

**Gestione delle tecniche
colturali per
implementare la fertilità
del suolo negli
agrumeti biologici**

Fiorella Stagno



Alta Scuola

**Social Farming
2.0**

**Inclusione sociale
nella filiera**

agrumicola siciliana



WATER and FOOD

“WATER to EAT”



- About $\frac{2}{3}$ of agricultural world production by irrigated land that is about $\frac{1}{3}$ of the total arable land

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

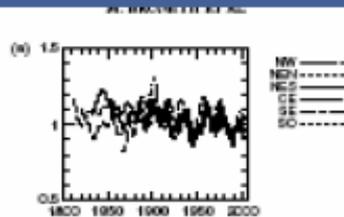
Source: Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y. (2004), «Water footprints of nations» Value of Water Research Report Series No. 16 UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands; Aldaya, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2008), «The water footprint of Italian pasta and pizza margherita» Twente Water Centre, University of Twente,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



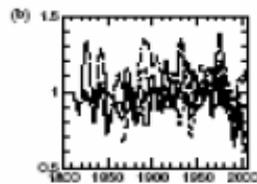
- 1 coffee = 140 litres**
- 2 bread slices = 80 litres**
- 1 orange juice (200 ml) = 170 litres**
- 2 sugar small spoons (about 10 g) = 15 litres**
- 1 yoghurt (125 ml) = 200 litres**

TOTAL 605 litres !!!!!

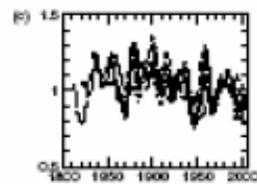
Yearly series



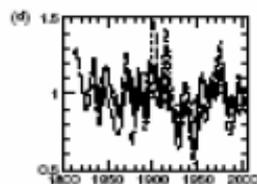
Winter series



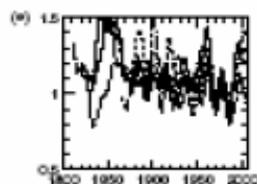
Spring series



Summer series



Autumn series



La variabilità climatica in Italia

L'analisi mostra un tendenziale decremento ma le riduzioni di pioggia (in media del 5% per secolo) sono limitate e raramente risultano significative.

Il decremento più consistente si registra in primavera (-9% per secolo)

Adapted from Brunetti et al. 2006

Variazioni previste per il futuro (Europa)

– Valori medi:

• Temperatura:

– + 2.2-5.1°C (A1B 2080-99)

– ↑ estate; ↑ inverno

• Precipitazioni:

– ↓ - 4 a -27%

– ↓ estate; ↓ inverno

– Valori estremi:

• Temperatura:

– ↓ giorni freddi e con gelate

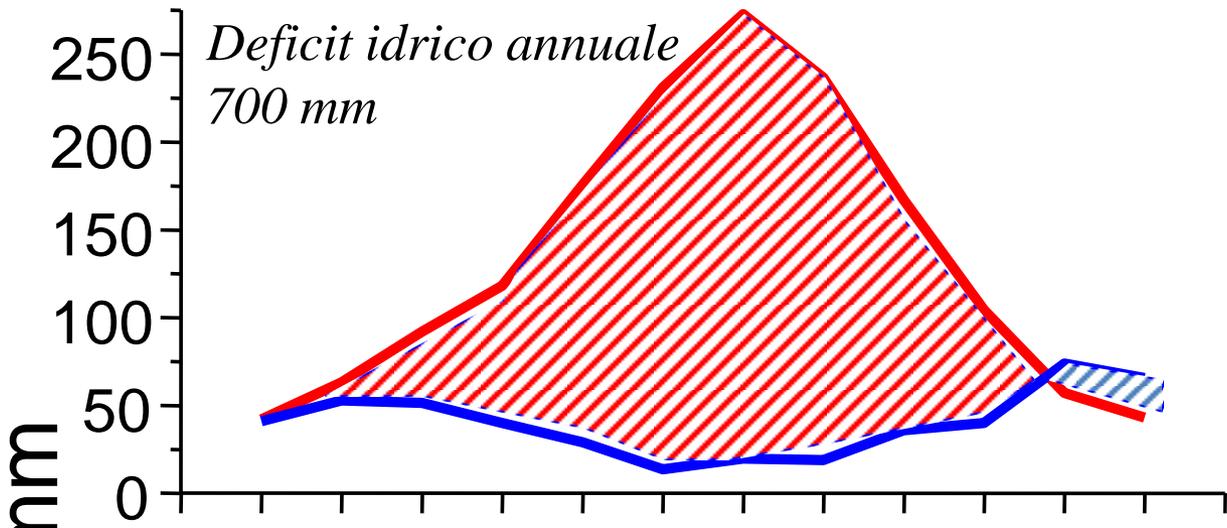
– ↑ giorni con ondate di calore
(intensità, frequenza e durata)

• Precipitazioni:

– ↓ giorni piovosi, ↑ intensità eventi piovosi,
↑ periodi asciutti

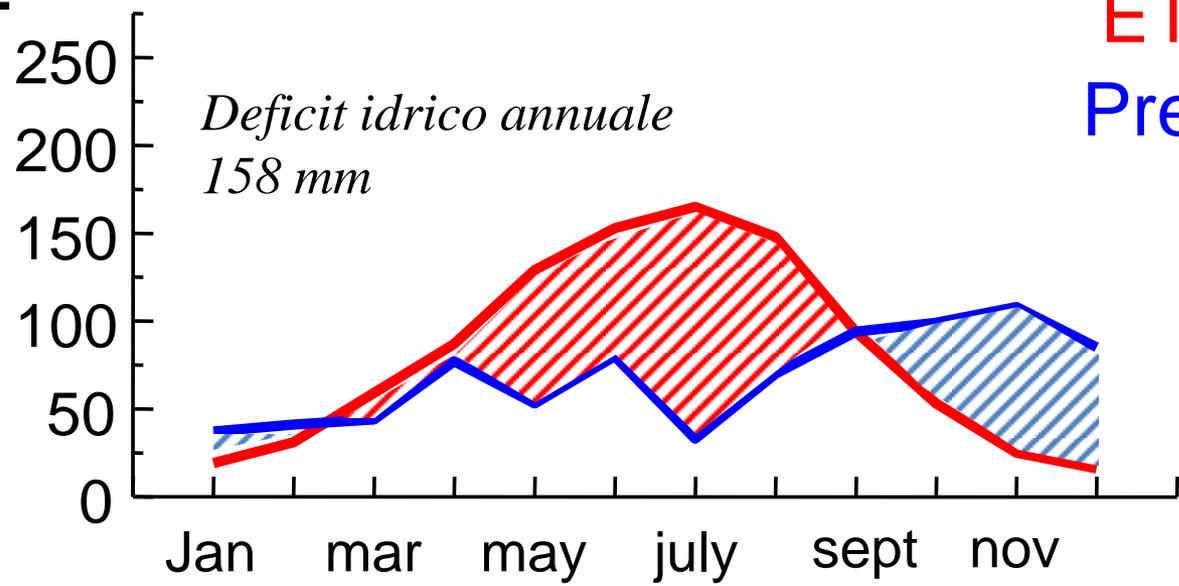
Region*	Season	Temperature Response (°C)						Precipitation Response (%)						Extreme Seasons (%)		
		Min	25	50	75	Max	T yrs	Min	25	50	75	Max	T yrs	Warm	Wet	Dry
EUROPE																
NEU	DJF	2.6	3.6	4.3	5.5	8.2	40	9	13	15	22	25	50	82	43	0
	MAM	2.1	2.4	3.1	4.3	5.3	35	0	8	12	15	21	60	79	28	2
48N,10W to	JJA	1.4	1.9	2.7	3.3	5.0	25	-21	-5	2	7	16		88	11	
	SCN	1.9	2.6	2.9	4.2	5.4	30	-5	4	8	11	13	80	87	20	2
75N,40E	Annual	2.3	2.7	3.2	4.5	5.3	25	0	6	9	11	16	45	96	48	2
SEM	DJF	1.7	2.5	2.6	3.3	4.6	25	-16	-10	+6	-1	8	>100	93	3	12
	MAM	2.0	3.0	3.2	3.5	4.5	20	-24	-17	-16	-8	-2	60	98	1	31
30N,10W to	JJA	2.7	3.1	4.1	5.0	6.5	15	-53	-35	-24	14	-3	55	100	1	42
	SCN	2.3	2.8	3.3	4.0	5.2	15	-29	-15	-12	-9	-2	90	100	1	21
48N,40E	Annual	2.2	3.0	3.5	4.0	5.1	15	-27	-16	-12	-9	-4	45	100	0	46

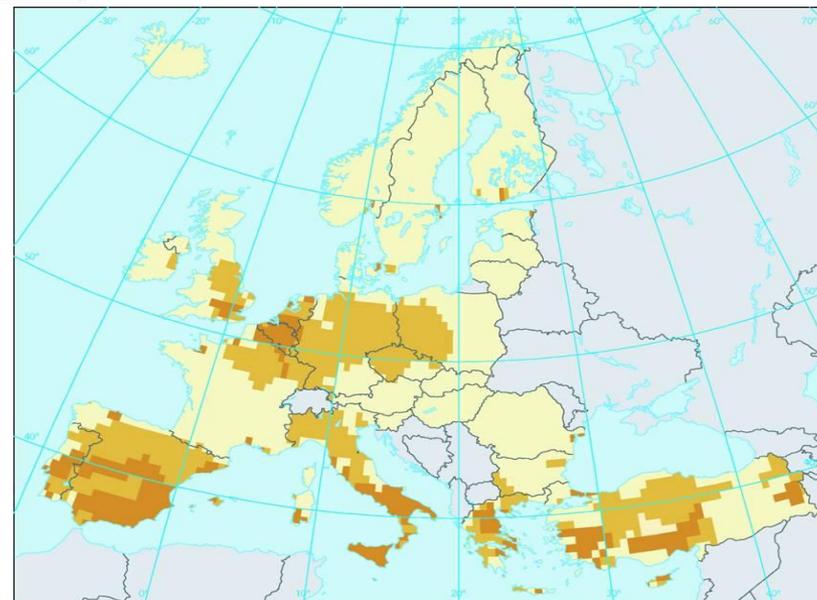
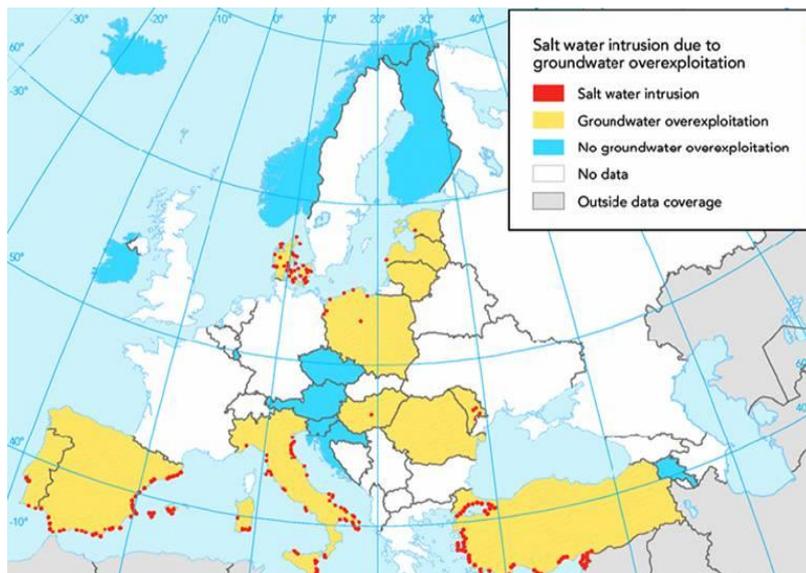
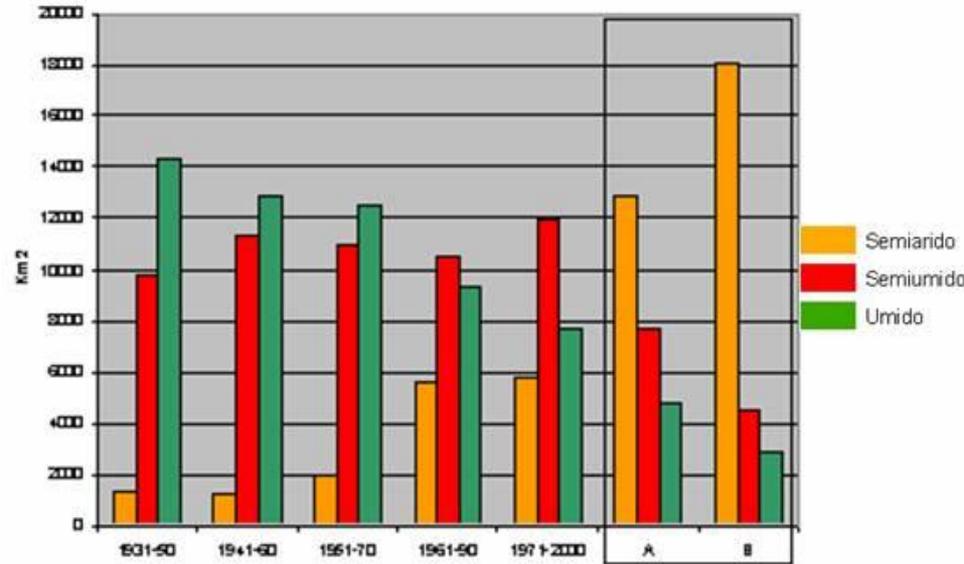
Piana di Catania
(South Italy
(media su 15 years)
fonte: CSEI Catania



ET_o
Precipitazione

Cesena (north Italy
(average of 10 years)
fonte: Cons. Bonif. Canale
Emiliano Romagnolo





Risparmio idrico

- Irrigazione  pratica indispensabile per ottenere produzioni quantitativamente e qualitativamente elevate.

Aumento delle temperature

- incremento delle necessità irrigue
- diminuzione delle piogge “agronomicamente utili”
- sfruttamento delle non illimitate risorse idriche, sia di superficie che sotterranee



- il prelievo d’acqua sotterranea in quantità superiori alla capacità di ricarica delle falde causa la *depressurizzazione* (riduzione della pressione interna) dell’acquifero, causando gravissimi fenomeni di sprofondamento del territorio (subsidenza).

Incremento temperature:

- **↑ decomposizione sostanza organica (riduzione della fertilità)**
- **↑ ciclo degli elementi nutritivi (carbonio, azoto, fosforo, potassio) nel sistema suolo-pianta-atmosfera (aumento emissione gas serra, es. CO₂ and N₂O).**

Variazioni Precipitazioni:

- **↑ erosione eolica per una riduzione crescita radicale e decomposizione s.o (minori precip. estive).**
- **↑ erosione idrica (aumento frequenza ed intensita' di eventi piovosi estremi)**

Fitopatie

- **incremento temperature potrà favorire la proliferazione degli insetti parassiti (stagione di crescita più lunga, maggiori probabilità di sopravvivenza durante il periodo invernale)**
- **Alterazioni delle caratteristiche dei venti potranno cambiare la diffusione sia dei parassiti che dei batteri e dei funghi agenti delle malattie delle colture.**

Infestanti

La diversa risposta delle specie coltivate e di quelle infestanti potrà portare ad alterazioni delle interazioni competitive infestante-coltura:

- **L'incremento di concentrazione del CO_2 stimolerà la fotosintesi nelle specie C3, sia coltivate che infestanti, ed aumenterà il risparmio di uso dell'acqua sia nelle specie C3 che in quelle C4**
- **Variazioni di temperatura, precipitazioni, vento e umidità dell'aria potranno interferire con l'azione di controllo degli erbicidi**

Primi interventi di difesa contro gli effetti dei cambiamenti climatici che prevedono di ottimizzare la produzione con variazioni minime (come costi) del sistema agricolo, attraverso modifiche:

⇒ **gestione dei sistemi colturali**

⇒ **conservazione dell'umidità del suolo**

Gestione dei sistemi colturali:

cambio varietà

cambio pratiche agronomiche (data di semina)

cambio tipo e/o modalità di impiego di fertilizzanti e pesticidi

Conservazione umidità del suolo:

introduzione tecniche di conservazione dell'umidità (no tillage, pacciamatura, ecc.)

gestione irrigazione (ammontare ed efficienza)

Strategie Economiche e Agronomiche avranno un ruolo rilevante per ridurre le perdite o accentuare i guadagni dovuti ai cambiamenti climatici:

- **Strategie economiche** prevedono di rendere i costi agricoli inferiori
- **Strategie agronomiche** prevedono di evitare totalmente o parzialmente la riduzione delle produzioni agricole

Strategie di adattamento:

Sviluppo di nuove cultivar per adattarsi agli stress indotti dai cambiamenti climatici piu' velocemente (miglioramento genetico tradiz. o biotecnologie)

Sostituzione colture per conservare meglio l'umidità del suolo

Modifiche del microclima per migliorare l'efficienza dell'uso dell'acqua (es. frangivento, colture intercalari, ecc.)

Impatti Futuri

– *Produttività*:

- *Effetti negativi sulla produttività a medie e basse latitudini per aumenti di 1-2°C*

– *Aree di coltivazione*:

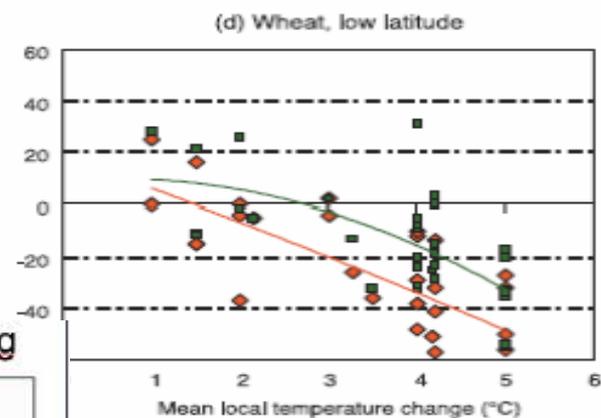
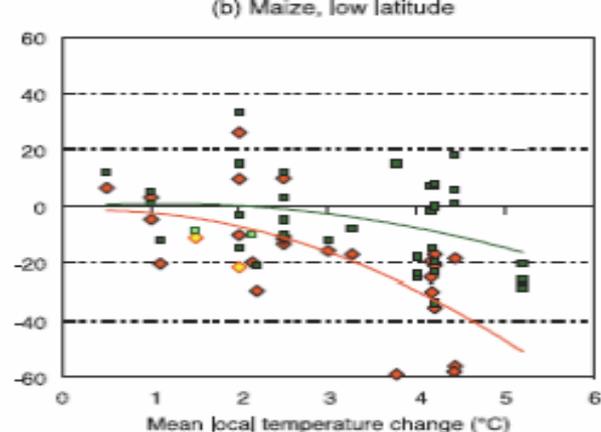
- *Spostamenti verso nord dei limiti di coltivazioni (es. mais, colture da biomassa)*

– *Eventi estremi*:

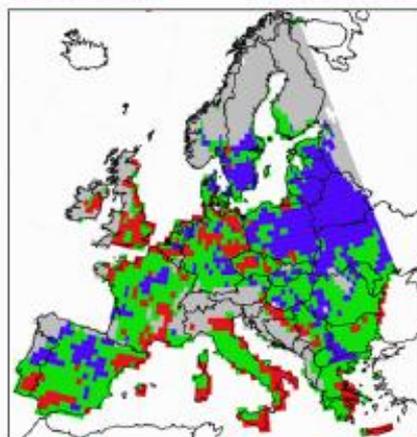
- *Aumento incidenza degli eventi climatici estremi (es. stress termico alla fioritura)*

– *Inquinamento*:

- *Aumento rischi di lisciviazione dei nitrati*



Change in N-leaching



- Diverging results
- Increases in all model runs
- Decreases in all model runs

Fig. 5-2, WGII-IPCC

Il protocollo di Kyoto

Costituito nel 1997 (poi entrato in vigore nel 2005)

È uno dei più importanti strumenti giuridici internazionali volti a combattere i cambiamenti climatici.

Esso contiene gli impegni dei paesi industrializzati a ridurre le emissioni di alcuni gas ad effetto serra, responsabili del riscaldamento del pianeta.

Le emissioni totali dei paesi sviluppati devono essere ridotte almeno del 5 % nel periodo 2008-2012 rispetto ai livelli del 1990.

Il contenuto del protocollo

Il protocollo di Kyoto concerne le emissioni di **sei gas ad effetto serra**:

biossido di carbonio (CO_2);

metano (CH_4);

protossido di azoto (N_2O);

idrofluorocarburi (HFC);

perfluorocarburi (PFC);

esafluoro di zolfo (SF_6).

Competizione per l'acqua con il settore civile ed industriale

Ampliamento dei metodi irrigui localizzati

Ottimizzazione della programmazione irrigua a scala comprensoriale sulla base di:

- bilanci evapotraspirometrici

- controllo dello stato idrico del suolo o della pianta

- informazioni da remote sensing

Impiego di acque salmastre o comunque di minore qualità

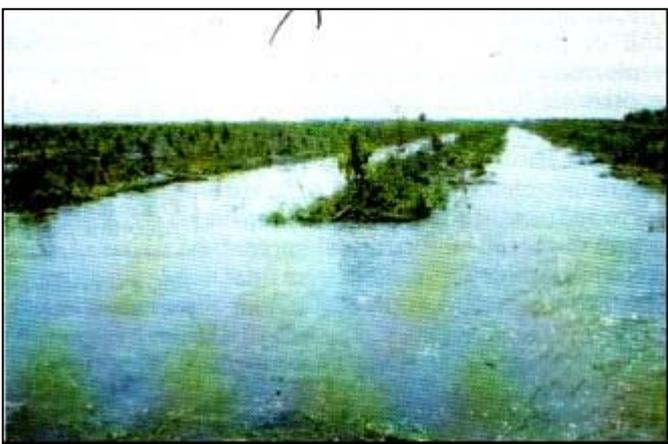
Maggiore sfruttamento dei pozzi (maggiore regolamentazione)

Tariffazione dell'acqua a consumo e non a superficie

Incremento dei fabbisogni idrici

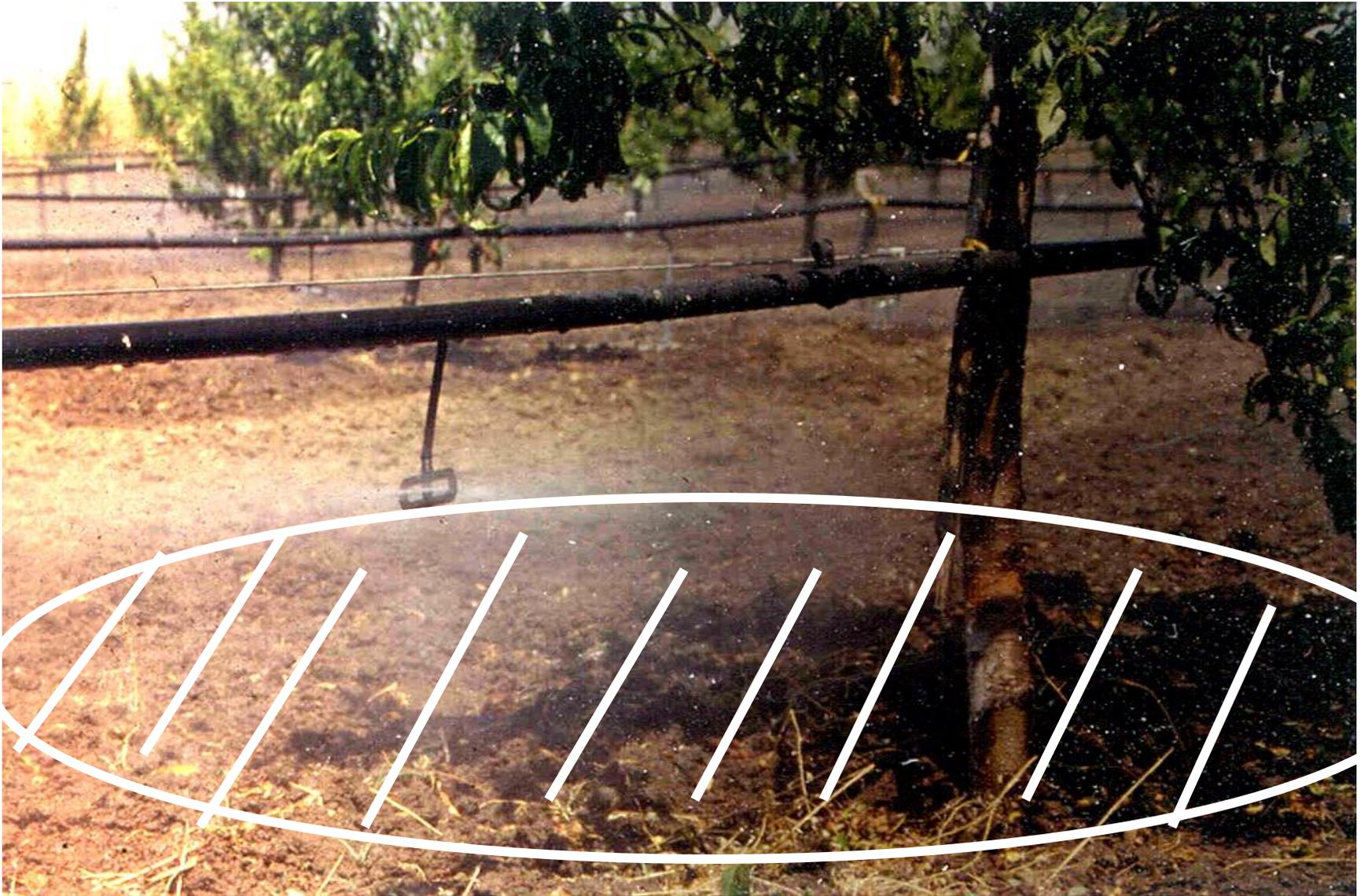
In azienda le tecniche di irrigazione si devono integrare con tutte le operazioni aziendali e devono evitare il degrado del suolo e lo spreco dell'acqua, dei nutrienti e dell'energia





Efficienza di distribuzione dell'acqua nei vari metodi irrigui

sommersione	45%
infiltrazione	55-75 %
aspersione	65-75%
microirrigazione	90-95%





.....interventi a livello Consortile

.....facilitare la diffusione dei metodi irrigui a microportata, invasi aziendali, doppia ala gocciolante, acqua a domanda



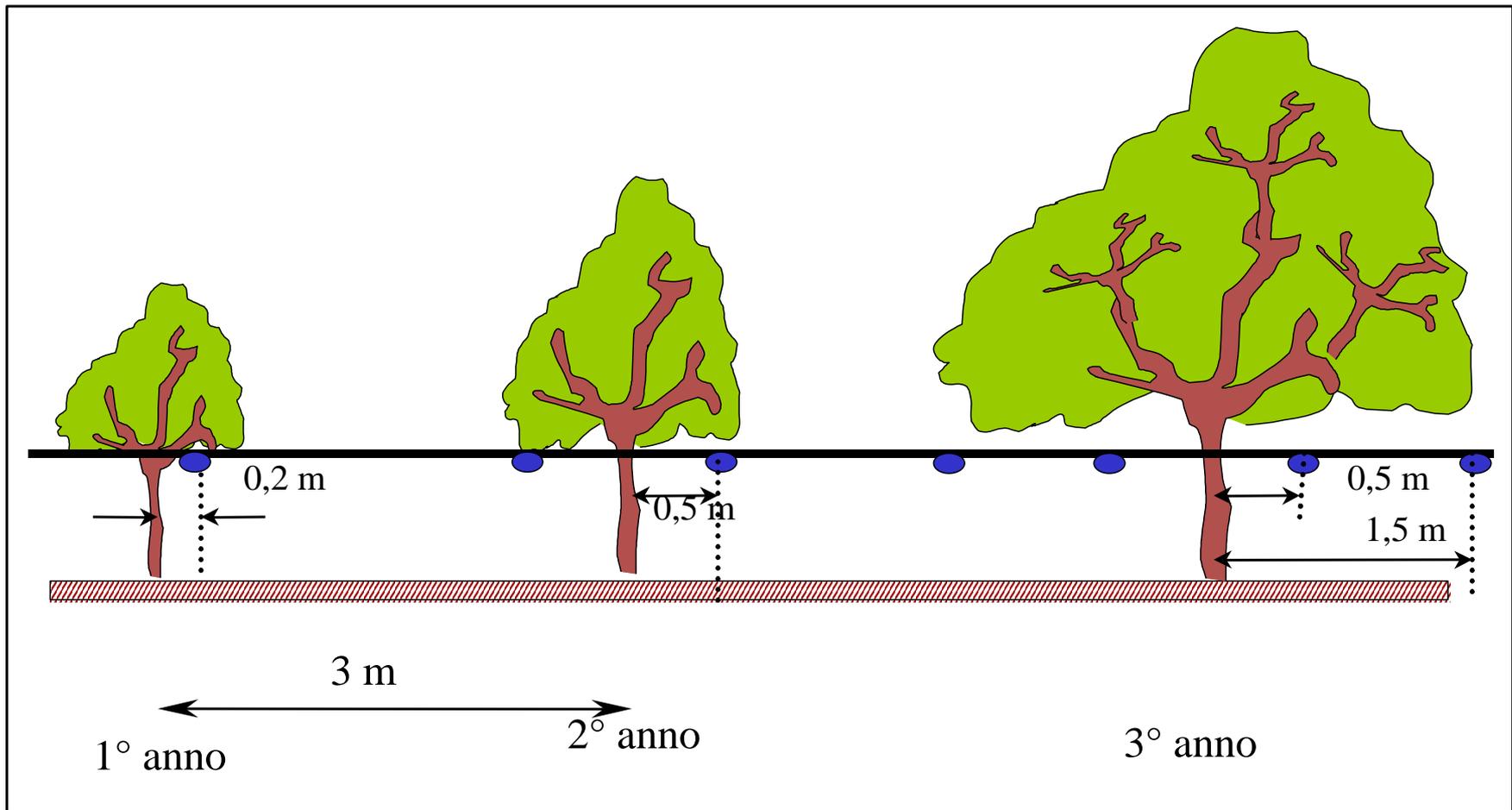
”Rottamazione” vecchi impianti ...

Evoluzione degli impianti aziendali



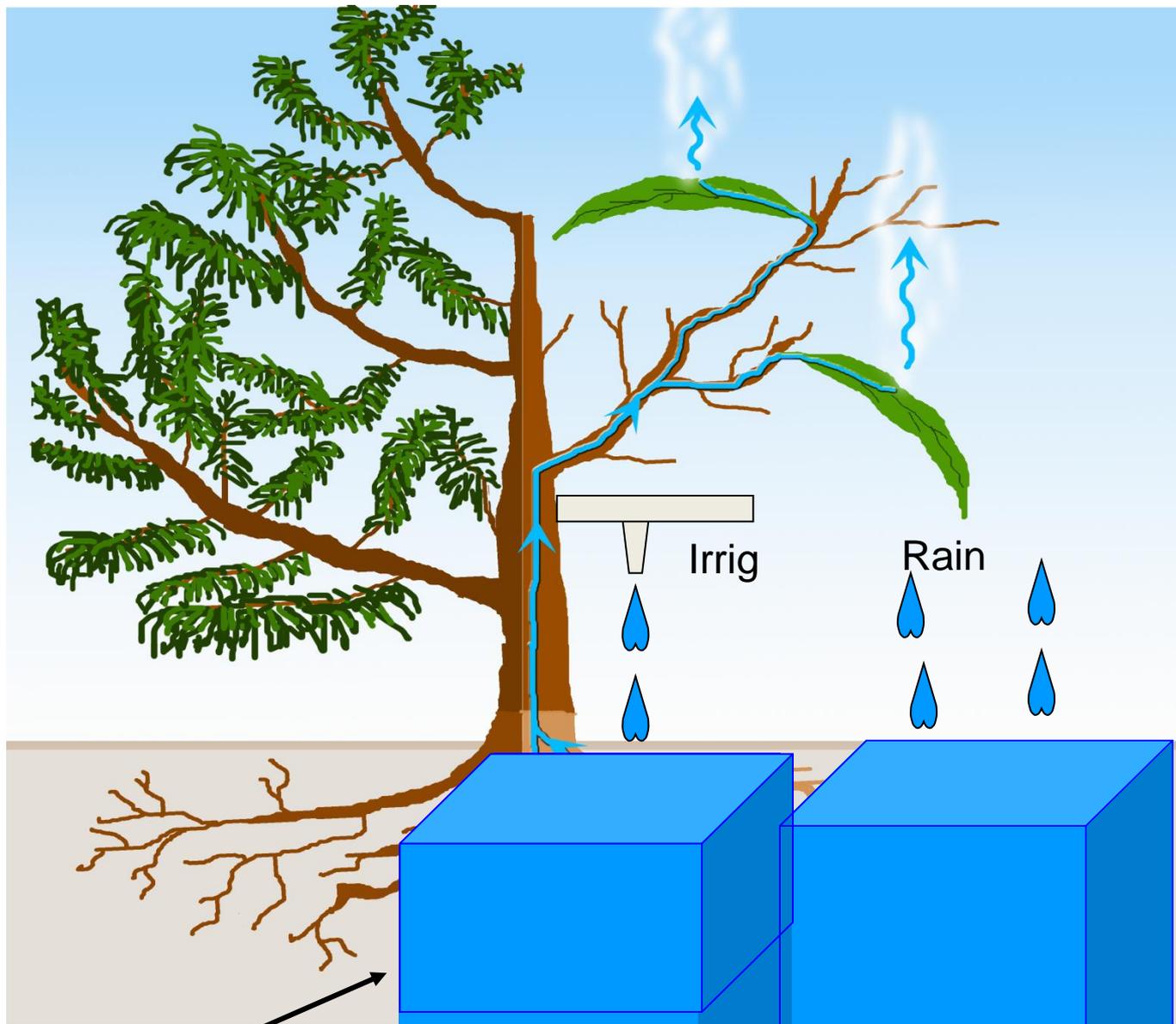
Gestione ottimale delle attuali risorse, a livello consortile ed aziendale

- scelta metodo irriguo
- **migliorare la gestione del metodo irriguo**
- migliorare l'efficienza dell'uso dell'acqua della pianta



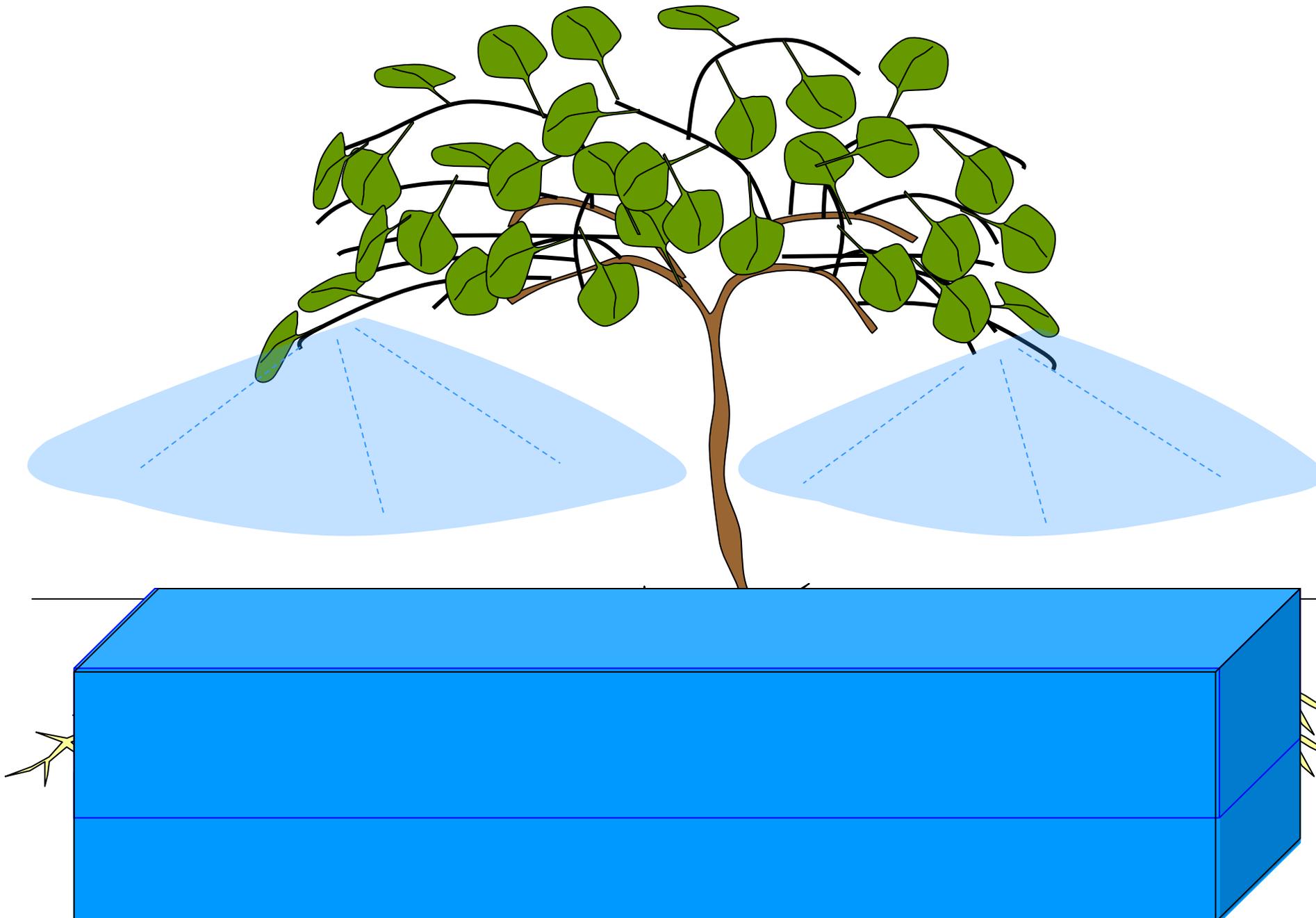
Acqua immagazzinata da un frutteto irrigato mediante tecniche differenti
W.A = (Capacità di campo – Punto critico colturale)
Easy W.A = 40% di W.A

Metodo irriguo	Superficie bagnata m²	Profondità (m)	Volume di suolo irrigato (m³)	W.A m³	Easy W.A m³
Whole surface	10.000	0.5	5.000	1.000	400
Micro-Sprinklers	6000	0.5	3.000	600	240
Drip irrigation	2.000	0.5	1.000	200	80



Suolo irrigato

Volume di suolo non irrigato



Gestione ottimale delle attuali risorse, a livello consortile ed aziendale

- scelta metodo irriguo
- migliorare la gestione del metodo irriguo
- **migliorare l'efficienza dell'uso dell'acqua della pianta**

Pianificazione dell'irrigazione

Per pianificazione dell'irrigazione si intende il processo decisionale relativo a “quando” irrigare ed a “quanta” acqua somministrare alle colture.

Tali decisioni riguardano sia la fase di gestione, sia quella di progettazione.

Occorre determinare le **variabili irrigue**:

- fabbisogno irriguo
- turno
- volume di adacquamento,
- durata dell'adacquamento,
- portata di punta

Per una razionale pianificazione sono disponibili **conoscenze scientifiche e strumentazione** per il monitoraggio del sistema suolo-pianta-atmosfera, ma restano, nella maggior parte dei casi, confinate al settore della ricerca.

In un'epoca in cui i metodi irrigui diventano sempre più sofisticati, anche il fattore umano riveste una grande importanza: per organizzare l'irrigazione sono richieste **elevate capacità gestionali**.

Vantaggi della programmazione

- migliori produzioni,
- maggiore reddito,
- risparmio d'acqua
- riduzione dell'impatto ambientale

La programmazione razionale fino ad oggi è **usata solo eccezionalmente** come procedura standard dai progettisti, dai gestori dei sistemi irrigui e dagli informatori agrari.

Ausili alla programmazione

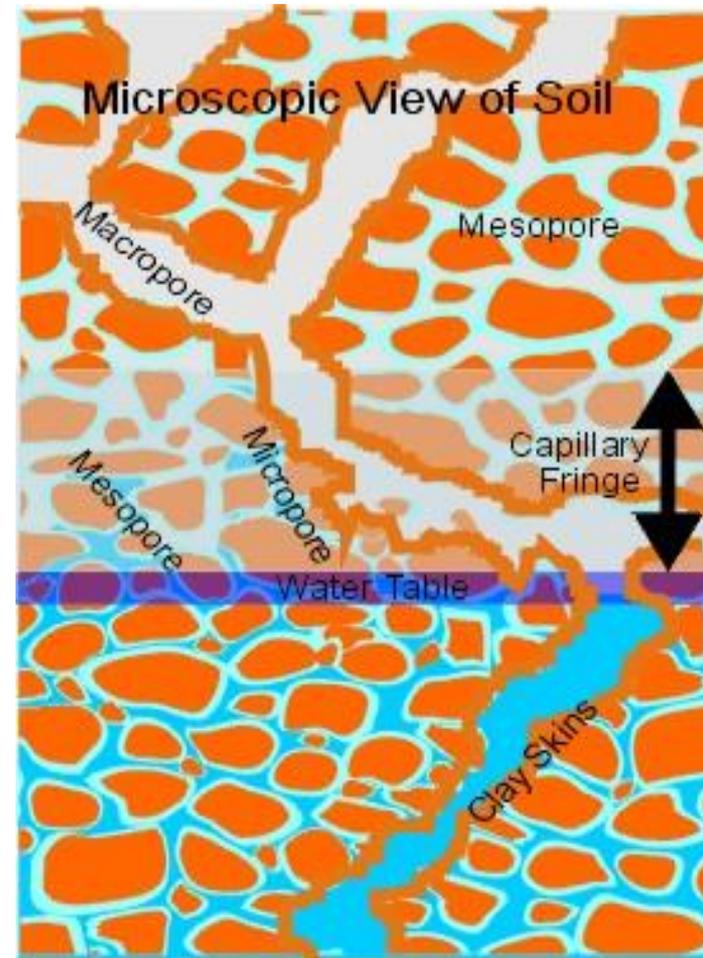
- I **modelli di simulazione** possono essere utilizzati sia in fase di gestione sia in fase di progettazione,
- Il «**consiglio irriguo**» fornito da organismi vari (Consorzi di bonifica, Servizi regionali di assistenza tecnica, ecc.) che informano gli agricoltori, via Internet o via *SMS* su cellulare, sul momento in cui irrigare e sui volumi da somministrare.

SUOLO: MEZZO POROSO

Il suolo è un mezzo poroso.

È possibile distinguere tre categorie principali di pori: microscopici, capillari, macropori

Il movimento di un fluido all'interno dei pori del suolo avviene poiché essi costituiscono un sistema interconnesso. La porzione di suolo interessata da tali connessioni viene definita spazio poroso effettivo.



Contenuto idrico del suolo

- Si può esprimere
 - in termini di peso di acqua (kg) presente nel suolo rispetto alla massa di terreno secco (essiccato in stufa a 100-110°C)
 - in termini di volume di acqua rispetto al volume di suolo

IL POTENZIALE DELL'ACQUA NEL SUOLO

- Il potenziale rappresenta “la quantità di lavoro che deve essere spesa (per unità di acqua) per trasportare reversibilmente ed isotermicamente una infinitesima quantità d’acqua da un deposito posto ad una certa altezza, ed alla pressione atmosferica, alle condizioni dell’acqua nel punto considerato”.
- Il lavoro che l'acqua libera nel suo movimento può essere positivo, se è l'acqua stessa a compiere il lavoro, o negativo, quando l'acqua è trattenuta dalla matrice del terreno e qualche altro agente deve compiere del lavoro per spostarla.
- Il potenziale è un'energia ma può convenientemente essere espresso come pressione per unità di peso (Mg):

$$\frac{\Psi}{Mg} = \frac{ML^2T^{-2}}{MLT^{-2}} = L$$

- oppure come pressione per unità di volume (L^3):

$$\frac{\Psi}{L^3} = \frac{ML^2T^{-2}}{L^3} = \frac{MLT^{-2}}{L^2} = \frac{\text{forza}}{\text{area}} = \text{pressione}$$

Il potenziale di matrice dell'acqua nel suolo

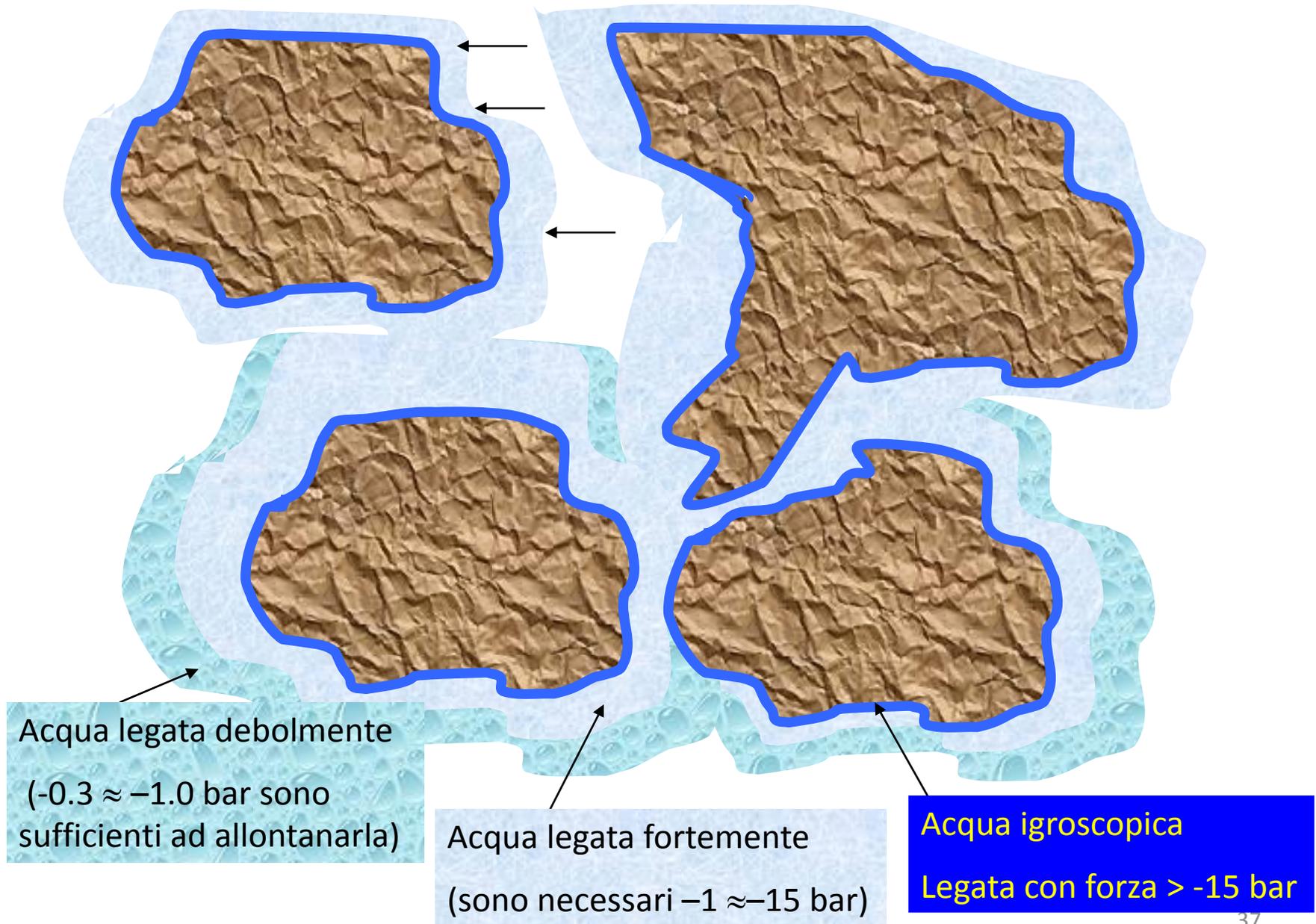
Il potenziale di matrice ψ_m è la componente del potenziale totale dell'acqua nel suolo che tiene conto delle forze di adsorbimento e di capillarità dovute all'affinità dell'acqua con la matrice del suolo.

- Viene generalmente espresso in kPa;
- Assume valore zero in terreno saturo,
- Valori negativi in terreno non saturo per indicare che per estrarre quest'acqua è necessario spendere energia.

Si può esprimere anche come

altezza d'acqua h (in valore assoluto), in m o in cm;

quando è espresso in cm, si è convenuto di usare la scala logaritmica in base 10, definendo il $pF = \log_{10} h$. (ad es. pF=4 vuol dire 10000 cm=100 m=10 Atm)



Il fenomeno di ricarica del tenore di umidità avviene in maniera continua e passa dagli strati superiori agli inferiori. I diversi stadi attraverso cui il terreno giunge a saturazione totale sono i seguenti:

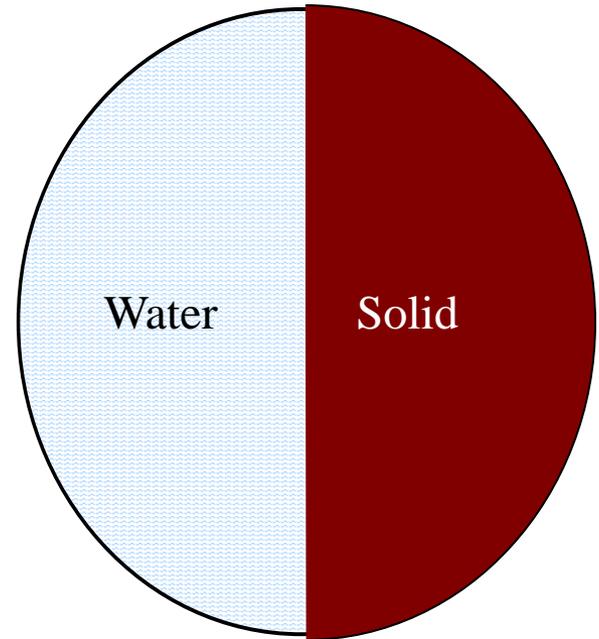
- acqua igroscopica (sempre presente)
- acqua di adesione e acqua capillare
- acqua gravitazionale

Allorché cessa l'apporto idrico esterno, per essiccamento si procede in senso inverso

Questi stati dell'acqua nel terreno sono caratterizzati da numeri indici che rappresentano il passaggio da processi di desaturazione a processi di successiva ricarica

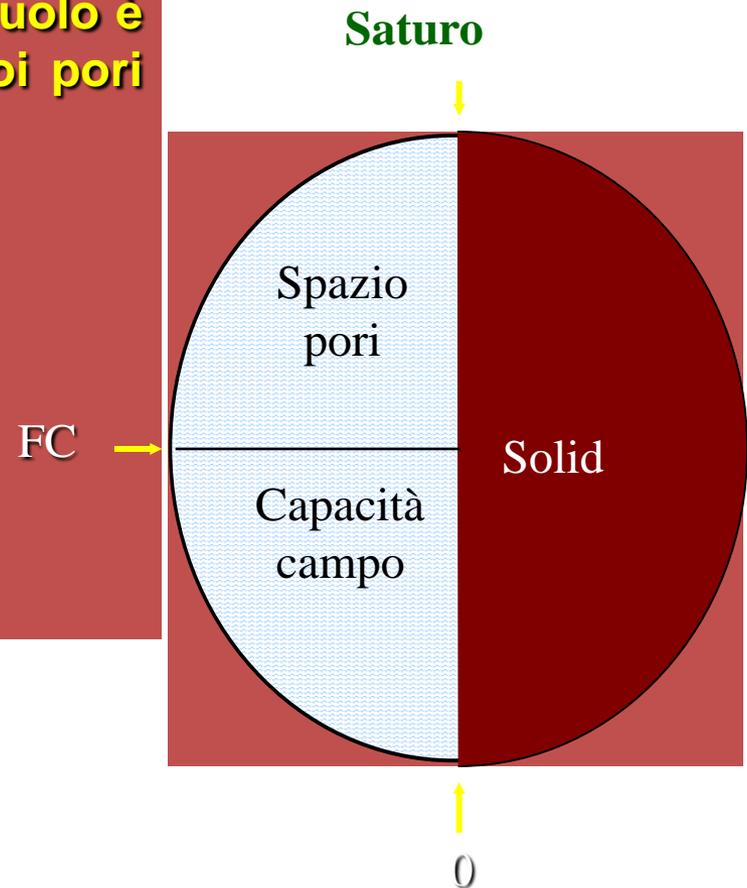
Suolo saturo

Quando il suolo è saturo, dopo un'irrigazione o una pioggia, i pori sono riempiti d'acqua.



Capacità di campo

Quando l'acqua gravitazionale è drenata, il suolo è alla capacità di campo e circa metà dei suoi pori contengono acqua



Classificazione dell'acqua nel terreno

L'acqua nel terreno può essere classificata secondo categorie di una certa utilità dal punto di vista pratico.

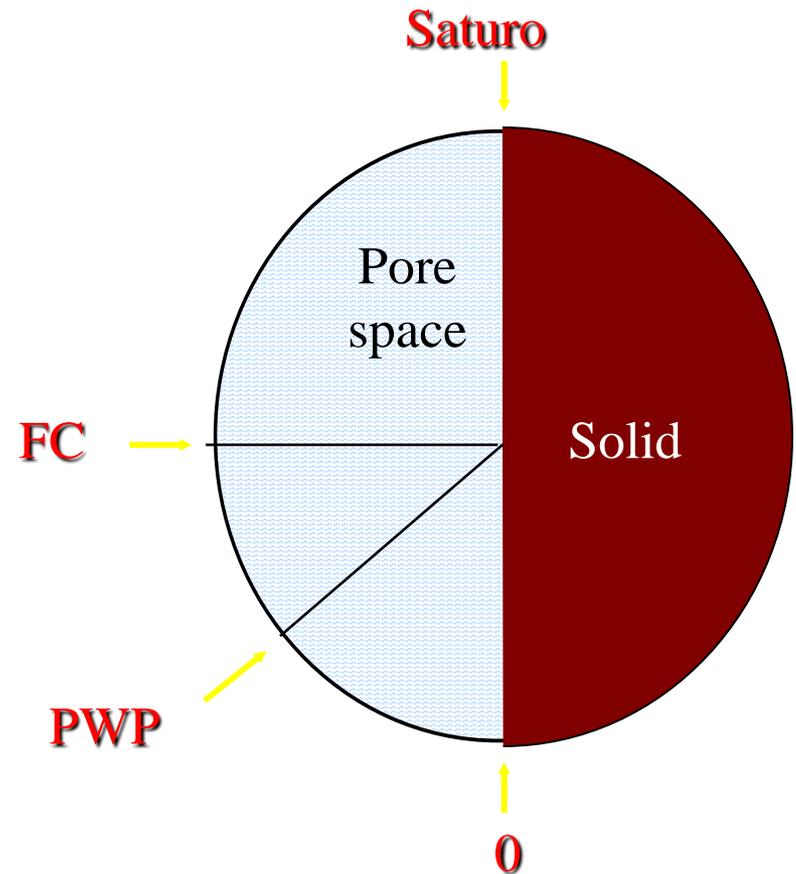
Capacità idrica massima (CIM) è il volume d'acqua contenuto in un suolo saturo ($\Psi > 0$).

Capacità idrica di campo (CIC o CC) è il volume d'acqua contenuto in un suolo in opposizione alla forza di gravità ($\Psi = 0$ circa). Secondo una definizione pratica è l'acqua contenuta nel suolo due o tre giorni dopo un'intensa precipitazione; potenziale = $-0.1 \div -0.3$ bar oppure $pF = 2 \div 2.5$

Acqua gravitazionale (AG) è l'acqua che viene drenata dal suolo per gravità ($AG = CIM - CC$).

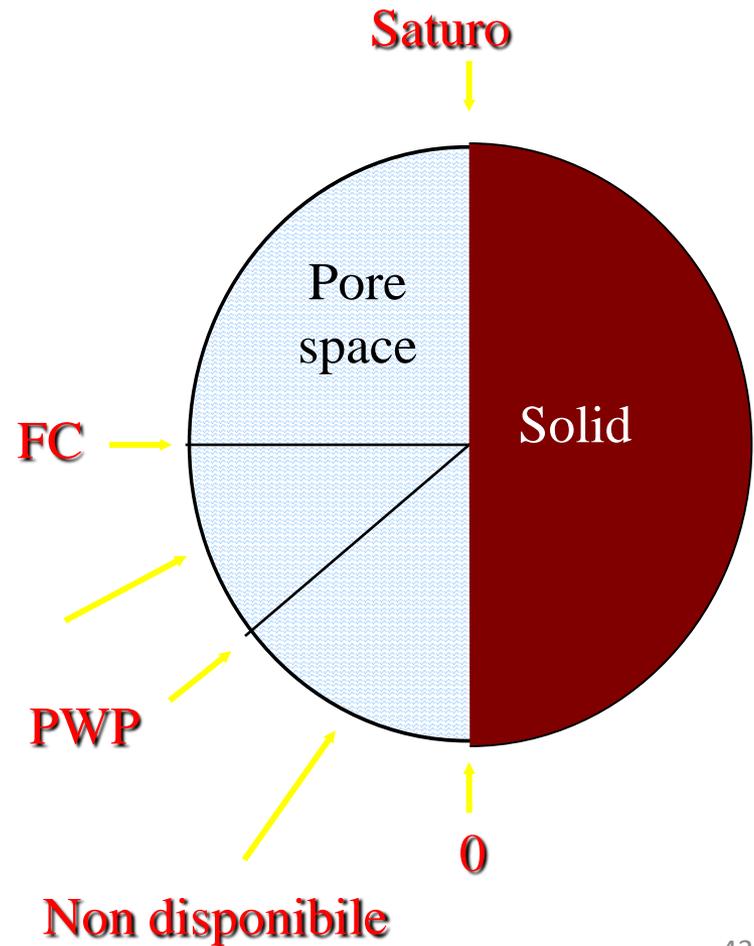
Punto di appassimento permanente

Il punto di appassimento permanente è raggiunto quando l'acqua disponibile è rimossa e l'acqua rimanente è trattenuta con troppa forza per poter essere estratta.

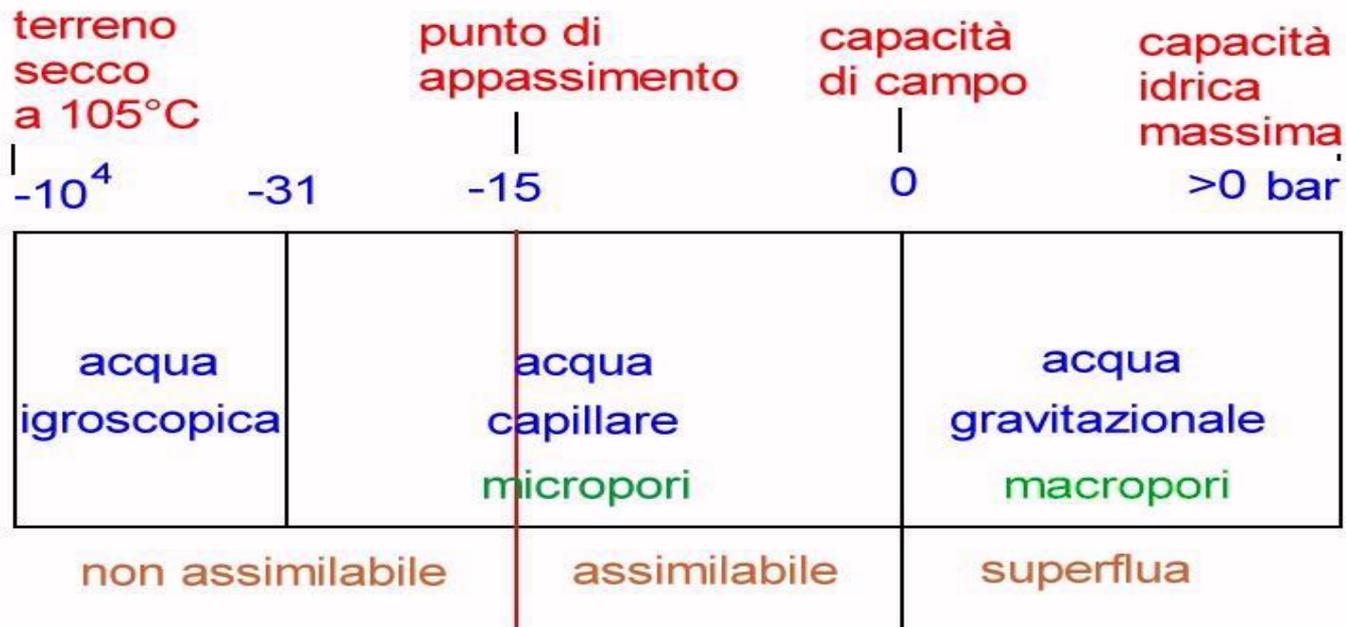


Acqua disponibile

Circa metà della capacità di campo è disponibile per le piante



Classificazione dell'acqua nel suolo



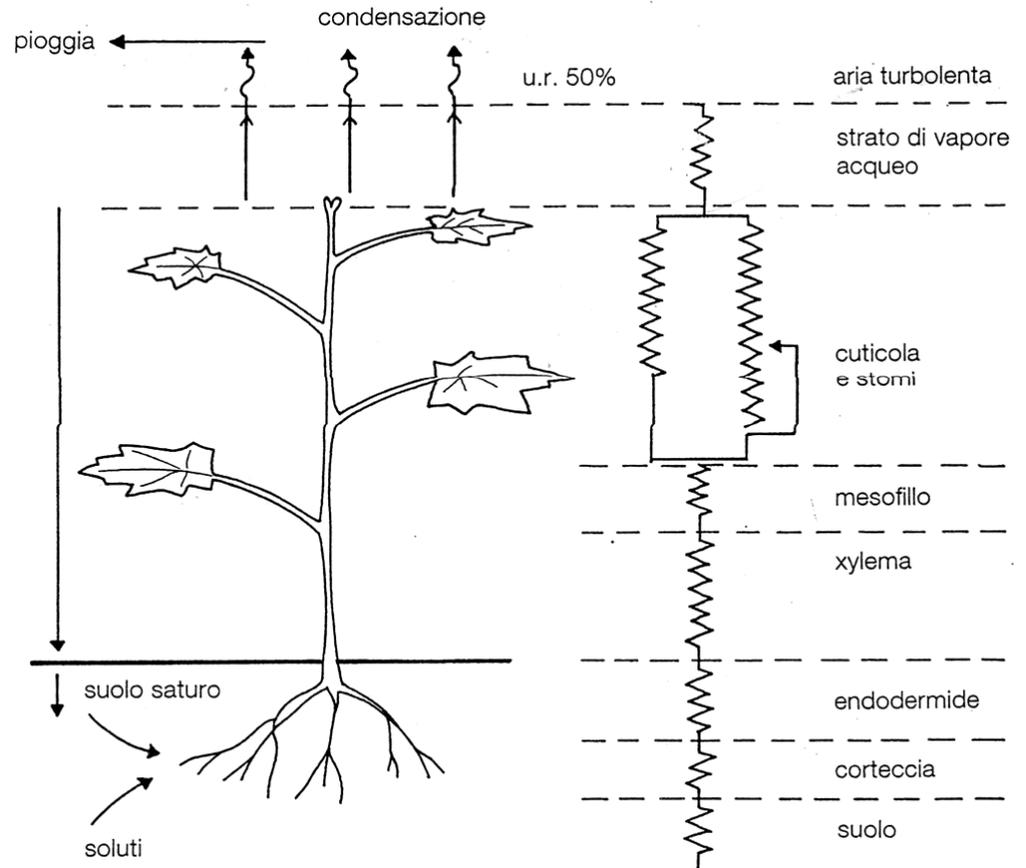
Contenuti d'acqua disponibili in funzione della classe tessiturale

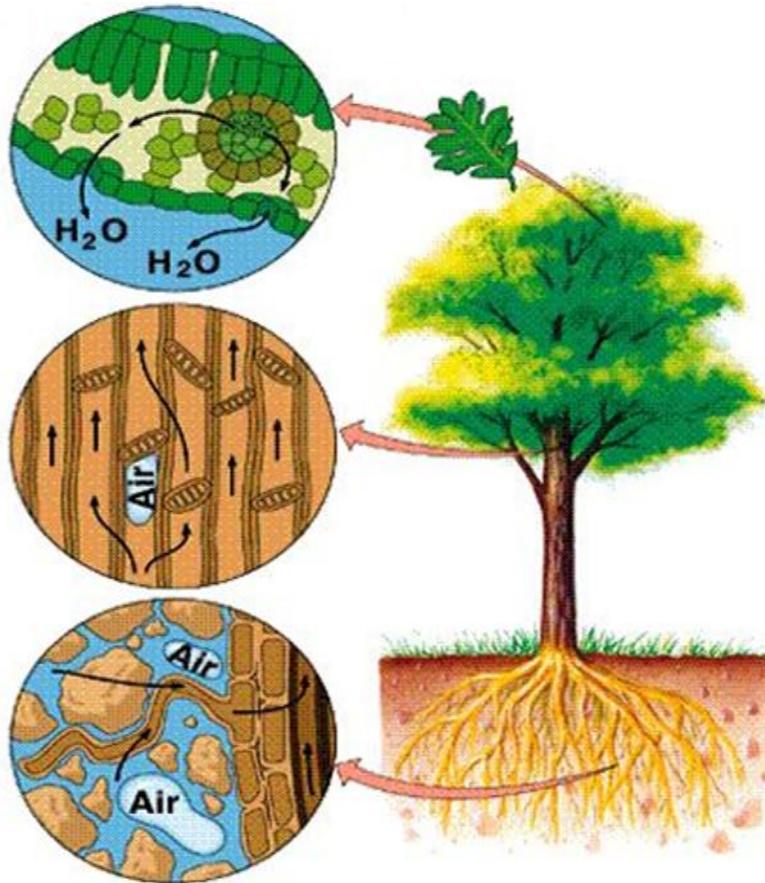
Classe tessiturale	Acqua disponibile (cm cm⁻¹)
Sand	0.04-0.06
Fine Sand	0.06-0.08
Loamy Sand	0.06-0.09
Sandy Loam	0.07-0.12
Fine Sandy Loam	0.08-0.13
Loam	0.08-0.15
Clay Loam	0.10-0.15
Silty Clay Loam	0.10-0.18
Clay	0.12-0.21

Il trasporto dell'acqua nel *continuum* suolo-pianta-atmosfera

Le piante si collocano all'interfaccia tra il suolo e l'atmosfera, giocando un ruolo centrale nel passaggio del vapore acqueo tra il terreno e l'aria.

Esse si possono considerare un sistema idraulico continuo che mette in connessione l'acqua presente nel suolo con il vapore acqueo.





Nel sistema continuo suolo-pianta-atmosfera l'acqua si muove da un punto all'altro seguendo i gradienti di potenziale, da zone a potenziale maggiore a zone a potenziale minore.

Elevati gradienti di potenziale idrico tra il suolo e l'atmosfera facilitano la traslocazione dell'acqua.

La teoria della coesione (Dixon e Joly, 1985) spiega il passaggio dell'acqua nel continuum SPA.

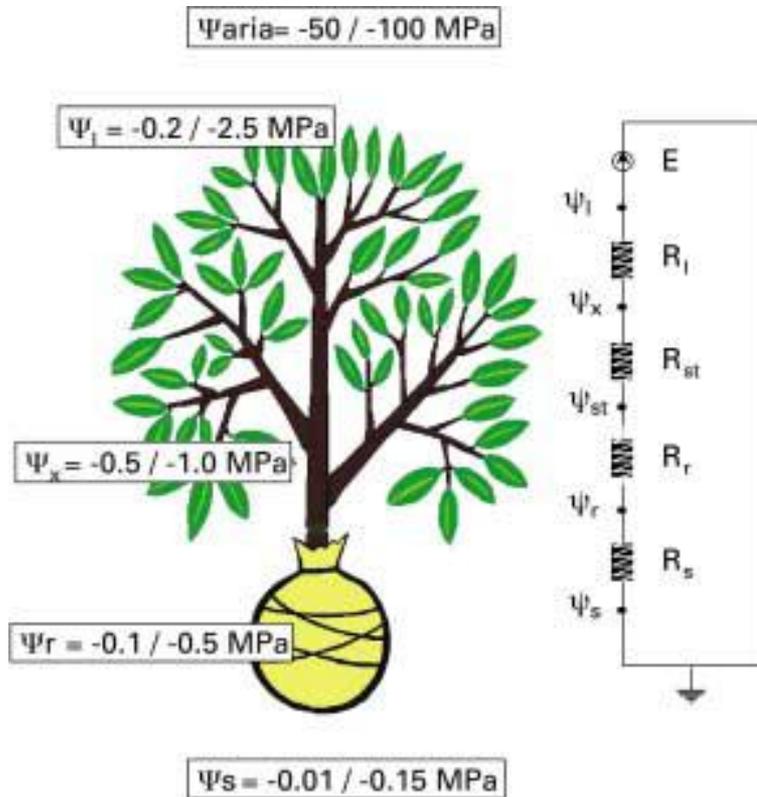


L'acqua persa dalle cellule del mesofillo per traspirazione crea una tensione, che si propaga fino al capillizio radicale consentendo l'assorbimento di acqua dal terreno.

Le catenelle di acqua non si rompono in virtù della coesione che caratterizza le molecole d'acqua.

Il gradiente di potenziale nel *continuum* suolo-pianta-atmosfera è la forza che guida il trasporto attraverso la pianta: il flusso idrico partirà da un punto del sistema ad alto (meno negativo) potenziale idrico a un altro punto a basso (più negativo) potenziale idrico. Normalmente il flusso seguirà la direzione dal suolo ($\Psi_s = -0,01 \div -0,15$ MPa) verso l'atmosfera ($\Psi_{atm} = -50 \div -100$ MPa) passando attraverso la pianta.

Il *continuum* suolo-pianta-atmosfera può essere considerato analogo ad un circuito elettrico.



Ψ_s = potenziale idrico del suolo;
 Ψ_r = potenziale idrico radicale;
 Ψ_x = potenziale idrico xilematico;
 Ψ_l = potenziale idrico fogliare;
 Ψ_{aria} = potenziale idrico dell'atmosfera;
 R_s = resistenza suolo;
 R_r = resistenza radicale;
 R_{st} = resistenza del fusto;
 R_l = resistenza fogliare;
 E = ambiente esterno

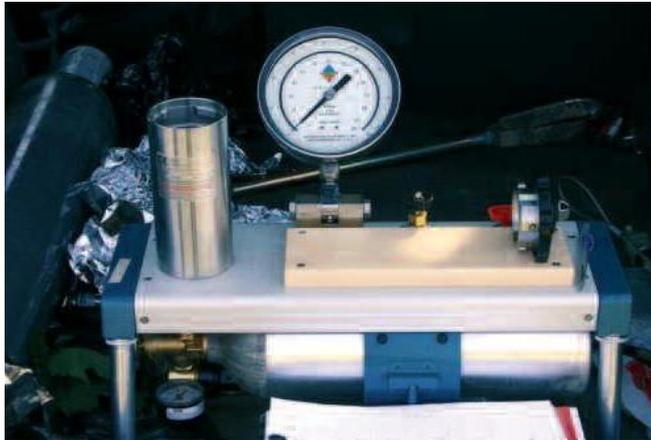
Il potenziale idrico nella pianta

$$\Psi_w = \Psi_p + \Psi_o + \Psi_g + \Psi_m$$

- **Ψ_p** (potenziale di turgore): rappresenta la componente di pressione del potenziale idrico cellulare ed è il risultato della pressione idrostatica nelle cellule.
- **Ψ_o** (potenziale osmotico): esprime una forza di tensione (suzione) e dipende dalla concentrazione di soluti.
- **Ψ_g** (potenziale gravitazionale): legato alla forza di gravità, è in relazione all'altezza della pianta.
- **Ψ_m** (potenziale matriciale): dipende dalle interazioni tra la fase liquida e solida di un determinato tessuto, l'acqua si lega infatti alla fase solida attraverso fenomeni di capillarità.

Misura del potenziale idrico nella pianta

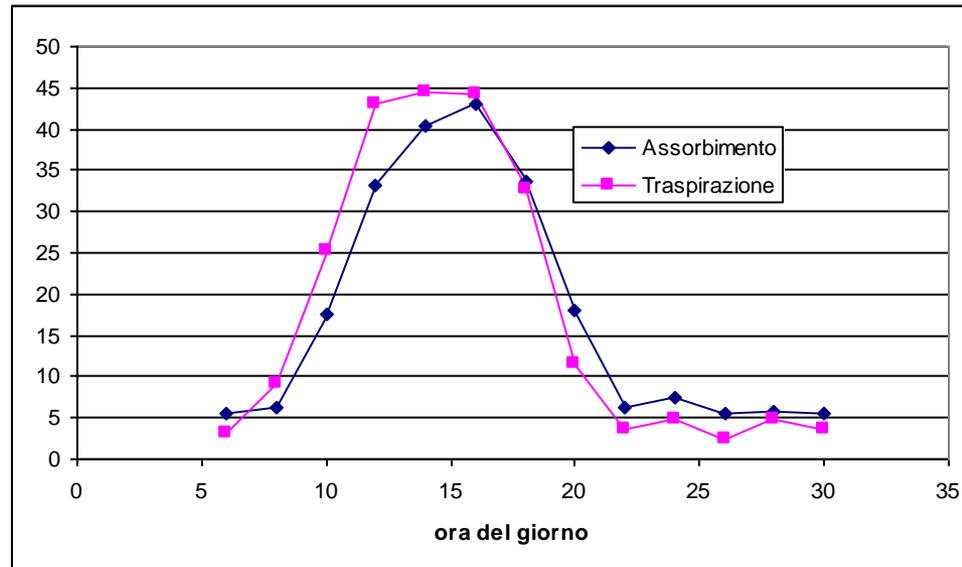
La misura del potenziale fogliare permette di valutare lo stato idrico della pianta; si misura con apposite camere a pressione.



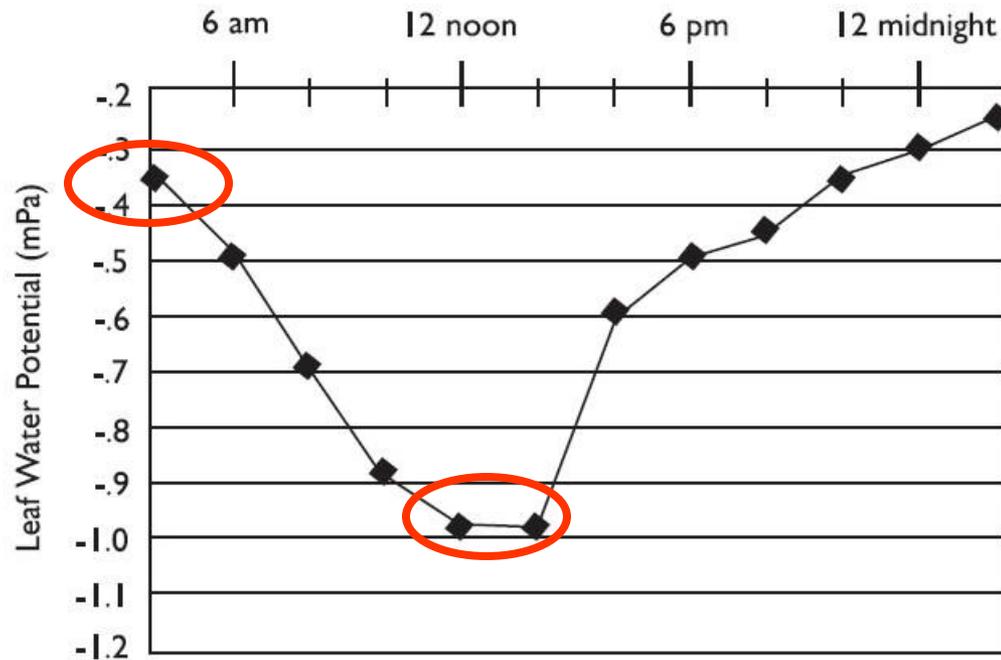
Camera di Sholander

Si tratta di una camera a pressione, munita di un apposito misuratore di pressione e collegata, durante le misure, ad una bombola contenente del gas liquido inerte ad alta pressione (in genere si tratta di azoto, non ossigeno perché danneggia i tessuti vegetali).

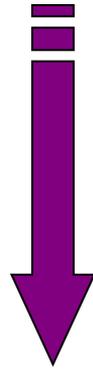
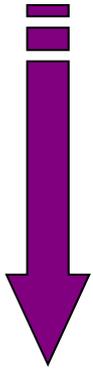
Dinamica giornaliera dell'acqua nella pianta



Dinamica giornaliera del potenziale idrico



Possibile soluzione...



Applicazione di regimi irrigui di tipo deficitario

Irrigazione Deficitaria

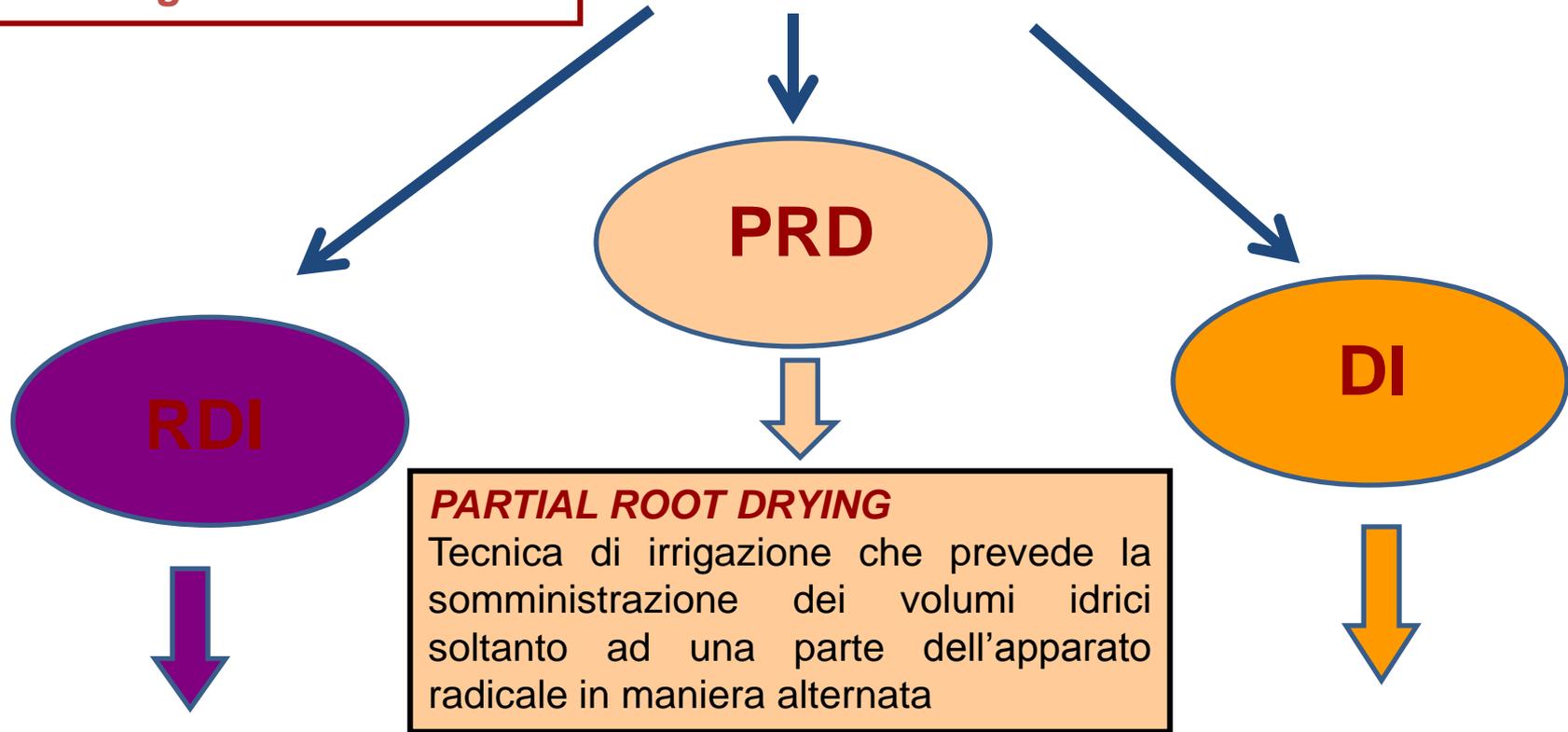
La “Deficit Irrigation - DI” è una strategia di ottimizzazione mediante la quale alle colture è inflitto di proposito un certo grado di carenza idrica e quindi di riduzione produttiva (English, 1990).

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***).

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).

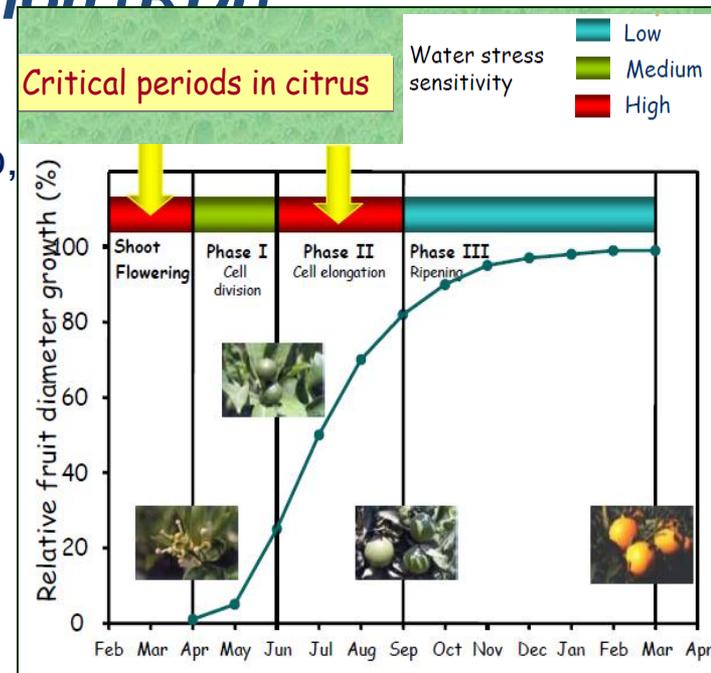
Regulated Deficit Irrigation (RDI)

Il *deficit idrico* è imposto alla coltura durante le fasi fenologiche che risentono minimamente dello stress indotto, 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



Fasi fenologiche sensibili delle **colture arboree**: si protrae fino all'allegagione e allo sviluppo dei frutti.

Fasi fenologiche resistenti delle **piante da biomassa**: difficile individuarle, 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.

Si consiglia il monitoraggio dell'acqua del suolo

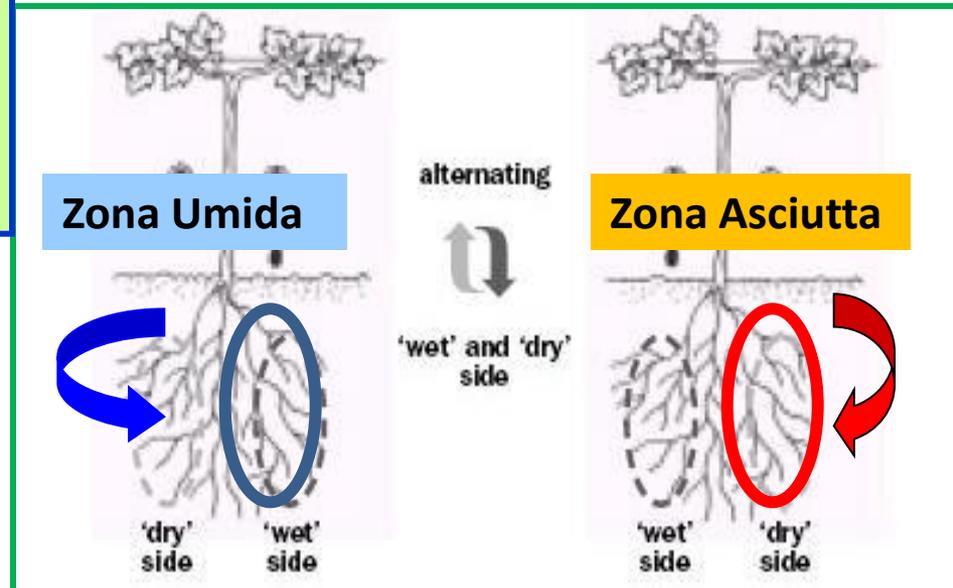
Partial Root-zone Drying (PRD)

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:

- ❑ riduzione dell'apertura stomatica con minori perdite di acqua;
- ❑ consente il controllo dello sviluppo vegetativo della pianta;
- ❑ perdite di produzione poco significative;
- ❑ notevoli risparmi idrici;
- ❑ effetti positivi sulla qualità del prodotto;

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



Si consiglia il monitoraggio dell'acqua del suolo

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:

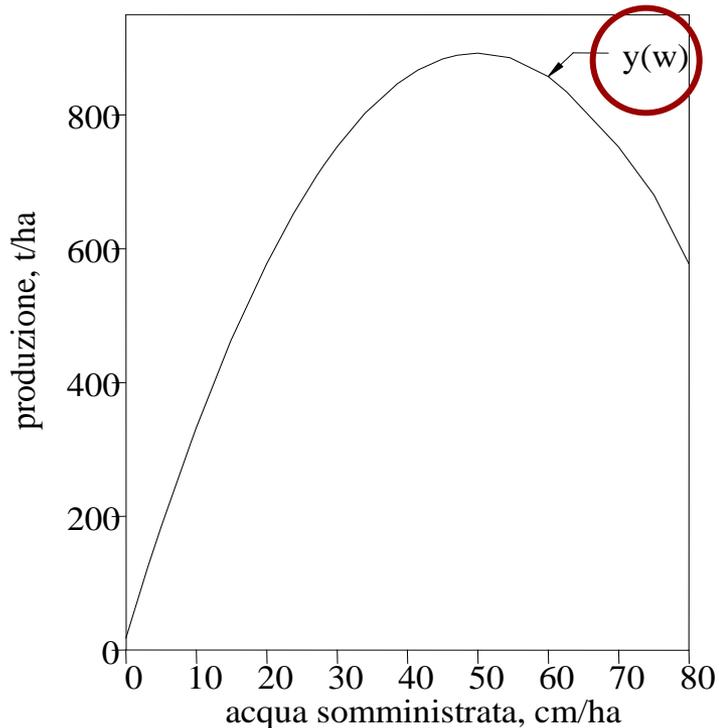
MTY è la produzione totale vendibile (t/ha)

ETa è l'evapotraspirazione effettiva (mm)

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***



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

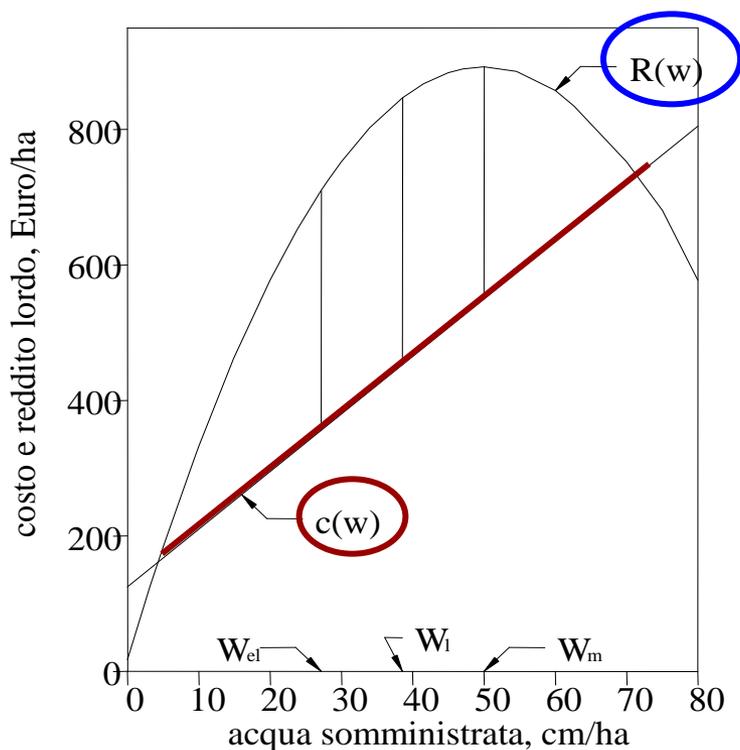
dove:

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

w = acqua somministrata (mm)

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:

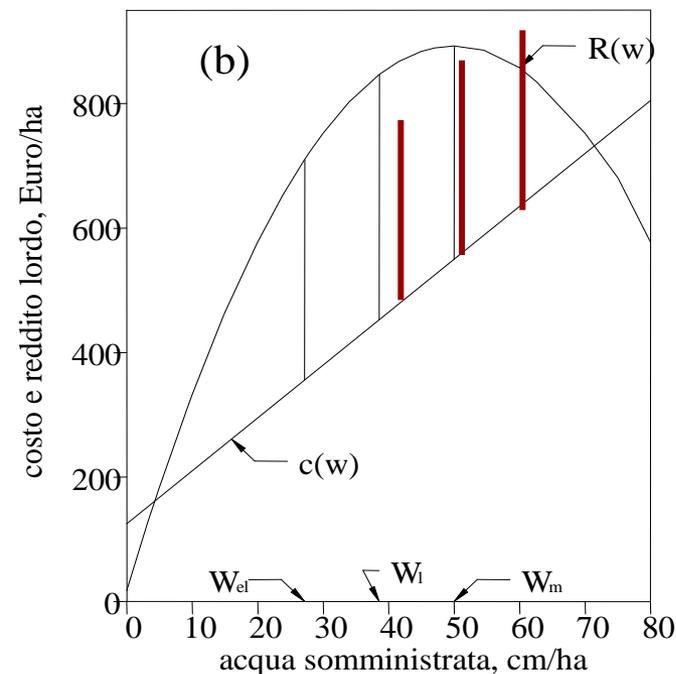
$y(w)$ = produzione (ton/ha)

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

Punti 3 e 4 :

Riduzione dei costi di irrigazione e Massimizzazione dei benefici economici

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



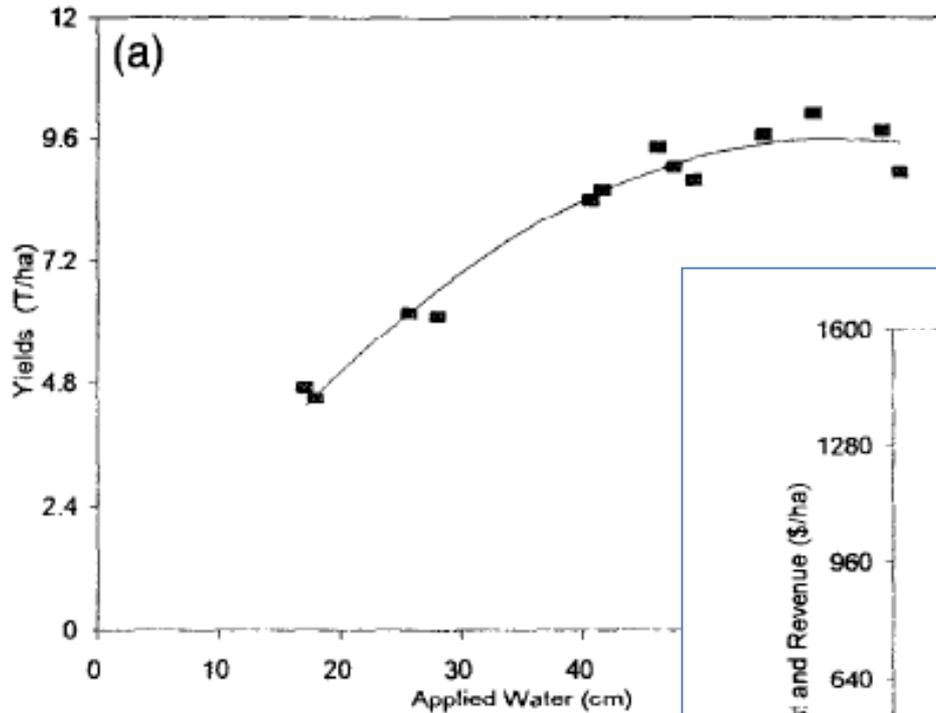
L'**intercetta** della retta dei costi (a_2) rappresenta i **costi fissi** (ammortamento, interessi, tasse, parte fissa dei costi di lavorazione, raccolta, ecc.)

La **pendenza** della retta dei costi (b_2) rappresenta i **costi variabili** in funzione dei livelli idrici somministrati e della produzione ottenuta (ammortamento dell'impianto, energia per il sollevamento, parte dei costi di concimazione, raccolta, ecc.)

Il **Reddito Netto**, calcolato sottraendo i costi dal reddito lordo, è rappresentato dalla differenza verticale tra le due linee

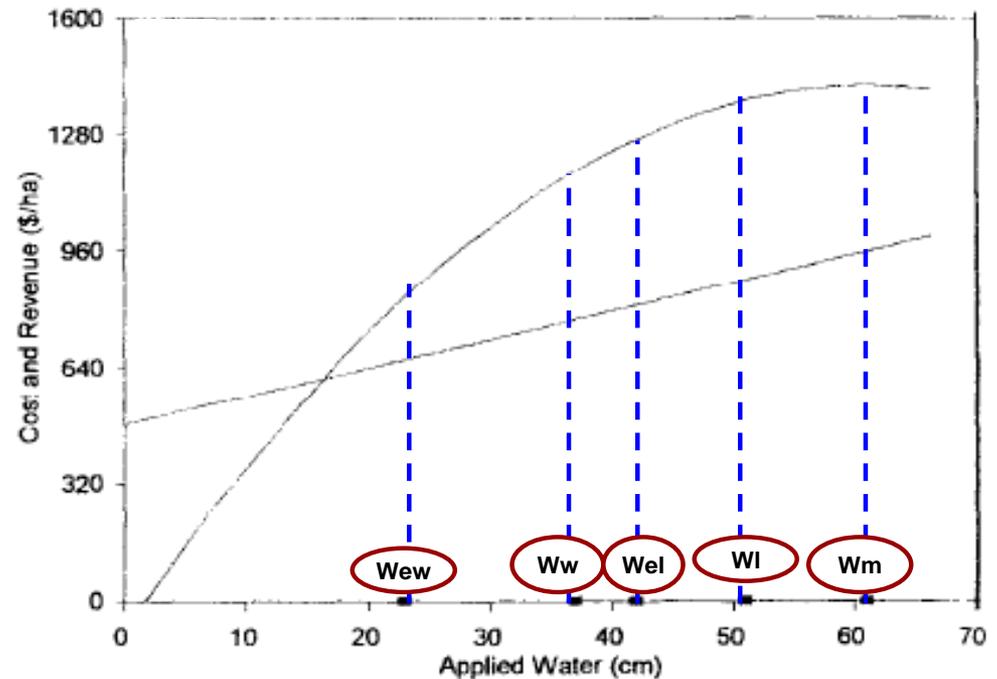
Livelli idrici ottimali

English (1990) e English e Raja (1996), analizzando la validità economica delle tecniche di DI, hanno individuato i seguenti **livelli idrici ottimali**, da cui dipendono la massima produzione e il massimo reddito netto, in condizioni di risorse limitate in termini di acqua e/o di suolo:

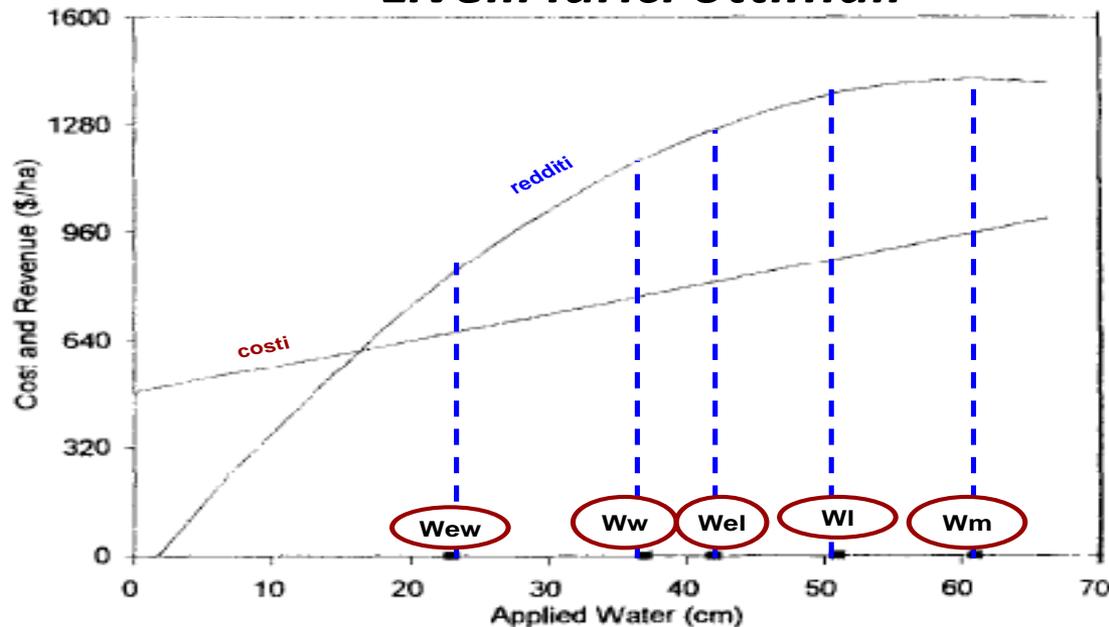


Fonte:

**English, M. and Raja, S. N., 1996.
Perspectives on deficit irrigation.
Agric. Water Manage., 32: 1-14**



Livelli idrici ottimali



- ❑ W_m : livello cui corrisponde la *massima produzione colturale per unità di suolo*;
- ❑ W_I : livello cui corrisponde il *massimo reddito netto per unità di suolo*;
- ❑ W_{el} : livello in cui il reddito netto, nel caso in cui il *suolo sia la risorsa limitata*, eguaglia quello che si otterrebbe applicando la *full irrigation*;
- ❑ W_w : livello cui corrisponde il *massimo reddito netto per volume di acqua*;
- ❑ W_{ew} : livello in cui il reddito netto, nel caso in cui *l'acqua sia la risorsa limitata*, eguaglia quello che si otterrebbe applicando la *full irrigation*.

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”

Rischi nella Deficit Irrigation

- ❑ Nella stima dei livelli idrici ottimali è possibile incorrere a degli errori.
 - La funzione di produzione non è nota a priori;
 - Il prezzo della produzione e la funzione dei costi possono non essere note con precisione.

Tali incertezze implicano dei rischi

- ❑ Ciò, però, non può precludere l'uso di tecniche irrigue deficitarie

Rischi nella Deficit Irrigation

Persiste una diffidenza nel proporre l'irrigazione deficitaria *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 in loco per più anni.

La convenienza economica dipende dal tipo di coltura sottoposta a DI

Adottare tecniche di DI significa risparmiare non solo acqua ma anche energia

- Nei Paesi del Mediterraneo è necessario incoraggiare tecniche agricole sostenibili ottenendo ridotti inputs soprattutto di acqua e di fertilizzanti, al fine di minimizzare qualsiasi impatto sulla produzione e sulla qualità dei prodotti; per cui, occorre ottimizzare l'uso dell'acqua e implementare nuovi sistemi e tecniche d'irrigazione attraverso interventi mirati all'incremento delle risorse disponibili.

Il problema principale resta quello di convincere gli agricoltori non solo della validità economica della tecnica ma anche della sua fattibilità pratica.

Il ruolo dell'acqua nella pianta

- Mezzo in cui avvengono le reazioni biochimiche
- Elemento essenziale per la realizzazione della fotosintesi
- Mezzo di trasporto di composti organici (floema) e ioni minerali (xilema)
- Funzione meccanica (grazie al turgore cellulare consente la distensione dei tessuti, la penetrazione delle radici nel suolo e il portamento della parte aerea delle piante)
- Regolazione termica (disperde il calore in eccesso durante le calde giornate estive e mantiene i tessuti vegetali in condizioni termiche vicine a quelle ottimali)

I volumi d'acqua che passano attraverso gli organismi vegetali sono sorprendentemente elevati, ma meno dell' 1 % di essa rimane nei tessuti .

Evapotraspirazione ET

- E' il processo risultante dall'evaporazione dell'acqua dalla superficie del terreno E , e dalla traspirazione da parte delle piante T ,

La conoscenza di ET è necessaria:

- per la **determinazione della quantità d'acqua da somministrare** con l'irrigazione in fase di gestione,
- per il **dimensionamento dell'impianto irriguo**
- per la **stima dell'efficienza**.

Evaporazione

L'evaporazione è il processo secondo cui l'acqua presente su una qualsiasi superficie passa dallo stato liquido allo stato di vapore e viene così rimossa dalla superficie stessa.

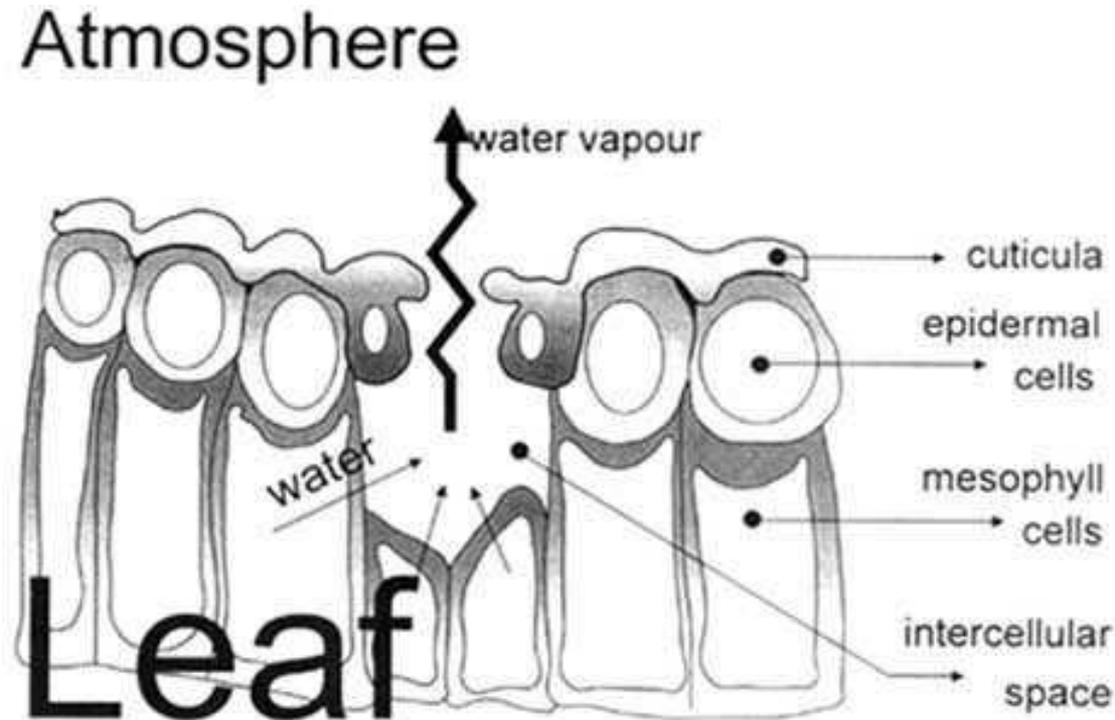
I fattori che influenzano il processo sono:

- la radiazione solare;
- la temperatura dell'aria;
- l'umidità dell'aria;
- la velocità del vento.

Traspirazione

La traspirazione è il processo secondo cui l'acqua presente nei tessuti delle piante passa dallo stato liquido allo stato di vapore e viene così immessa in atmosfera attraverso le aperture stomatiche delle foglie.

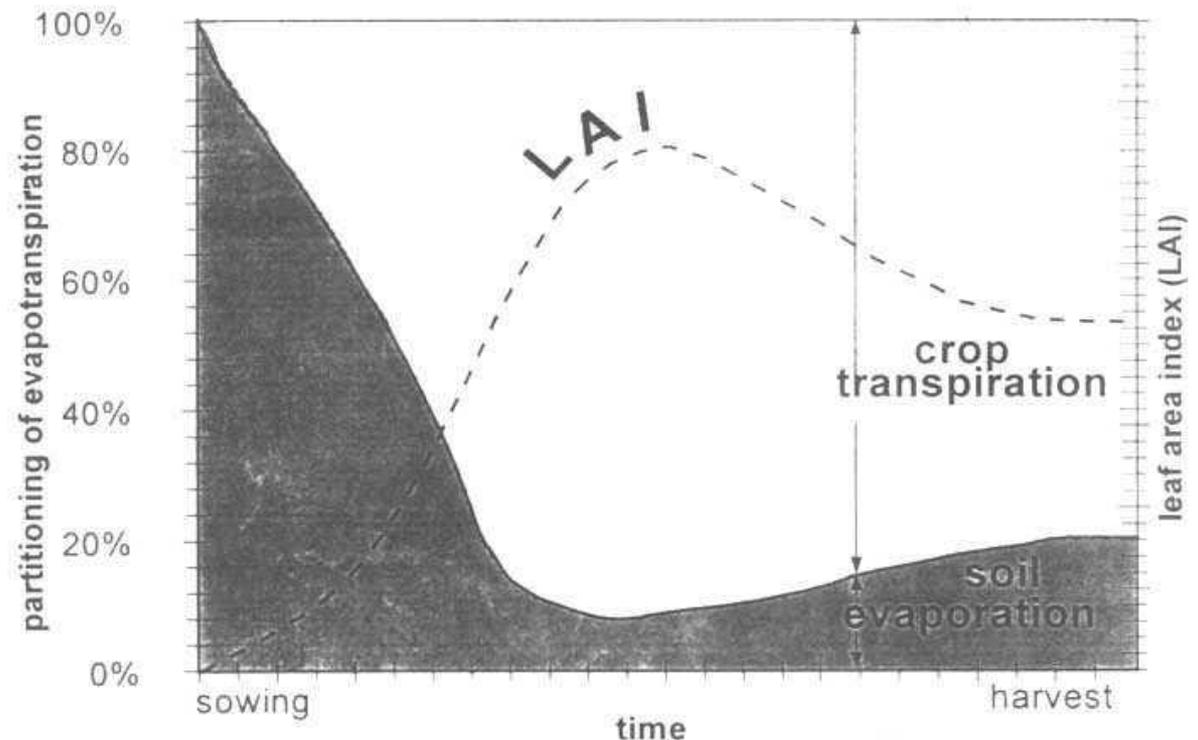
I fattori principali che influenzano il processo sono i medesimi dell'evaporazione. Inoltre la traspirazione dipende anche dal contenuto idrico del terreno, dalla salinità dell'acqua, dalle caratteristiche delle colture.



Evapotraspirazione

Il termine Evapotraspirazione (ET) combina l'evaporazione dal suolo con la traspirazione delle piante e descrive la perdita totale di acqua di una coltura.

Il contributo di tali processi all'evapotraspirazione varia in funzione dello stato di crescita della coltura.



Evapotraspirazione ET

- E' il processo risultante dall'evaporazione dell'acqua dalla superficie del terreno E , e dalla traspirazione da parte delle piante T ,

La conoscenza di ET è necessaria:

- per la **determinazione della quantità d'acqua da somministrare**
- per il **dimensionamento dell'impianto irriguo**
- per la **stima dell'efficienza**.

Unità di misura di ET

L'evapotraspirazione viene normalmente espressa in millimetri di altezza d'acqua (mm) per unità di tempo (giorno, decade, mese, anno). L'unità di misura più comune è mm/giorno.

Fattori che influenzano l'evapotraspirazione

Fattori climatici:

- radiazione solare
- temperatura dell'aria
- velocità del vento
- umidità dell'aria



Il processo è tanto più rapido quanto maggiore è la differenza fra la quantità di acqua presente nell'aria (pressione di vapore effettiva) e quella che essa potrebbe contenere a saturazione.

Tale differenza è definita *deficit di pressione di vapore (VPD)*.

Caratteristiche della coltura:

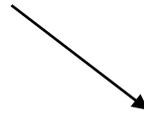
- tipo di pianta
- varietà
- fase di sviluppo

Condizioni colturali e ambientali:

- densità di impianto
- contenuto idrico del suolo
- contenuto di sali nel terreno
- ossigenazione del terreno

Calcolo dell'evapotraspirazione

Stima di ETo



Metodi diretti

- vasca evaporimetrica

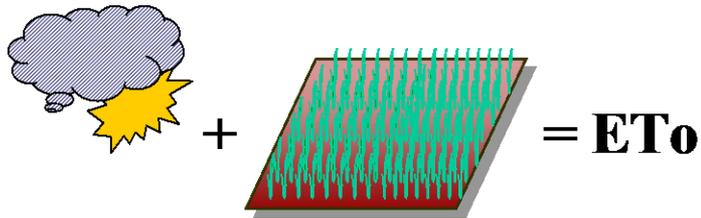
Metodi indiretti

- empirici
- analitici

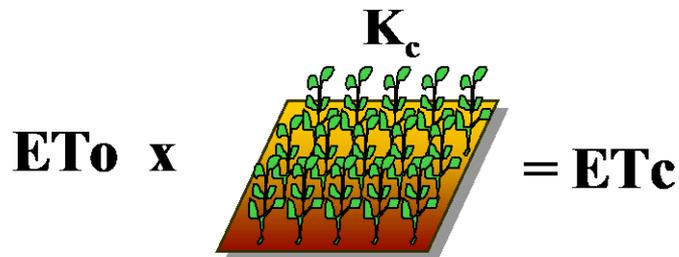
Misura dell'ET

- misure a livello di pianta
- misure a livello di sistema colturale (es. frutteto)
- misure a livello territoriale

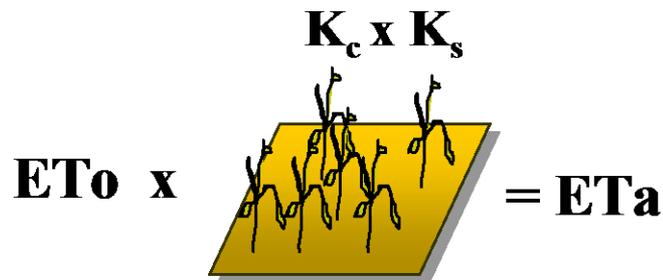
Stima dell'evapotraspirazione effettiva



ET_0 su base climatica



$ET_c = ET_0 \times K_c$



$ET_a = ET_c \times K_s$

L'evaporimetro di classe A



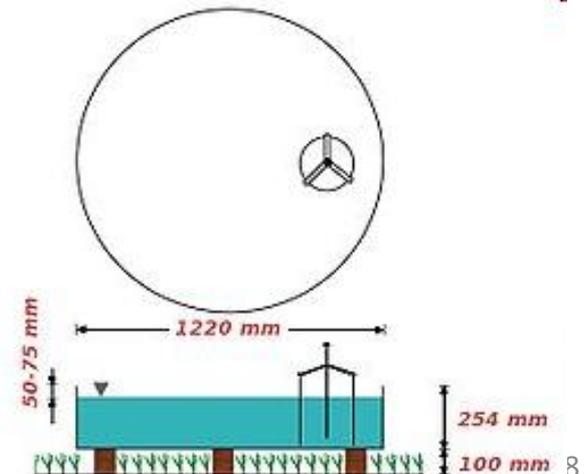
L'evaporazione dalla vasca è correlata all'evapotraspirazione di riferimento attraverso il coefficiente, empiricamente determinato, K_p secondo la relazione:

$$E_{To} = K_p \cdot E \quad [\text{mm/g}]$$

in cui

K_p : coefficiente di riduzione, specifico in base al colore e l'ubicazione della vasca, l'u.r. dell'aria e la velocità del vento
 E : misura dell'evaporato nell'intervallo di riferimento [mm/g]

Il metodo, sebbene influenzato dalle condizioni microclimatiche e dallo stato di manutenzione della stazione, restituisce stime affidabili dell' E_{To} per periodi di 10 o più giorni.



Equazione di Penman-Monteith

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \quad [\text{MJ/m}^2\text{g}]$$

in cui

λ : calore latente di vaporizzazione [MJ/kg]

Δ : coefficiente di correlazione fra la pressione di vapore saturo e la temperatura [kPa/°C]

R_n : radiazione solare netta [MJ/m²g]

G : flusso di calore nel terreno [MJ/m²g]

ρ_a : densità dell'aria [kg/m³]

c_p : calore specifico dell'aria [kJ/kg/°C]

e_s : tensione di vapore saturo dell'aria [kPa]

e_a : tensione di vapore dell'aria [kPa]

r_a : resistenza aerodinamica al flusso di vapore [S/m]

r_s : resistenza della superficie evapotraspirante al flusso di vapore [S/m]

γ : costante psicrometrica [kPa/°C]

FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56

Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements

Indica il metodo Penman-Monteith come l'unico standard, capace di stimare correttamente l'ET_o in un'ampia varietà di luoghi e di condizioni climatiche.

Superficie di riferimento

“Un prato di graminacea (*Festuca arundinacea*) con un'altezza di 0.12 m, una resistenza stomatica di 70 S/m ed un albedo di 0.23.”

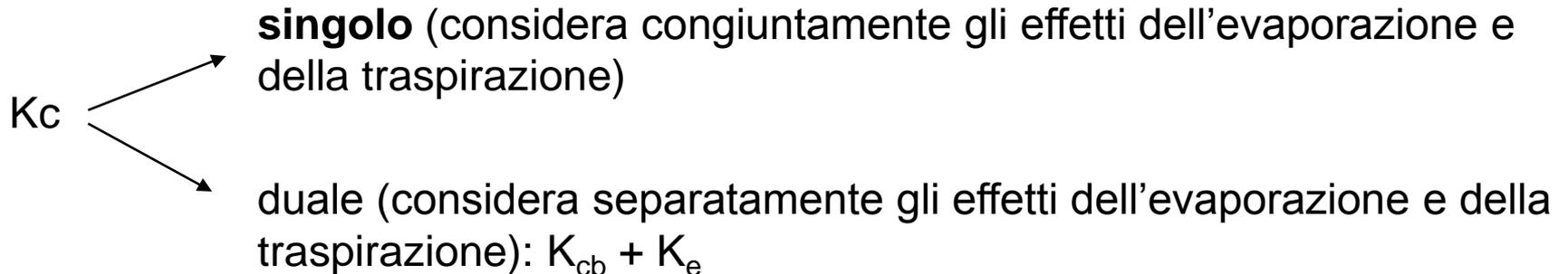
La coltura di riferimento ombreggia completamente il terreno, ha un buon rifornimento idrico e si trova in ottime condizioni nutrizionali e sanitarie.

Stima dell'evapotraspirazione colturale, ET_c

$$ET_c = K_c \cdot ET_o$$

ET_o → tiene conto delle caratteristiche climatiche

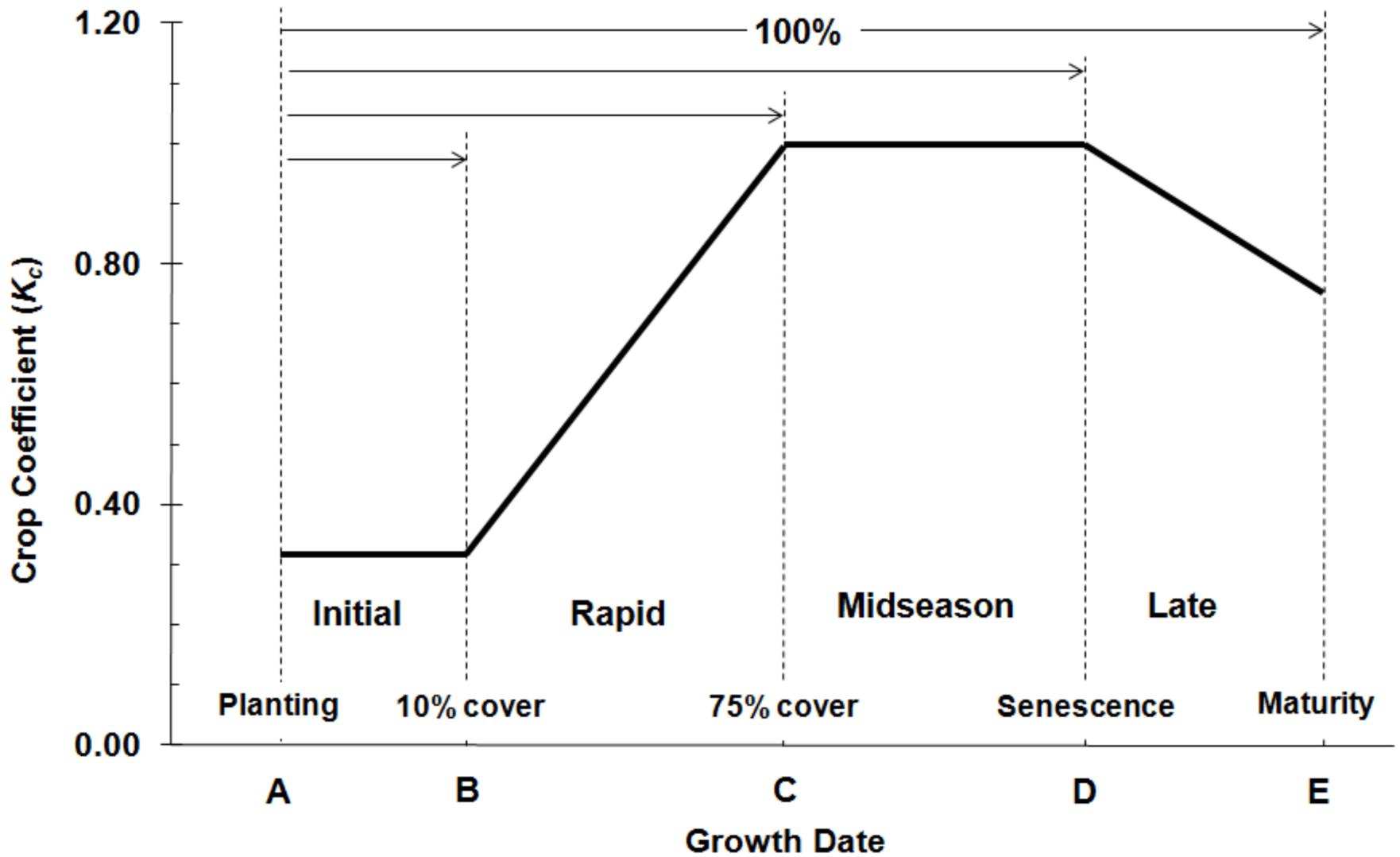
K_c → tiene conto di: assorbimento della luce da parte della coltura (LAI), scabrezza della copertura vegetale, caratteristiche fisiologiche della coltura, età colturale



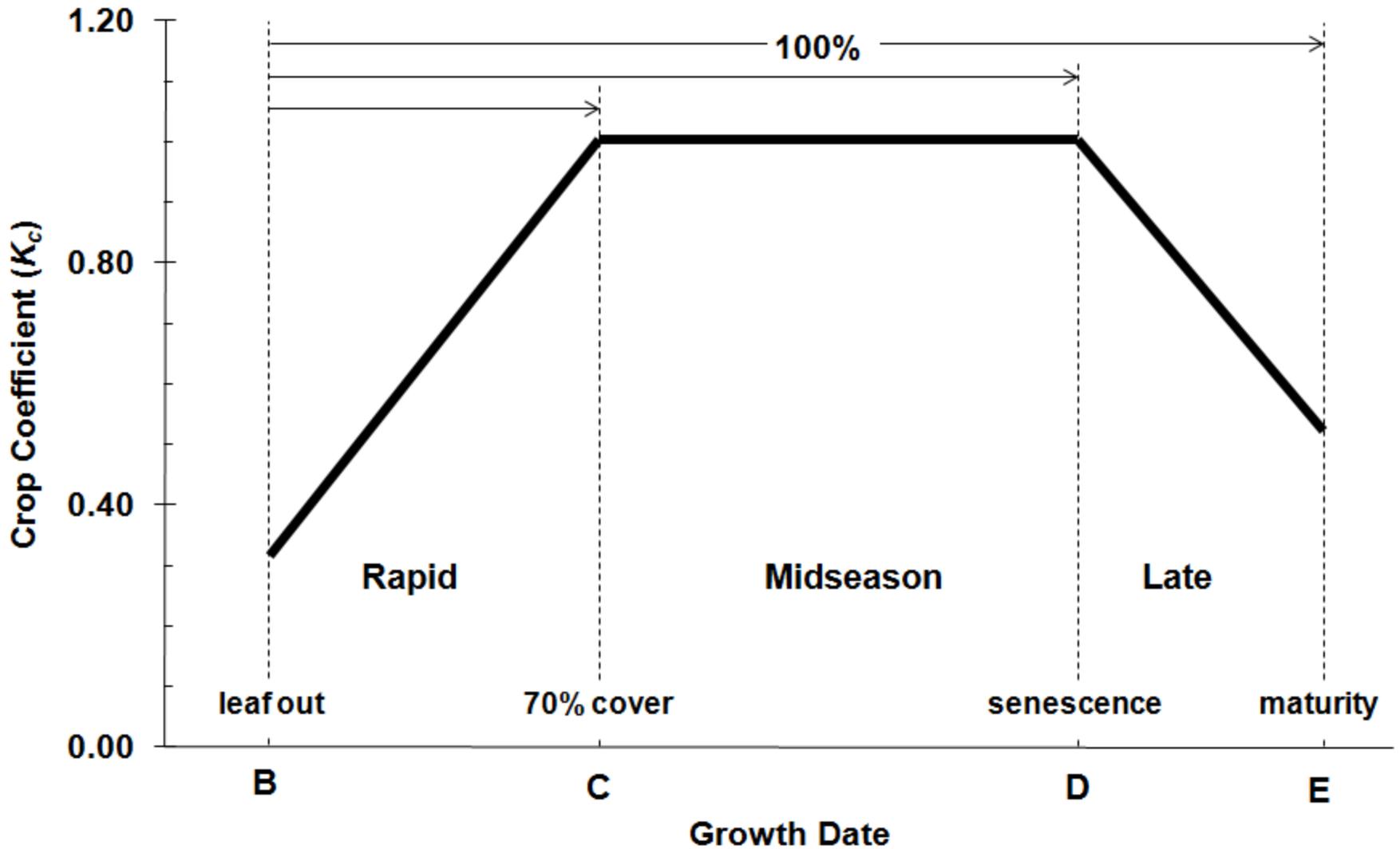
K_{cb} : coefficiente colturale basale, tiene conto della traspirazione

K_e : coefficiente per l'evaporazione dal suolo

Culture erbacee



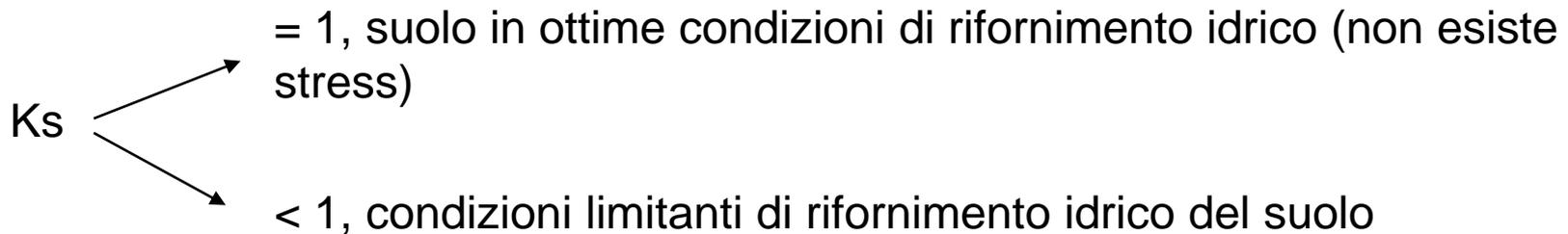
Frutteti e vigneti



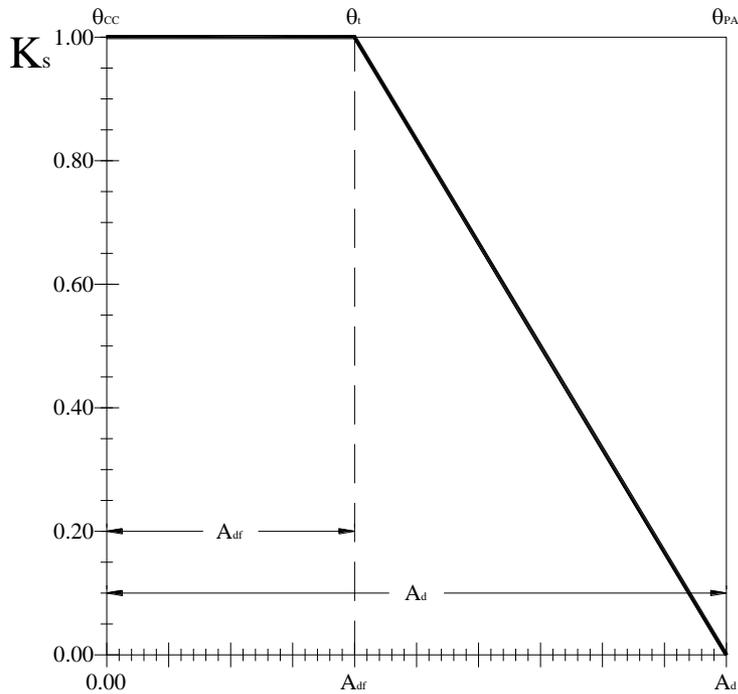
Stima dell'evapotraspirazione effettiva, ETa

$$ETa = Ks \cdot ETc = Ks \cdot Kc \cdot ETo$$

Ks → coefficiente di stress: tiene conto degli effetti dello stress idrico sulla traspirazione colturale.



$$ETa = (Ks \cdot Kcb + Ke) \cdot ETo$$



Il K_s :

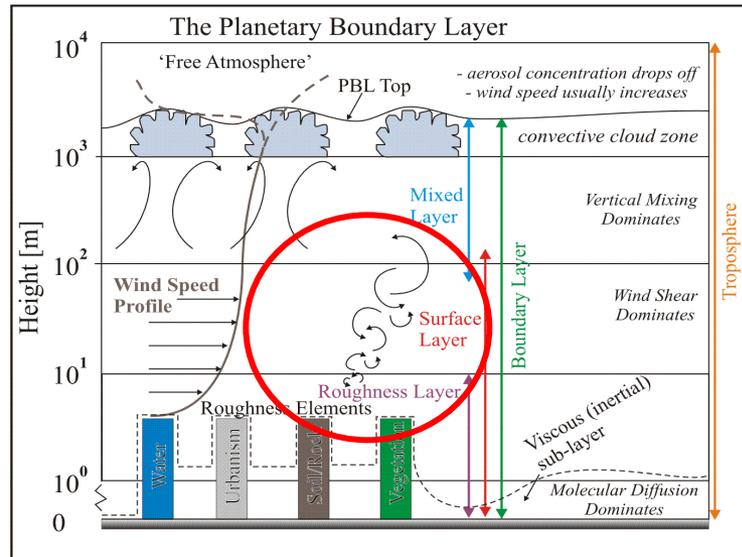
- si mantiene uguale ad 1 fino a quando viene consumata solo l'acqua facilmente disponibile,
- assume valori inferiori ad 1 al di sopra di questa soglia,
- diventa 0 quando è stata consumata tutta l'acqua disponibile, ossia fino al PA

Metodi di misura dell'ET

- A livello di sistema colturale
 - Diretti
 - Lisimetro a pesata
 - Indiretti
 - Tecniche micrometeorologiche (Eddy Covariance, Surface Renewal)
- A livello di singola pianta
 - Metodo Sap flow
- A livello territoriale
 - Telerilevamento

Le tecniche micrometeorologiche

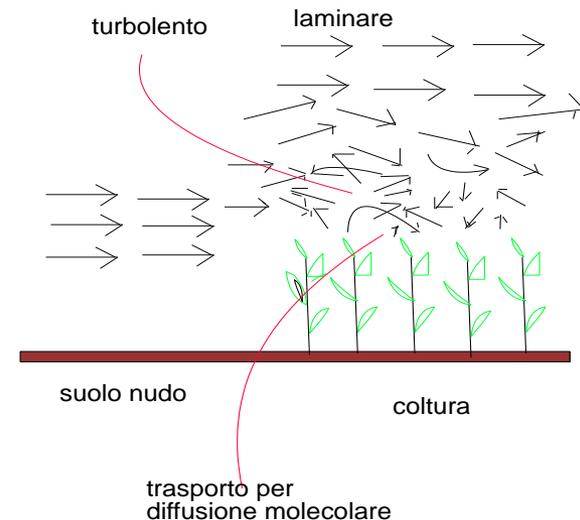
Consentono di misurare i flussi di massa e di energia al di sopra della vegetazione



- Considerano il trasporto delle molecole d'acqua dalla vegetazione verso l'atmosfera
- Le dinamiche di tale trasporto fanno capo alla **meccanica dei fluidi** che consente di determinare in ogni istante di tempo la posizione e la temperatura di tutte le molecole
- Tale teoria è alla base della **modellazione dei processi evapotraspirativi**

Al di sopra della vegetazione il flusso è turbolento

E' rappresentato mediante vortici, "eddies", responsabili del trasporto di massa e di energia



Equazione di bilancio energetico

$$R_n - G - LE - H = 0 \quad [\text{W/m}^2]$$

R_n = radiazione netta

G = densità del flusso di calore nel suolo

LE = densità del flusso di calore latente

H = densità del flusso di calore sensibile

I suddetti termini possono essere positivi o negativi:

$R_n > 0 \rightarrow$ apporto di energia alla superficie

$G, LE, H > 0 \rightarrow$ rimozione di energia dalla superficie e apporto all'atmosfera

Radiazione netta - R_n

Differenza tra la radiazione proveniente dall'atmosfera e quella riflessa dalla superficie in esame.



Radiometro netto a quattro componenti: composto da due piranometri, per le misure di onde corte (radiazione solare), e due pirgeometri, per le misure di onde lunghe (radiazione atmosferica e terrestre).

Radiometro netto integrato: misura la differenza tra radiazione entrante e riflessa senza distinzione di lunghezza d'onda.





Metodo Sap flow

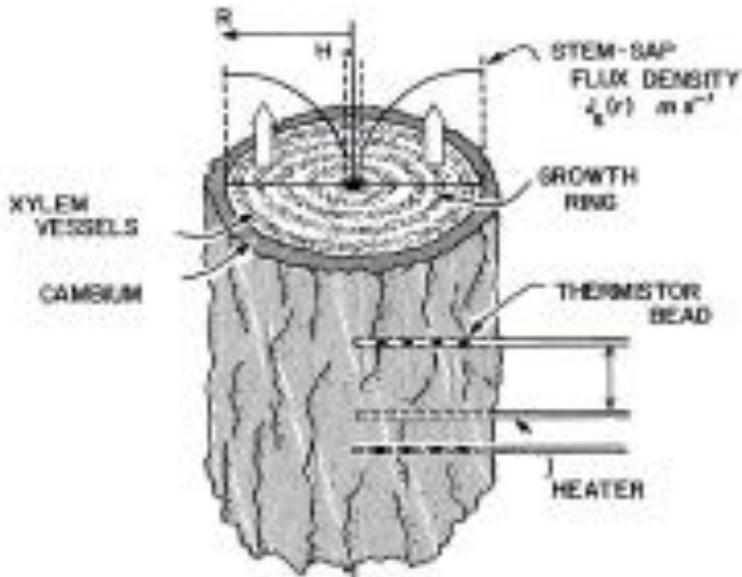
Il flusso linfatico (*sap flow*) è strettamente correlato alla traspirazione della pianta.

Può essere misurato con due metodi:

- heat pulse
- heat balance

E' sempre necessario l' 'up-scaling' dalla pianta alla coltura.

Heat pulse



I termistori sono utilizzati per convertire una temperatura in un valore rappresentativo di corrente elettrica.

Velocità dell'impulso di calore:

$$V = (X_d + X_u) / 2t \quad [m/s]$$

X_d e X_u : distanza dei termistori dal riscaldatore

t : intervallo di tempo

Heat pulse

Velocità corretta per l'effetto ferita:

$$V_c = a + bV + cV^2 \quad [\text{m/s}]$$

Wound width (mm)	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
0.0	0.000	1.000	0.000
1.6	0.393	1.356	0.036
2.0	0.807	1.203	0.058
2.4	1.184	1.072	0.087
2.8	1.524	0.964	0.124
3.2	1.826	0.879	0.169
3.6	2.090	0.818	0.221

(From Swanson and Whitfield, 1981)

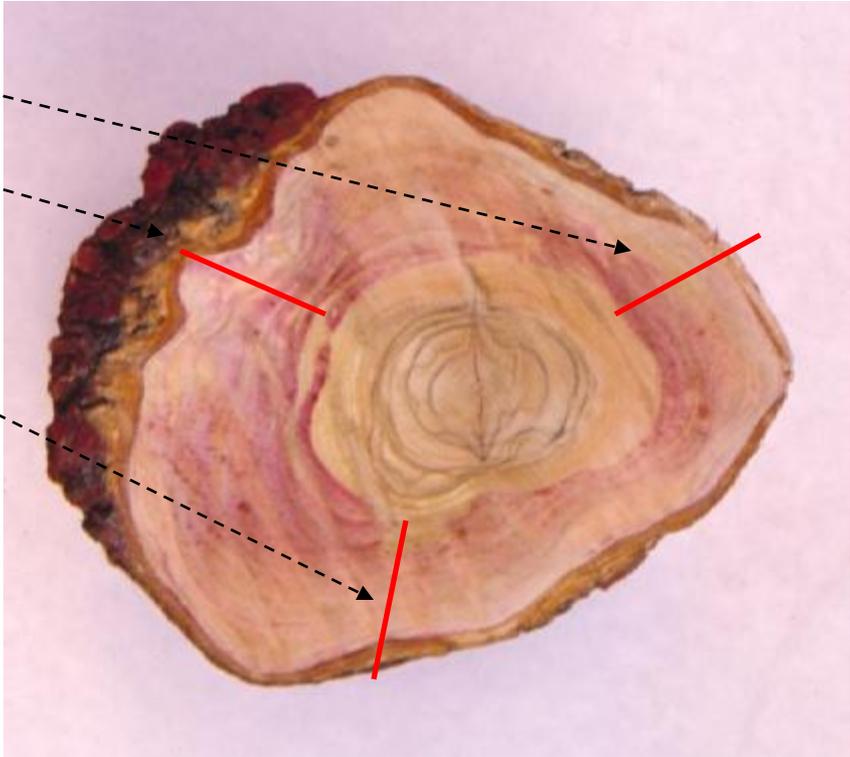
Velocità del flusso della linfa:

$$J = (K \cdot F_m + F_l) V_c \quad [\text{m/s}]$$

F_m e F_l : frazioni volumiche di legno e acqua

K : coefficiente funzione delle proprietà termiche della matrice legnosa

Integrazione della velocità di flusso sull'intera sezione interessata al flusso linfatico





Telerilevamento (Remote Sensing)

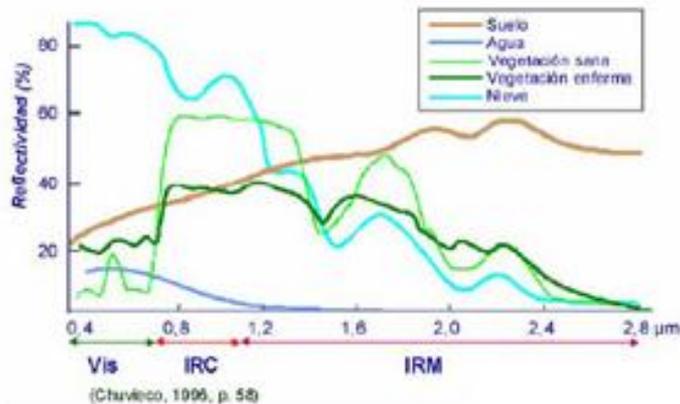
La scienza che raccoglie informazioni qualitative e quantitative di un oggetto (o superficie) senza entrare in contatto fisico con esso.

Studia la radiazione elettromagnetica riflessa o emessa da un oggetto mediante strumenti detti “sensori remoti”, i quali possono essere collocati su piattaforme terrestri, palloni, veicoli aerei e spaziali.

La radiazione elettromagnetica rappresenta il veicolo di trasporto dell'informazione dall'oggetto di indagine al sensore; variazioni nelle caratteristiche delle radiazioni elettromagnetiche diventano fonte di una grande quantità di dati, che consentono di interpretare e di ricavare importanti informazioni sui diversi aspetti del fenomeno investigato.

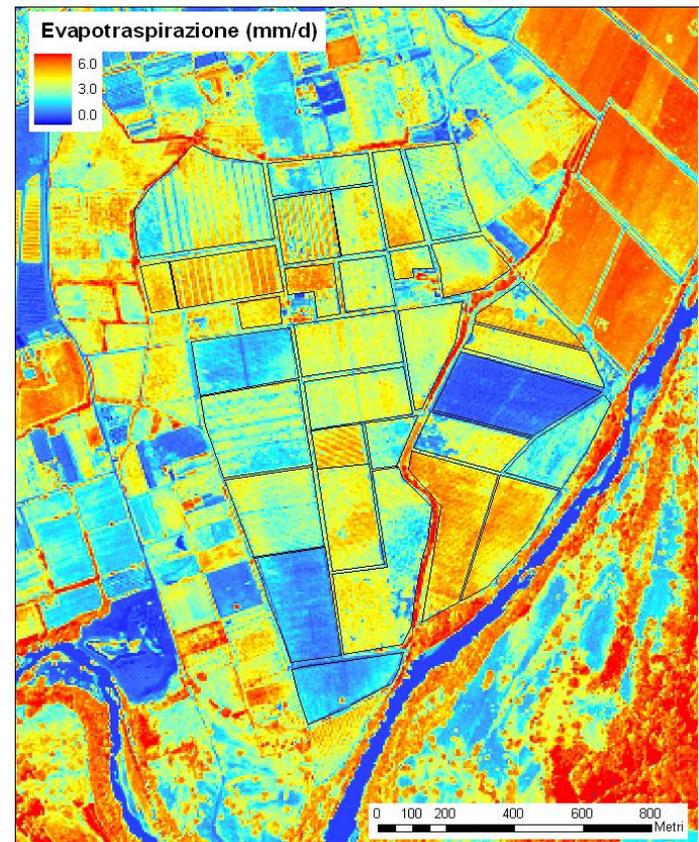
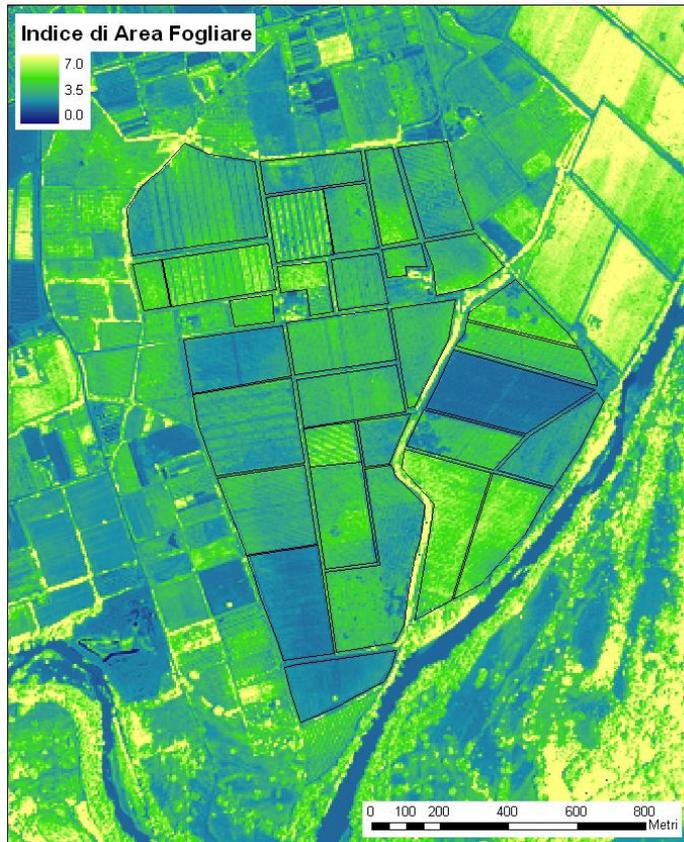
Il telerilevamento passivo utilizza la riflettanza per caratterizzare le superfici.

Per ogni superficie si può costruire un grafico che riporta la capacità di riflessione in funzione della lunghezza d'onda della radiazione, questo grafico prende il nome di **Firma Spettrale**



Serve a riconoscere le superfici e, quindi, a classificarle.

Attraverso le tecniche di *Remote Sensing* notevoli miglioramenti sono stati conseguiti nella definizione delle variabili biofisiche della vegetazione, delle grandezze climatiche ed idrologiche utili alla stima della **variabilità spazio/temporale dei flussi evapotraspirativi da superfici vegetate**.



METODOLOGIA (1) - *Immagini satellitari utilizzate*

QUICK BIRD

- Risoluzione spaziale: 2.8 m;
- Risoluzione spettrale: 3 bande del visibile (Blue-Green-Red) + NIR
- Data di acquisizione: 17 Agosto 2002



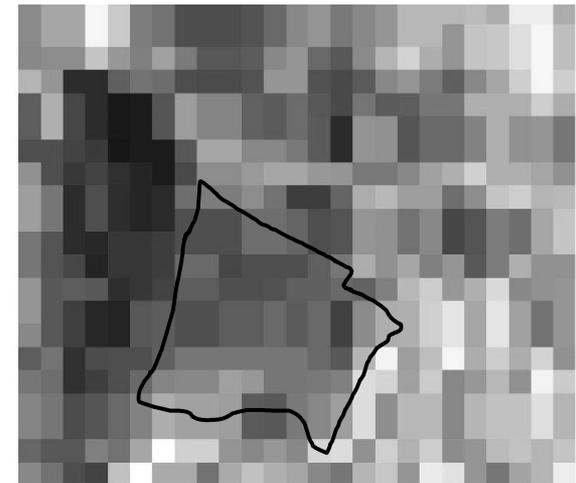
ASTER TERRA

- Risoluzione spaziale: 15 m; 30 m
- Risoluzione spettrale: 2 bande del visibile (Green-Red) + NIR + 6 SWIR
- Data di acquisizione: 7 Luglio 2002

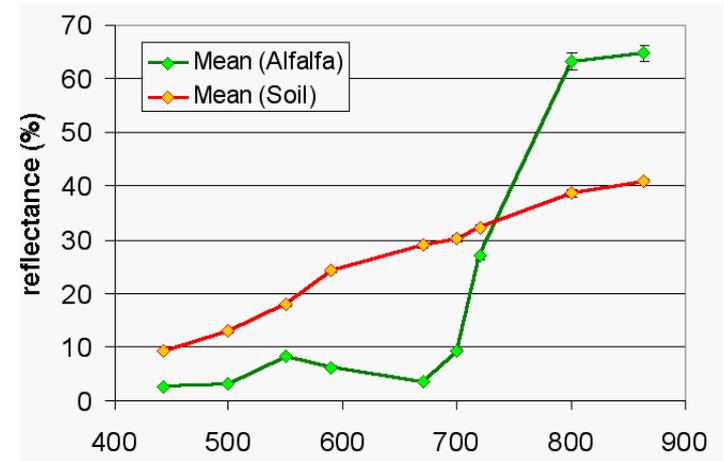


LANDSAT ETM

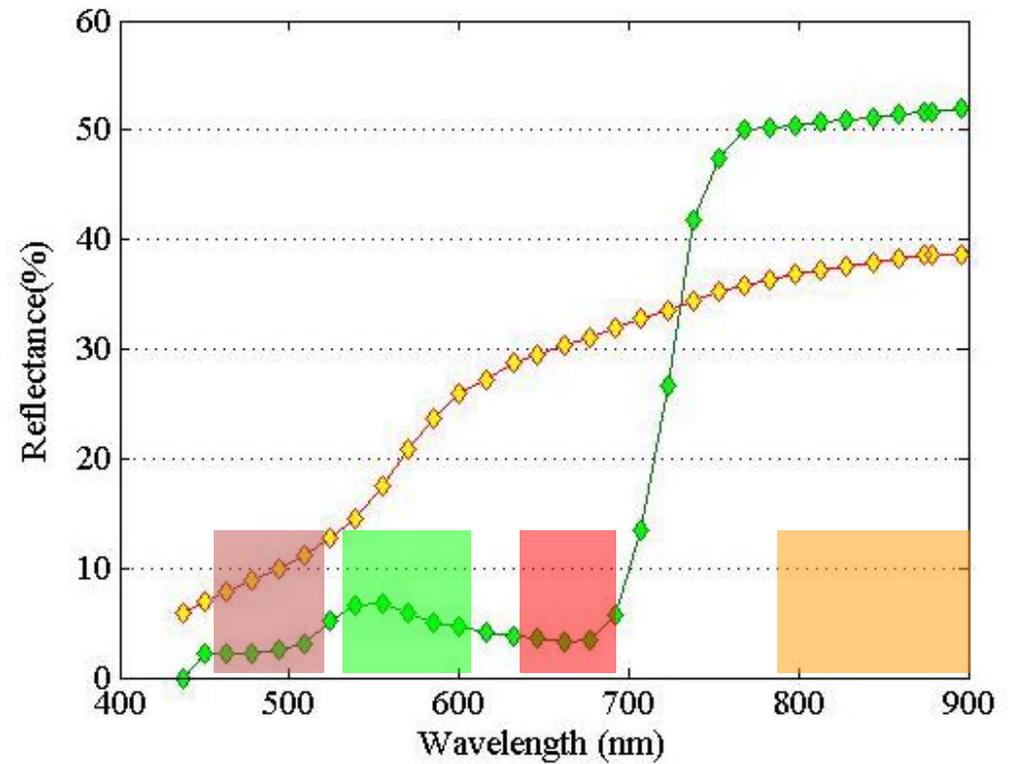
- Risoluzione spaziale: 30 m; 60 m
- Risoluzione spettrale: 3 bande del visibile (Blue - Green-Red) + NIR + 2 SWIR + 1 TIR
- Data di acquisizione: 17 Agosto 2002



Migliore risoluzione spettrale ...

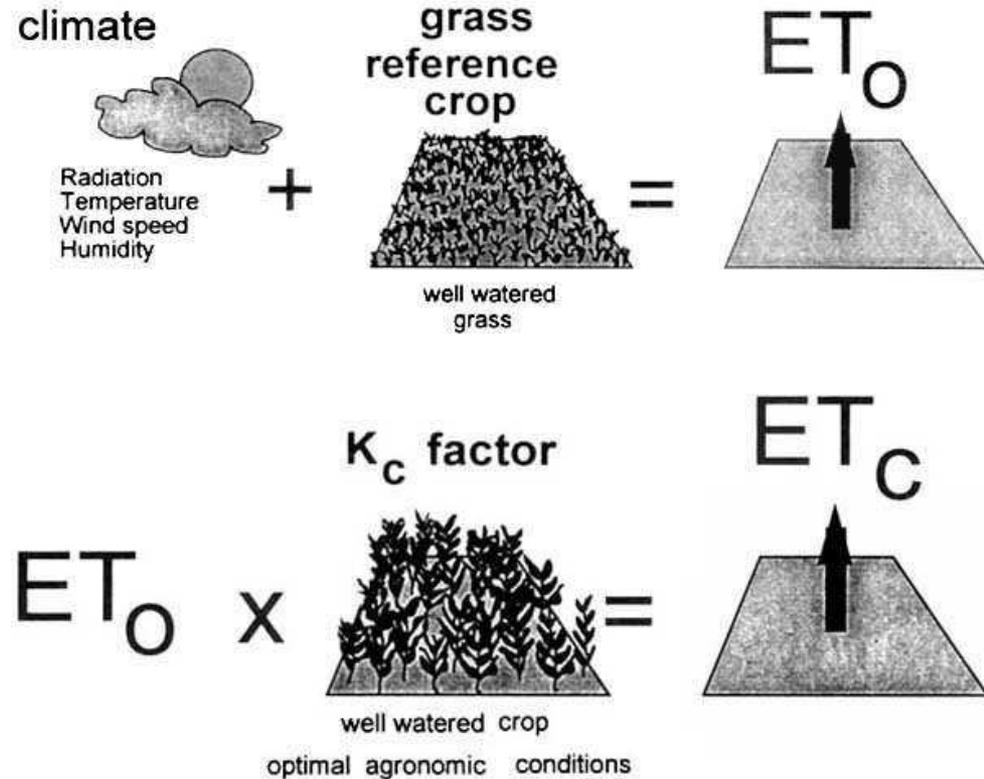
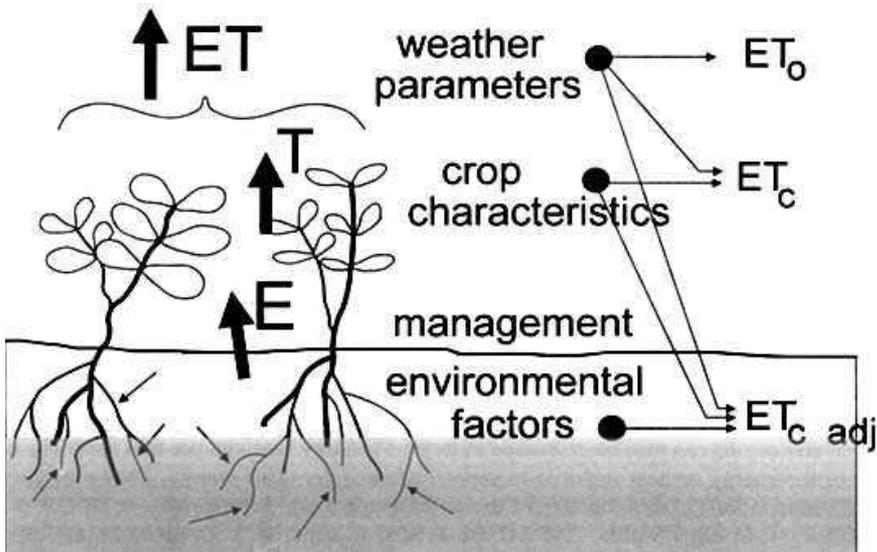


**DATI SUPER e IPER-
SPETTRALI**



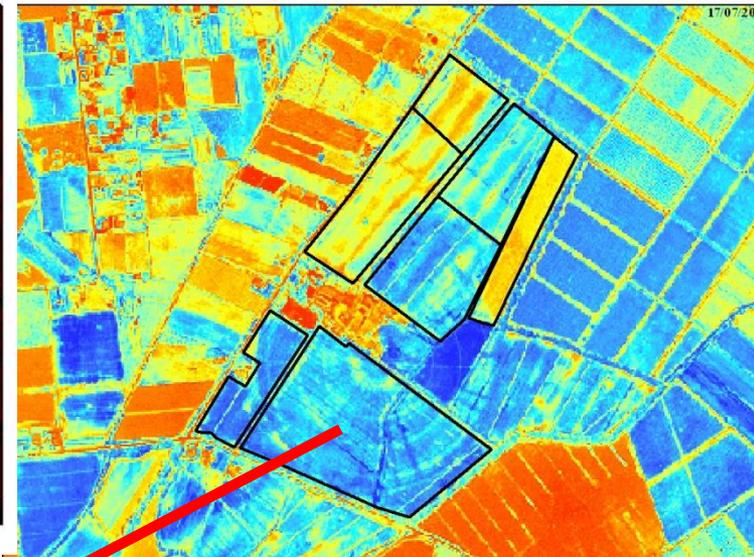
Dalla ricerca alle applicazioni:

Determinazione dei FABBISOGNI IRRIGUI



Distribuzione all'utente finale in tempo reale

Combinazione di Colori 28/06/2005



Numero pro	50
Località	Fioc...
Proprietar	DI STEFANO LUIGI
Portata_qe	100-10L/M
Codice_gru	229870/00136
Condotta	SEC. FFEC
Foglio	49
Associato	
Kc20072004	0.742
Ndvi200704	0.723
Area	57208.088
Perimeter	1034.018
Hectares	5.721
Recno	143
Portata_l	10
Etp200704	3.732
Ymc200704	213.508
Tirr(h)	5.9308

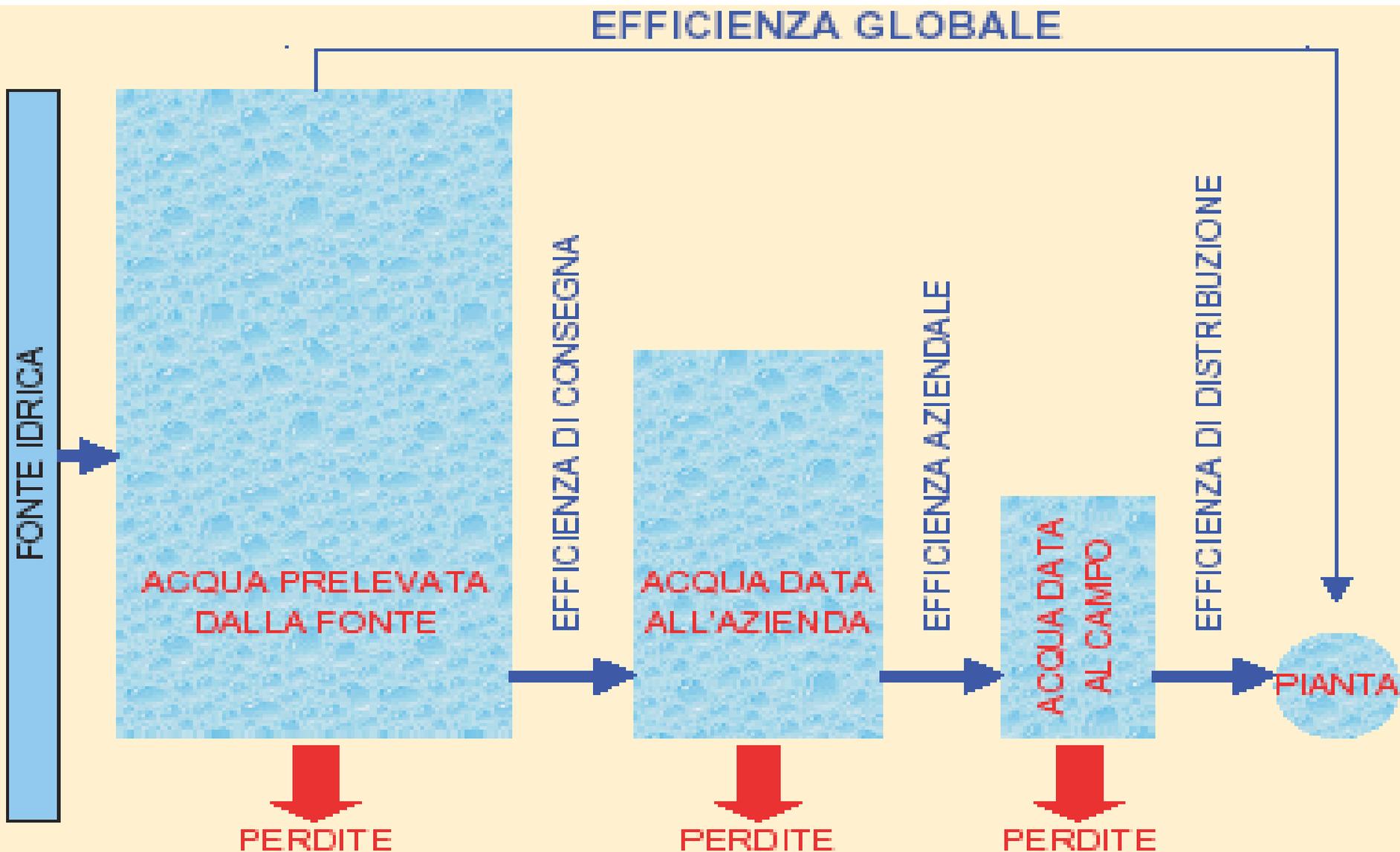
Parcella ID: 229870/00136
**Volume irriguo consigliato,
settimana 28: 213 m³**
Durata applicazione: 5.5 h



VALUTAZIONE DEI FABBISOGNI IRRIGUI DI PUNTA E CALCOLO DEI VOLUMI IRRIGUI

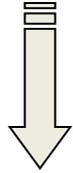
Efficienza di adacquamento

E' la percentuale dell'acqua somministrata ed effettivamente utilizzata dalla coltura

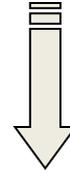


Efficienza aziendale

Efficienza di adacquamento

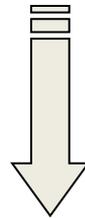


Metodo irriguo

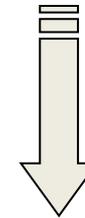


Uniformità di distribuzione

fattori



*Intrinseche
all'impianto*



*Gestione
dell'impianto*

cause

Efficienza irrigua

Le **quantità d'acqua** da prelevare in corrispondenza dei punti d'approvvigionamento devono essere **maggiorate**, rispetto ai fabbisogni netti parcellari, per tenere conto delle **inevitabili perdite** che si hanno lungo le reti irrigue e durante le operazioni di adacquamento (nel caso della sommersione permanente, i valori dei fabbisogni netti parcellari comprendono anche le perdite d'adacquamento).

Con riferimento al processo di trasporto, di distribuzione, di utilizzazione dell'acqua irrigua, indicando con "**V**" il volume entrante in uno "stadio" generico del processo e con "**P**" le perdite nello "stadio" medesimo, per efficienza irrigua "**E**" s'intende il rapporto:

$$E = \frac{V - P}{V}$$

Bilancio idrico del suolo

L'equazione del bilancio idrico si può scrivere come:

$$Fi = ET_c - P - CR + RO + DP \pm \Delta SW$$

dove ET_c = evapotraspirazione colturale, mm ;

P = pioggia totale, mm;

CR = risalita capillare da falda superficiale, mm;

RO = deflusso superficiale, mm;

DP = percolazione profonda, mm;

ΔSW = variazione di contenuto idrico del suolo, mm.

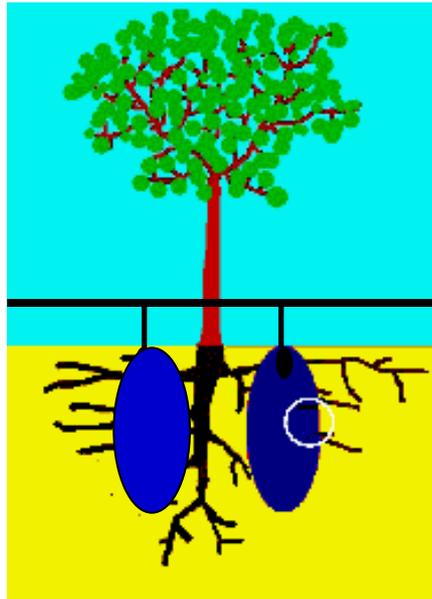
- L'evapotraspirazione ET_c può essere stimata come descritto;
- la pioggia P da misure di pluviometria;
- gli altri elementi (CR , RO e DP) vengono usualmente stimati utilizzando modelli idrologici di varia complessità.

Volume di adacquamento

- ❑ Il *volume d'acquamento* (V) è la quantità d'acqua che va apportata al terreno attraverso un'irrigazione per riportarlo allo stato ottimale di umidità, che corrisponde alla *capacità idrica di campo* (CC).
- ❑ Il volume d'acquamento risulta funzione dell'*umidità critica d'intervento* (PCC) intesa come il contenuto d'acqua del suolo al di sotto del quale non si deve scendere per evitare danni alla coltura. Il limite critico d'intervento, o *punto critico colturale*, varia da coltura a coltura, secondo la capacità che le varie piante hanno di estrarre acqua dal suolo.
- ❑ Ultimo elemento necessario per il calcolo di V è lo spessore dello strato di suolo da bagnare H_u : esso dipende principalmente dalla profondità delle radici delle colture da irrigare.

Con l'irrigazione a goccia si somministrano, in ogni irrigazione, gli stessi volumi che con gli altri metodi?

No, perché il volume di terreno (e di radici) bagnato è più piccolo rispetto all'irrigazione a pioggia o all'irrigazione di superficie, quindi i Va sono più piccoli



Nelle colture arboree bisogna bagnare almeno il 33% dell'area occupata da una pianta.

Es. se il sesto è m 4x3, una pianta occupa 12 m², quindi bisognerebbe bagnare almeno 4 m² circa

Proprietà del volume di adacquamento

In una irrigazione l'acqua somministrata deve essere tale che il contenuto idrico del terreno

- non superi la capacità di campo, la qual cosa comporterebbe perdite per percolazione profonda,
- non scenda al di sotto dell'acqua facilmente disponibile, per evitare stress alla coltura.

In tal senso l'altezza o il volume di adacquamento hanno il significato di **altezza o volume massimi** ferma restando la **possibilità di frazionarli in parti più piccole**, come accade nei metodi irrigui ad alta frequenza.

Turno irriguo

- ❑ Si definisce turno l'intervallo di tempo, espresso in giorni, che passa tra due successivi adacquamenti.
- ❑ Una volta somministrato il volume di adacquamento (m^3/ha), per determinare il turno bisogna stabilire per quanti giorni quell'acqua risulta sufficiente per le colture.

$$T = \frac{Va_1}{ET}$$

dove:

ET è l'evapotraspirazione media giornaliera del periodo.

- ❑ Il turno può essere fisso oppure variabile a seconda del tipo di organizzazione irrigua.

Modalità di programmazione dell'irrigazione

- Livello a) **Turno e volume fisso**
 - Livello b) **Turno fisso e volume variabile**
 - Livello c) **Turno e volume variabile.**
- c1) Programmazione basata sul livello di deficit idrico del suolo
 - c2) Programmazione integrata, basata sulla risposta produttiva della pianta all'irrigazione, sulle limitazioni del sistema irriguo, sulle modalità di gestione e sul reddito conseguibile con l'irrigazione.

Momento d'intervento irriguo

- La scelta del momento in cui irrigare presenta notevole interesse tecnico ed economico; **ritardare l'intervento** può comportare la diminuzione di parte del beneficio conseguibile con l'irrigazione; mentre, **un'adacquata eseguita su terreno già sufficientemente provvisto di acqua** comporta un aggravio ingiustificato dei costi di produzione.
- I **criteri** ai quali si può fare ricorso per la scelta di tale momento sono in genere **basati sui valori di ET**.
Si procede, ad esempio, segnando in entrata le quantità d'acqua apportate con l'irrigazione e le eventuali piogge, e in uscita i valori di ET relativi alle coltivazioni (calcolati mediante formule o forniti via radio da apposite stazioni agrometeorologiche); **il momento d'irrigare giunge quando la somma delle ET giornaliere eguaglia gli apporti idrici:**

$$(V + P) = \left(\sum_1^t ET \right)$$

Momento d'intervento irriguo

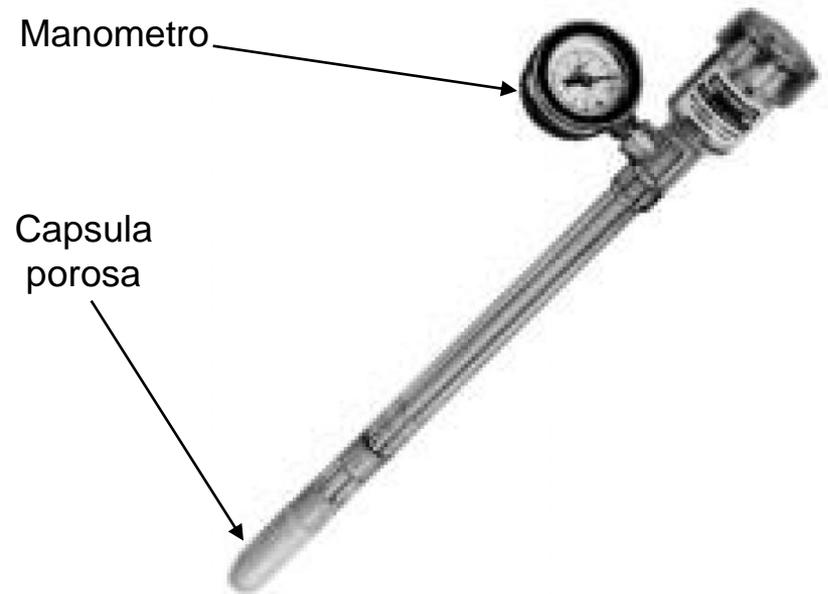
- ***Criteri basati sull'umidità del terreno:*** fanno ricorso a strumenti che sono in grado di misurare direttamente il potenziale idrico (ad esempio i TDR, ECH₂O, Psicrometro, ecc.)
- ***Criteri basati sull'esame della pianta:*** alcuni di questi si propongono di valutare lo stato idrico della coltura; ad esempio, attraverso l'esame del grado di apertura degli stomi utilizzando dei porometri. In altri casi, si misura il potenziale idrico fogliare con camere di pressione (o di Scholander). Un altro sistema è quello della misura a distanza della temperatura delle foglie: rispetto all'ambiente circostante essa è tanto più elevata quanto meno attiva è la traspirazione.

In campo vengono utilizzati:

- Tensiometri per la rilevazione dello stato del potenziale idrico del suolo (ψ);
- TDR (Time Domine Reflectometer) per verificare il contenuto idrico (θ) del mezzo poroso.

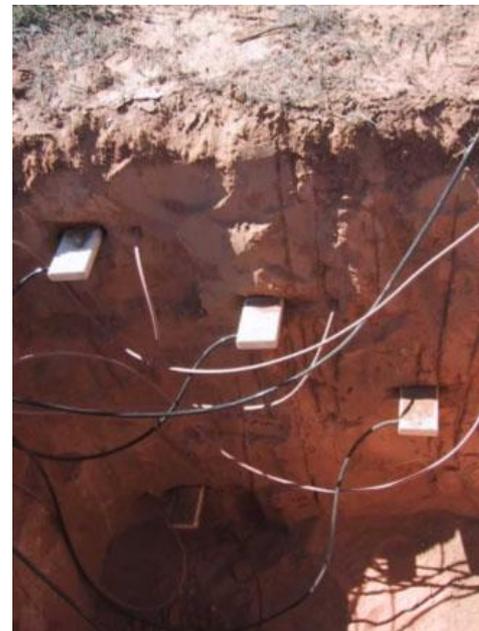


Time Domine Reflectometer



Tensiometro

Quando la capsula è posta in contatto con il suolo, i suoi pori saturati d'acqua, se sufficientemente piccoli, impediscono il passaggio della fase gassosa del suolo, ma costituiscono una connessione idraulica tra l'acqua nel suolo e quella all'interno della capsula. Per tanto si determinano degli scambi d'acqua attraverso la barriera porosa che si arrestano quando la pressione all'interno della capsula eguaglia il potenziale di pressione dell'acqua nel suolo.



Durata d'adacquamento

La ***durata d'irrigazione (D)*** teoricamente corrisponde al tempo necessario perché il suolo possa assorbire il volume d'adacquamento:

$$D = \frac{Va}{I}$$

D dipende da ***Va*** e dalla **velocità d'infiltrazione del terreno (*I*)**; se esprimiamo ***Va*** in mm e ***I*** in mm/h si avrà la durata ***D*** in ore.

La durata d'irrigazione così definita ha maggiore significato per certi sistemi irrigui (**aspersione, scorrimento**);

Sistemi esperti

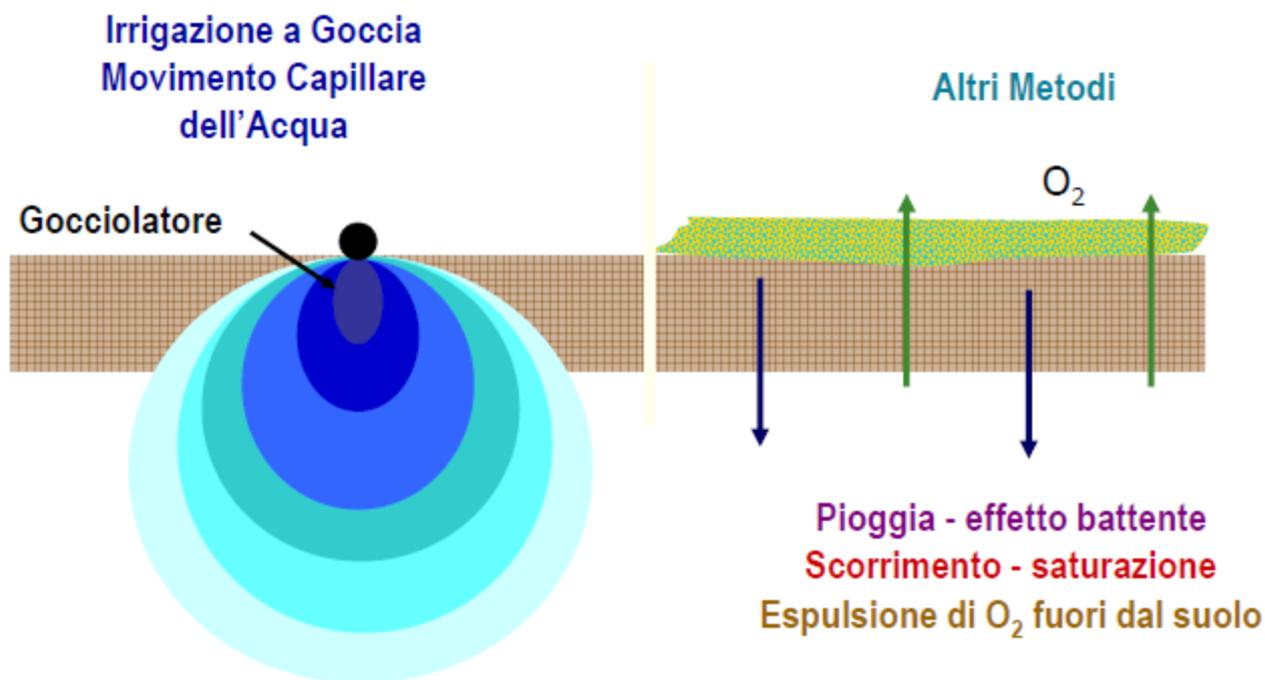
I Sistemi esperti (tipo **CROPWAT/FAO**) servono :

- In fase di progettazione, per simulare il bilancio idrologico ai fini del calcolo dell'altezza di adacquamento e del turno
- In fase di gestione, per aggiornare continuamente il bilancio per determinare l'altezza di adacquamento ed il turno

- 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..

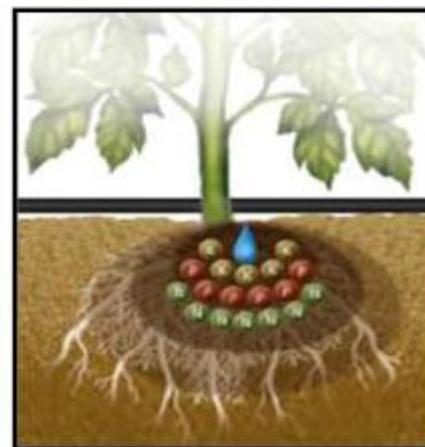
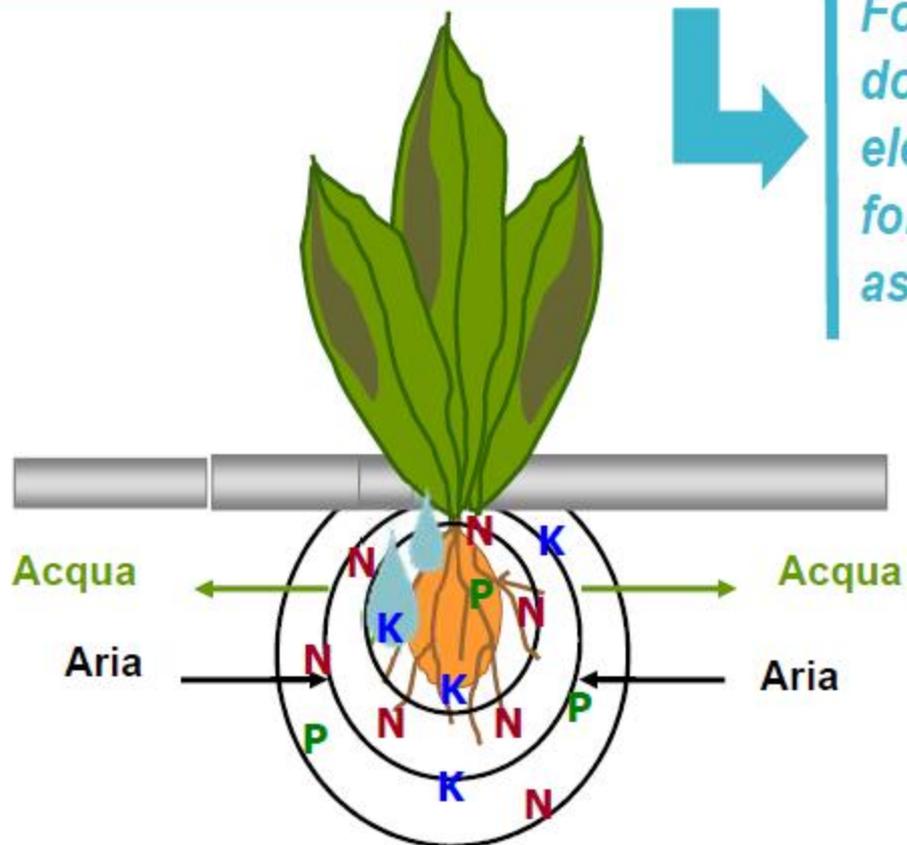
Applicazione di regimi irrigui di tipo deficitario

Acqua e Suolo



FERTIRRIGAZIONE

Fornire direttamente e dove necessario gli elementi nutritivi in forma prontamente assimilabile dalle radici



La Fertirrigazione consente di:

- a) apportare contemporaneamente acqua e concimi
- b) assicurare una ripartizione omogenea degli elementi fertilizzanti nel terreno
- c) rispettare più precisamente durante il ciclo colturale le esigenze della specie
- d) ottenere efficienza di assorbimento più elevata e minori rischi ambientali

- Questa tecnica prevede che l'azienda si doti di appositi apparecchi per la miscelazione dei concimi chimici
- Questi devono avere una elevata solubilità in acqua
- Devono permettere una concentrazione della soluzione che sia compatibile con le esigenze fisiologiche della coltura e con le necessità pratiche della distribuzione.

PARAMETRI DI CONTROLLO ESSENZIALI

pH: è fondamentale per mantenere lo stato di solubilità degli elementi e ottimizzare i processi di scambio fra le radici e la soluzione nutritiva. Un **pH** che si discosta dal *range* ottimale peggiora lo stato nutrizionale delle piante per l'immobilizzazione chimica o fisiologica di uno o più elementi minerali.

Conducibilità elettrica: è il parametro con cui si controlla la concentrazione della soluzione nutritiva. Una conducibilità bassa è correlata ad un'eccessiva diluizione della soluzione, pertanto le piante si trovano in condizioni di nutrizione minerale difficile.



Aspetti che riguardano la nutrizione:

- soddisfare i bisogni della pianta - la fertirrigazione permette la regolazione dell'apporto nutritivo in conformità con le necessità della pianta. Sia le quantità di sostanze nutritive che le esigenze del periodo fenologico possono essere soddisfatti facilmente usando i fertilizzanti giusti.
- disponibilità migliorata - una piccola quantità di fertilizzante somministrata a brevi intervalli è più disponibile per le piante che una massiccia applicazione ripetuta poche volte all'anno.

Aspetti che riguardano l'ambiente:

- aumento dell'efficienza - la fertilizzazione localizzata soltanto nella zona delle radici evita le perdite dovute alla dispersione lontano dalla pianta, alla scarsa uniformità di distribuzione ed alla lisciviazione incontrollata.
- riduzione impatto ambientale - maggiore efficienza significa anche meno fertilizzante perduto e questo, a sua volta, meno contaminazioni ambientali degli acquiferi dovuto alla lisciviazione, o contaminazioni dei fiumi dovuti agli scoli ecc.

Ricordarsi di sempre - La fertirrigazione deve essere fatta in conformità con i regolamenti locali riguardo all'incorporazione di prodotti chimici nell'acqua di irrigazione.

La **fertirrigazione** è una tecnica di gestione della nutrizione delle colture che pone la propria attenzione prevalentemente sulle necessità delle colture.

Per garantire i **vantaggi agronomici ed ambientali propri delle produzioni biologiche**, la fertirrigazione:

- non dovrebbe essere utilizzata come unica tecnica di fertilizzazione, (semplicemente sostituendo ai concimi di sintesi i fertilizzanti organici consentiti in agricoltura biologica),
- ma dovrebbe comunque interessare la **gestione del terreno e della sua fertilità** come uno dei temi chiave attorno ai quali si gioca la grande differenza tra i metodi di agricoltura convenzionale rispetto all'agricoltura biologica.

I **programmi di fertirrigazione** sono determinati con dei tempi settimanali o addirittura giornalieri e sono basati spesso sulle curve di asportazioni delle colture, quasi sempre senza prendere in esame il contributo fornito dal terreno.

In questo contesto "**spesso**" il ruolo del terreno viene fortemente ridimensionato o (come elemento dell'agroecosistema, in quanto origine di interazioni con la coltura, i fertilizzanti e l'acqua), sia visto più come un substrato che come una risorsa da valorizzare.

E' questo probabilmente il motivo per cui la **fertirrigazione** trova la sua collocazione ideale là dove i terreni hanno una tessitura prevalentemente sabbiosa e sono poveri di sostanza organica, oppure nelle coltivazioni fuori suolo, dove il terreno o il substrato interagisce molto poco o per nulla con la coltura ed i mezzi tecnici.

La **fertirrigazione** utilizzata in terreni "*più impegnativi*" dal punto di vista fisico chimico e biologico (es. terreni argillosi o di media tessitura), deve tener conto del ruolo del terreno e si adeguano, di conseguenza, le scelte tecniche.

La **gestione del terreno e della sua fertilità** rappresenta uno dei temi chiave attorno ai quali si gioca la grande differenza tra i metodi di agricoltura convenzionale rispetto all'agricoltura biologica.

la tecnica della fertirrigazione, ha delle difficoltà nell'essere applicata in agricoltura biologica. In molte realtà produttive dell'agricoltura organica invece è l'applicazione di un "**pacchetto tecnologico**" del tutto simile a quello utilizzato nell'agricoltura convenzionale, con l'unica differenza dovuta al fatto che i concimi solubili minerali e di sintesi - vietati in biologico - vengono sostituiti con **fertilizzanti organici solubili e/o fluidi** consentiti, come ad esempio, **idrolizzati proteici, sangue secco e borlande**

In altri termini, in parecchi casi la **fertirrigazione** consente la realizzazione di un modello agricolo che potrebbe essere forse definito di "sostituzione", nel senso che i mezzi tecnici di sintesi vengono rimpiazzati da altri di differente natura chimica (i concimi organici).

Gli aspetti tecnico normativi

Come è noto, il Regolamento CE sul biologico (**Reg. 2092/91 e agg.ti**), pur fornendo chiari criteri di gestione della fertilità dei terreni, non propone indicazioni esplicite sulle possibilità di impiego della fertirrigazione in agricoltura biologica.

Tuttavia, emerge - anche in relazione a quanto discusso nelle precedenti righe - la evidente necessità di fornire agli operatori del settore (agricoltori biologici, tecnici, funzionari degli organismi di controllo) un quadro di riferimento certo che chiarisca univocamente le modalità ed i limiti di impiego della tecnica in ambito bio

Preparazione della soluzione

La preparazione di ogni soluzione fertilizzante dovrebbe essere effettuata seguendo delle metodologie che garantiscono la sicurezza ed usando dei contenitori adatti. La dissoluzione dei fertilizzanti nell'acqua può provocare delle reazioni chimiche. I coltivatori ed i loro consulenti dovrebbero conoscere bene queste reazioni per assicurare un completo scioglimento in tutta sicurezza.

Tempo di sedimentazione

Alcuni fertilizzanti non sono completamente solubili. Una volta dissolti saranno ancora presenti nella soluzione piccole quantità di particelle solide, che potrebbero otturare i filtri o l'impianto di irrigazione. Le soluzioni devono essere lasciate riposare per un periodo sufficientemente lungo affinché le particelle non disciolte si depositino sul fondo del serbatoio. Un tempo di sedimentazione di 15 minuti o più è solitamente sufficiente affinché avvenga tale processo.

Colore

La dissoluzione di fertilizzanti colorati produce solitamente una soluzione colorata. Nel caso di fertilizzanti colorati rivestiti, alcuni dei materiali di rivestimento potrebbe rimanere indissolti e formare uno strato superficiale che dovrebbe essere rimosso prima dell'iniezione.

Mutamenti della temperatura

Poiché la maggior parte dei processi di dissoluzione sono endotermici (cioè consumano energia), il raffreddamento della soluzione durante lo scioglimento del fertilizzante è un fenomeno che si nota bene. Quando si dissolvono dei fertilizzanti in concentrazioni relativamente elevate oppure quando si usa acqua molto fredda, questo processo di raffreddamento può provocare una precipitazione della soluzione. In questo caso, i coltivatori dovrebbero evitare le soluzioni troppo concentrate, usare acqua calda se possibile oppure diluire la soluzione con altra acqua.

Interazioni

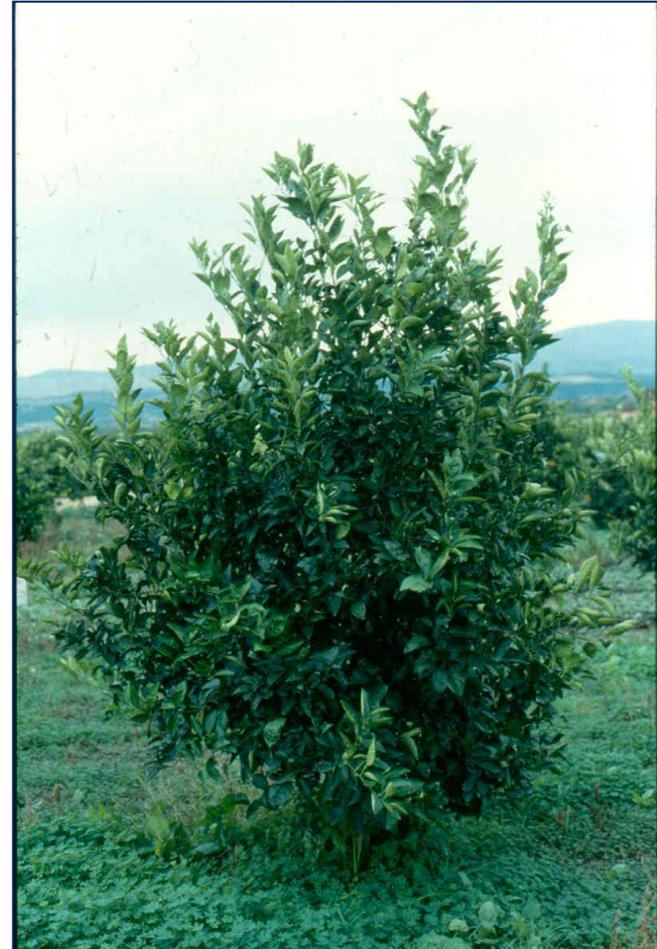
L'analisi dell'acqua può contribuire ad identificare dove è probabile che ci possa essere un problema e, ove necessario, l'acqua dovrebbe essere trattata prima dell'aggiunta del fertilizzante. Nel caso di incertezza, fare una prova di dissoluzione su un piccolo campione. In funzione dalla concentrazione richiesta, aggiungere i quantitativi proporzionali di fertilizzante in una bottiglia che contiene un litro dell'acqua da testare e controllare le interazioni che avvengono

POTATURA

Nella fase giovanile

Limitati interventi cesori (polloni, rami affastellati o mal posizionati)

Evitare la soppressione di rami assurgenti e penduli, ottenendo così, in impianti a sesti razionali, piante ben espanse lateralmente ed in altezza, definite a “chioma piena”





La potatura nelle piante adulte

- Specie e cultivar
- Condizioni pedoclimatiche
- Sesto d'impianto
- Tecniche colturali adottate
- Età della pianta
- Stato vegetativo

Nella fase di maturità

- Mantenere in giusto equilibrio vegeto produttivo
- Garantire un elevato standard qualitativo
- Rispettare il principio di interventi leggeri su piante vigorose e maggiore drasticità su piante deboli

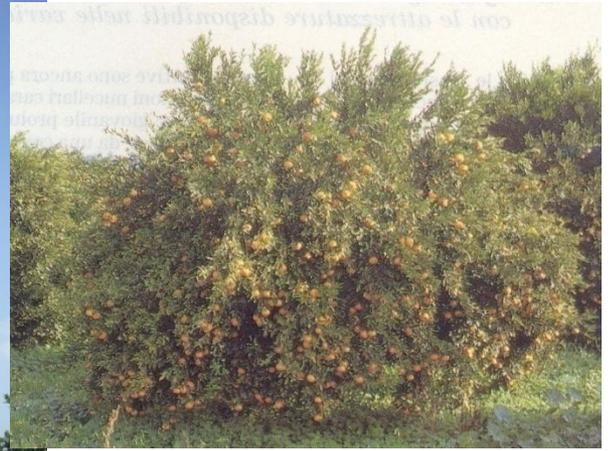




L'habitus vegetativo della pianta condiziona il tipo di intervento

Nelle cultivar a portamento compatto (mandarini, clementine) è importante un lavoro di diradamento dei rami al fine di aumentare la luminosità interna della chioma

Nel caso di piante assurgenti è indispensabile effettuare oculati raccorciamenti, con eliminazione delle parti legnose deperite



NUOVI ORIENTAMENTI

La potatura, sotto la spinta dell'alta incidenza economica e dell'evoluzione delle attrezzature, ha subito una notevole evoluzione rispetto al passato

Nelle attuali condizioni e nel prossimo futuro il problema costo della potatura può essere risolto solo cercando strategie e mezzi tecnici adatti alle esigenze e che possono essere riassunti in pochi punti:

- Razionalizzazione degli interventi (frequenza, intensità)
- Potatura agevolata
- Potatura meccanica
- Potatura integrata

Potatura agevolata

Interventi cesori con l'ausilio di attrezzature pneumatiche

- Impostazione tecnica
- Intensità dell'intervento
- Risposte vegeto-produttive



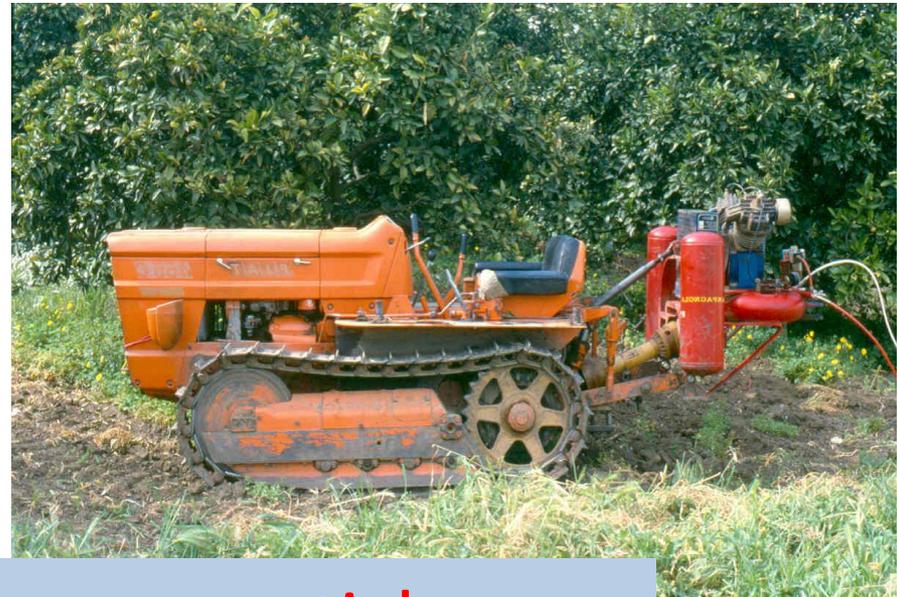
Molto simili alla potatura tradizionale

Gruppo compressore di diversa potenza a seconda il numero di attrezzi da applicare

Può essere azionato

- Da un motore a scoppio
- Dalla presa di forza di una trattrice
- Dda un motocoltivatore

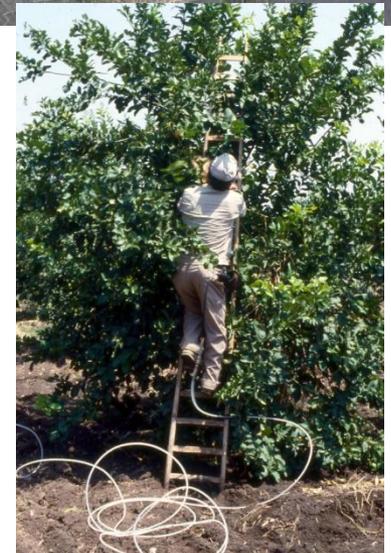
La potenza varia da 150 a 1000 litri di aria aspirata in un minuto primo



Attrezzature pneumatiche

Forbici – modelli di diversa dimensione e capacità di taglio(fino 40 mm)

Seghetti a catena – sostituiscono in pieno i seghetti a motore con il vantaggio di essere più leggero e maneggevole



La potatura meccanica

Questa tecnica si distacca dall'intervento tradizionale in quanto segue schemi rigidi predeterminati

Con la potatura meccanica infatti non è possibile dosare gli interventi in funzione delle esigenze della pianta

Con essa si eliminano in maniera uniforme ed alla profondità voluta le parti laterali (hedging) ed apicali (topping) della pianta



La meccanizzazione integrale si propone di coniugare le esigenze di ordine fisiologico delle piante a un consistente contenimento dei costi. L'intervento non effettua un lavoro selettivo e di diradamento ma opera con schemi rigidi che tengono conto, attraverso tagli laterali (*hedging*) e sulla parte superiore delle piante (*topping*), delle caratteristiche dell'intero appezzamento. Si dimostra valida nel ridurre l'ombreggiamento, nello stimolare l'attività vegetativa, nel formare una parete fruttificante e nel mantenere adeguati spazi negli interfilari per una buona agibilità dei mezzi meccanici.

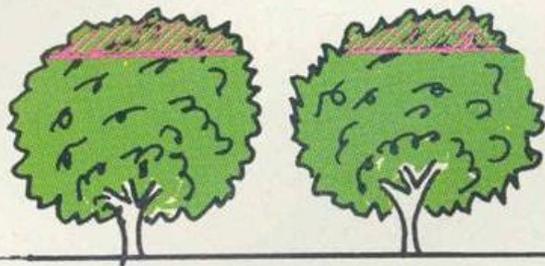


Figura 6 - Schema di topping con taglio orizzontale o raso

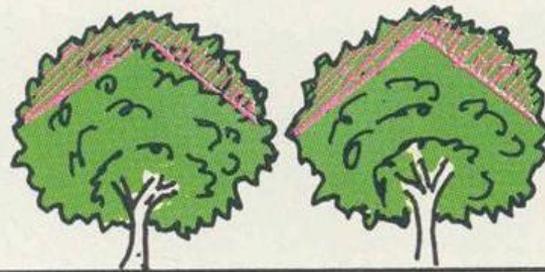


Figura 7 - Schema di topping con taglio inclinato a doppia falda

TOPPING



La potatura meccanica prevedeva:

- il topping con taglio a doppia falda e angolo d'inclinazione di 15° rispetto all'orizzontale, praticato;
- l'hedging effettuato su due lati della chioma lungo l'interfilare con un'inclinazione di taglio di 8° rispetto alla verticale.

Alla fine dell'intervento meccanico si avevano varchi nell'interfilare di circa 2 m; nell'intervento manuale, invece, lo spazio nell'interfilare era mediamente negli anni di circa 1,2 m.

Il topping e l'hedging potevano considerarsi di drasticità media, anche se le asportazioni di chioma erano, ovviamente dal secondo intervento, proporzionali all'intervallo di potatura.

La potatura meccanica

Per valutarne gli effetti:

Annualmente sono stati effettuati rilievi sullo stato vegetativo, sui parametri quali-quantitativi della produzione e sullo stato nutrizionale delle piante.

Per valutare le risposte vegetative degli alberi è stata misurata l'espansione laterale e apicale delle chiome dopo ogni intervento di potatura e alla fine del ciclo, i valori sono stati espressi come media dei diversi cicli.

Gli incrementi dell'accrescimento apicale e laterale delle chiome si riferiscono ai valori medi dei singoli cicli d'intervento.

Annualmente dai volumi della chioma e dall'entità della produzione si è risaliti all'efficienza produttiva annuale dei singoli trattamenti.

Sono stati rilevati i tempi di lavoro impiegati per ciascun intervento (h/ha) espressi come sommatoria nei diversi cicli, separatamente per le due cultivar.

L'intervento meccanico di potatura associato alla sfoltitura della chioma migliora la penetrazione della luce all'interno della chioma peggiora i livelli generali dei parametri della maturazione dei frutti.

Col solo intervento meccanico, invece, l'infittimento interno della chioma ha spostato all'esterno la produzione, per cui i frutti meglio esposti, rispetto alle piante sfoltite, hanno evidenziato un migliore livello di maturazione.

La sfoltitura interna probabilmente non solo elimina la produzione all'interno della chioma ma sfrutta la pianta per la produzione di succhioni che, quasi per nulla produttivi, hanno un'azione di drenaggio delle riserve. Un tale supplementare intervento è pertanto sconsigliabile poichè non migliora il livello produttivo e non limita il contenimento delle chiome nell'interfilare, ma interferisce negativamente sulla qualità dei frutti, con l'aggravante di aumentare i tempi e, in conseguenza, i costi dell'intervento.

Per la cadenza della potatura meccanica, anche se a livello produttivo le differenze sono poco rilevanti, le piante potate meccanicamente ogni 5 anni rimangono penalizzate per il maggiore sviluppo della chioma, che riduce nel periodo finale del ciclo d'intervento lo spazio nell'interfilare, con la conseguente difficoltà nella movimentazione delle macchine, ma anche perché risulta ridotta l'efficienza produttiva, che si avvicina al trattamento manuale, decisamente il più penalizzato per questo parametro. Come risultato positivo si ha un contenimento delle ore/ettaro occorrenti per praticare l'intervento.

Da quanto analizzato emerge come nelle cultivar di arancio, caratterizzate da notevole vigore vegetativo, non è consigliabile allungare l'intervallo tra un intervento meccanico e l'altro e, nel caso si voglia intraprendere un uso continuo negli anni della potatura meccanica, ricorrere a un supplementare intervento di sfoltitura interna della chioma.





Giancarlo Roccuzzo, Filippo Ferlito, Maria Allegra, Biagio Torrisi