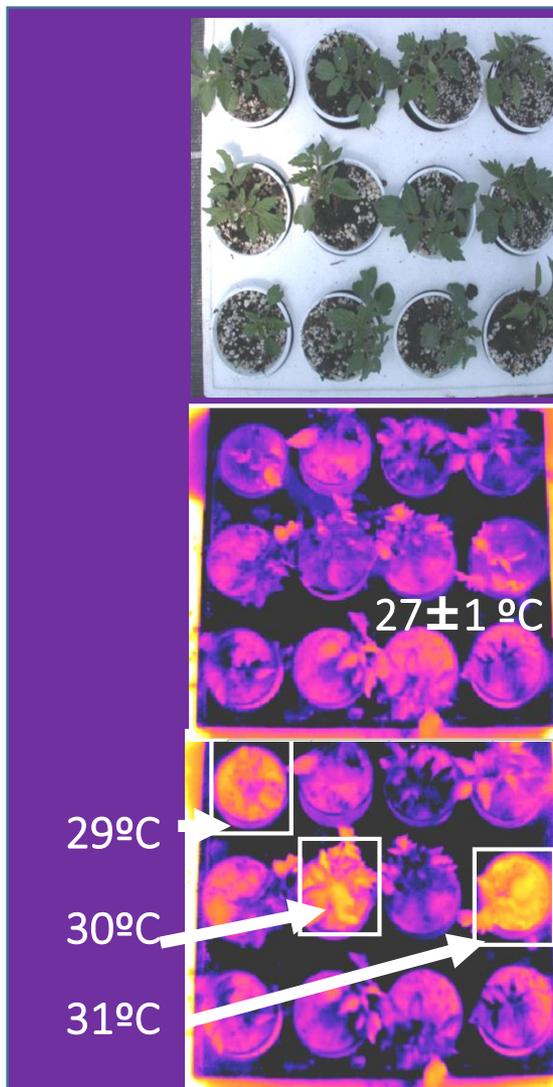
Stato idrico della coltura: termometri ad infrarossi



Stato idrico della coltura: relazione termometria infrarossa e misure porometriche

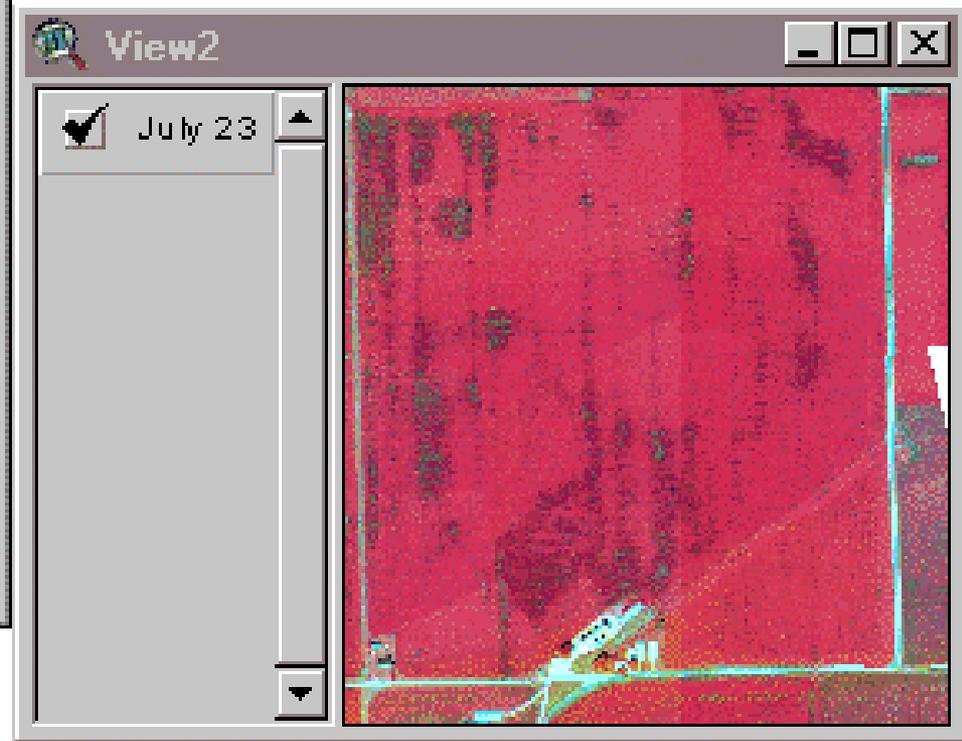
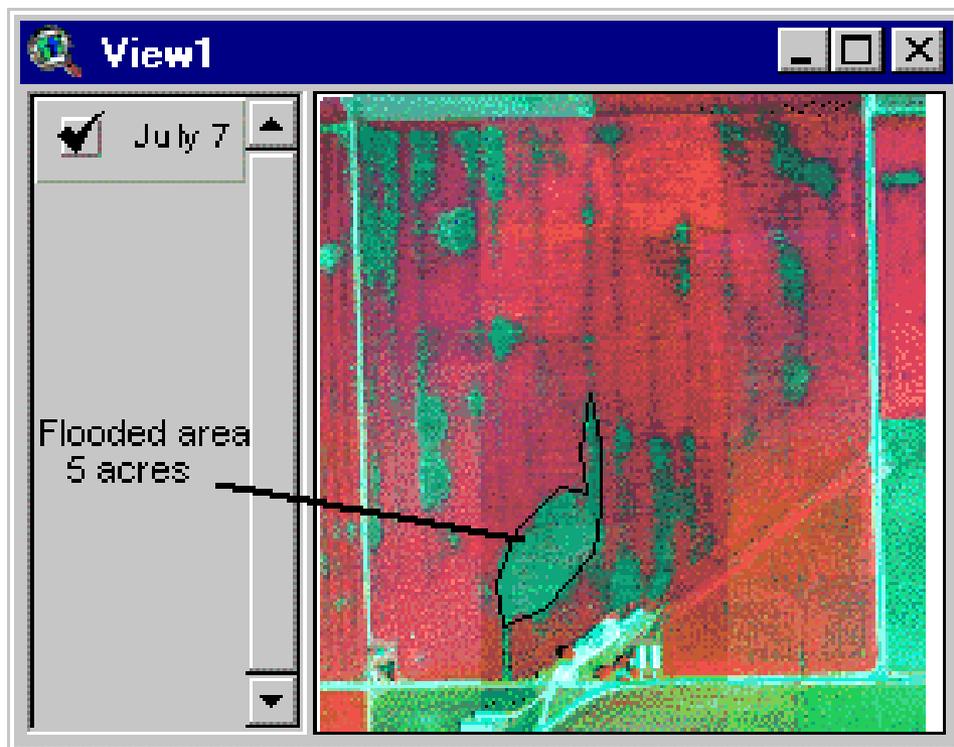


Valori previsti e misurati di conduttanza stomatica in foglie di fagiolo: valori ottenuti da misure infrarossi o impiegando un porometro. (Jones, 1999)



Risposta stomatica (termica) a stress salino in diversi genotipi di Pomodoro.

Fotografia ad Infrarossi



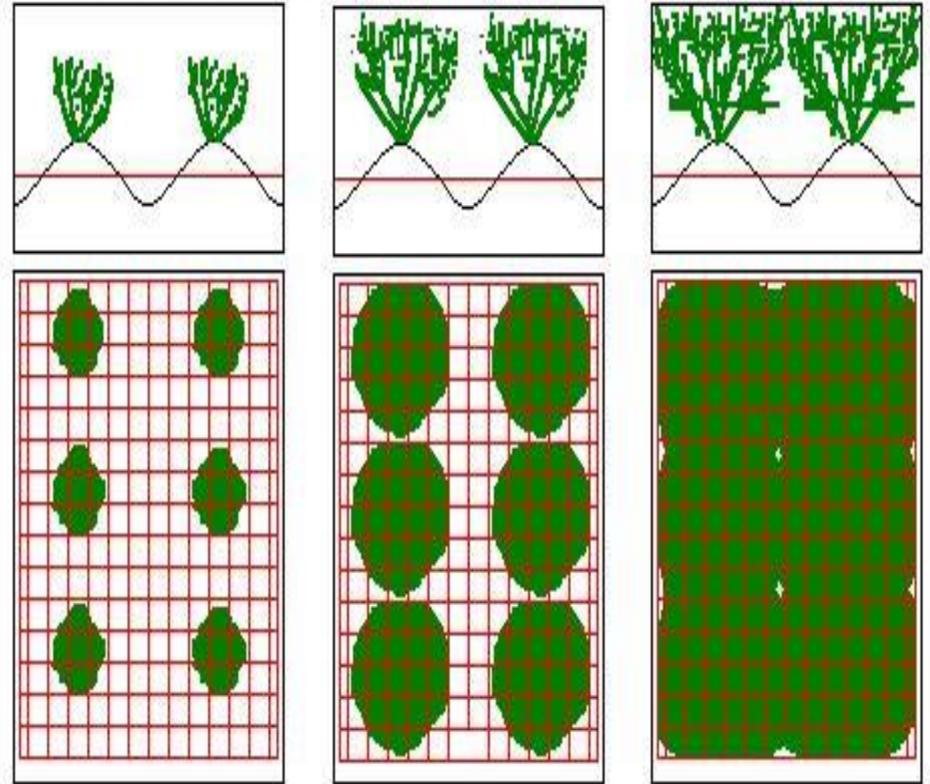
Metodi di valutazione dello stato idrico: l'area fogliare

Misure non distruttive



Ceptometri

Percentage soil coverage with green leaves



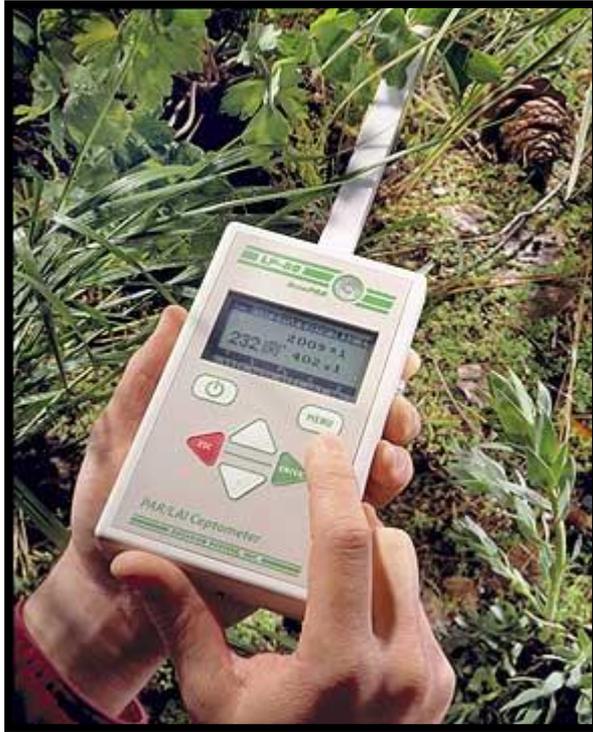
15%

50%

100%

Analisi di immagini

Misura del LAI: ceptometri



hand-held ceptometer

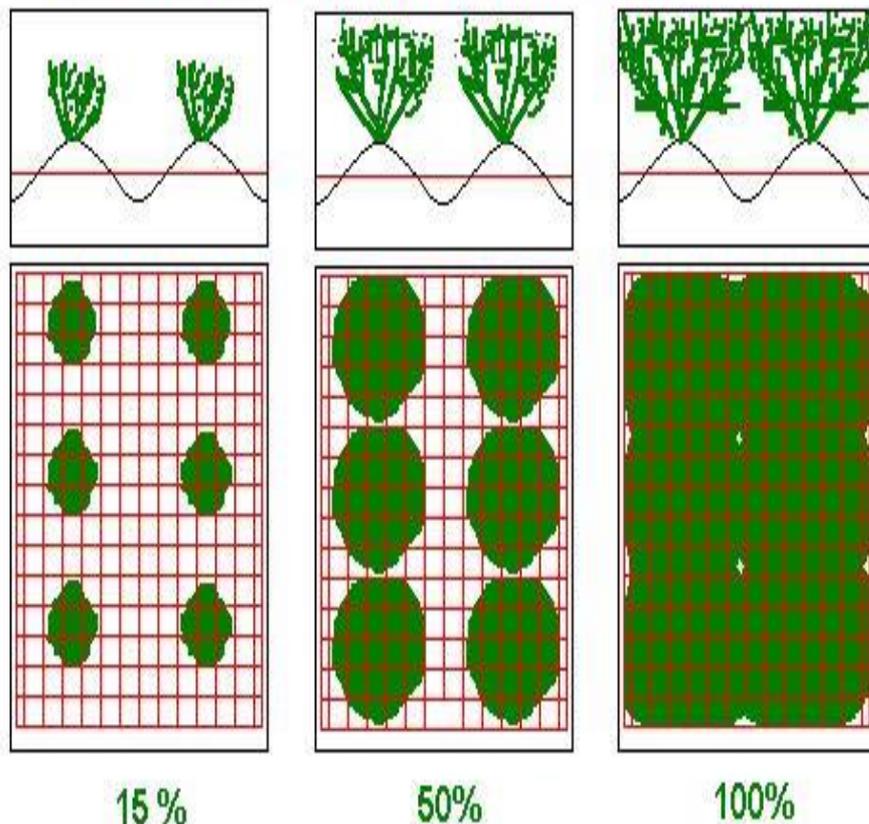


Copertura del suolo

Per colture basse allevate in fila (es. pomodoro da industria) K_c possono essere stimati sulla base della percentuale di suolo coperto da vegetazione



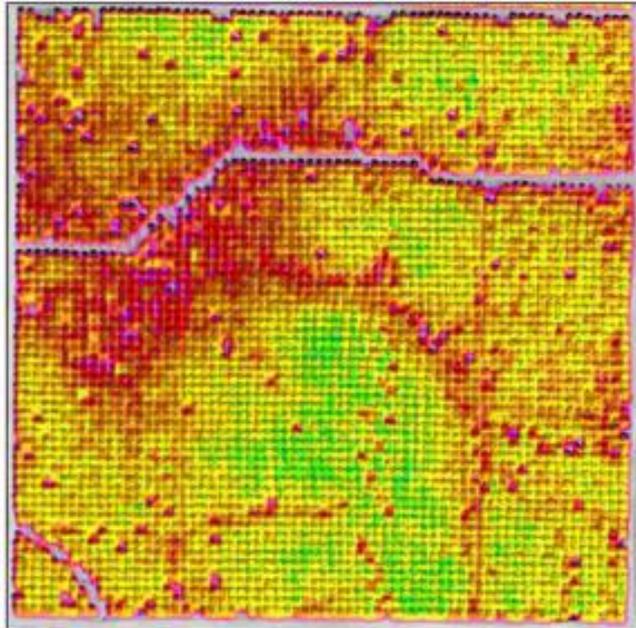
Percentage of soil covered by green leaves



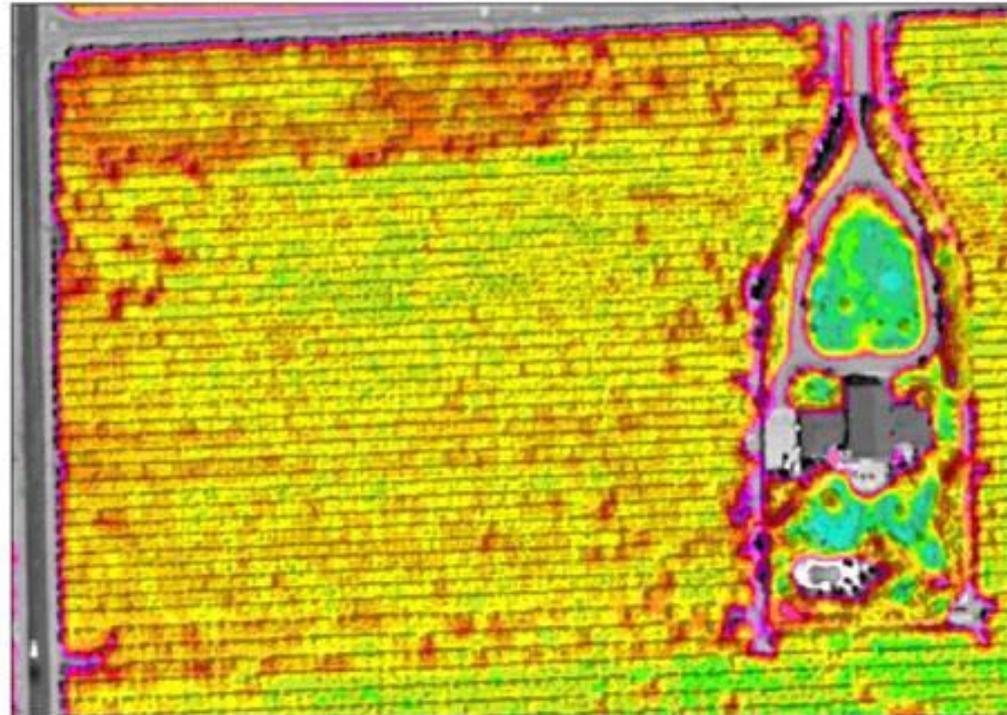


Copertura del suolo: telerilevamento

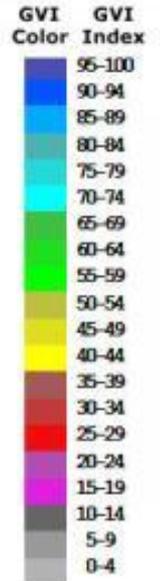
Soils



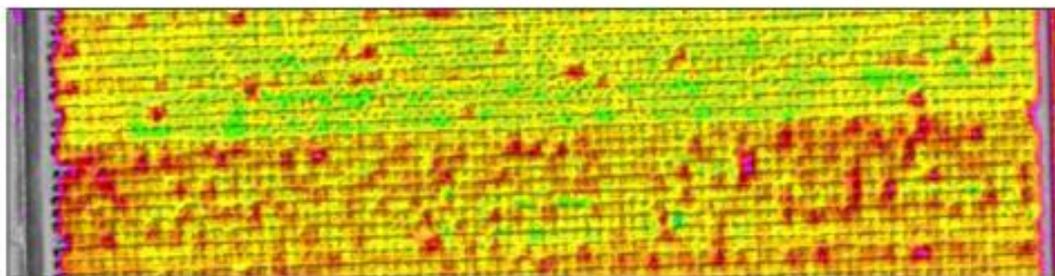
Health



Dense Vegetation



Bare Soil



Irrigation

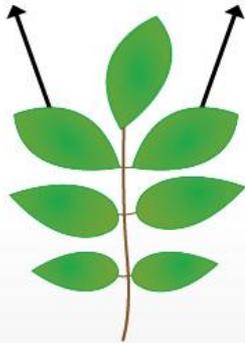
Green colors show the densest canopy

Grey colors indicate bare soil

Metodi di valutazione dello stato idrico: Indici Vegetazionali

HEALTHY
VEGETATION REFLECTANCE

50% NRI 8% RED



NDVI = 0.72

STRESSED
VEGETATION REFLECTANCE

40% NRI 30% RED



NDVI = 0.14

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NDVI} - \text{RED}}{\text{NDVI} + \text{RED}}$$





SPETTROMETRIA
OTTICA



INDICI
VEGETAZIONALI

Gli Indici Vegetazionali (VI) sono basati sull'assorbimento di luce a determinate lunghezze d'onda da parte della coltura. Sono generalmente basati su bande legate al colore ROSSO o VERDE, in relazione alla radiazione infrarossa vicina [RVI, NDVI, WDV, MSAVI, TSAVI]

$VI = f$ (dimensione della pianta,
densità colturale)

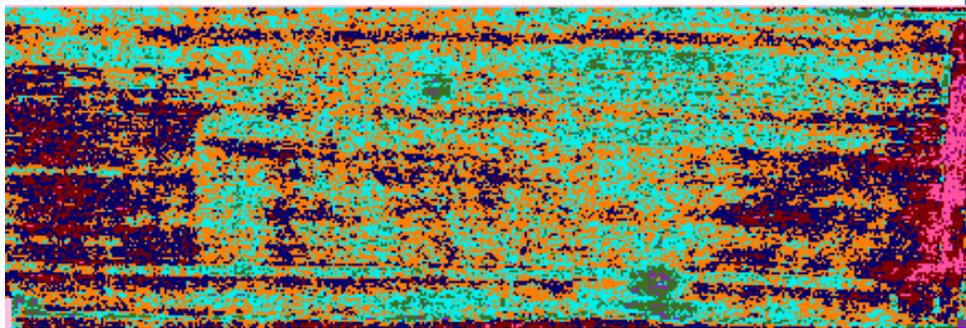
Sensibilità del VI = f (radiazione, suolo, etc.)



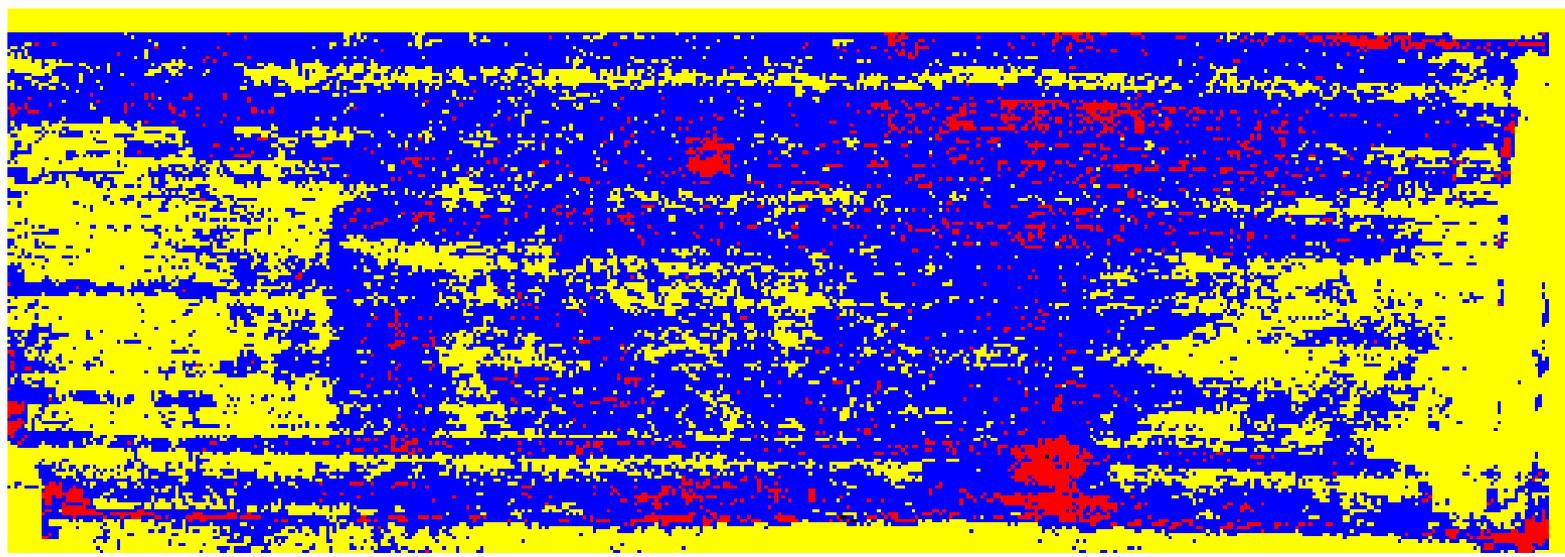
1

NDVI

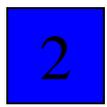
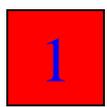
Immagine multispettrale



2

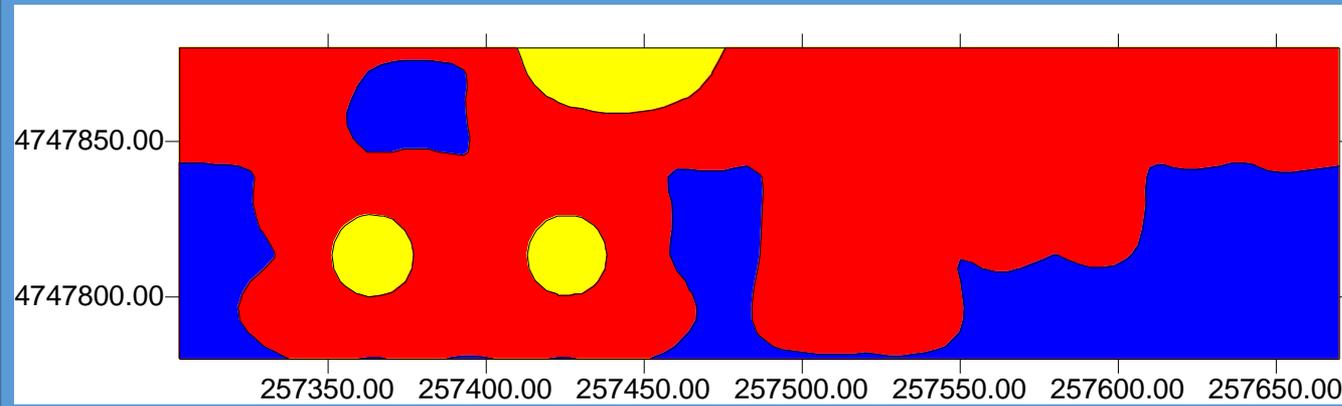
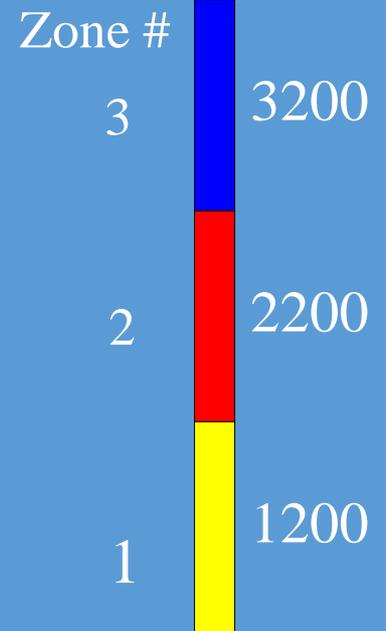


NDVI
Classes

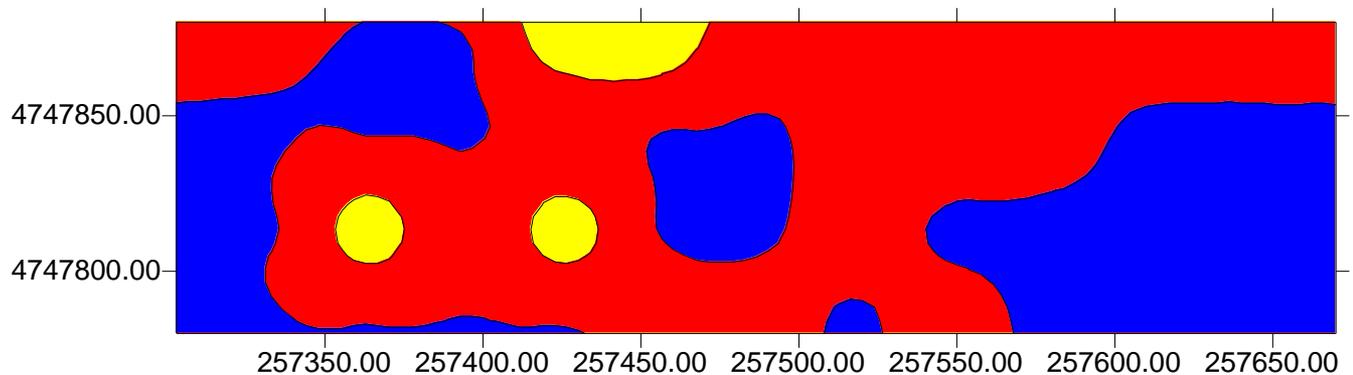


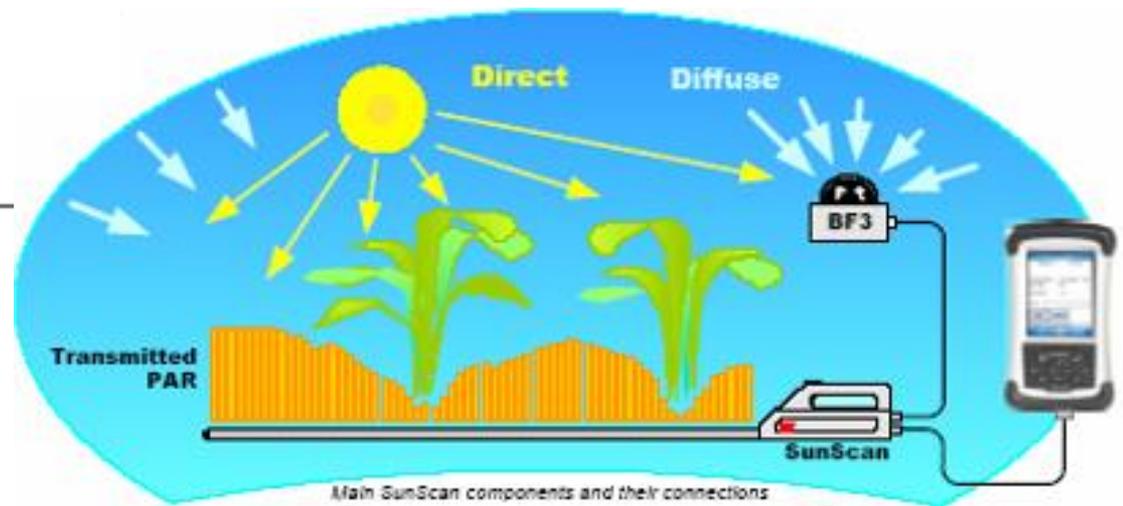
Reclassified NDVI image showing 3 NDVI-Classes

Measured yield (Kg ha⁻¹): (3 Zones)



Simulated yield (Kg ha⁻¹): (3 Zones)

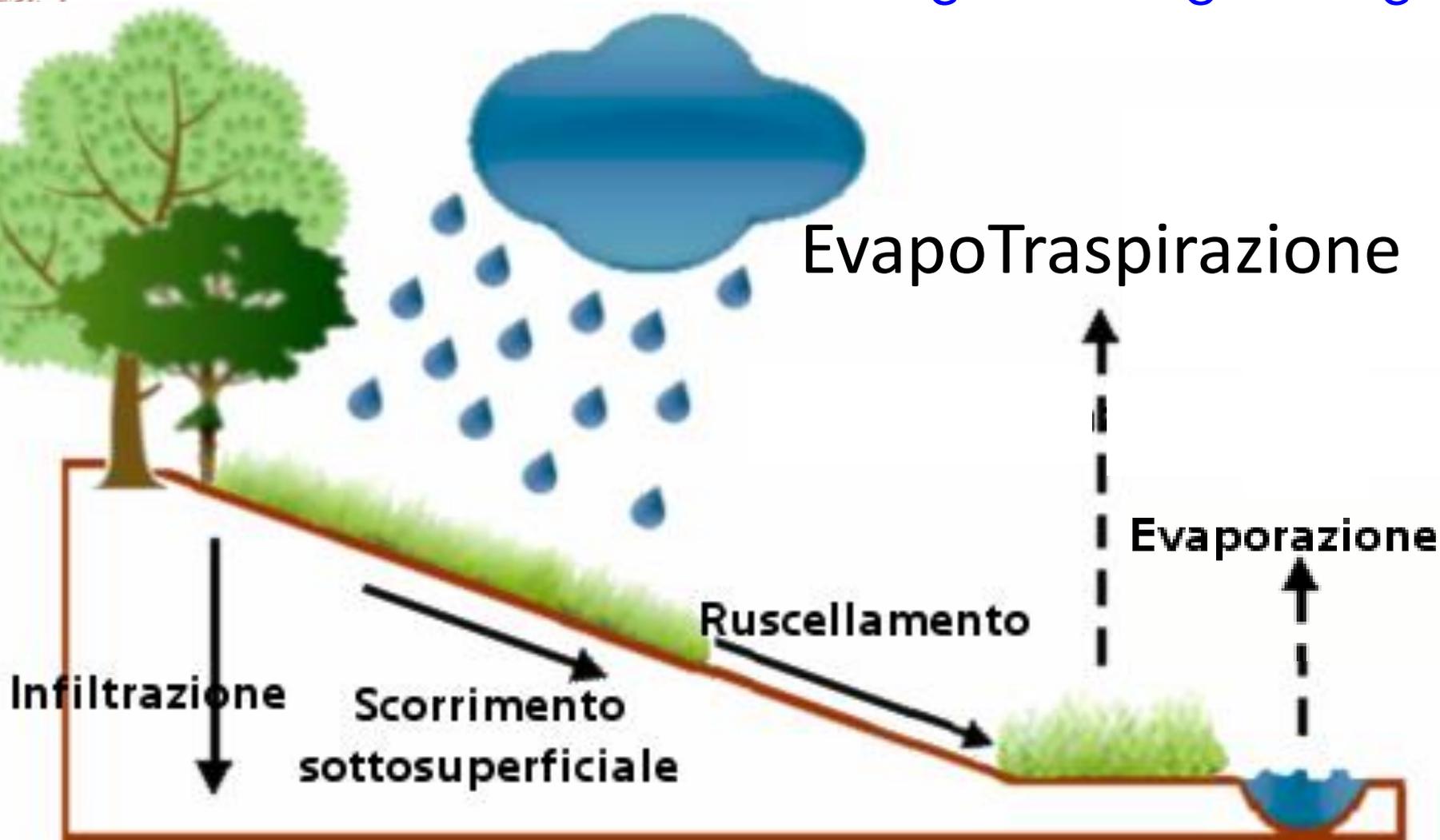




Previsioni basate su parametri climatici

$$ET_c = ET_0 \times K_c$$

EvapoTraspirazione





ET MODELS: THE "ONE-STEP" APPROACH

Canopy resistance

$$r_c = 100/LAI$$

[Monteith, J.L., 1965]



$$ET = \frac{\Delta(R_N - G) + \rho_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a} \right)}$$

P-M equation

FAO P-M equation

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_N - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

$$ET = \left[\frac{\left(\frac{s}{\lambda} \cdot \frac{R}{\lambda} \right)}{\left(1 + \frac{s}{\gamma} + \frac{r_s}{r_b} \right)} \right] + \left[\frac{2 \cdot LAI \cdot (\chi_a^* - \chi_a)}{\left(1 + \frac{s}{\gamma} \right) \cdot r_b + r_s} \right]$$

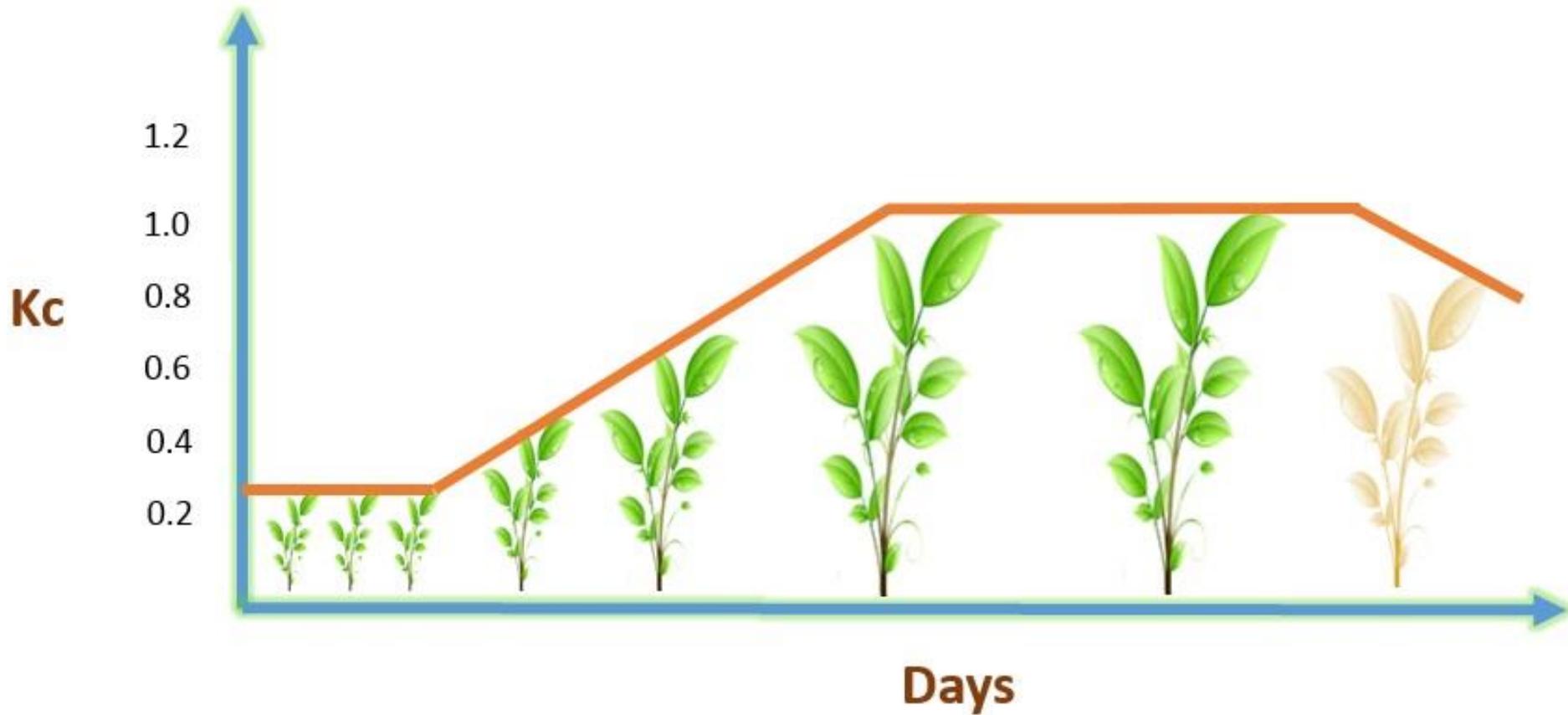
(Stanghellini, 1987)

$$ET_C = k_C \cdot ET_0 \quad \text{Crop ET}$$

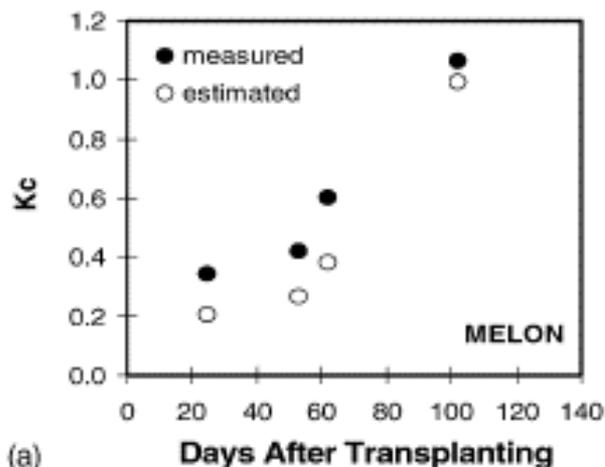
$$ET = A \cdot [1 - \exp(-k \cdot LAI)] \cdot \frac{R}{\lambda} + B \cdot LAI \cdot VPD$$

(Baile, 1994)

Coefficiente colturale (K_c)

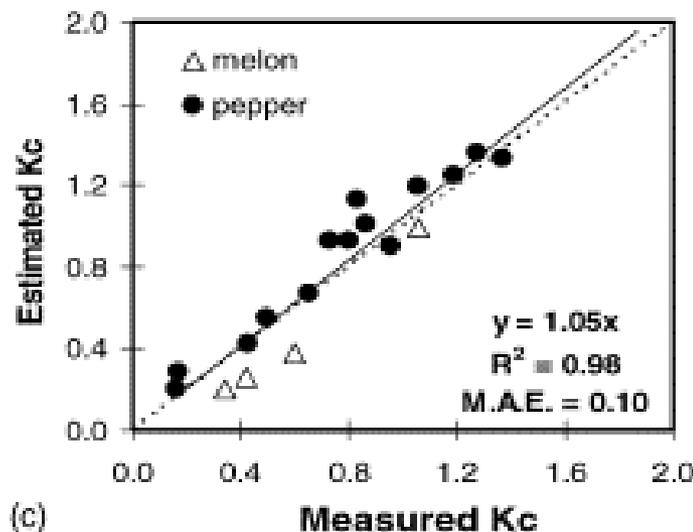
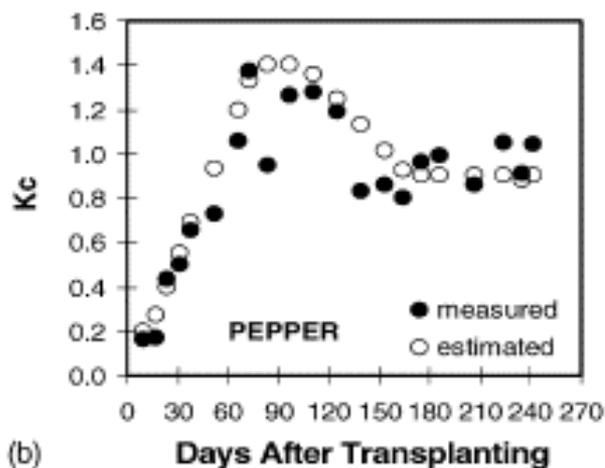


Modellizzazione dei coefficienti colturali (K_C , Orgaz et al., 2005)



$$K_C = K_{Cini} + \left[\frac{K_{Cmid} - K_{Cini}}{3} \right] \cdot LAI$$

$$K_C = K_{Cini} + 0.00176 \cdot (GDD - 200)$$



Metodi climatici: modelli di *Evapotraspirazione in colture in serra*

AGWAT 2353 1-10

ARTICLE IN PRESS

AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT xxx (2006) xxx-xxx

available at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

journal homepage: www.elsevier.com/locate/agwat



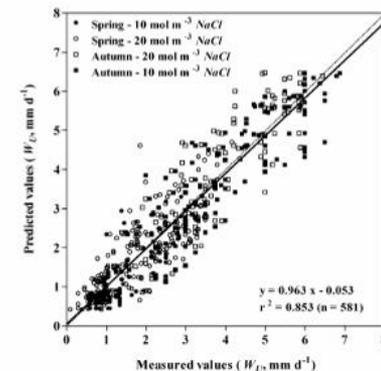
ELSEVIER



An aggregated model for water requirements of greenhouse tomato grown in closed rockwool culture with saline water

G. Camassi^{1,*}, L. Incrocci^{2*}, R. Maggini, F. Malorgio, F. Tognoni, A. Pardossi

Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie, Viale delle Piogge, 231-56124 Pisa, Italy



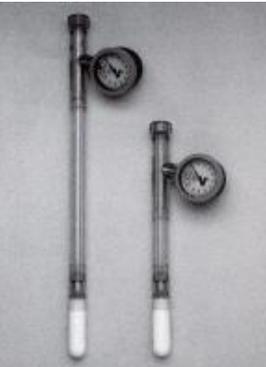
$$ET = 0.946 \cdot [1 - \exp(-0.69 \cdot LAI)] \cdot \frac{R}{\lambda} + 0.188$$

Modello basato sulla radiazione all'interno della serra e modellizzazione del LAI in funzione dei GDD. Permette di stimare l'ET oraria e intervenire immediatamente nella coltivazione idroponica (10-15 irrigazioni al giorno)



Studio del suolo

Tensiometri per la valutazione dello stato idrico del suolo



Misura del potenziale idrico, non dell'umidità.

Vantaggi:

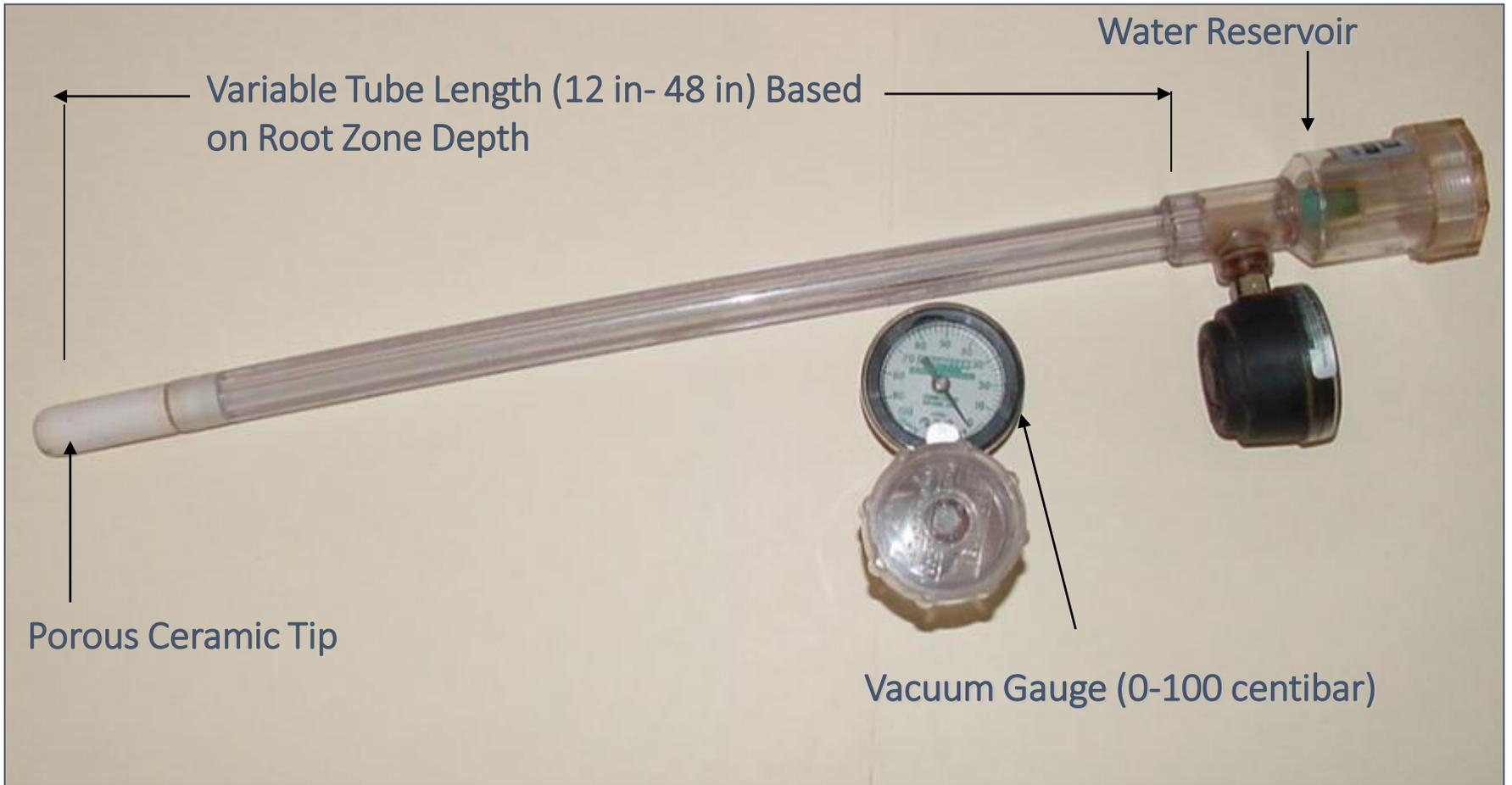
Poco costoso e automatizzabile



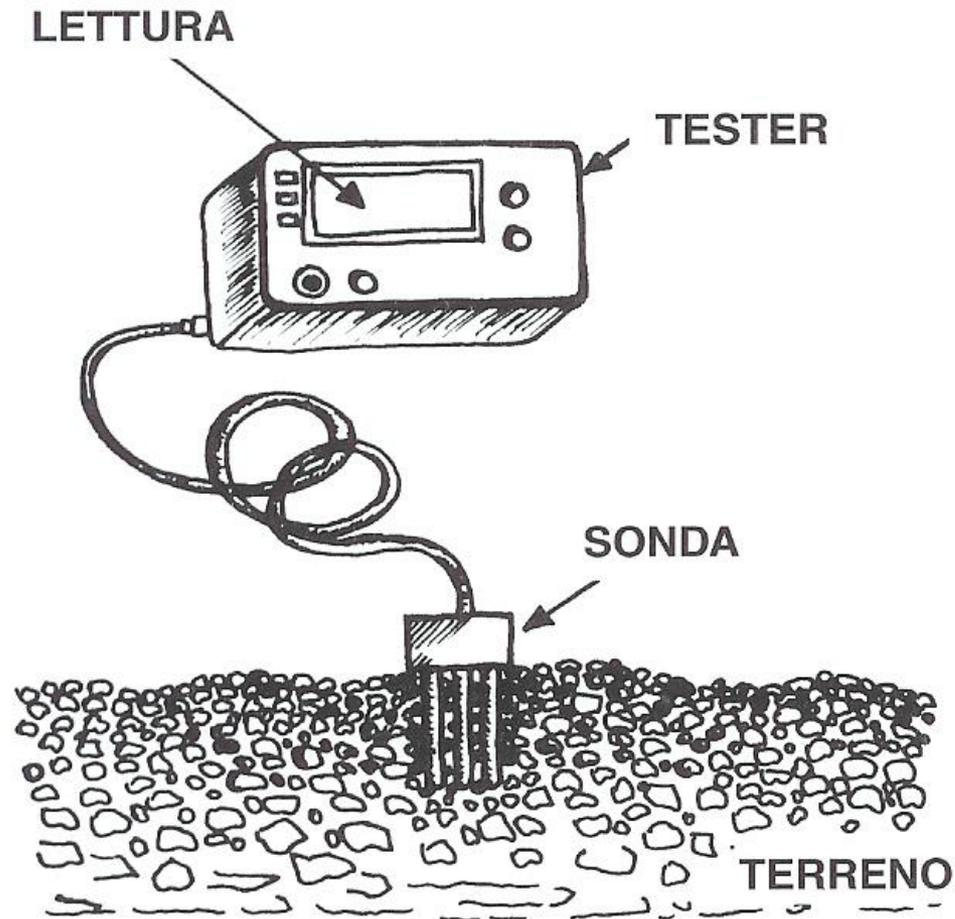
Svantaggi

Funziona solo tra saturazione e -70 KPa (però capacità di campo è a -33 MPa e punto di appassimento a -1500 KPa)

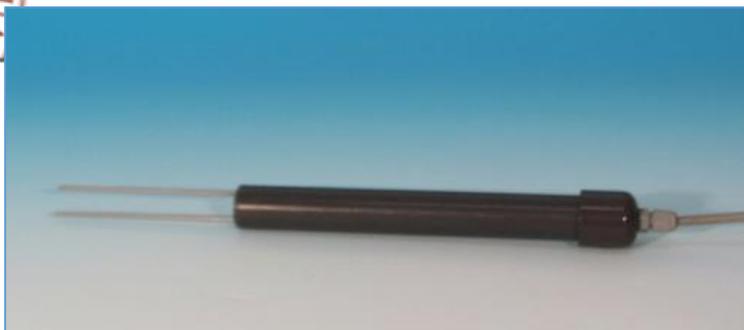
Tensiometri per la valutazione dello stato idrico del suolo



Sensori TDR per la valutazione dello stato idrico del suolo



Time Domain Reflectometer



TDR probes



Frequency Domain Reflectometers (FDR) Capacitance Soil Moisture Probes (C-Probes)



Theta-Probe ML2
(www.delta-t.co.uk)

Sensori da inserire o seppellire nel terreno, utilizzabili con la maggior parte dei datalogger. Buona accuratezza $\pm 1\%$ anche in terreni argillosi. Costo circa 350 Euro.



ECH₂O probe
(www.decagon.com)

Sensori simili a righelli di plastica (10 o 20 cm) da inserire o seppellire nel terreno, utilizzabili con la maggior parte dei datalogger. Accuratezza $\pm 3\%$. Costo circa 200 Euro.









Tecnologie per il risparmio idrico in orticoltura

Radiazione

ET

Temperatura e deficit di
pressione di vapore

LAI

CO₂

Stato idrico pianta

Salinità e umidità
del substrato

Cosa misurare?

PIANTA



TERRENO

CLIMA



Modelli basati sulla pianta: Speaking plants

Diagnostica sulle piante: vantaggi e svantaggi

- ✓ Pianta intera
- ✓ Organi della pianta (foglie, stelo, etc.)



«Generalmente non indica QUANTA acqua applicare. La calibrazione diventa necessaria per definire i valori limite. Ancora principalmente impiegata nella ricerca con limitate applicazioni reali in agricoltura.»

Jones, H. G. (2004). Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of experimental botany*, 55(407), 2427-2436.

Journal of Experimental Botany, Vol. 55, No. 407, Water-Saving Agriculture Special Issue, pp. 2427-2436
doi:10.1093/jxb/erh213 Advance Access publication

Journal of Experimental Botany, Vol. 55, No. 407, Water-Saving Agriculture Special Issue, pp. 2427-2436
doi:10.1093/jxb/erh213 Advance Access publication

Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods

Hamlyn G. Jones*
Plant Research Unit, Division of Environmental and Earth Sciences, University of Dundee at SCRI, Invergowrie, Dundee

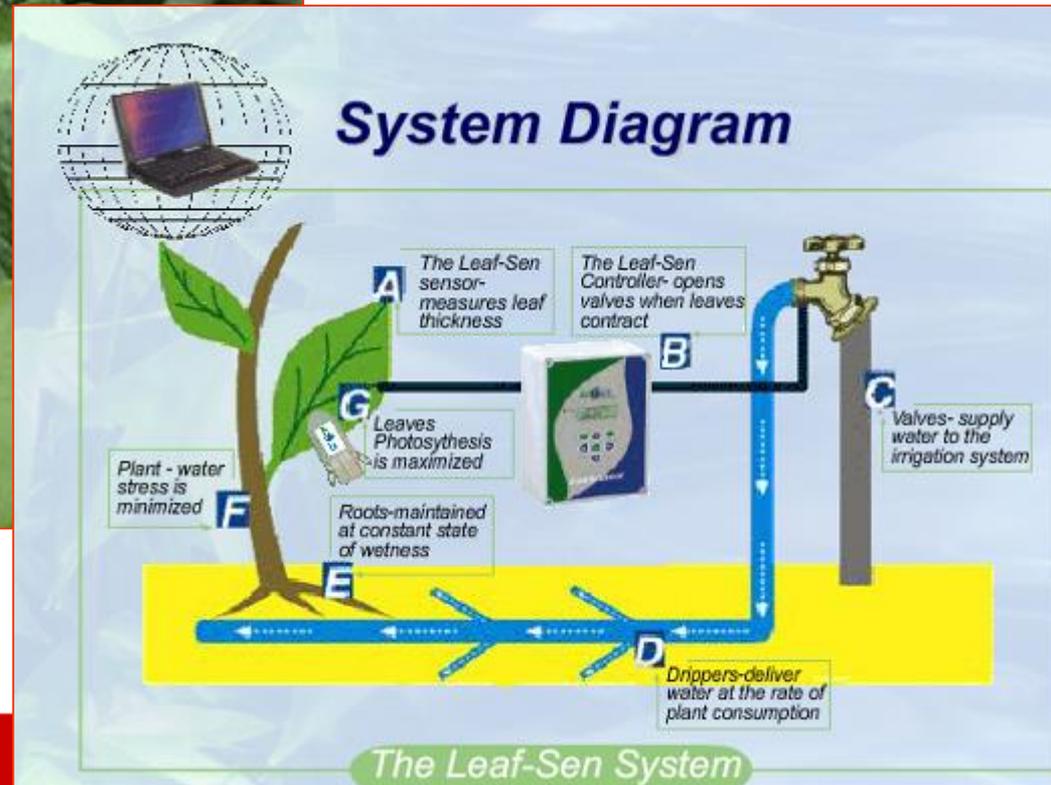
Hamlyn G. Jones*
Plant Research Unit, Division of Environmental and Earth Sciences, University of Dundee at SCRI, Invergowrie, Dundee



Gestione dinamica dell'irrigazione basata su misure sulla coltura

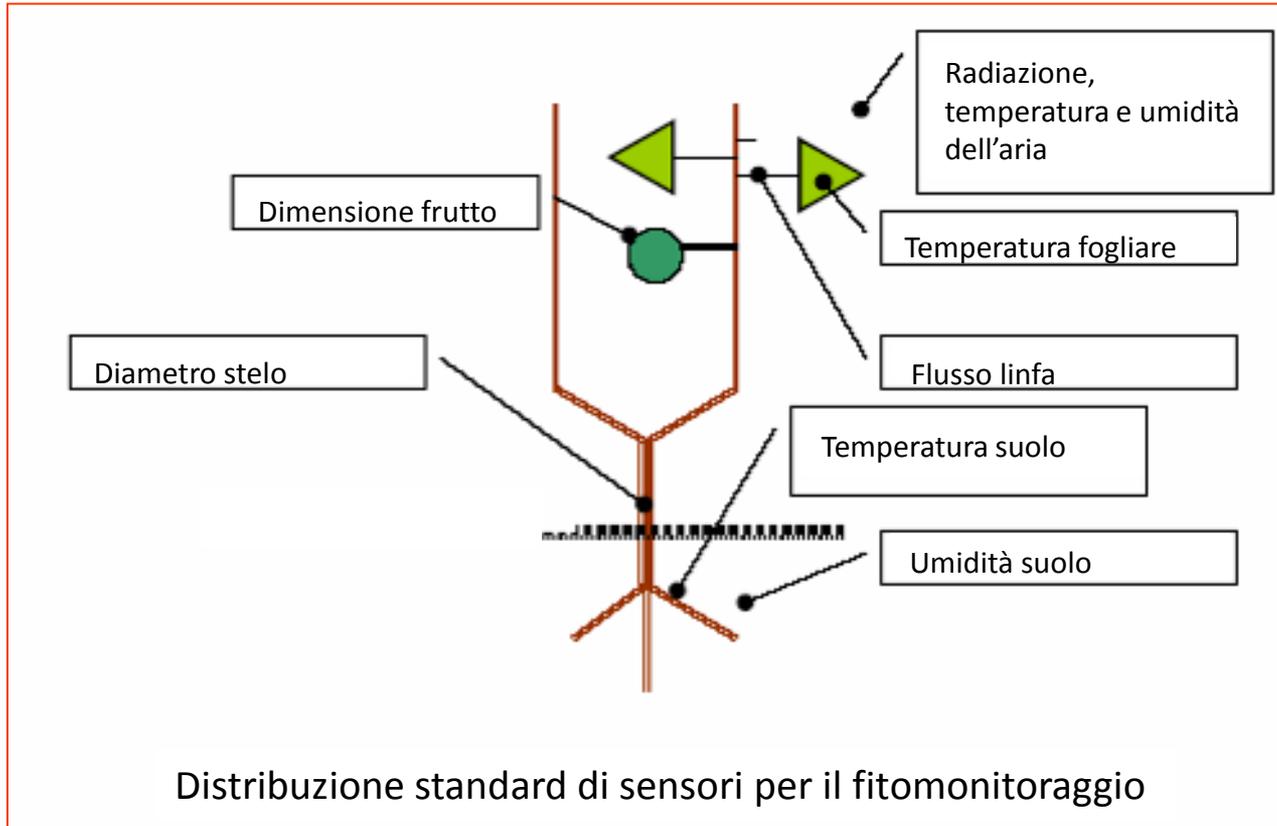


Misure
spessore
fogliare



<http://www.leafsen.com/>

Gestione dinamica dell'irrigazione basata su misure sulla coltura:



<http://www.phytech.co.il/>

Speaking plant

Sistemi di controllo basati sulla risposta della coltura in serra

Peso esercitato dalla pianta sui tutori



Drenaggio idrico

measurement of plant weight

- supply, drain, uptake, transpiration
- change of fresh weight (growth)

load cells

model gully



Peso della barra di coltivazione

Misure basate sul peso della pianta o sul drenaggio d'acqua (risposta in max 1 ora)

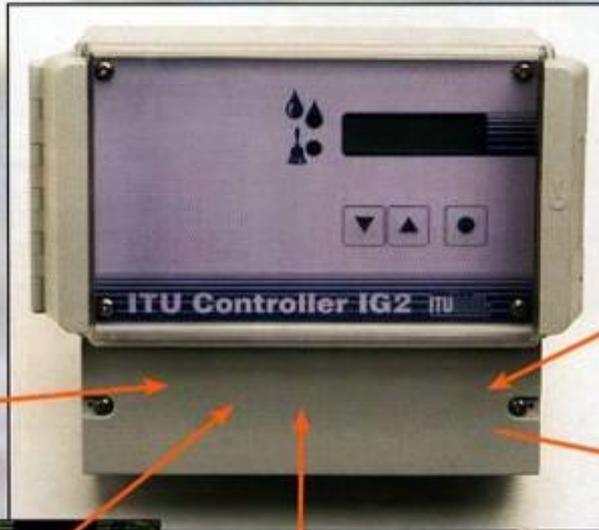
Sistemi di controllo basati su umidità substrato e radiazione incidente



In giornate nuvolose, si lascia asciugare maggiormente il substrato rispetto a giornate soleggiate.



Water management – on your fingertips
... using ITU Controller IG2 tensiometer system



Any irrigation controller



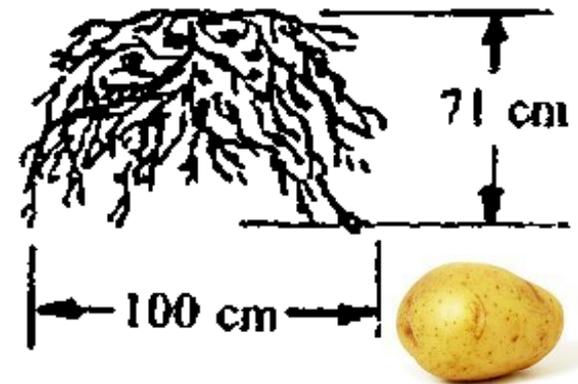
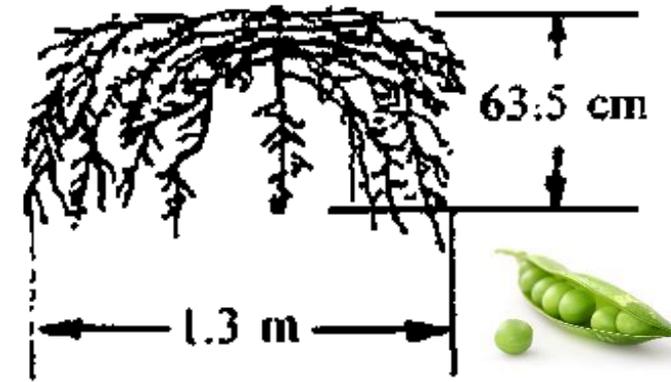
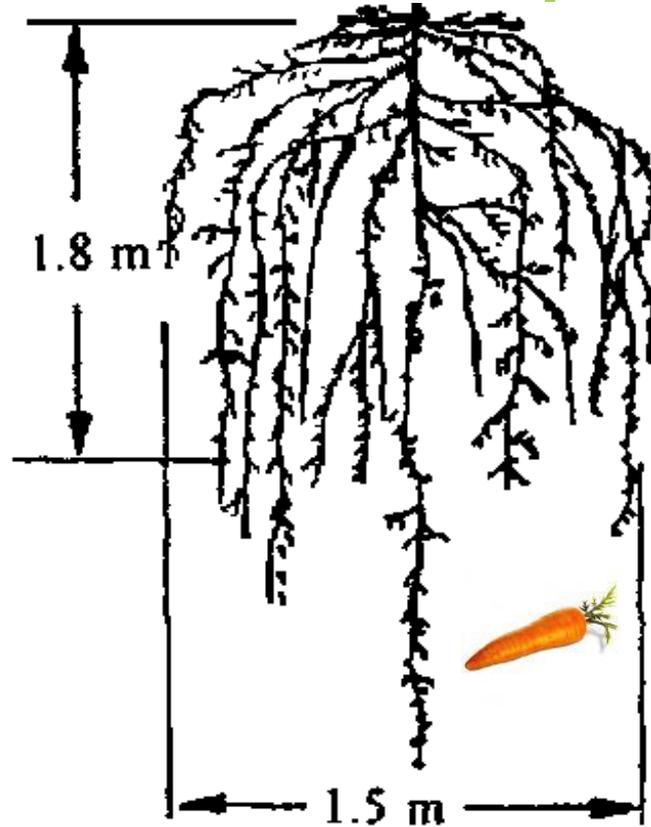
Distributors wanted



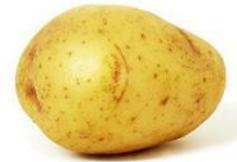
Modelli basati sul clima: Checkbook Irrigation Scheduling

Metodi climatici: modello Checkbook in 3 passi

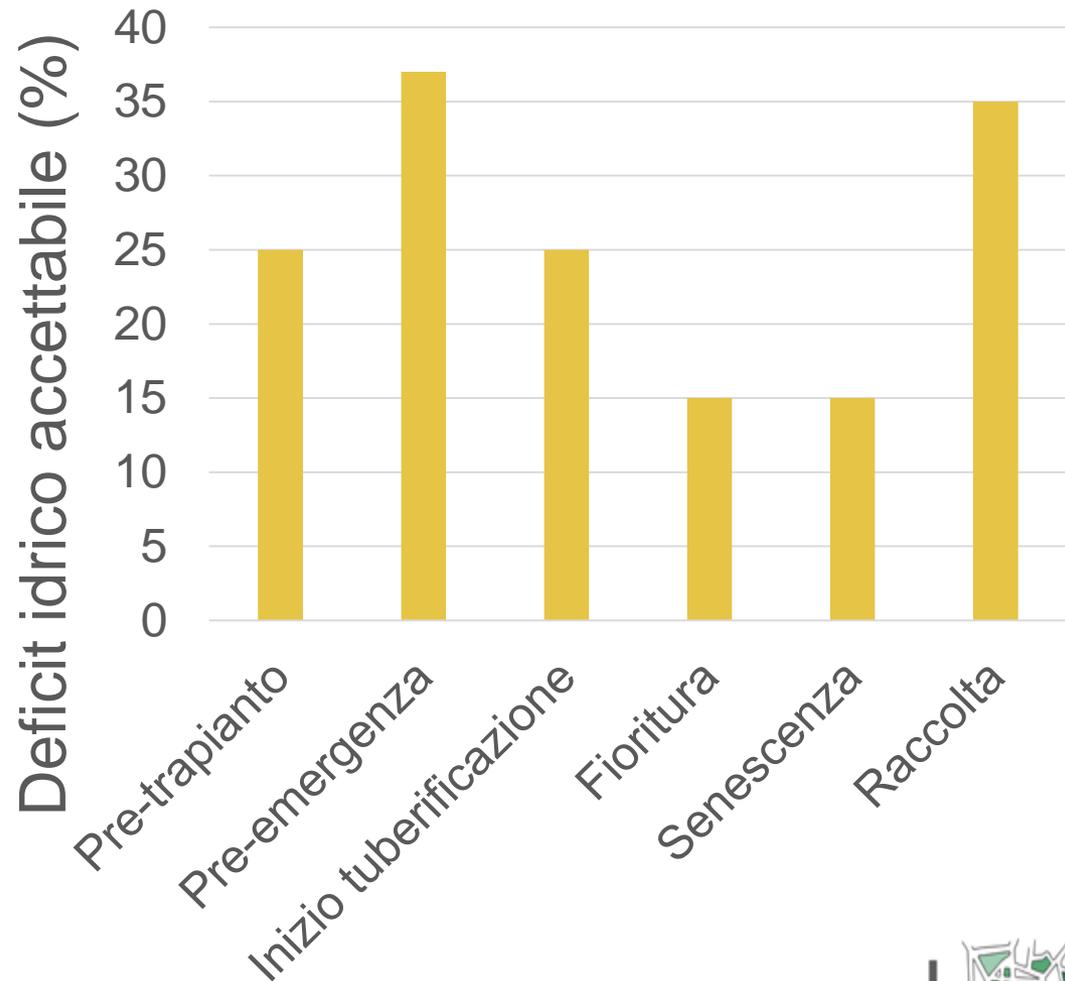
Passo 1:
Sulla base di
tessitura del
terreno e
profondità
esplorata
dalle radici,
si determina l'acqua disponibile nella rizosfera.



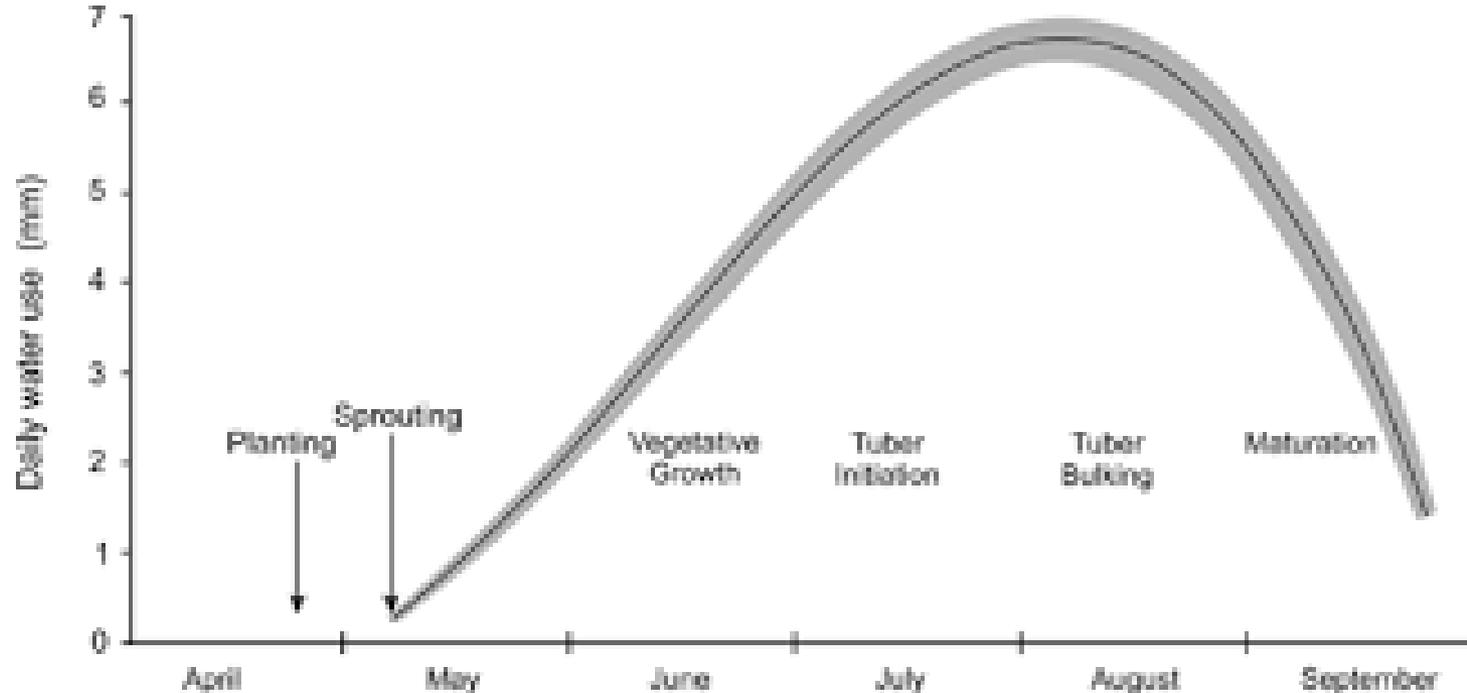
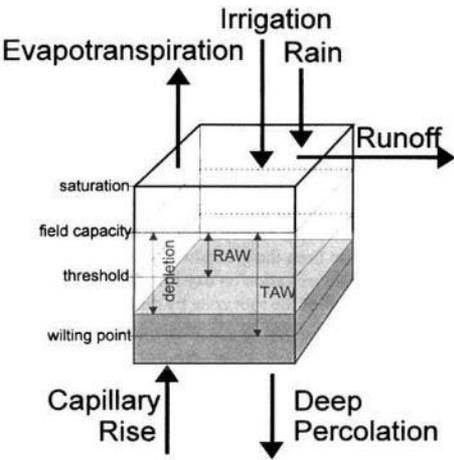
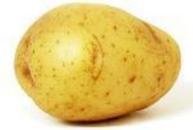
Metodi climatici: modello Checkbook in 3 passi



Passo 2:
Sulla base delle
caratteristiche della
specie coltivata si
calcola il deficit
idrico del terreno
accettabile (max
50% del disponibile)



Metodi climatici: modello Checkbook in 3 passi



Passo 3:

Quotidianamente si calcola il bilancio idrico del terreno considerando precipitazioni, irrigazione, drenaggio e stimando l'EvapoTraspirazione

Metodi climatici: modello Checkbook



Passo	Calcolo:	Dati
1	Acqua disponibile nella rizosfera	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tessitura del terreno ✓ Profondità delle radici
2	deficit idrico accettabile del suolo	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Risposta colturale allo stress idrico
3	Bilancio idrico (giornaliero)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Clima - ET coltura - Precipitazioni - Irrigazione - Drenaggio

Table 2. The checkbook method of irrigation scheduling where a silt loam soil has 1.2 inches of allowable depletion for potatoes.

Action	Date (August)	Daily ET (inches)	Rain (inches)	Accumulated ET (inches)
	1	0.35		0.35
	2	0.34		0.69
	3	0.34		1.03
Irrigate	4	0.32		0.15
	5	0.31		0.46
	6	0.29	0.08	0.67
	7	0.27	1.45	—0—
	8	0.29		0.29
	9	0.31		0.60
	10	0.40		1.00
Irrigate	11	0.40		0.20
	12	0.37		0.57
	13	0.36		0.93
	14	0.28		1.21
Irrigate	15	0.26		0.27



Modelli basati sul suolo: Soil Moisture Sensors

Gestione dell'irrigazione tramite sonde di umidità del terreno

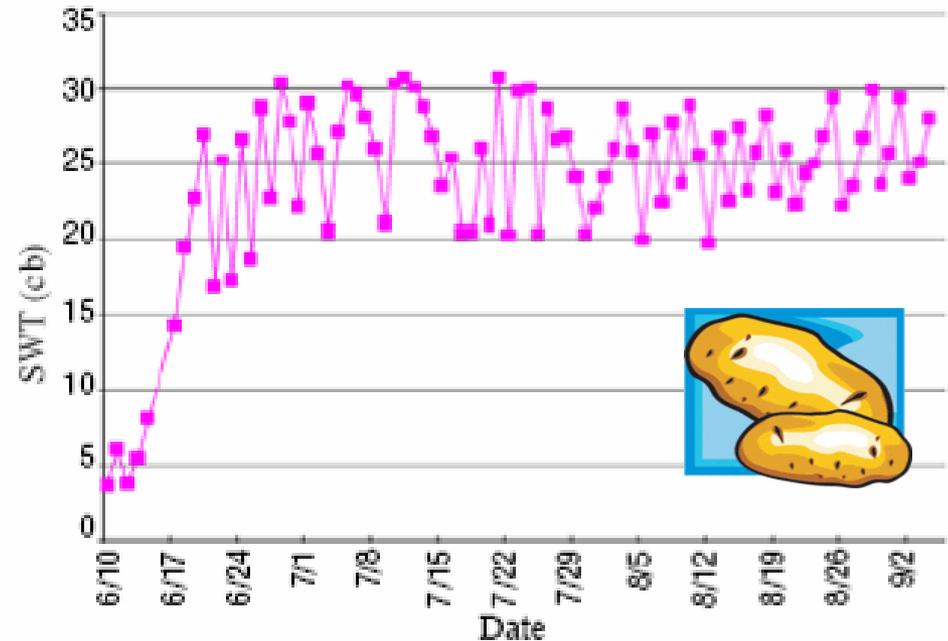


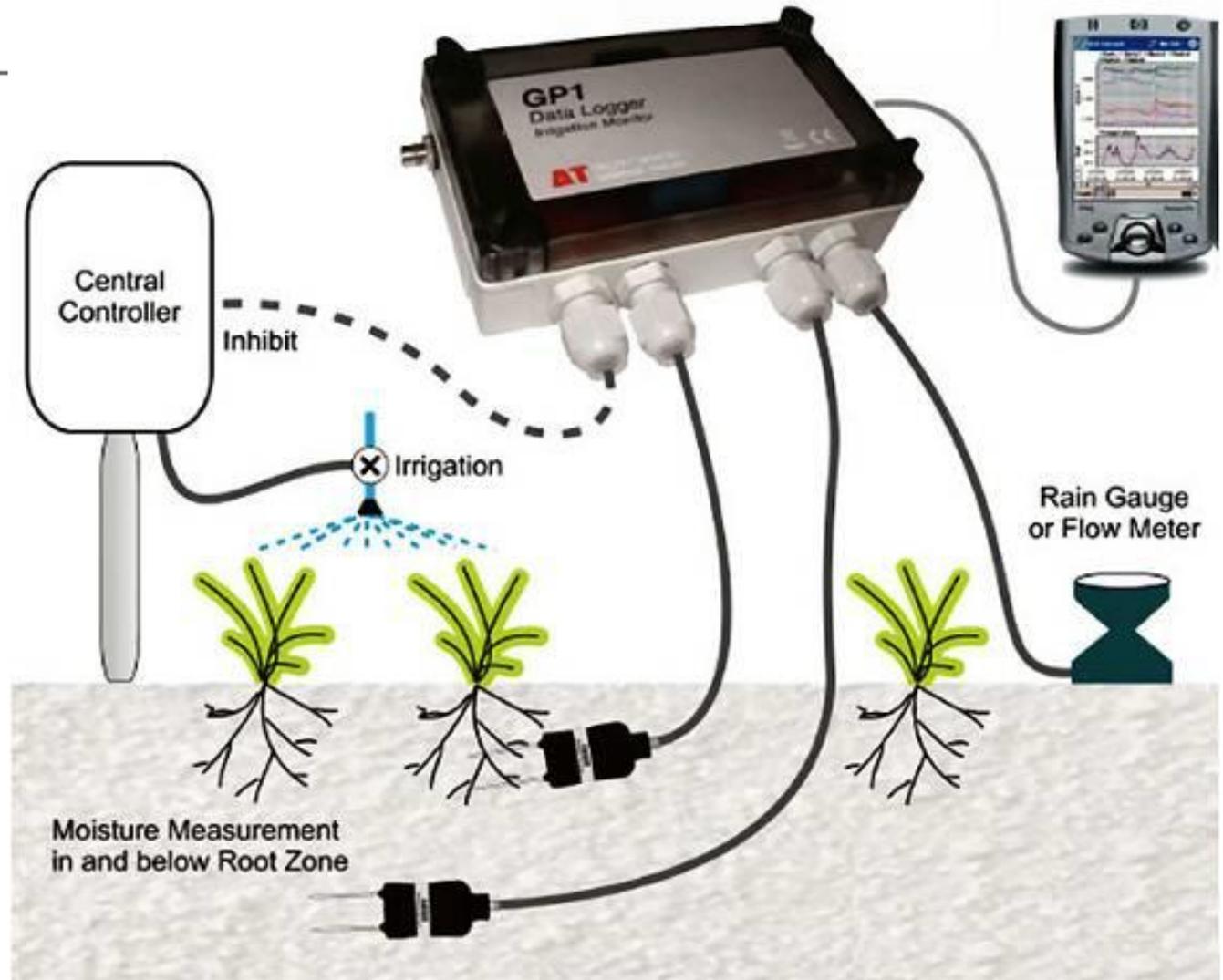
Figure 2. Drip-irrigated potato with small drops in soil water tension following irrigations on silt loam at Ontario, OR. Irrigations are much more frequent. They maintain an average SWT wetter than 30 cb and do not saturate the soil.

Limite minimo:

- Soil: 20-80 cbar (<100)
- Soilless: 2-8 cbar (<10)

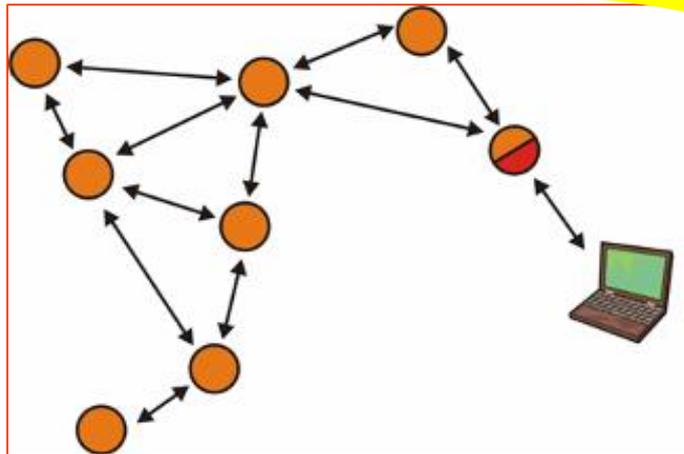
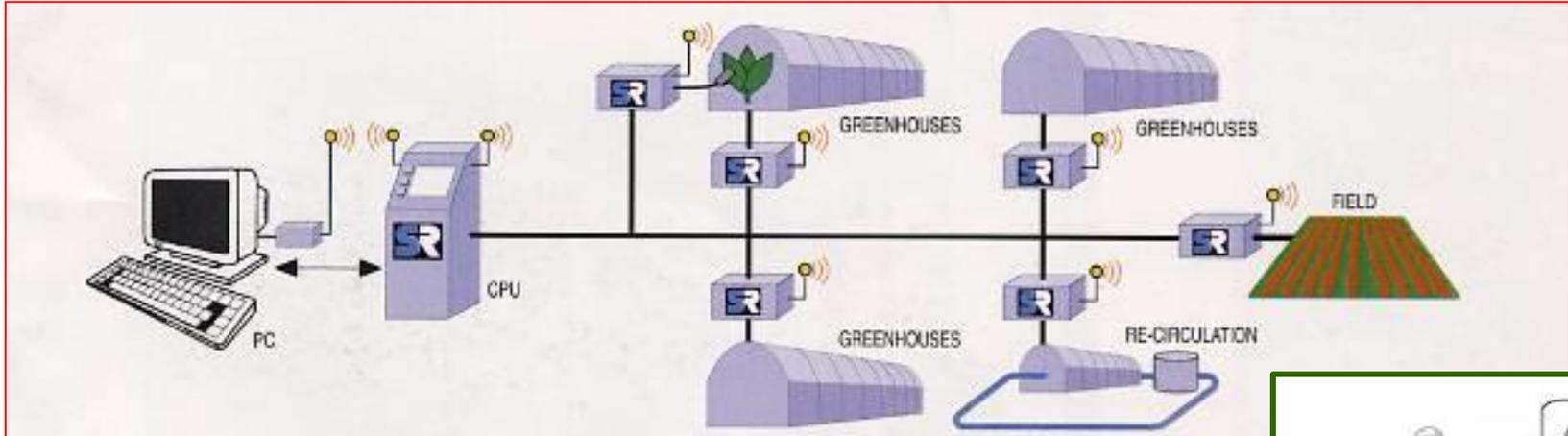
Irrigazione basata su sonde umidità suolo

Sistema con due sonde di umidità: quando la sonda vicina alle radici si asciuga, attiva l'irrigazione, quando quella sotto si bagna, l'irrigazione si ferma.



www.delta-t.co.uk/

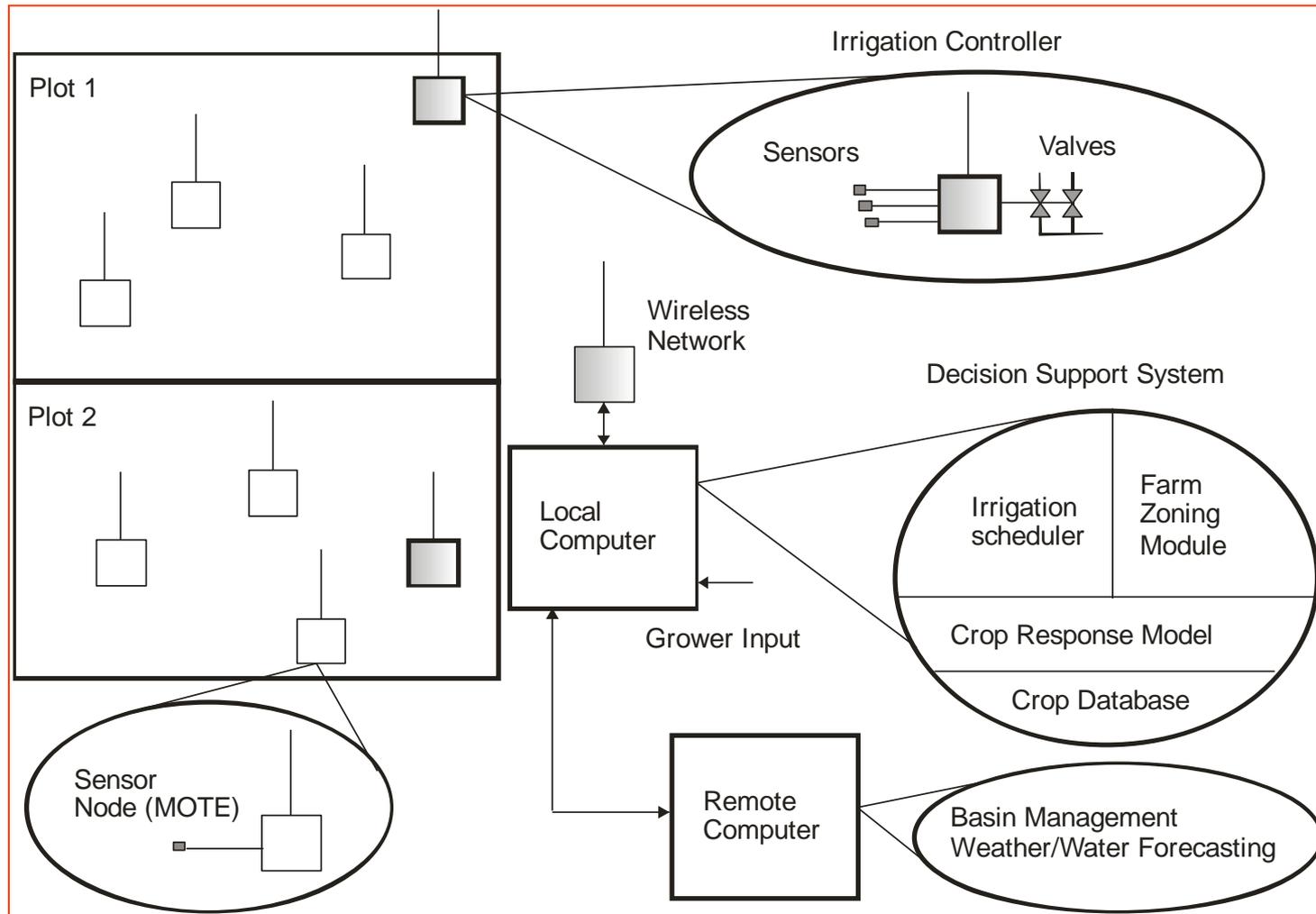
Gestione dell'irrigazione tramite sensori collegati in rete



<http://www.xbow.com/>

Sistemi di supporto decisionale (DSS)

FLOWAID: system layout





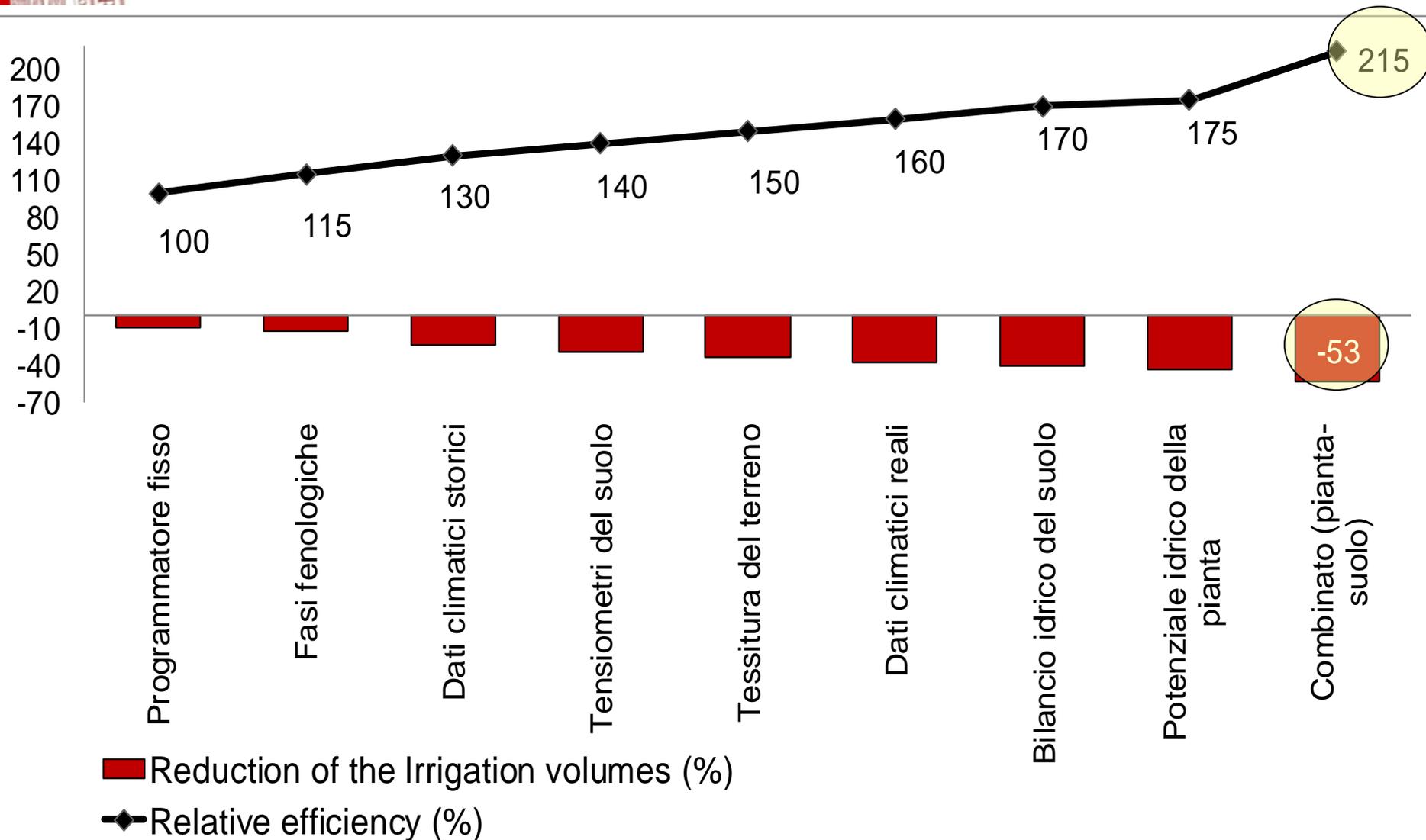
Sistemi di supporto decisionale (DSS)

Valori produttivi in **Pomodoro da industria** fertirrigato secondo le pratiche comuni nell'area o impiegando un Sistema DSS.
(valori medi di 61 aziende nell'area di Grosseto)

	Pratica comune	Fertirrigere [®]	Differenza
Irrigazione (mm)	308	190	-38%
Fertilizzazione azotata (kg/ha)	118	69	-42%
Resa (t/ha)	110	109	
Grado zuccherino (°Brix)	5.2	5.3	
PLV (€/ha)	4521	4493	
Costi di fertirrigazione (€/ha)	490	365	-26%

(C. Pennucci, A. Battilani)

Efficienza e programmazione



Irrigation scheduling technology

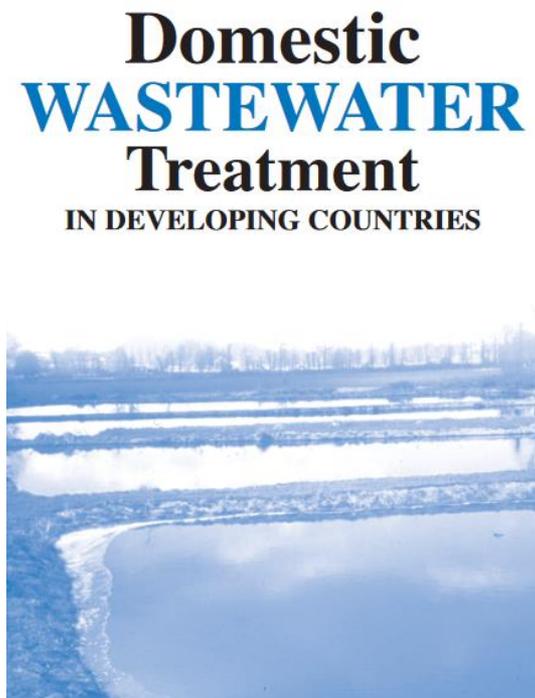
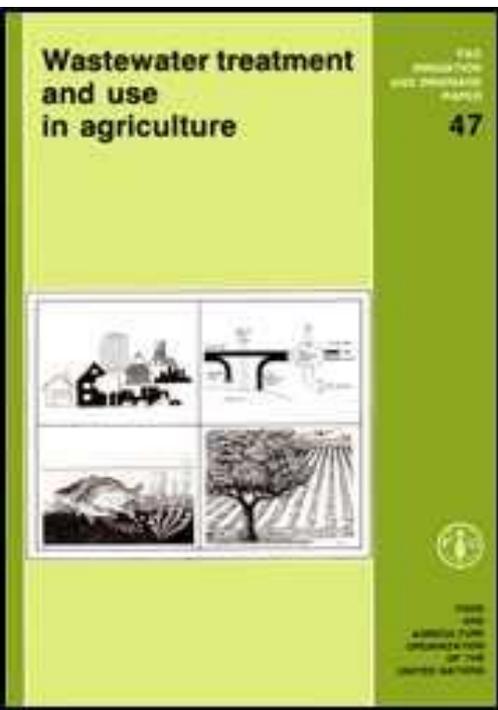


Fonti idriche alternative

Sistemi di depurazione acque di piccola scala



http://samples.sainsburysebooks.co.uk/9781136567926_sample_821304.pdf

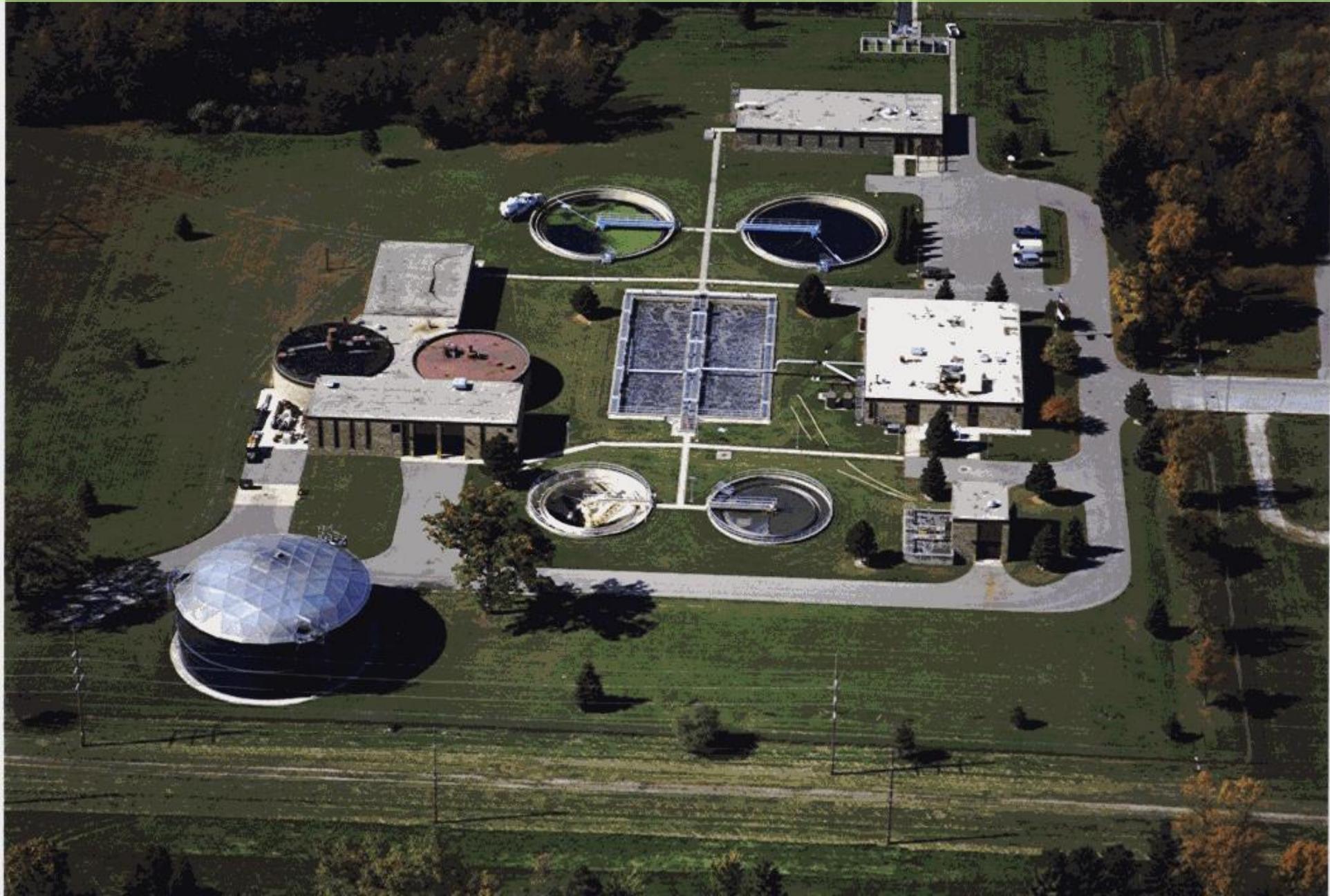


Tecniche largamente impiegate già da diversi anni nel sud del mondo, in realtà con scarso accesso a fonti idriche per l'irrigazione, anche con sistemi di piccola scala.

<http://www.fao.org/docrep/T0551E/T0551E00.htm>

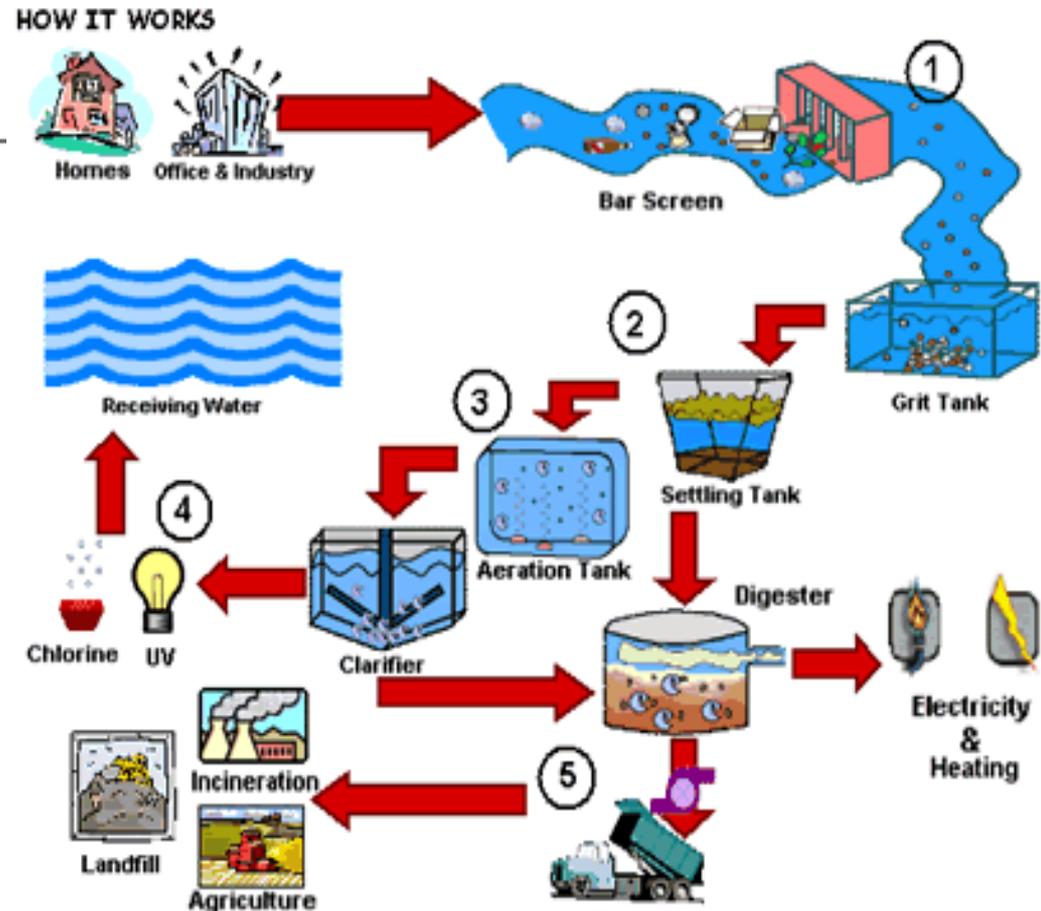
Wastewater treatment and use in agriculture - FAO irrigation and drainage paper 47

Impiego di acque regenerate per l'irrigazione



Trattamento delle acque

1. Trattamento preliminare (filtrazione meccanica)
2. Trattamento primario (Separazione fisica di solidi e materie grasse)
3. Trattamento secondario (trattamento biologico per la rimozione di materiale organico disciolto)
4. Trattamento finale (disinfezione con cloro e radiazione ultravioletta)
5. Processamento dei solidi (ossidazione microbica dei materiali organici prodotti nei passaggi 1 e 2)



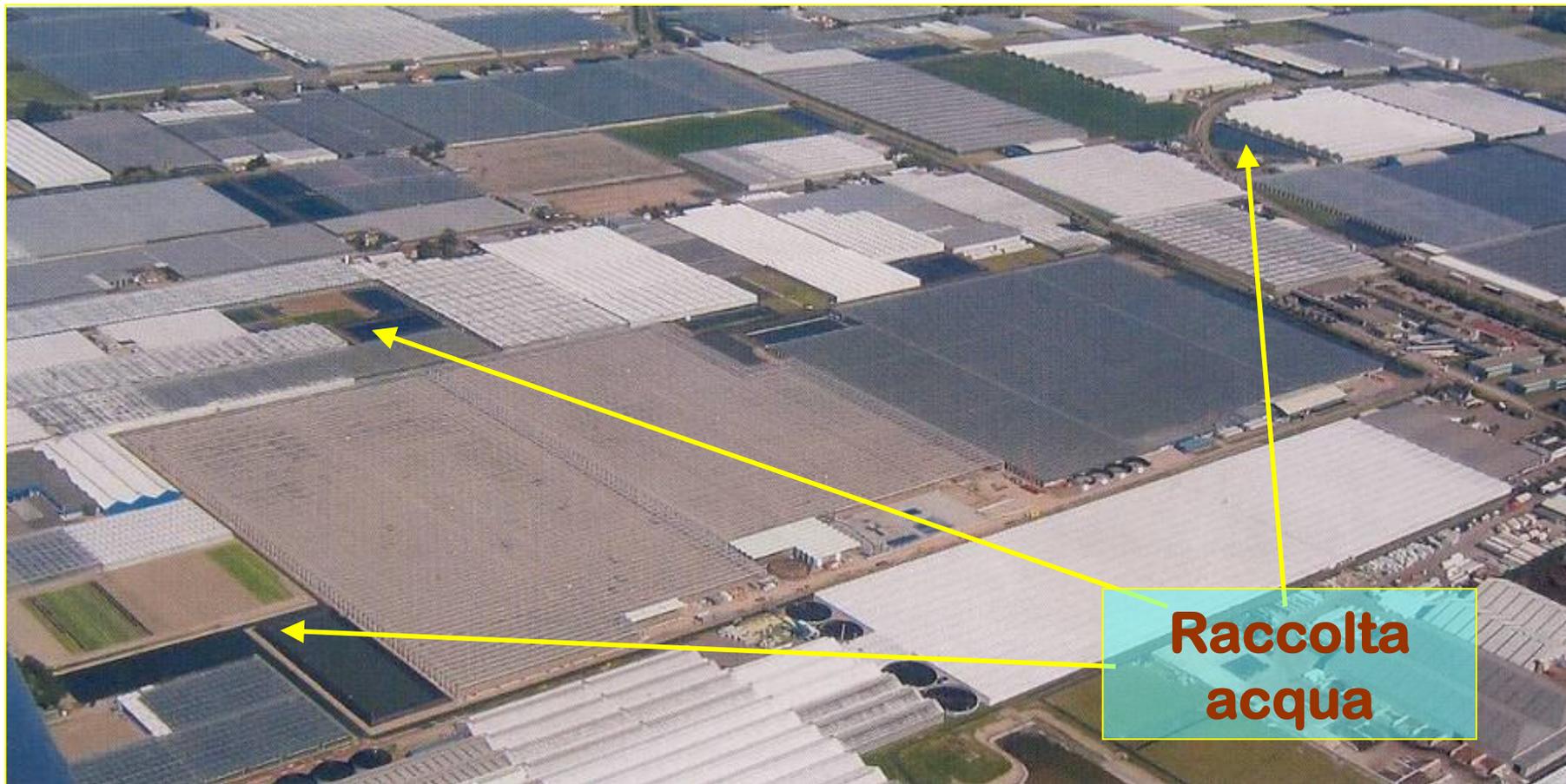
Area che potrebbe essere irrigata con il trattamento di acque prodotte da 10'000 abitanti

Acqua usata	Acqua rigenerata	Periodo	Tot. acqua rigenerata	Uso irriguo	Area irrigata
litri per persona al giorno		giorni	m ³	m ³ ha ⁻¹	Ha
200	150	365	548'000	10'000	55





Raccolta di acque meteoriche per l'irrigazione



Sicilia



Raccolta acqua piovana



Desalinizzatore acqua marina a Carboneras (Almeria, Spagna)



Costo dell'acqua = 0.8 €/m³



LIMITI AL RICICLO DELLE ACQUE

Requisiti

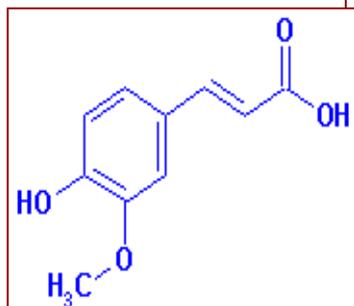
Capitale d'investimento

Gestione

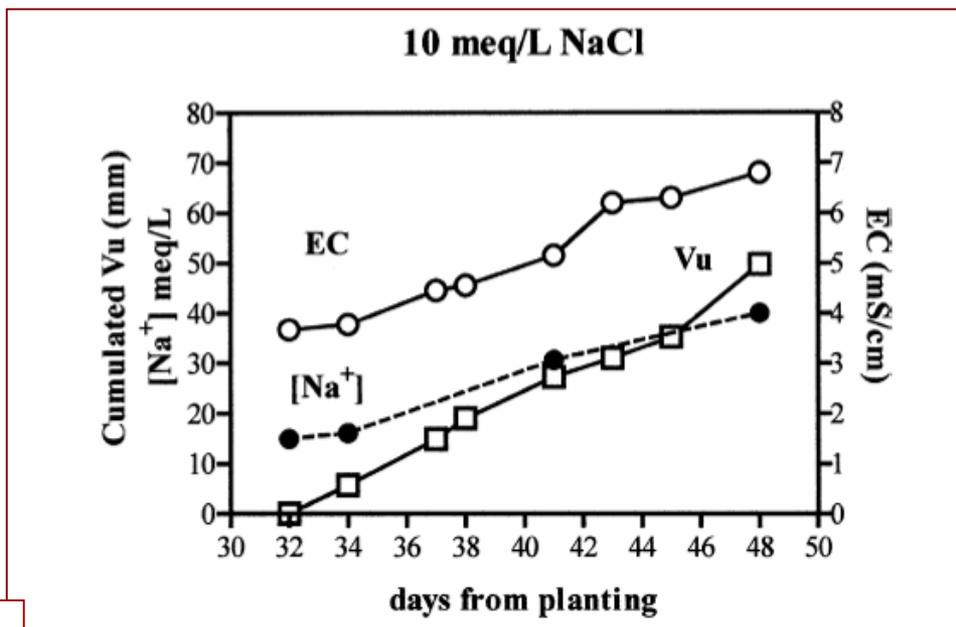
Conoscenze tecniche



Rischio di patologie



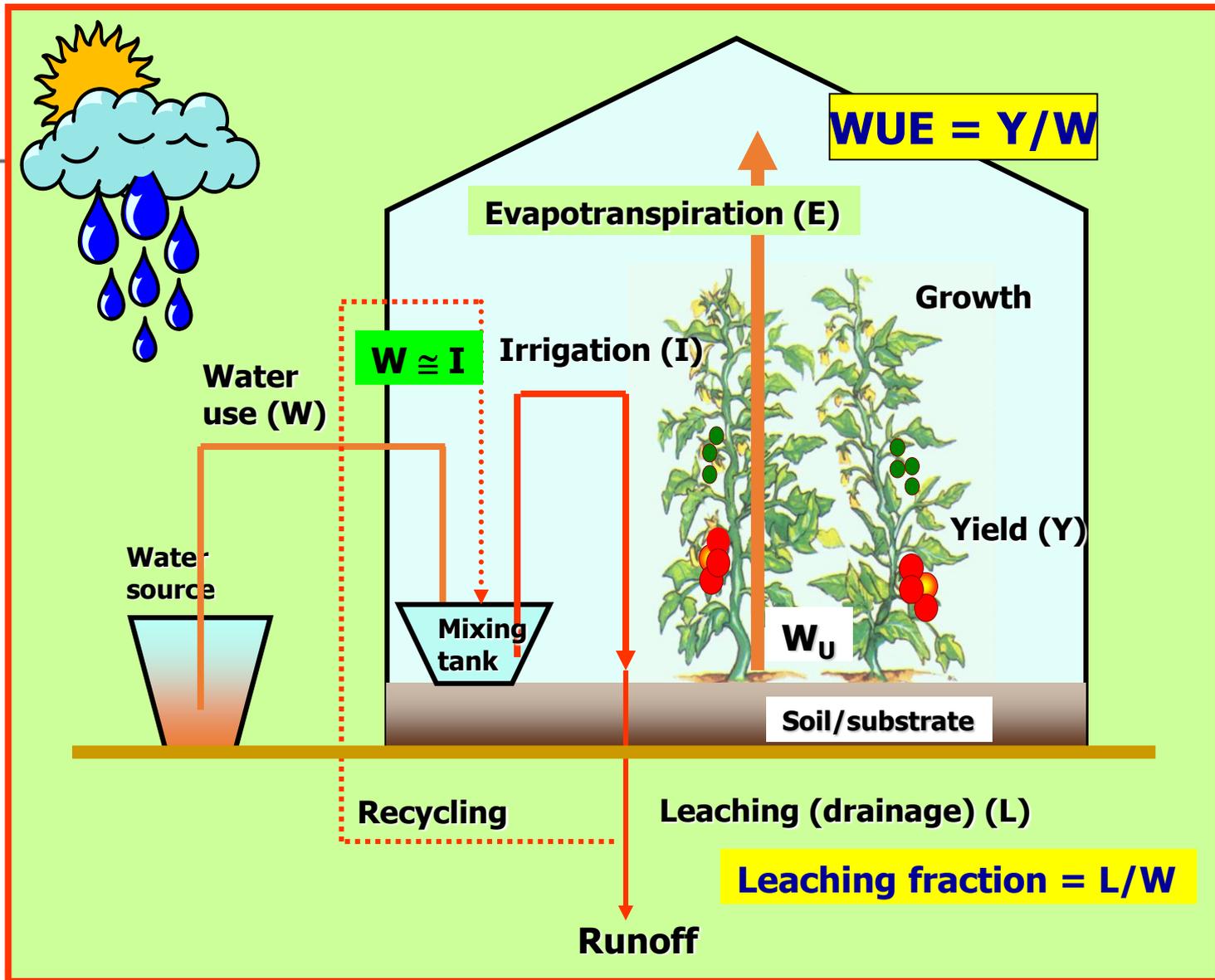
Aumento della salinità per accumulo di ioni non essenziali



Fitotossicità di alcuni elementi

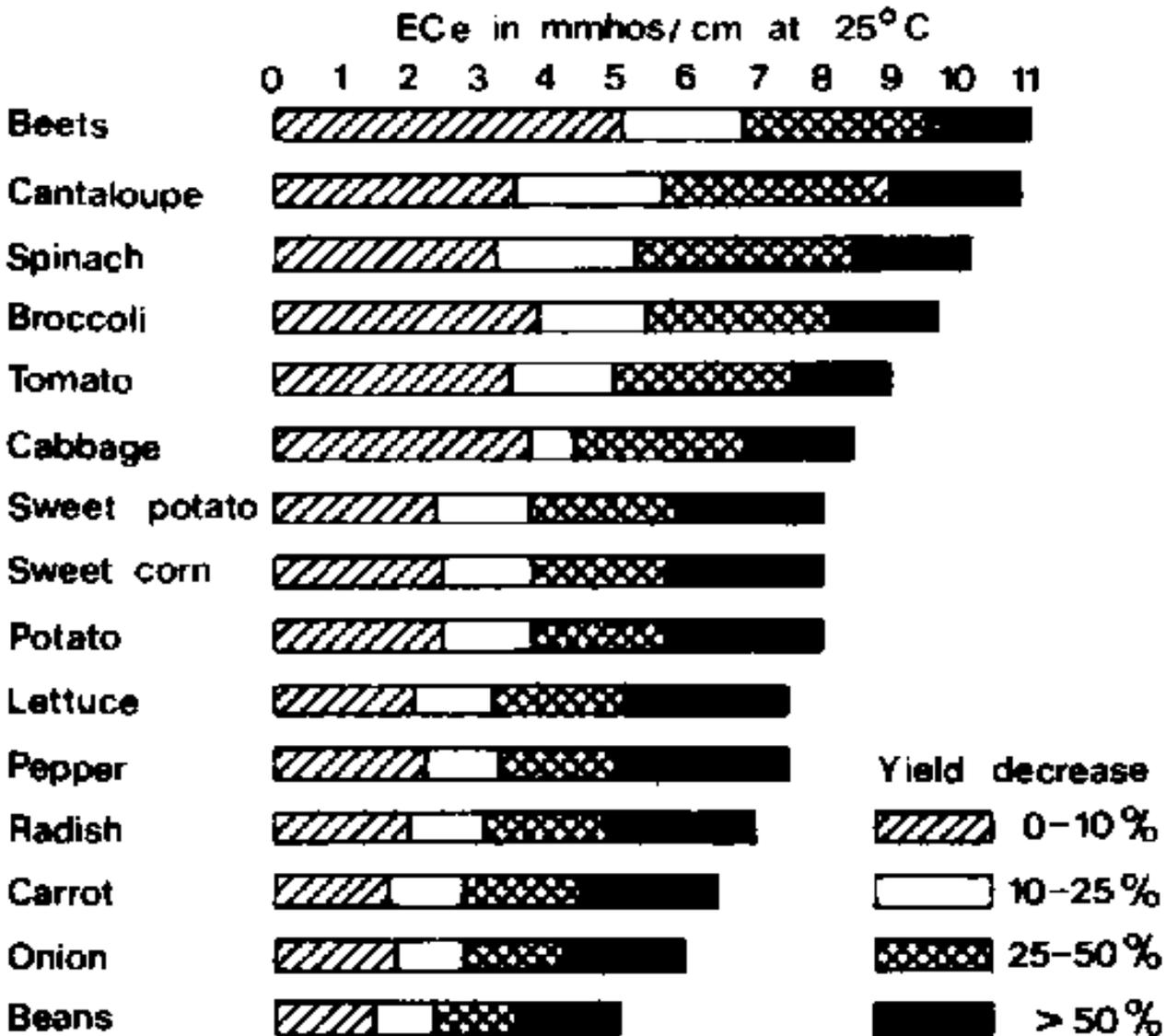


Coltivazione a ciclo chiuso





Tolleranza delle colture orticole a stress salino

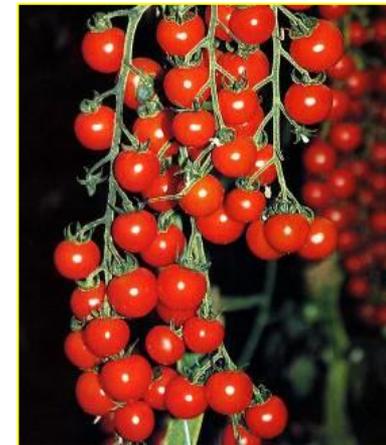




(Fragola)

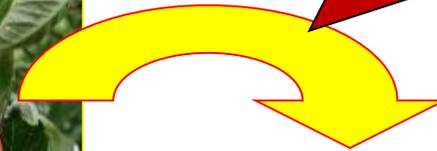


(Pomodoro a grappolo)



(Pomodoro ciliegino)

Aumento della tolleranza
alla salinità



Incrocci, L., Pardossi, A., Malorgio, F., Maggini, R., & Campiotti, C. A. (2003, July). Cascade cropping system for greenhouse soilless culture. In International Symposium on Managing Greenhouse Crops in Saline Environment 609 (pp. 297-300).



CONCLUSIONI

- L'aumento dell'Efficienza d'Uso dell'Acqua è fondamentale, al fine di limitare il consumo di risorse idriche in agricoltura.
- Esistono nuove possibilità per il controllo dell'irrigazione, frutto delle recenti innovazioni nei campi della sensoristica e delle tecnologie irrigue.
- Fonti idriche alternative devono essere ricercate ed impiegate.
- Sono necessari approcci interdisciplinari che riuniscano gli aspetti genetici, agronomici ed ingegneristici.