



Corso di formazione per la specializzazione di
Tecnici dell'orticoltura in serra sostenibile
Gela (CL) - 17 gennaio 2014

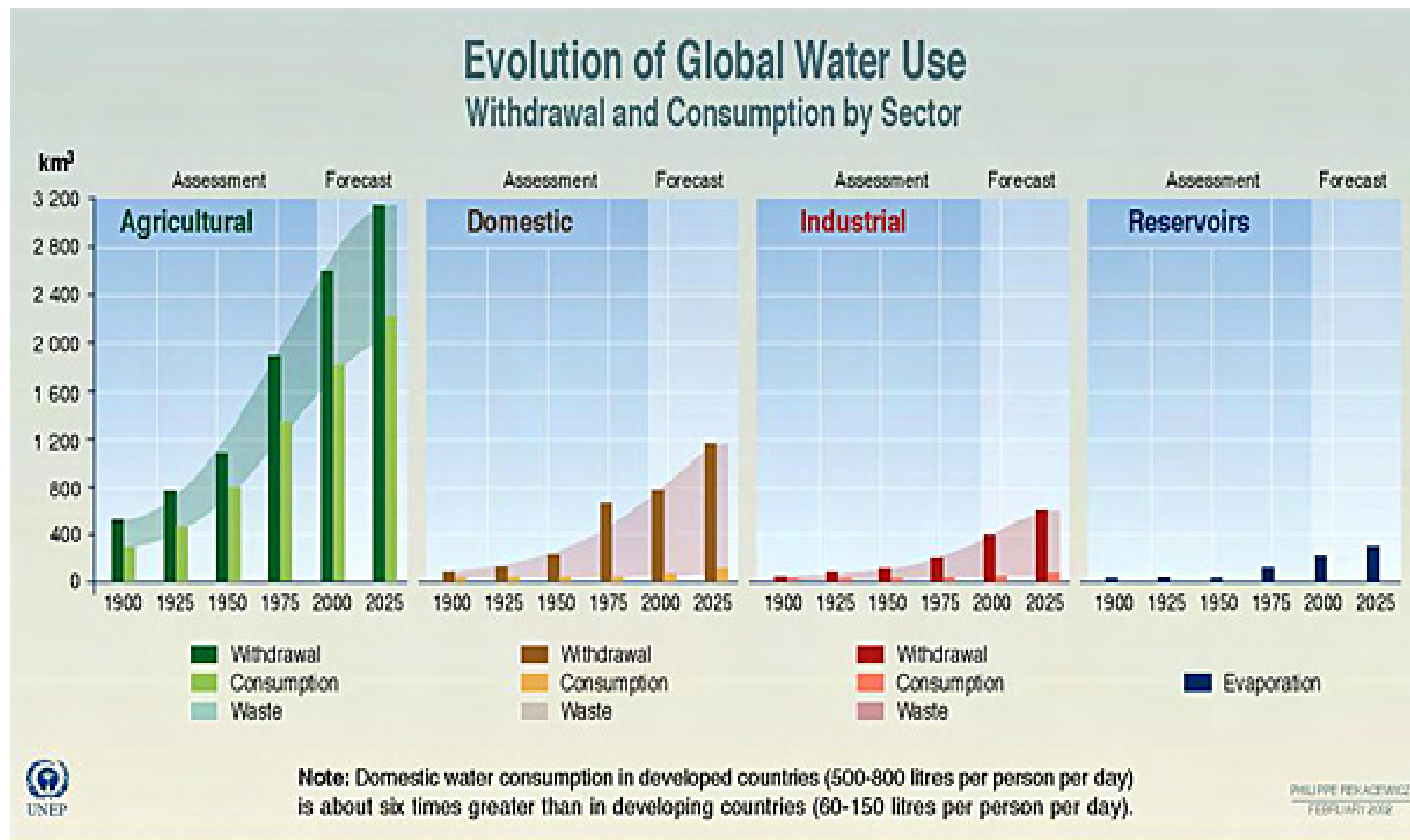
Le tecniche di irrigazione deficitaria

Prof. Giuseppe Luigi CIRELLI
Università di Catania



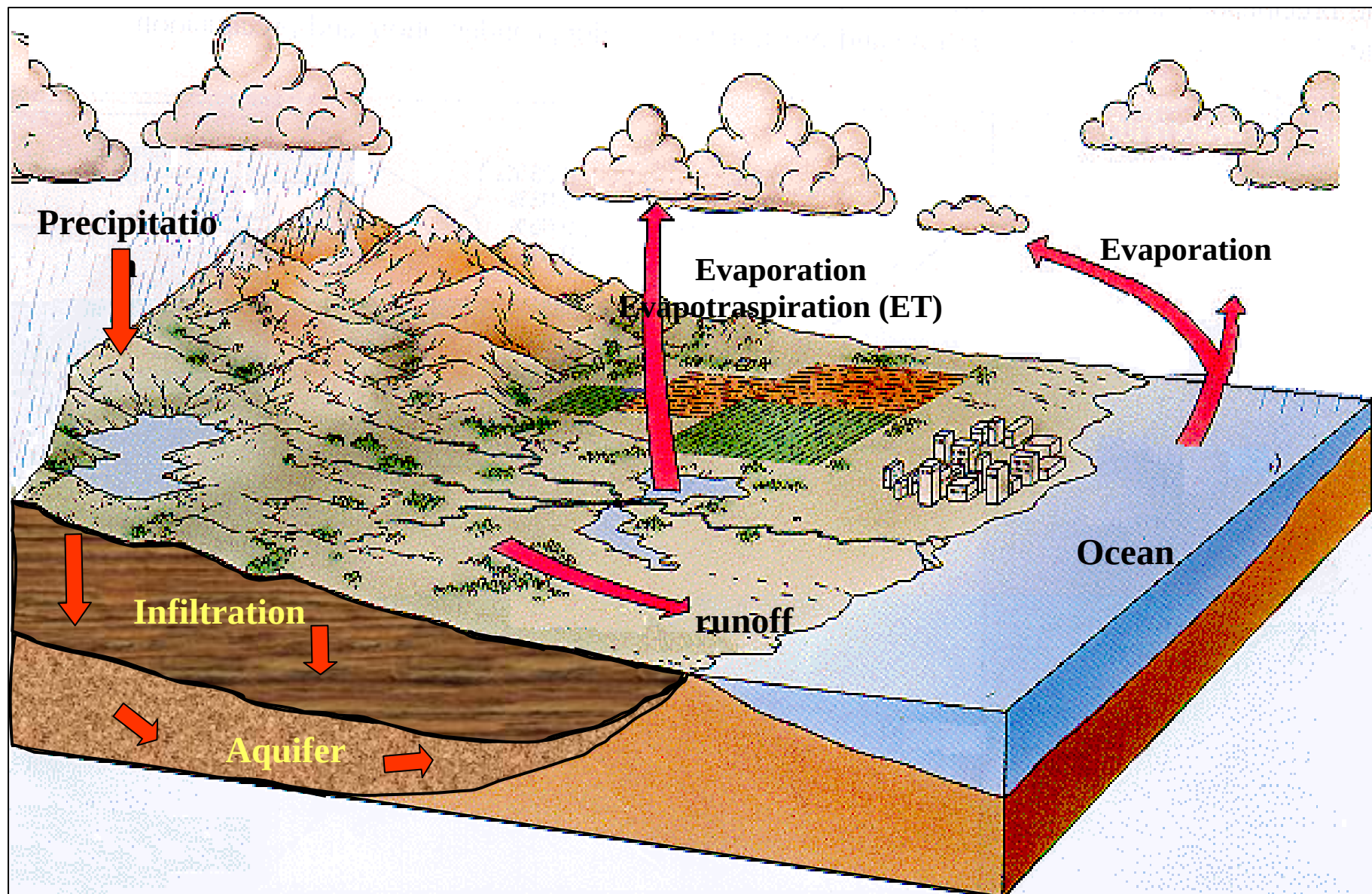
giuseppe.cirelli@unict.it

Uso delle Risorse Idriche

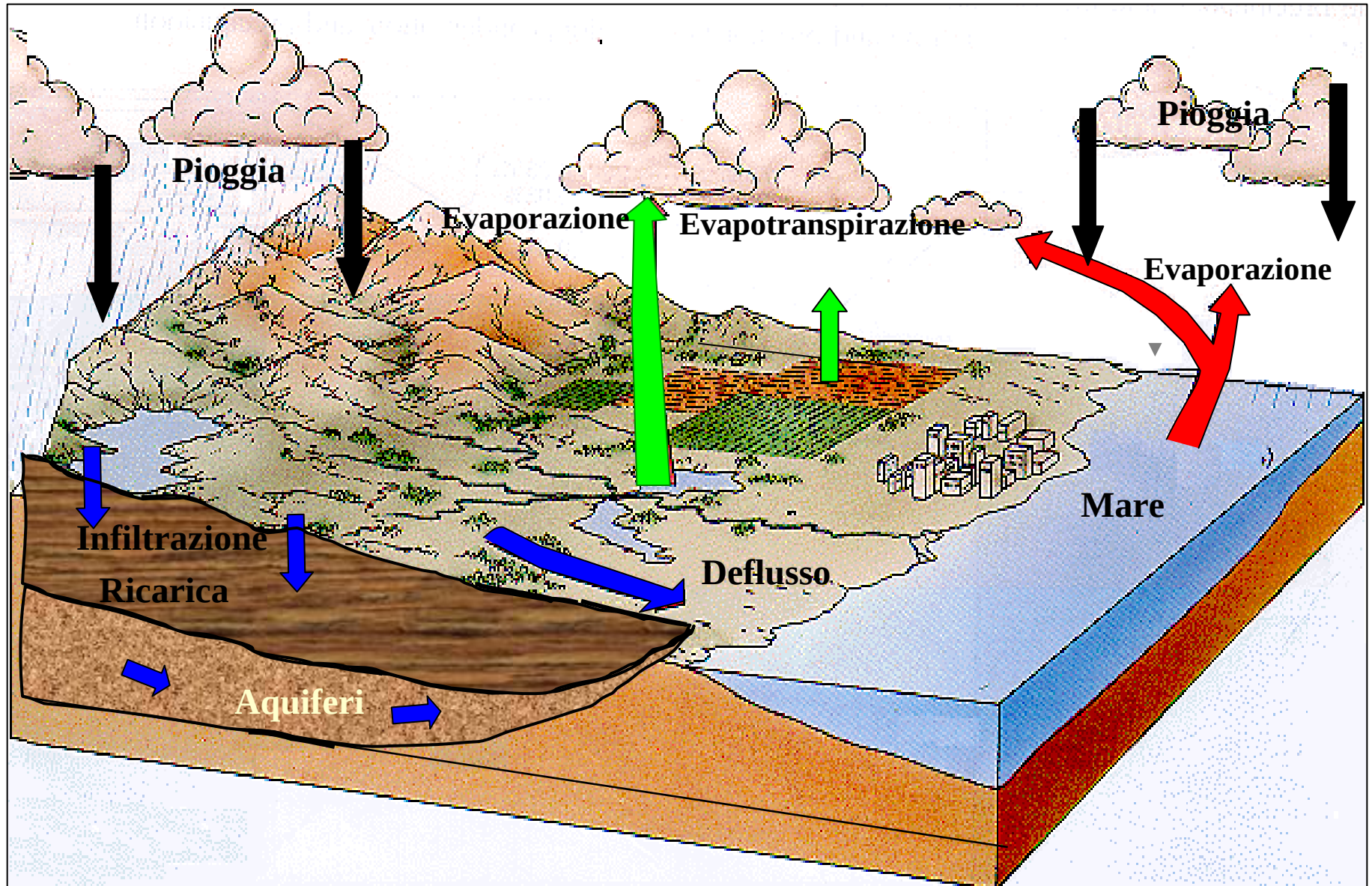


Source: Igor A. Shiklomanov, State Hydrological Institute (SHI, St. Petersburg) and United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation (UNESCO, Paris), 1999.

Ciclo idrologico



Blue water (~35%) / green water (~65%)

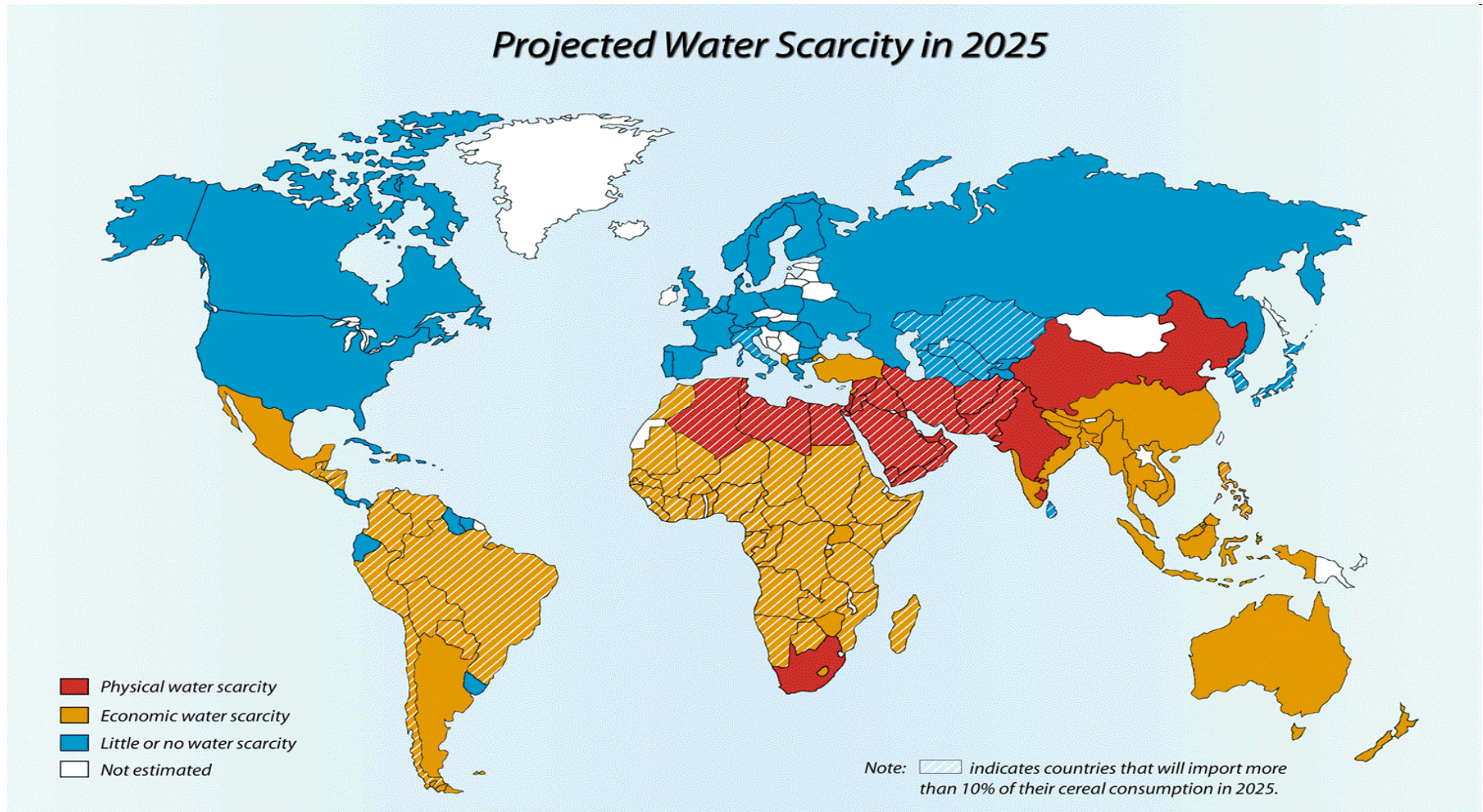


Blue water / green water

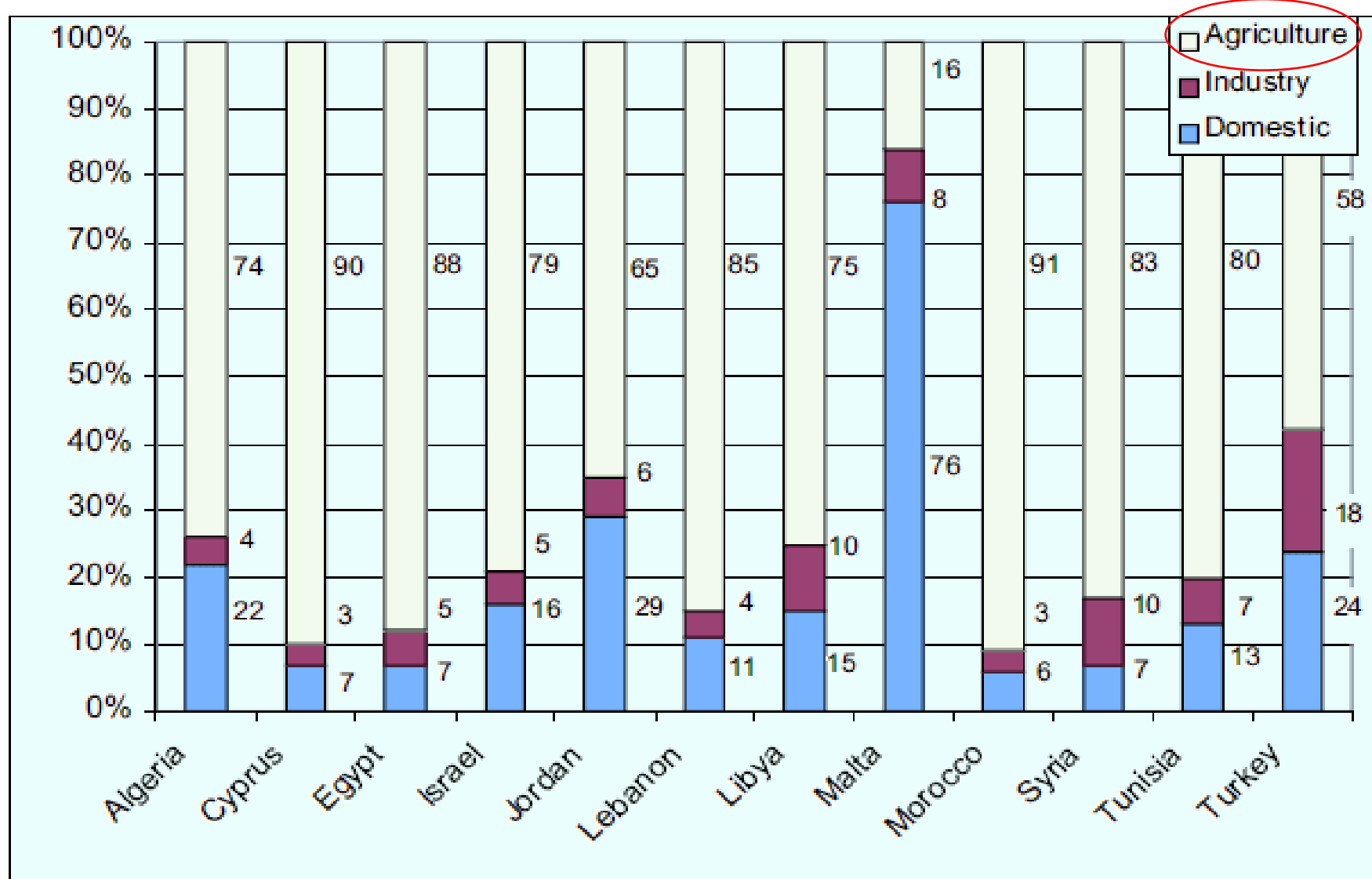
Blue water risorse idriche rinnovabili
(corsi d'acqua, laghi, acque sotterranee)

Green water acqua immagazzinata
nel suolo restituita nell'atmosfera per
effetto delle ET o che viene incorporata"
nella biomassa (vegetale o animale)

Risorse Idriche: Previsioni future



Consumi idrici per i vari usi in alcuni Paesi del Mediterraneo



Volume idrico utilizzato in Italia

- Il volume idrico complessivamente utilizzato in Italia è pari a circa
 - 42 miliardi di m³/anno



ACQUA e Alimentazione

ACQUA da MANGIARE



- Circa $\frac{2}{3}$ della produzione agro-alimentare mondiale proviene dall' **agricoltura irrigua** che investe **meno di $\frac{1}{3}$** dell'intera superficie agricola del nostro Pianeta

ACQUA VIRTUALE / VIRTUAL WATER

Acqua Virtuale si definisce il quantitativo d'acqua necessario alla produzione, trasformazione e commercializzazione di alimenti e beni di consumo

Il primo ad introdurre questo concetto è stato nel 1993 [John Anthony Allan](#) che per questo ha ricevuto nel 2008 lo *Stockholm Water Prize*

Allan nei suoi studi ad esempio dimostrò che per una tazza di caffè sono necessari 140 litri di acqua utilizzati per la coltivazione e il trasporto del caffè. Da qui l'idea che l'importazione e l'esportazione di beni comportasse di fatto anche lo scambio di acqua necessaria per la loro produzione.

Successivamente [Arjen Hoekstra](#) direttore del *Water Footprint Network* ha introdotto, sul modello dell'[impronta ecologica](#) il concetto di **Water Footprint** (Impronta d'acqua) con cui calcolare il contenuto d'acqua di un prodotto

Acqua necessaria per la produzione e trasformazione degli alimenti
(quantitativo complessivamente utilizzato nel processo produttivo e di trasformazione)

Prodotto	Litri di acqua per Kg
Grano tenero	1.150
Riso	2.656
Mais	450
Patata	160
Soia	2.300
Manzo	15.977
Maiale	5.906
Pollame	2.828
Uova	4.657
Latte	865
Formaggio	5.288

VIRTUAL WATER

- **Virtual water:** the water amount that is need for the production, processing and trading of foods and other consumable goods.



How much water I have eaten at breakfast?

1 coffee, 2 bread slices , 2 small spoons of sugar, 1 orange juice, 1 yoghurt

www.hera.it

Source: Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y. (2004), «Water footprints of nations» Value of Water Research Report Series No. 16 UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands; Aldaya, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2008), «The water footprint of Italian pasta and pizza margherita» Twente Water Centre, University of Twente, Enschede, the Netherlands



1 coffee = 140 litres
2 bread slices = 80 litres
1 orange juice (200 ml) = 170 litres
2 sugar small spoons (about 10 g) = 15 litres
1 yoghurt (125 ml) = 200 litres

TOTAL 605 litres !!!!!

Risparmio idrico

- Per risparmiare acqua in agricoltura non esiste un'unica soluzione, ma un insieme di strategie che, se integrate tra loro, permettono, nel complesso, il conseguimento di buoni risultati.
- Le numerose strategie di risparmio idrico nell'azienda agricola, ad esempio, possono orientativamente rientrare in quattro grandi categorie:
 - scelta di sistemi colturali e di tecniche agronomiche appropriati;
 - scelta della tempistica e del volume di irrigazione;
 - scelta della tipologia e del corretto uso degli impianti d'irrigazione;
 - recupero e riuso delle acque.
- La gestione dell'irrigazione, in condizioni di insufficiente disponibilità di risorse, implica l'adozione di interventi che mirano:
 - alla riduzione delle richieste idriche colturali;
 - al risparmio idrico;
 - al contemporaneo aumento della produzione colturale e del ricavo, per unità di volume utilizzato, ecc..



Applicazione di regimi irrigui di tipo deficitario

Irrigazione Deficitaria

La “Deficit Irrigation - DI” è una strategia di ottimizzazione mediante la quale alle colture è inflitto di proposito un certo grado di carenza idrica e quindi di riduzione produttiva (English, 1990).

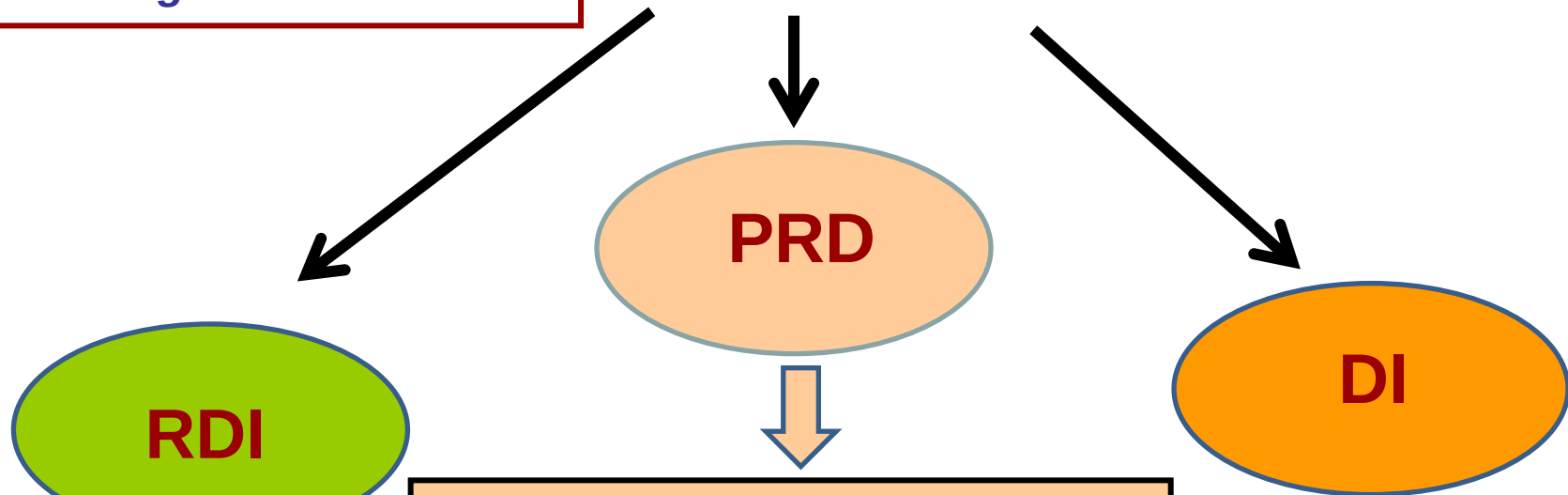
Con il termine di ***Deficit Irrigation (DI)*** vengono indicate quelle tecniche il cui obiettivo è la massimizzazione del reddito netto, accettando, nel contempo, diminuzioni di produzione rispetto a quella corrispondente alla piena irrigazione (***full irrigation***).

Attraverso l'analisi degli scambi di massa e di energia, nel sistema suolo-pianta-atmosfera, vengono determinati gli effettivi fabbisogni irrigui, grazie anche all'adozione di tecniche irrigue a microportata di erogazione, che determinano notevoli risparmi dei volumi idrici somministrati, senza compromettere significativamente la quantità/qualità dei prodotti agricoli.

Il concetto di Deficit Irrigation è nato negli anni '70, ma le ricerche hanno avuto inizio negli anni '80; tutt'oggi la tecnica risulta essere poco applicata.

*Le diverse tecniche
dell' Irrigazione Deficitaria*

Deficit Irrigation



PARTIAL ROOT DRYING

Tecnica di irrigazione che prevede la somministrazione dei volumi idrici soltanto ad una parte dell'apparato radicale in maniera alternata

REGULATED DEFICIT IRRIGATION

Tecnica di irrigazione che prevede la riduzione dei volumi idrici somministrati solamente in determinate fasi del ciclo colturale

DEFICIT IRRIGATION

Tecnica di irrigazione che prevede l'applicazione di un'aliquota costante di riduzione dei volumi idrici somministrati nel corso del periodo di crescita

Concetti fondamentali sull'Irrigazione Deficitaria

- ❑ La DI viene **confusa** con la RDI e con la PRD:
 - Se si applica la tecnica **DI** bisogna definire **“quanto sottoirrigare”**;
 - Se si applica la tecnica **RDI** bisogna definire **“quando somministrare il deficit”**;
 - Se si applica la tecnica **PRD** bisogna definire **“come somministrare il deficit”**.

- ❑ L'utilizzo di tali tecniche prevede **un'irrigazione di “precisione”** (ad esempio, l'adozione di metodi irrigui ad alta efficienza, la conoscenza dell'ET, della curva rese-volumi idrici, della curva dei costi e del prezzo di vendita della produzione, ecc.).

- ❑ Occorrono, quindi, competenze di tipo agronomico, economico, ingegneristico (multidisciplinarietà).

Regulated Deficit Irrigation (RDI)

Il *deficit idrico* è imposto alla coltura durante le fasi fenologiche che risentono minimamente dello stress indotto, con l'obiettivo di avere cali di produzione poco significativi.

A tal fine, necessita la **conoscenza delle fasi fenologiche più sensibili allo stress idrico** della coltura in questione. In generale, le fasi in cui una coltura risulta essere più sensibile allo stress idrico sono:

- ❑ il trapianto
- ❑ la semina
- ❑ le prime fasi di sviluppo
- ❑ la fecondazione

Nella maggior parte delle **colture arboree la fase sensibile si protrae fino all'allegagione e allo sviluppo dei frutti**. In tali specie, lo stress idrico controllato può essere utilizzato per ottenere l'equilibrio ottimale tra lo sviluppo vegetativo della chioma e quello delle radici, la crescita dei frutti e la differenziazione a fiore delle gemme.

Per contro, **è difficile individuare le fasi particolarmente resistenti allo stress nelle piante da biomassa, per le quali è importante che la crescita fogliare sia continua**.

Per l'individuazione delle fasi critiche specifiche di ogni coltura, è possibile consultare pubblicazioni specializzate basate sui risultati della ricerca nel settore.

La tecnica RDI è applicabile soprattutto a colture per le quali sono importanti la produzione di sostanza secca, gli aspetti qualitativi dei frutti in termini di dimensione, di colore, di composizione, ecc.

Si consiglia il monitoraggio dell'acqua del suolo

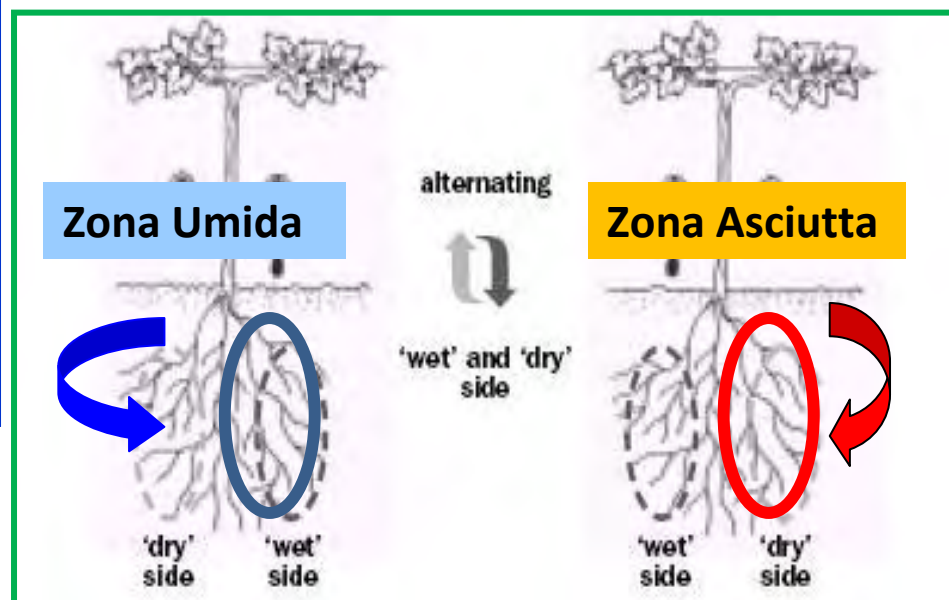
Partial Root-zone Drying (PRD)

Utilizzando tale tecnica, il *deficit idrico* è imposto alla coltura somministrando i volumi idrici soltanto ad una parte dell'apparato radicale in maniera alternata, in modo da creare una zona umida (*wet*), contrapposta ad una zona asciutta (*dry*).

Caratteristiche della tecnica PRD:

- ❑ applicabile congiuntamente a tecniche irrigue a microportata;
- ❑ riduzione dell'apertura stomatica con minori perdite di acqua;
- ❑ consente il controllo dello sviluppo vegetativo della pianta;
- ❑ effetti positivi sulla qualità del prodotto;
- ❑ perdite di produzione poco significative;
- ❑ notevoli risparmi idrici;
- ❑ rende necessario il monitoraggio del suolo.

Per mantenere delle risposte ormonali (**ac. abscissico**) costanti nella pianta è necessario alternare le zone *wet* e *dry*.



Analisi economica dell'irrigazione deficitaria

Numerosi studiosi, attraverso l'applicazione delle tecniche di irrigazione deficitaria, hanno valutato la reale possibilità di ottenere consistenti risparmi di acqua, senza avere perdite significative di produzione.

English e Raja (1996), ad esempio, hanno mostrato la possibilità di:

1. Aumentare l'efficienza dell'uso dell'acqua (WUE), attraverso l'adozione di tecniche RDI e di PRD;
2. Monitorare le grandezze fisiologiche della vegetazione o gli indicatori di stress idrico, utilizzati per la programmazione irrigua;
3. Ridurre i costi di irrigazione;
4. Massimizzare i benefici economici.

Punto 1: Massimizzazione della WUE utilizzando RDI e PRD

L'applicazione di tecniche di Deficit Irrigation consente di incrementare ***l'efficienza dell'uso dell'acqua (WUE)***, eliminando “l'irrigazione meno produttiva”.

$$WUE = \frac{MTY}{ETa}$$

dove:

MTY è la produzione totale vendibile (t/ha)

ETa è l'evapotraspirazione effettiva (mm)

Punto 2: Monitorare le grandezze fisiologiche della vegetazione o gli indicatori di stress idrico utilizzati per la programmazione irrigua

Lo **stress idrico** è una delle cause principali della riduzione:

- ✗ dei processi fotosintetici;
- ✗ dello sviluppo e della produzione delle piante.

L'utilizzo di alcuni parametri che indicano lo stato della vegetazione:

- ☐ Il contenuto idrico dei tessuti (peso fresco e secco);
- ☐ La cavitazione dello xilema (analisi ultrasuoni);
- ☐ La temperatura fogliare (Infrared Thermometers, IRT);
- ☐ I flussi energetici;
- ☐ La conduttanza stomatica (misura la resistenza stomatica con LICOR o CIRAS);
- ☐ Le fluttuazioni del diametro del tronco (MDS – Maximum Daily Shrinkage);
- ☐ La crescita radicale;
- ☐ Il coefficiente colturale (Kc)

**può contribuire significativamente alla gestione del processo irriguo
in condizioni di deficit.**

Punto 2: Monitorare le grandezze fisiologiche della vegetazione o gli indicatori di stress idrico utilizzati per la programmazione irrigua

Un altro indice utilizzato per quantificare lo stato di stress colturale è ***l'Indice dello Stress Idrico delle Colture (CWSI)***, che rappresenta un semplice strumento per la gestione dell'irrigazione.

$$CWSI = \frac{(T_c - T_a) - (T_c - T_a)_{lower}}{(T_c - T_a)_{upper} - (T_c - T_a)_{lower}}$$

dove:

T_c è la temperatura della vegetazione (°C);

T_a è la temperatura dell'aria (°C);

$(T_c - T_a)_{upper}$ rappresenta la condizione di riduzione (o assenza) della traspirazione;

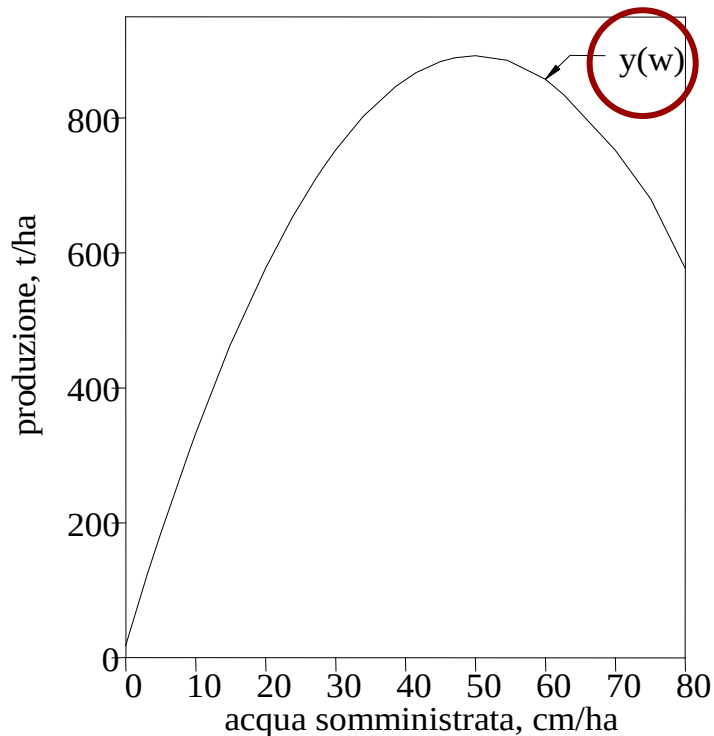
$(T_c - T_a)_{lower}$ rappresenta il rifornimento idrico ottimale.

I valori di CWSI vanno da zero a uno, rispettivamente assenza e massimo valore di stress idrico.

Punti 3 e 4 : Riduzione dei costi di irrigazione e Massimizzazione dei benefici economici

Si riferisce ad un'ottimizzazione di tipo economico e non agronomico, quindi non è importante ottenere la massima produzione, ma il **massimo reddito netto**.

***Curva di produzione rappresentabile
attraverso una funzione quadratica***



$$y(w) = a_1 + b_1 w + c_1 w^2$$

dove:

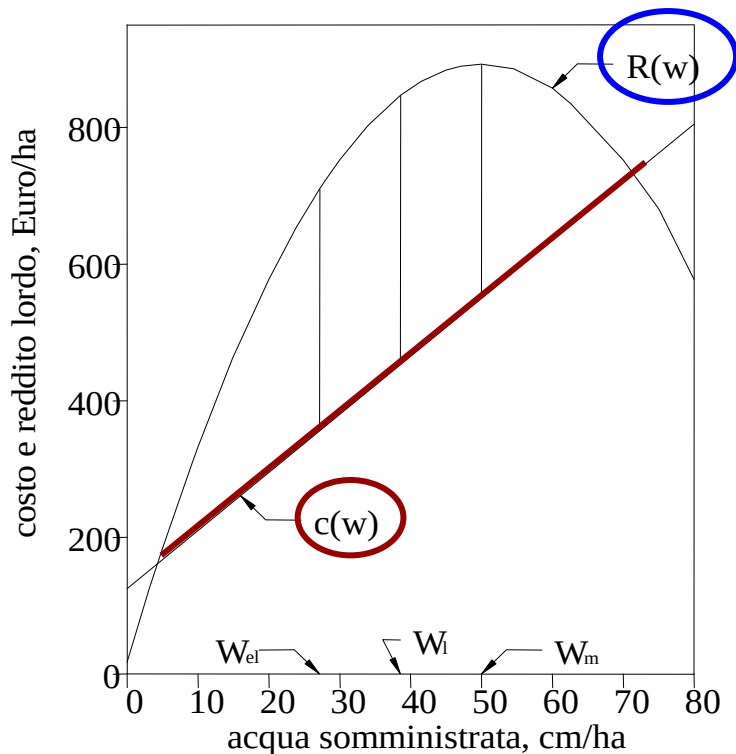
$y(w)$ = produzione unitaria (ton/ha)

w = acqua somministrata (mm)

Il legame tra le altezze idriche somministrate e la produzione colturale è generalmente espresso da equazioni di tipo quadratico.

Punti 3 e 4 : Riduzione dei costi di irrigazione e Massimizzazione dei benefici economici.

Funzione del reddito lordo $R(w)$



Il **ricavo lordo per ettaro $R(w)$** (€/ha), legato all'adozione di tecniche di DI, è esprimibile da:

$$R(w) = P_c \cdot y(w)$$

dove:

$y(w)$ = produzione (ton/ha)

P_c = è il prezzo di vendita del prodotto (€/ton)

Funzione di costo rettilinea $c(w)$

$$c(w) = a_2 + b_2 w$$

Espressioni di tipo lineare descrivono bene il legame tra costi totali di produzione c (€/ha) e le altezze idriche somministrate (w , mm)

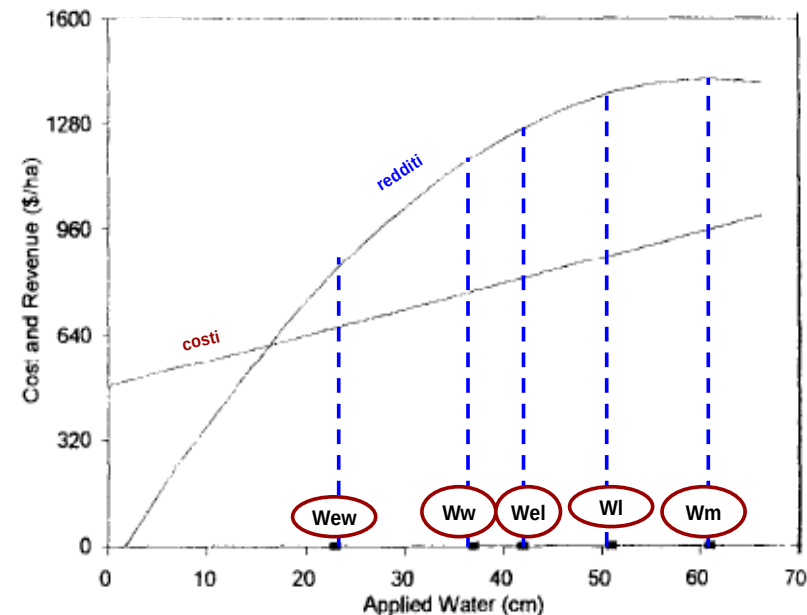
Livelli idrici ottimali

Al diminuire della quantità di acqua da somministrare si ha un incremento del reddito netto:

- ❑ se l'acqua risparmiata, somministrando minori volumi idrici, viene usata per irrigare superfici supplementari, il reddito complessivo dell'agricoltore può aumentare.

Il reddito netto prodotto nelle ulteriori superfici irrigate rappresenta il
“Costo opportunità dell'acqua”

Poiché i livelli idrici ottimali sono inferiori rispetto a quelli che assicurano la massima produzione, l'impianto irriguo può essere dimensionato per una minore “capacità” e, quindi, sarà meno costoso.



Rischi nella Deficit Irrigation

Persiste una diffidenza nel proporre l'irrigazione deficitaria ove è possibile, dovuta, oltre che ai rischi di tipo fisiologico, anche ad incertezze relative a:

- ❑ mancanza di precisione nella stima di ET_c ;
- ❑ mancanza di informazioni sulla **curva rese-volumi**;
- ❑ mancanza di sicurezza sulla **possibilità di irrigare** nei tempi e con i volumi necessari;
- ❑ imprecisioni nella stima del **prezzo** del prodotto e dei **costi di produzione**.

Per cui, diventa necessaria la conoscenza dei fabbisogni idrici della coltura interessata, dei periodi critici, della risposta al deficit, nonché dei risvolti economici connessi alla diminuzione di produzione. Inoltre, per ridurre i rischi è indispensabile che la programmazione dell'irrigazione sia stabilita utilizzando modelli di simulazione e prove sperimentali effettuate per più anni.

I risultati della ricerca sperimentale sono sempre più numerosi e dettagliati; sono stati realizzati enormi progressi nel campo dei modelli di crescita delle colture e dei modelli idrologici.

Aspetti agro-ambientali dell'irrigazione deficitaria

- ❑ L'applicazione di tecniche di irrigazione deficitaria è stata provata in alcune **ortive** e in alcune specie di **alberi da frutta**, ottenendo risultati soddisfacenti da un punto di vista sia agronomico che economico.
- ❑ Per alcune specie vegetali, l'irrigazione deficitaria non si può praticare; ad esempio, per la **patata**, il deficit idrico può causare importanti modifiche della forma del tubero, causando un deprezzamento della produzione.
- ❑ Per contro, l'applicazione di un certo livello di stress idrico in alcune colture e in certe fasi fenologiche può migliorare la qualità delle produzioni; ad esempio, può aumentare il livello di proteine nel **grano**, la lunghezza delle fibre nel **cotone**, la % di zucchero nella **barbabietola**, la qualità del **vino**, ecc.).

Author	Year	Region	Method	Crop	Main effects
English and Raja	1996	NW USA, California, Zimbabwe	maximization of economic benefit	wheat, cotton, maize	optimal net return for 15-59% of deficit
Imitiyaz et al.	2000	Botswana		broccoli, carrot, rape, cabbage	optimal net return for 20% of deficit
Sepaskhah and Gharaman	2004	Iran		barely, sorghum, maize	optimal net return for 0.6 of irrigation efficiency
Romero et al.	2006	Spain		almond orchard	45% of water saved using RDI with a maximum production reduction of 17%
Fabeiro Cortés et al.	2003	Spain	CDI	garlic	negative effects at the bulbification and ripening stages
Fabeiro et al.	2003	Spain	CDI	beet	no effects on total production and industrial quality index
Kirda et al.	2004	Turkey	PRD	greenhouse tomato	10-27% additional marketable yield over DI
Dorji et al.	2005	New Zealand	PRD	pepper	significant water savings
Wakrim et al.	2005	Morocco	PRD+RDI	bean	decrease in leaf water potential, shoot and pod biomass
Girona et al.	2005	Spain	RDI	peach	no effects of RDI on fruit production
Tuan et al.	2006	Japan	RDI	potato	increase of biomass, plant height and shoot water content; decrease of specific leaf weight
Liu et al.	2006	Denmark	PRD	potato	increase of biomass allocation to root; decrease of leaf area; 37% water saved
Spree et al.	2006	Thailand	RDI+PRD	mango	development of post-harvest fruits quality
Webber et al.	2006	Uzbekistan	DI	been, green gram	WUE increase for green gram
Zhang et al.	2006	China	RDI	spring wheat	increase of yield, biomass, harvest index and WUE
Bekele and Tilahun	2007	Ethiopia	RDI	onion	6-13% increase of WUE
Karam et al.	2005	Lebanon	K _c -based irrigation scheduling	rye grass, soybean	K _c fluctuation negatively affected leaf area, biomass, dry matter accumulation

Suleiman et al.	2007	USA	K _c -based irrigation scheduling	cotton	information on K _c values were useful in effective irrigation planning
De Souza et al.	2003	Portugal	Stomatal aperture and carbon uptake under PRD and DI	grapewine	decrease of stomatal conductance under PRD
Xue et al.	2003	USA	Physiological features under DI	winter wheat	high shoot dry weight on DI
Ortuño et al.	2004	Spain	Trunk diameter changes+SAP flow	lemon trees	increase of MDS-maximum trunk diameter shrinkage
Xue et al.	2006	USA	Physiological features under DI	winter wheat	increase of wheat yield and WUE under jointing and anthesis
Bañon et al.	2006	Spain	DI+low air humidity	oleander	reduction of mortality rate under DI; positive changes in stomatal regulation and osmotic adjustment
Intrigliolo and Castel	2006	Spain	Stress indicators (MDS, TDV, Ψ_m , LAI, etc...)	Plum	good response of the indicators to follows plant stress under DI
Velez et al.	2007	Spain	MDS	citrus trees	good feedback using MDS to schedule DI
Shangguan et al.	2002	China	optimal water allocation model	wheat, corn, oilseed	water saving, increase of irrigation efficiency, reduction of water shortages
Reca et al.	2001	Spain			
Lorite et al.	2004-2007	Spain		winter cereal, sunflower, garlic, cotton	best strategy in terms of net income corresponds to 40% of water deficit

Esperienze sull'Irrigazione in condizione di stress controllato (RDI)

Per l'individuazione delle fasi critiche specifiche di ogni coltura è possibile **consultare pubblicazioni specializzate** basate sui risultati della ricerca

- Per il **pesco**, deficit del 20-25% di ET_c, dalla raccolta al decadimento delle foglie, hanno permesso di ottenere, negli anni successivi, incrementi delle rese e del peso medio dei frutti, migliore fioritura e riduzione del legno di potatura;
- Per il **mandorlo**, imponendo il deficit nello stadio di riempimento del guscio, sono state trovate riduzioni di produzione di circa il 20% con risparmi idrici di circa il 60%;
- **Nell'aglio e nel melone** i risultati della RDI non sono stati buoni, né in termini quantitativi né qualitativi;

Esperienze sulla tecnica PRD (Partial Root Drying)

- ❑ Le principali esperienze hanno riguardato la **vite da vino** in Australia e in Portogallo; la tecnica PRD ha permesso di **controllare il vigore vegetativo**, senza ridurre significativamente la produzione e la dimensione degli acini. Inoltre, è stata riscontrata una migliore **qualità del vino** (a causa del maggiore contenuto dei precursori della profumazione e dei fenoli totali, responsabili delle proprietà terapeutiche del vino). Il meccanismo fisiologico sembra riconducibile all'emissione di **“segnali chimici”** (ad es. acido abscissico) da parte delle radici lasciate a secco, che, inviati nei germogli, provocherebbero la parziale chiusura degli stomi, minori consumi idrici e minore sviluppo vegetativo (McCarthy, 1997; De Souza et al., 2005 e 2007).
- ❑ Altre ricerche sono state condotte su **peperoncino piccante** (da essiccare) in serra in Nuova Zelanda, dove è stato dimostrato che il deficit idrico **riduce la sostanza fresca ma non quella secca** (Dorji et al., 2005);
- ❑ Su **pomodoro da mensa** in serra, in Turchia, sono state evidenziate **riduzioni di produzione del 27% circa a fronte di un risparmio idrico del 50%**; la qualità era migliore nella PRD per il maggiore contenuto di zuccheri e di acidi organici che influenzano il sapore.

Caso studio:
Un approccio agro-economico di Irrigazione
Deficitaria su agrumi



Obiettivi della ricerca

- ❑ fornire indicazioni sulla gestione sostenibile delle risorse idriche nelle aziende a prevalente vocazione agrumicola della Piana di Catania;
- ❑ migliorare l'efficienza dell'utilizzo delle risorse idriche per le colture agrumicole, attraverso l'applicazione di tecniche irrigue innovative;
- ❑ monitorare, attraverso l'utilizzo di adeguate strumentazioni, lo stato idrico del suolo e delle piante.

in particolare la ricerca prevede:

- ❑ la sperimentazione di tecniche innovative per la valutazione degli effettivi fabbisogni irrigui;
- ❑ la valutazione degli effetti dell'applicazione di tecniche di irrigazione deficitaria sui parametri della produzione, sugli aspetti qualitativi e sullo sviluppo vegetativo di colture agrumicole presso l'area di studio prescelta.

Ubicazione dell'impianto sperimentale

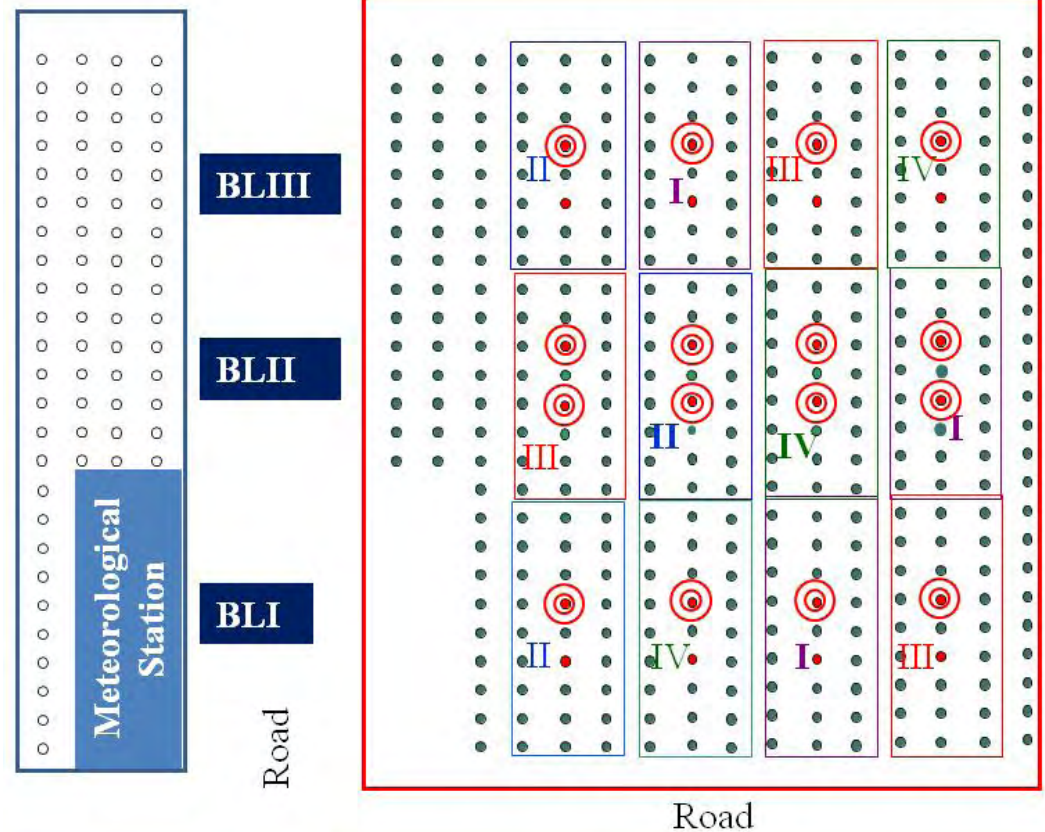
- ❑ Le attività sperimentali sono condotte presso l'azienda sperimentale "Palazzelli" (37°20'14.56"N – 14°53'35.37"E), situata nel territorio di Lentini (Sr) e gestita dal Centro di Ricerca per l'Agrumicoltura e le Colture Mediterranee di Acireale (CRA-ACM).



Caratteristiche dell'area in studio

Approvvigionamento e gestione delle risorse idriche per l'agricoltura

Experimental Farm 'Palazzelli'
CRA - ACM



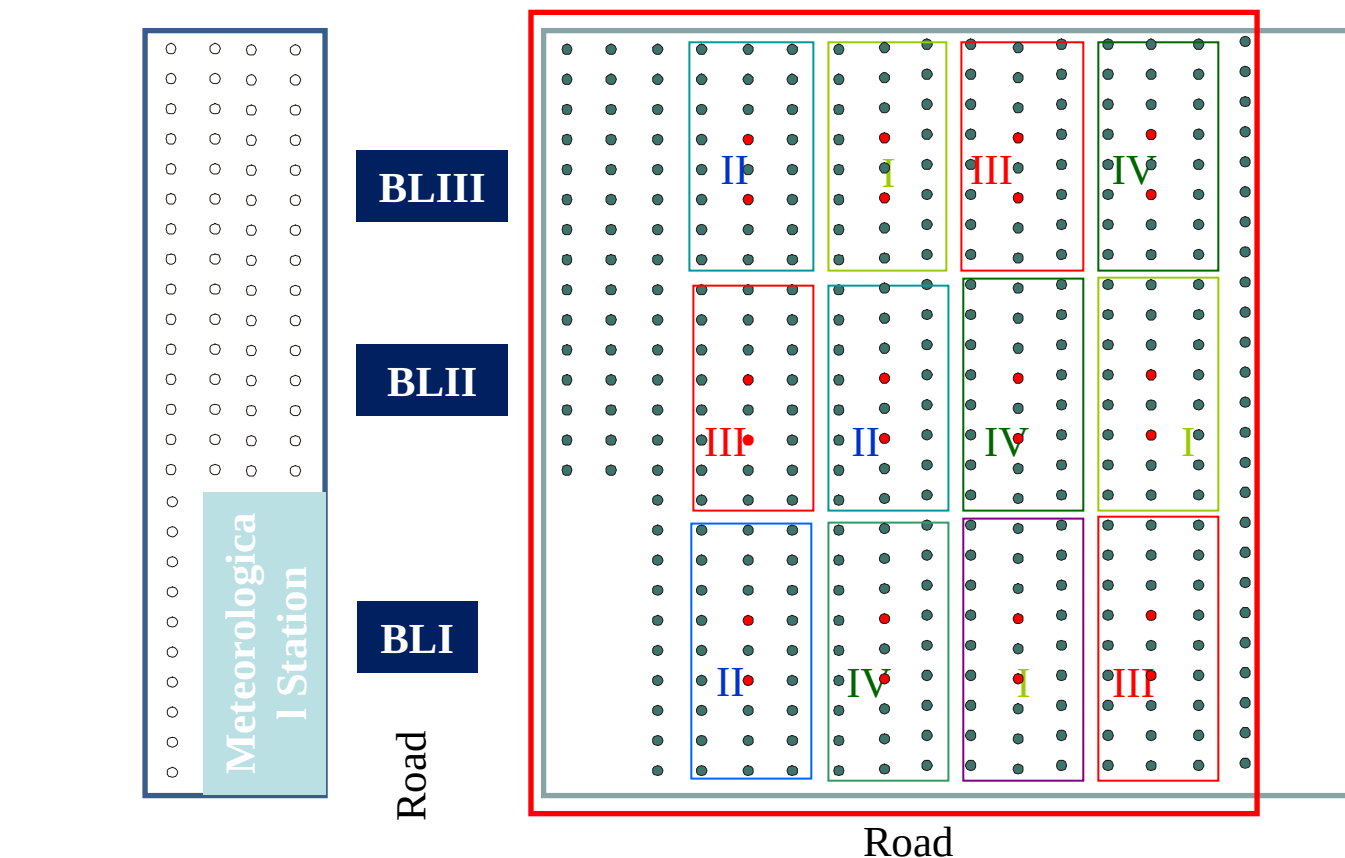
I: Surface Drip Irrigation (100% ET_0)

II: Sub Surface Drip Irrigation (75% ET_0)

III: Regulated Deficit Irrigation (100-50% ET_0)

IV: Partial Root Drying (50% Et_0)

- experimental area of 0.7 ha
- 5-years old Nucellar sweet orange Tarocco Sciara C1882 grafted on Carrizo citrange
- 300 trees at a planting distance of m 6 x 4
- randomized block design (3 replicates)
- 24-27 plants for each replicated block
- 12 index trees



- I: Surface Drip Irrigation - SDI ($100\%ET_c$)
- II: Sub surface Drip Irrigation - SSDI ($75\%ET_c$)
- III: Regulated Deficit Irrigation - RDI ($50\div 100\%ET_c$)
- IV: Partial Root Drying – PRD ($50\%ET_c$)

Irrigation Rate

- Noti i valori di ET_0 , l'evapotraspirazione massima colturale ET_c è determinata come:

$$ET_c = ET_0 \times K_c$$

in cui il valore del coefficiente colturale K_c è stato posto pari a 0,45.

- Noti i valori di ET_c si procede alla determinazione della **dose irrigua (IR)**, tenendo conto di opportuni fattori di localizzazione e di coefficienti correttivi relativi alle prestazioni del sistema di distribuzione (efficienza della somministrazione ed uniformità di erogazione in campo).
- In particolare, la Irrigation Requirement (mm/tempo) è determinata come segue:

$$IR = ET_c \times K_1 \times K_2 \times K_3$$

- essendo K_1 un fattore di “localizzazione irrigua”:

$$K_1 = \frac{P_c}{100} + 0.5 \left(1 - \frac{P_c}{100} \right)$$

dove

$$P_c = 100 \times \frac{\text{sup chioma}}{\text{sup pianta}}$$

- il coefficiente K_2 tiene conto dell'efficienza di adacquamento;
- il coefficiente K_3 tiene conto dell'uniformità di erogazione.

$$IR = ET_c \times K_{corr}$$

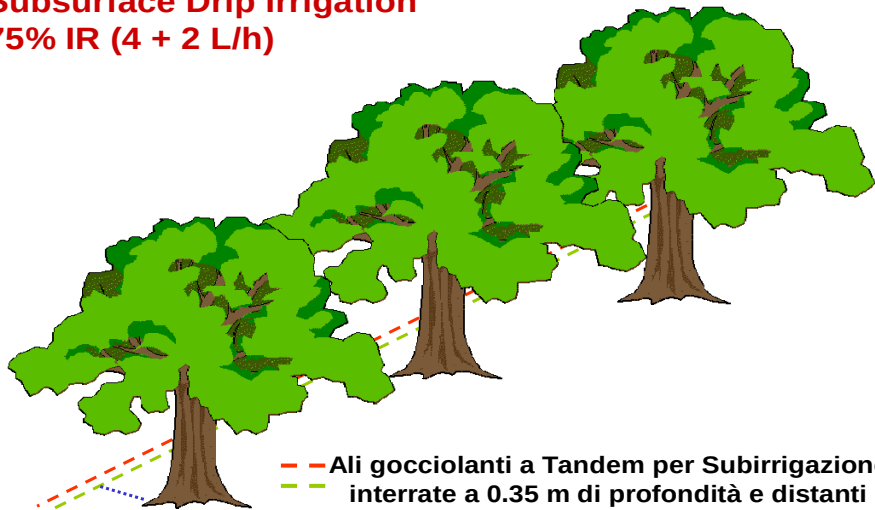
Caratteristiche del sistema SSDI (75 % IR)

La realizzazione delle differenti tesi ha reso necessario provvedere all'accoppiamento di differenti erogatori del tipo a goccia.

Sub Surface Drip Irrigation

Sono state interrate ad una profondità di 0,35 m due ali gocciolanti accoppiate; in ciascuna di queste i gocciolatori inseriti sono del tipo in-line; la portata erogata è di 6 l/h (un'ala eroga 4 l/h per gocciolatore, l'altra 2 l/h) ad una pressione di 1 bar; i gocciolatori hanno una interdistanza di 0,6 m.

Subsurface Drip Irrigation 75% IR (4 + 2 L/h)



— Ali gocciolanti a Tandem per Subirrigazione
interrate a 0.35 m di profondità e distanti
dal tronco 0.35 m.

1 ala erogatrice ausiliare,
utilizzata nel 1° anno di irrigazione

2 ali gocciolanti poste a
0.35 m di profondità

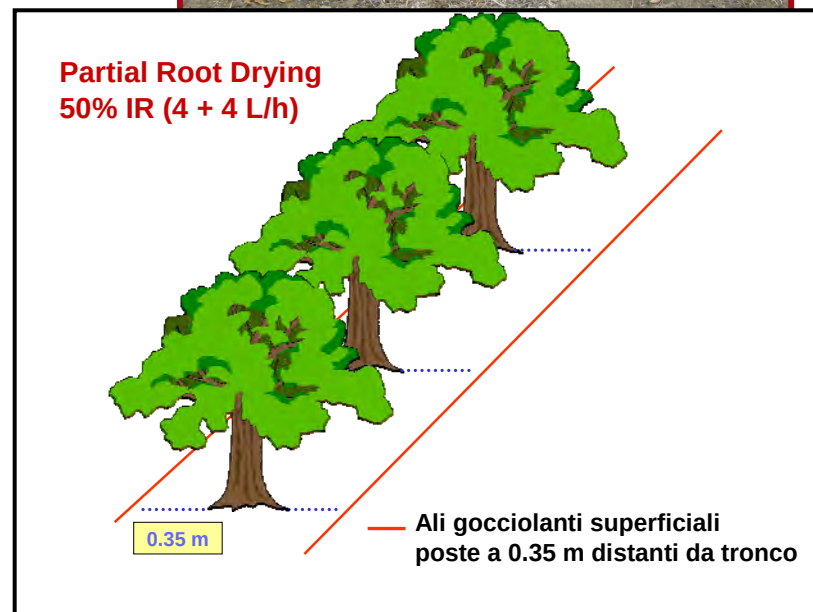
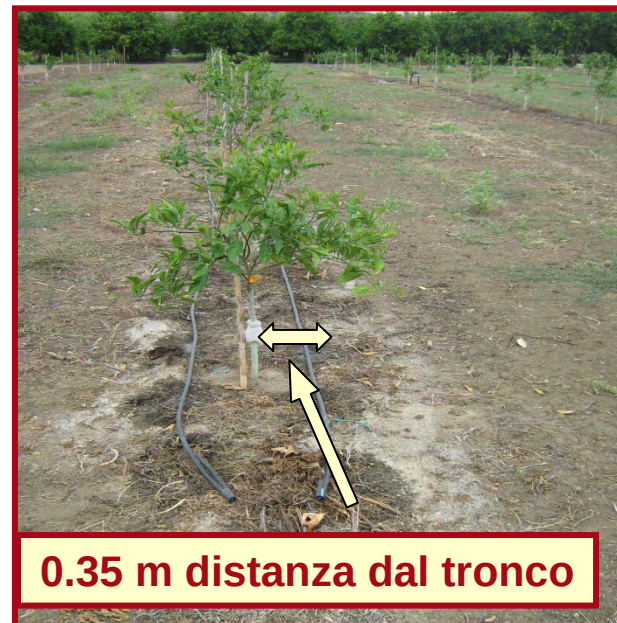


Caratteristiche del sistema PRD (50% IR)

Sono state posizionate, ad una distanza di circa 0,35 m dal tronco della pianta, due ali eroganti caratterizzate da gocciolatori in-line, con portata di 4 l/h ciascuna e pressione di 1 bar.

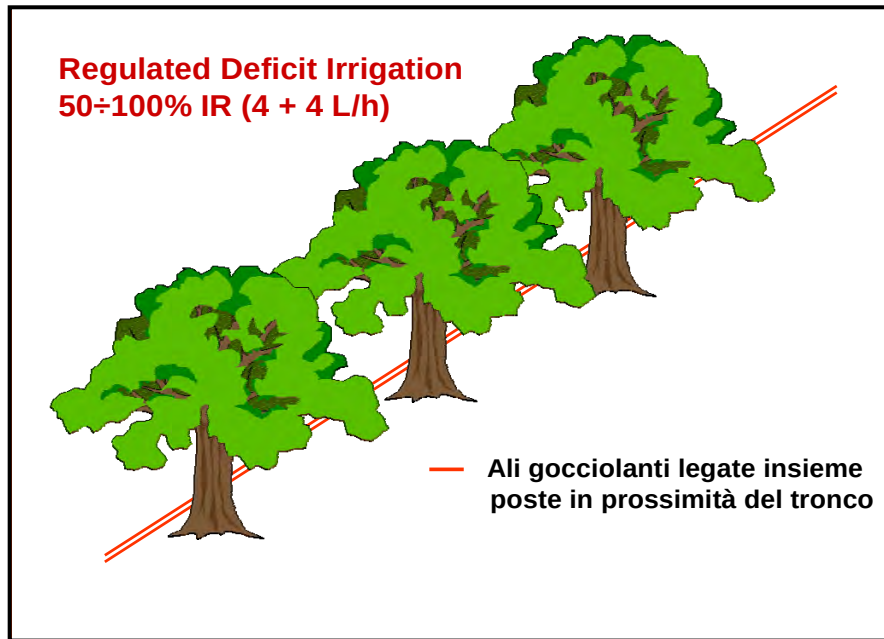
I gocciolatori hanno una interdistanza di 0,6 m: si prevede negli anni successivi di distanziare ulteriormente le ali gocciolanti in seguito allo sviluppo della pianta.

Il sistema prevede l'apertura alternata delle ali, in modo da adacquare solo metà dell'apparato radicale: ogni settimana un'ala erogatrice viene chiusa non permettendo l'irrigazione in una parte dell'apparato radicale.



Caratteristiche del sistema RDI (50 -100% IR)

Sono state posizionate, in prossimità del tronco delle piante, due ali gocciolanti di tipo superficiale legate insieme, ciascuna avente erogatori da 4 l/h; normalmente il sistema restituisce alle piante 8 l/h; al verificarsi di opportune condizioni fenologiche un'ala verrà chiusa, in modo da restituire il 50% di ETc. I gocciolatori hanno una interdistanza di 0,6 m.

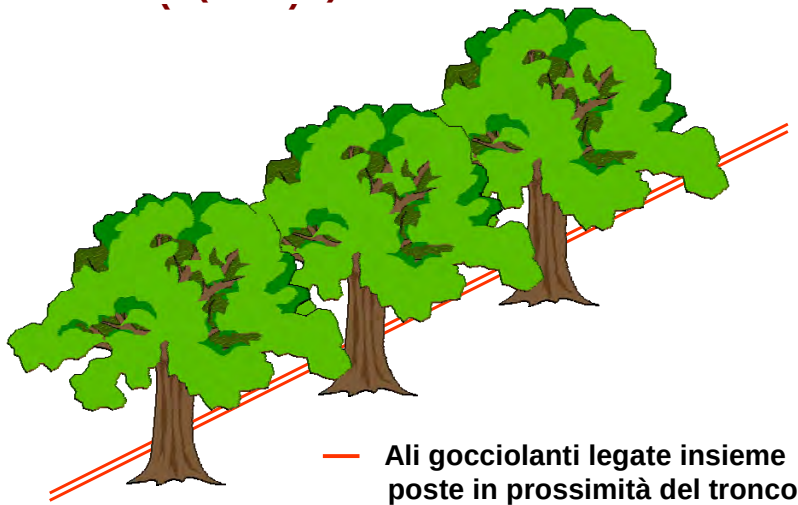


Caratteristiche del sistema SDI – (100% IR)

Tesi di riferimento

- ❑ Sono state posizionate, in prossimità del tronco delle piante, due ali gocciolanti di tipo superficiale, con erogatori da 4 l/h; i gocciolatori hanno una interdistanza di 0,6 m.

Surface Drip Irrigation
100 % IR (4+4L/h)



Caratteristiche dell'impianto: Condotta Principale

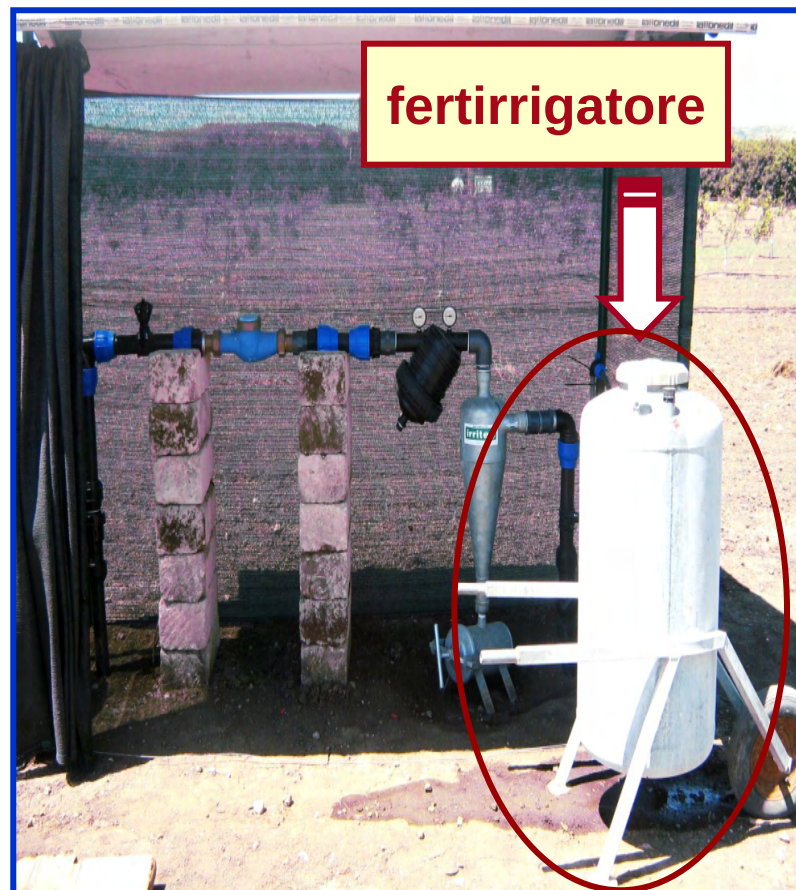
- ❑ L'impianto irriguo sperimentale è servito da una **condotta principale** con diametro $\varnothing$ 63 mm, lungo la quale è stato realizzato un gruppo di comando principale.
- ❑ Su di esso sono installati (da monte verso valle):
 - ✗ un filtro in metallo ad idrociclone;
 - ✗ un filtro in plastica a rete (120mesh);
 - ✗ due manometri per misurare la pressione della condotta prima e dopo la filtrazione dell'acqua;
 - ✗ un contatore volumetrico;
 - ✗ una valvola di sfiato.

Gruppo di manovra principale



Caratteristiche dell'impianto: Condotta Principale

- ❑ Il gruppo di comando presenta dei raccordi che predispongono l'impianto all'installazione di un **fertirrigatore**, utilizzato per effettuare sia la concimazione solubilizzata, sia l'acidificazione e la clorazione dell'impianto.
- ❑ **L'acidificazione e la clorazione** si effettuano ad inizio e fine di ogni stagione irrigua, al fine di eliminare eventuali otturazioni di origine organica dai gocciolatori dei diversi settori irrigui e soprattutto per quelli dove viene praticata l'irrigazione sub-superficiale.



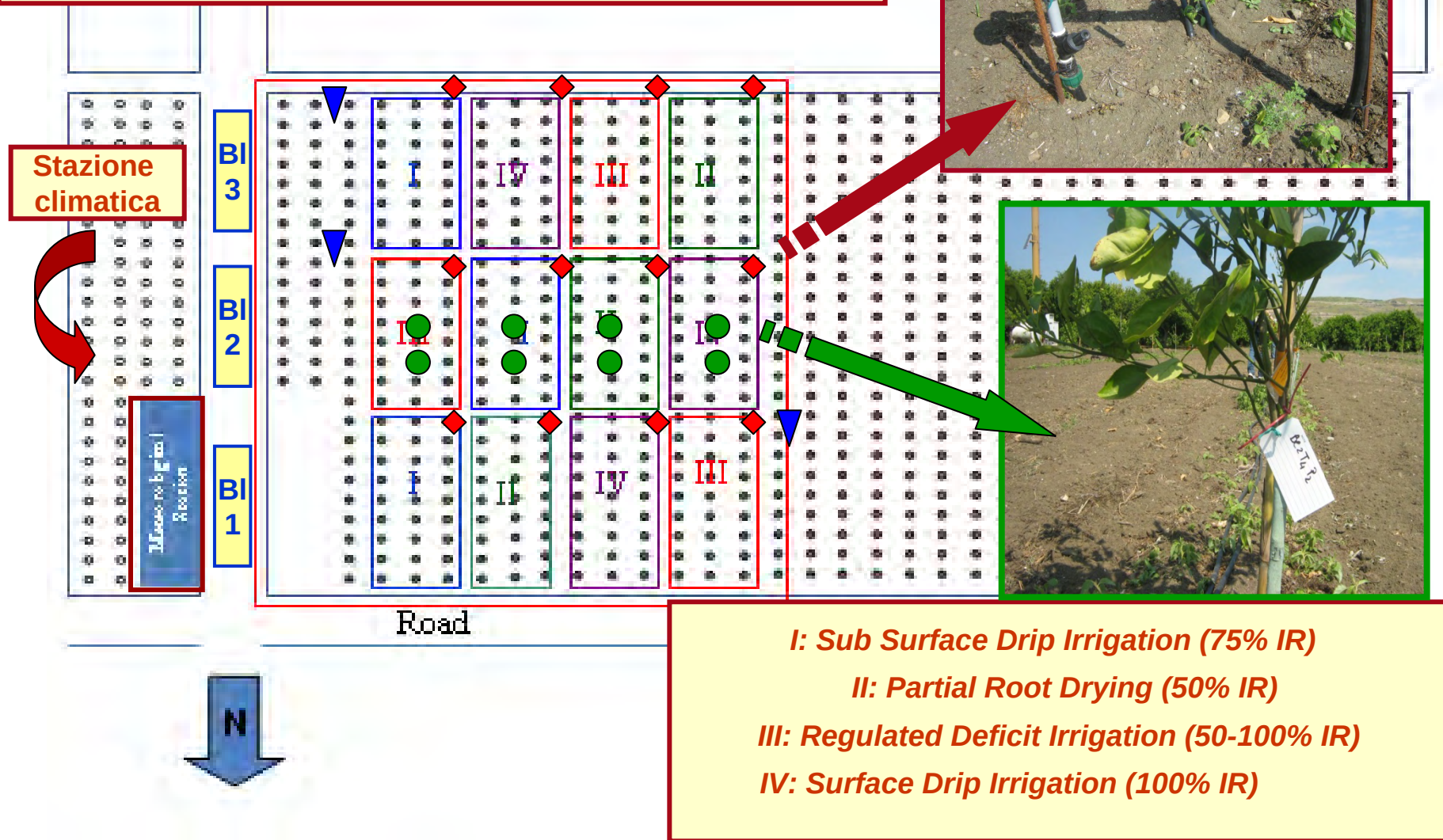
Every year the irrigation system **emission uniformity EU** was calculated at the beginning and the end of irrigation period

$$EU_f = 100 \frac{Q_{1/4}}{Q}$$

EU was higher than 90%, confirming the excellent performance of the adopted irrigation technologies (i.e. SDI and SSDI).

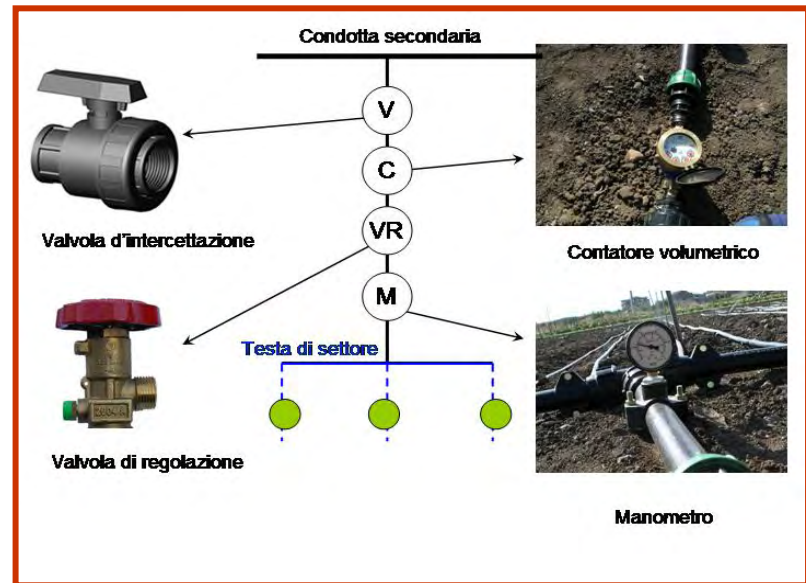


- Pianta campione
- ◆ Contatori, filtri, manometri, regolatori di pressione
- ▼ Ponticelli con regolatori di pressione



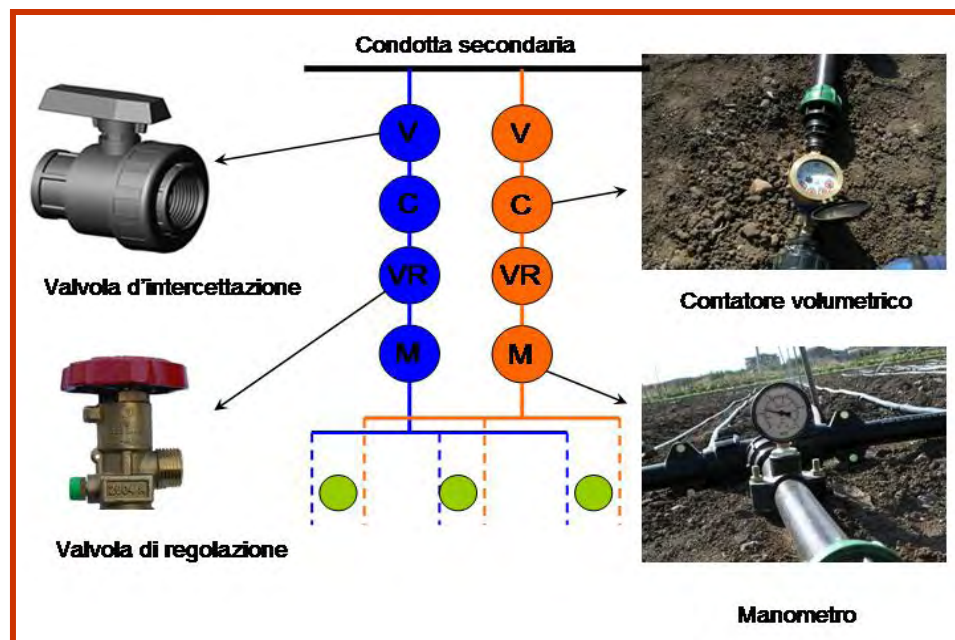
Caratteristiche dell'impianto

- ❑ Ogni settore appartenente alle **Tesi I e IV (SSDI e SDI)** è dotato di un gruppo di comando secondario composto da:
- una valvola di intercettazione;
 - un contatore volumetrico;
 - una valvola di regolazione della pressione;
 - due manometri per monitorare la pressione idrica prima e dopo la filtrazione dell'acqua.



Caratteristiche dell'impianto

- ❑ Per i settori appartenenti alle **Tesi II e III (PRD e RDI)** sono previste *due diramazioni* con $\varnothing$ 40 mm, provenienti dalla condotta secondaria ($\varnothing$ 40 mm), *gestite da due valvole di chiusura-apertura*. In tal modo è possibile escludere (di volta in volta) l'irrigazione ad una metà dell'apparato radicale, permettendo l'adacquamento all'altra metà in PRD, e di chiudere una delle 2 ali nei periodi in cui le piante sono più resistenti allo stress idrico in RDI .



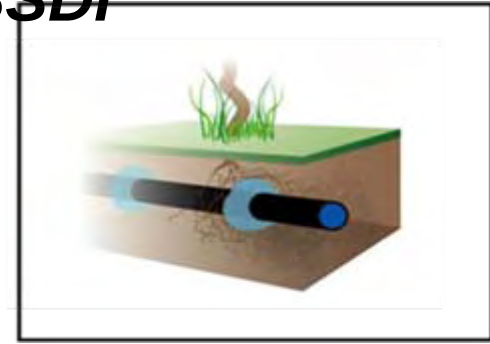
Materiali utilizzati per l'impianto: caratteristiche delle ali gocciolanti

- ❑ I materiali necessari alla realizzazione dell'impianto di irrigazione sono stati forniti da **Irritec s.r.l. e Siplast S.p.A.**
- ❑ Le *ali gocciolanti* $\varnothing$ 16 mm poste in opera nelle Tesi II, III e IV (PRD, RDI, SDI) sono del tipo TANDEM (2 L/h e 4 L/h), realizzate con un tubo di polietilene con gocciolatore incorporato in fase di estrusione.
- ❑ Il gocciolatore, coestruso nell'ala erogatrice, è a flusso turbolento (autopulente), in modo da evitare la formazione di sedimentazioni all'interno del labirinto.
- ❑ Il gocciolatore è provvisto di un filtro in ingresso che riduce notevolmente il rischio di occlusione.



Materiali utilizzati per l'impianto: caratteristiche delle ali gocciolanti in SSDI

- ❑ Le ali gocciolanti $\varnothing$ 16 mm poste in opera nelle tesi I (SSDI), sono del tipo ROOTGUARD.
- ❑ Esse forniscono la possibilità di distribuire acqua e nutrienti in prossimità dell'apparato radicale, in modo da favorire la crescita in salute delle piante ed ottenere una maggiore resa.
- ❑ L'indipendenza dall'irrigazione del dispositivo anti-intrusione radicale ne fanno un sistema che evita particolari problematiche nei periodi in cui l'impianto di irrigazione non è attivo.



Caratteristiche della Stazione Climatica

L'area sperimentale è provvista di una **Stazione Climatica** grazie alla quale sono monitorate le principali variabili climatiche, necessarie per determinare il volume irriguo da somministrare all'impianto sperimentale.

La *Stazione Climatica* prevede, seguendo le metodiche indicate dall'UCEA Ufficio centrale di Ecologia Agraria, il monitoraggio:

- ❑ della radiazione solare (R_s , W/m^2),
- ❑ della temperatura dell'aria (T , $^{\circ}C$),
- ❑ dell'umidità relativa dell'aria (RH , %),
- ❑ della velocità (u , m/s) e della direzione del vento.

Essa è provvista di un *data logger* che permette di memorizzare, secondo intervalli regolari di tempo pari ad un'ora, le variabili climatiche sopra elencate.

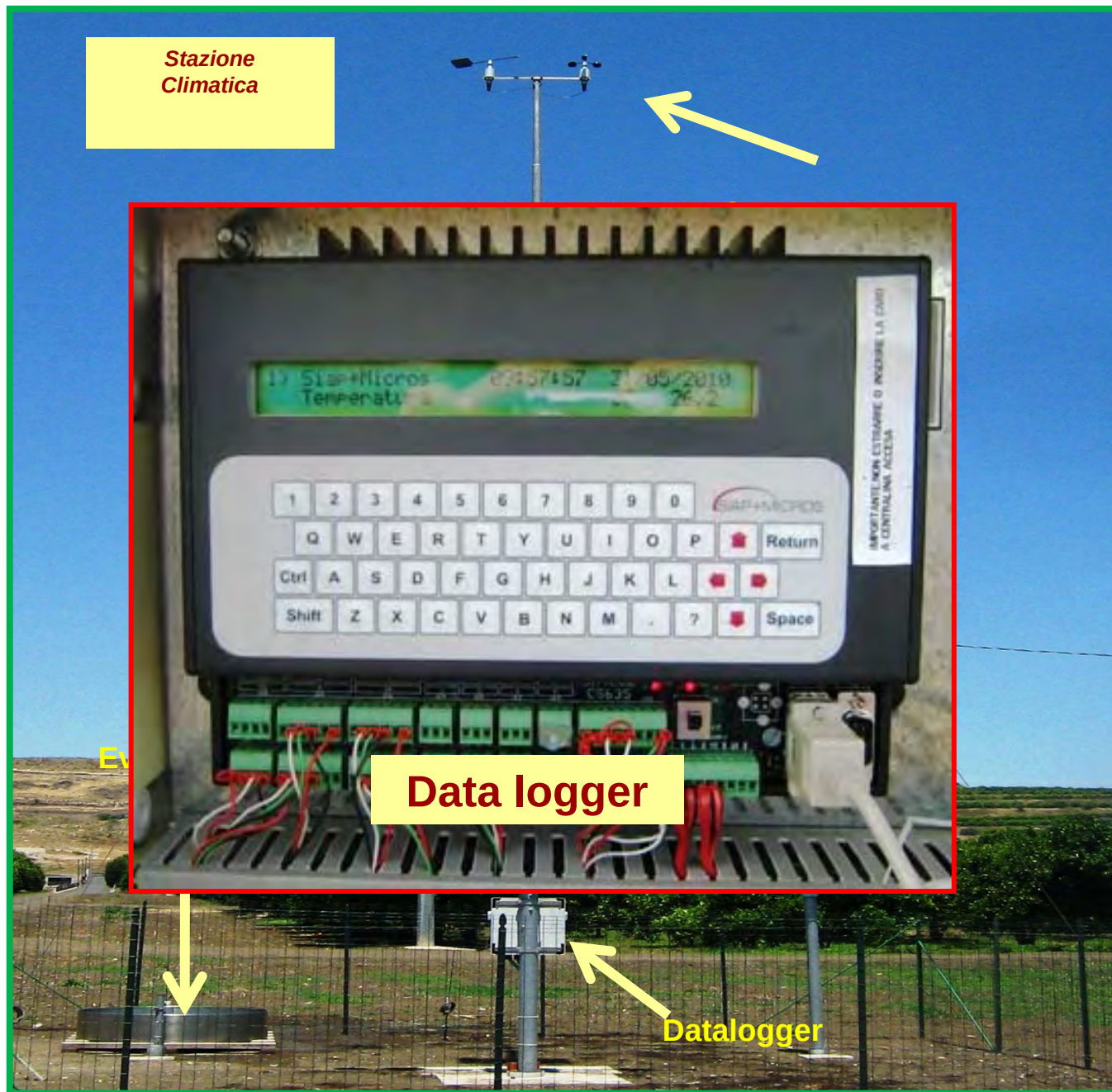
Alla Stazione Climatica è, inoltre, collegata una **Vasca Evaporimetrica di "classe A"** per la misura dell'evaporato orario e giornaliero.

**La Stazione Meteo-
Climatica** secondo

metodiche

UCEA - Ufficio
centrale di Ecologia
Agraria, permette il
monitoraggio di :

- ☐ radiazione solare
(R_s , W/m^2)
- ☐ evaporato
giornaliero (mm)
- ☐ temperatura
dell'aria (T , $^{\circ}C$)
- ☐ umidità relativa
dell'aria (RH, %)
- ☐ velocità (u , m/s)
- ☐ direzione del vento.



Caratteristiche della centralina

- ❑ All'interno dell'area sperimentale è stato installata una **centralina** costituita da un *data logger* al quale sono collegati degli strumenti che monitorano il contenuto idrico del suolo (TDR, ECH₂O) e le fluttuazioni del diametro dei tronchi (dendrometri).
- ❑ Con cadenza compresa tra 3 e 4 giorni, vengono scaricati i dati degli strumenti dal data logger e successivamente elaborati tramite specifici software.
- ❑ Si procede poi al calcolo del volume idrico da somministrare alle piante e quindi al tempo di azionamento dell'impianto irriguo.

Centralina

ECH₂O

TDR

data logger

dendrometri

**Pannello di
alimentazione**

Approvvigionamento e gestione delle risorse idriche per l'agricoltura

Stima dei flussi evapotraspirativi

- ❑ Ai fini della corretta applicazione delle tecniche irrigue descritte, risulta di fondamentale importanza la stima dei flussi di evapotraspirazione, e dunque del volume irriguo da somministrare, in accordo con le ipotesi di riduzione previste.
- ❑ Utilizzando i dati climatici provenienti dalla stazione ubicata in prossimità dell'area sperimentale (opportunamente inerbita), i flussi di evapotraspirazione di riferimento (ET_0) sono calcolati utilizzando la formulazione di **Penman-Monteith** (Allen et al., 1998):

$$ET_0 = \frac{0,408(R_N - G) + \gamma \frac{C_n}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + C_d u_2)}$$

dove:

- ❑ u_2 velocità media giornaliera (o oraria) del vento (m/s) misurata ad un'altezza di 10 metri,
- ❑ $(e_s - e_a)$ deficit di pressione di vapore (kPa),
- ❑ T temperatura media giornaliera (o oraria) dell'aria (°C),
- ❑ C_n e C_d costanti che dipendono dall'intervallo temporale di calcolo (pari, rispettivamente, a 900 e a 0,34 per valutazioni giornaliere di ET_0).

Irrigation Rate

- Noti i valori di ET_0 , l'evapotraspirazione massima colturale ET_c è determinata come:

$$ET_c = ET_0 \times K_c$$

in cui il valore del coefficiente colturale K_c è stato posto pari a 0,45.

- Noti i valori di ET_c si procede alla determinazione della **dose irrigua (IR)**, tenendo conto di opportuni fattori di localizzazione e di coefficienti correttivi relativi alle prestazioni del sistema di distribuzione (efficienza della somministrazione ed uniformità di erogazione in campo).
- In particolare, la Irrigation Requirement (mm/tempo) è determinata come segue:

$$IR = ET_c \times K_1 \times K_2 \times K_3$$

- essendo K_1 un fattore di “localizzazione irrigua”:

$$K_1 = \frac{P_c}{100} + 0.5 \left(1 - \frac{P_c}{100} \right)$$

dove

$$P_c = 100 \times \frac{\text{sup chioma}}{\text{sup pianta}}$$

- il coefficiente K_2 tiene conto dell'efficienza di adacquamento;
- il coefficiente K_3 tiene conto dell'uniformità di erogazione.

$$IR = ET_c \times K_{corr}$$

Calcolo del volume e del turno irriguo

Nota la IR, il volume da erogare è dato da:

$$V = a \cdot b \cdot IR \text{ (litri/periodo)}$$

dove:

a = 4 m

b = 6 m

La durata giornaliera dell'adacquamento è calcolata come:

$$t = V / (n \cdot q) \text{ (ore/giorno)}$$

dove:

n = numero di gocciolatori per pianta (pari a 6)

q = la portata nominale (l/h) erogata dal singolo gocciolatore

Valutazione dei parametri fisiologici della pianta

□ Durante la stagione irrigua vengono effettuati dei rilievi, con cadenza settimanale e/o quindicinale al fine di valutare la condizione di stress idrico delle piante campioni:

- Misure di LAI (ceptometro)
- Misure di PAR (ceptometro)
- Potenziale xilematico (camera a pressione)
- Conduttanza stomatica (porometro)
- Contenuto idrico del suolo (psicrometro)
- Misura della temperatura delle foglie (termometro)

Ceptometro



Porometro



Camera a pressione



Germogli in busta



Psicrometro



Termometro a infrarossi



Irrigation rates applied during the experimental periods (June-October) at the different treatment theses and **percentages of water savings** (in bracket) compared to the control treatment (SDI)

Year	Irrigation (mm year ⁻¹)			
	SDI	SSDI	RDI	PRD
2011	323.7	244.6	233.8	227.2
		(20.3)	(22.6)	(47.7)
2012	498.6	429.4	371.6	288.1
		(18.4)	(29.4)	(45.2)

Water savings obtained from the DI strategies (T2, T3 and T4) with respect to the control (T1) during 2011 and 2012 on the average of 2 years were 19, 26 and 46%, respectively, in T2 (75% ET_c), T3 (RDI) and T4 (PRD) treatments.



Approvvigionamento e gestione delle risorse idriche per l'agricoltura

	Fruit Weight (g)	Juice (%)	Rind Thickness (mm)	Firmness Kg/cm ²	TA (g/100 ml)	TSS (° Brix)	MI
SSDI	298.8 b ± 49.5	43.7 ± 1.56	5.46 ± 0.16	3.43 ± 0.10	1.08 ± 0.02	11.1 a ± 0.26	10.33 ± 0.33
PRD	262 a ± 68.6	43. 1 ± 1.35	5.19 ±0.14	3.15 ± 0.11	1.25 ± 0.09	11.9 b ± 0.18	9.79 ± 0.54
RDI	268.8 a ± 52.9	44.4 ± 2.88	4.94 ± 0.14	3.46 ± 0.08	1.14 ± 0.03	12.0 b ± 0.21	10.55 ± 0.25
SDI	300.1 b ± 38.8	42.8 ± 2.10	5.19 ± 0.16	3.42 ± 0.05	1.11± 0.02	10.8 a ± 0.26	9.82 ± 0.31

*Titratable acidity (TA); Total Soluble solids (TSS); Maturity index (MI)



	CI PULP*	CI RIND*
SSDI	8.29 ± 0.65	8.11 a ± 0.11
PRD	8.27 ± 0.86	8.43 a ± 0.07
RDI	7.92 ± 0.56	10.10 b ± 0.12
SDI	6.61 ± 1.17	9.97 b ± 0.14

*Perez Perez et al., 2008

Tarocco Max
Values=1.4

Tarocco Min
Values=10

Tarocco Min
Values=7



Conclusions:

- The irrigation systems (SDI and SSDI) showed high and similar performance in the period of the experiment (in terms of EU, etc.); **SSDI provides considerable water savings**
- **DI strategies** allowed **water savings up to 48%** (PRD), without showing significant reductions in production and changes in the main parameters of fruit quality
- A slight reduction in fruit size was detected, with a corresponding increase of sugar content in the thesis PRD and RDI
- Based on first results, the monitored plants seem to be able of sustaining and compensating the deficit conditions without significative effect on physiological status (Ψ_{stem} e g_s)