

# IRRIGARE

Guida all'utilizzo della risorsa acqua

a cura di

**Massimo Valagussa, Alessandro Pozzi**

**Mac – Minoprio Analisi e Certificazioni S.r.l.**

Viale Raimondi, 54 – 22070 Vertemate con Minoprio (CO)

Tel.: 031887127 Fax: 031887834 – E-mail: [maclab@tin.it](mailto:maclab@tin.it)

**[www.fondazioneminoprio.it](http://www.fondazioneminoprio.it)**

## **SOMMARIO**

PREMESSA

L'ACQUA E LE PIANTE

ACQUA E COLTURE A PIENO CAMPO

Acqua e suolo

Tecnica irrigua a pieno campo

Cenni sui metodi irrigui nelle colture a pieno campo

ACQUA E FLOROVIVAISMO

La razionalizzazione dei consumi idrici

Sistemi di irrigazione in coltura protetta

Brevi note relative agli impianti di fertirrigazione

Sistemi per la gestione dell'irrigazione

Le proprietà idrologiche dei substrati colturali

QUALITA' DELL'ACQUA: ANALISI ED INTERPRETAZIONE

STOCCAGGIO E TRATTAMENTO DELL'ACQUA IRRIGUA

IMPIEGO DI ACQUE REFLUE CIVILI E INDUSTRIALI

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

## **PREMESSA**

La monografia “*Irrigare – Guida all’utilizzo della risorsa acqua*” continua la serie di pubblicazioni dedicate da MAC - Minoprio Analisi e Certificazioni S.r.l. ai principali fattori di produzione agricola.

Trattasi del numero secondo, che segue il manuale “*Orientarsi nel mondo dei substrati di coltivazione*” allegato al periodico *Minoprio Informa* del dicembre 2005.

L’acqua rappresenta una risorsa assai preziosa per l’uomo; oggi le sempre maggiori richieste di approvvigionamento in ambito civile e produttivo, l’impoverimento delle falde legato a stagioni siccitose, l’inquinamento delle fonti dovute all’impatto dell’attività antropica, hanno reso prioritaria l’adozione di misure in grado di salvaguardare tale bene.

Tali azioni, legate ad una gestione razionale e consapevole della risorsa, non possono prescindere da una maggiore comprensione dei principali aspetti tecnici e scientifici relativi la pratica irrigua, nonché dalla valutazione e dall’interpretazione dei principali parametri di qualità analitica dell’acqua.

Questo manuale intende affrontare, con un taglio pratico ed operativo, tali aspetti, fornendo istruzioni, procedure, calcoli e tabelle per la corretta gestione in azienda del fattore acqua.

## L'ACQUA E LE PIANTE

L'acqua è un fattore indispensabile per la vita delle piante. I tessuti vegetali presentano un contenuto di acqua pari a circa l'80-95%; i semi, che sono i tessuti vegetali più poveri di acqua, ne contengono circa il 5-15%, il legno fra il 35 ed il 75%.

L'atmosfera con la quale le piante sono a contatto è una sorgente importante ed unica di anidride carbonica (fondamentale per la fotosintesi), ma nel contempo, essendo relativamente più secca rispetto ai tessuti vegetali, funge da forte richiamo di acqua, con rischi di deidratazione dei vegetali. Pertanto esiste un conflitto fra la forte richiesta di anidride carbonica da parte delle piante ed il richiamo di acqua da parte dell'atmosfera; le piante per poter assorbire la CO<sub>2</sub> devono interagire direttamente con l'aria circostante con conseguente rilascio di acqua sotto forma di vapore acqueo. Al fine di ridurre al massimo la perdita di acqua, massimizzando nel contempo l'assorbimento di anidride carbonica, le piante hanno sviluppato un sistema complesso ed efficace così riassumibile:

- ✓ ampio ed esteso apparato radicale assorbente per la massima funzionalità in termini di assunzione di acqua dal suolo;
- ✓ tessuto conduttore interno alla pianta che oppone poca resistenza al flusso dell'acqua;
- ✓ foglie rivestite da cuticola impermeabile all'acqua e provviste di minuscole aperture (stomi) per gli scambi gassosi con l'aria esterna (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O), dotate di un sofisticato sistema di regolazione influenzato da luce, temperatura, acqua.

Il complesso terreno-pianta-atmosfera è un sistema continuo all'interno del quale l'acqua si muove per gradiente di potenziale, ovvero da un punto in cui il potenziale idrico è maggiore ad uno inferiore. In un terreno saturo d'acqua il potenziale idrico è praticamente uguale a zero, mentre in un terreno con scarsa riserva idrica esso risulta negativo, ovvero occorre compiere un lavoro per sottrarla; l'atmosfera presenta un potenziale idrico molto negativo.

La pianta per assorbire l'acqua dal terreno e traspirarla verso l'atmosfera deve possedere un potenziale idrico inferiore a quello presente nel suolo; quando l'acqua nel suolo è molto scarsa la pianta non è più in grado di abbassare ulteriormente il proprio potenziale idrico per assorbirla e conseguentemente entra in deficit idrico, chiude gli stomi, sospende gli scambi gassosi, con effetti negativi spesso permanenti.

L'acqua svolge per le piante le seguenti principali funzioni:

- ✓ nella fotosintesi reagisce con l'anidride carbonica per la formazione di idrati di carbonio;
- ✓ è reagente fondamentale in tutte le reazioni idrolitiche che avvengono nelle cellule vegetali;
- ✓ funge da veicolo di assorbimento e trasporto degli elementi minerali indispensabili per la vita delle piante;
- ✓ ha una funzione di idratazione dei tessuti vegetali e di costituente della sostanza organica, per cui circa l'1% del totale dell'acqua assorbita resta nelle cellule;
- ✓ raffredda i tessuti, circa il 99% dell'acqua traspirata svolge funzione termoregolatrice.

L'acqua è fattore limitante la produzione vegetale: per produrre un grammo di sostanza organica una pianta consuma in media 500 grammi di acqua. Questo indice viene definito consumo idrico unitario e rappresenta la quantità di acqua consumata da una copertura vegetale per produrre un'unità di peso di sostanza secca. Alcune specie presentano consumi idrici più bassi (250-300 nel mais), altre valori più elevati (700 l'erba medica).

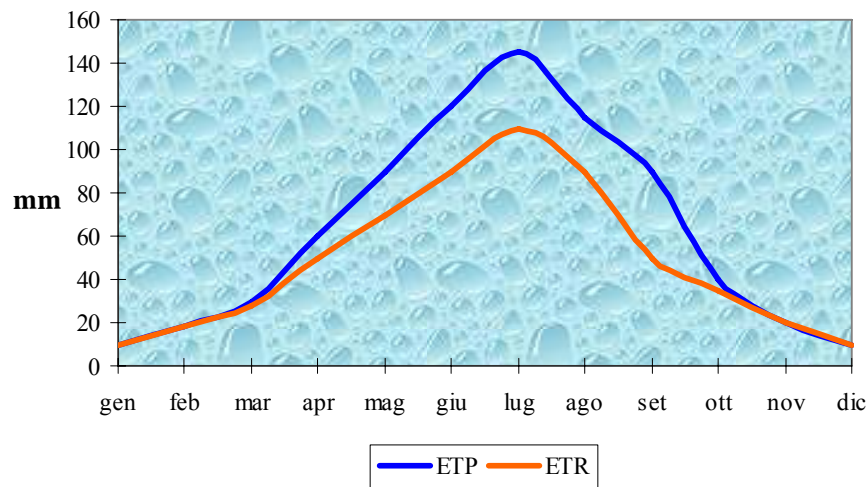
Il consumo idrico di una copertura vegetale è la somma di tre termini: acqua costituzionale, acqua traspirata, acqua evaporata. La prima (1% dell'acqua assorbita) è trattenuta dagli organi vegetali all'interno della sostanza organica e come componente del liquido delle cellule, la seconda è rilasciata in atmosfera attraverso gli organi vegetali (99% del totale), la terza è quella evaporata

direttamente dal suolo. Considerando insignificante il quantitativo di acqua costituzionale, la somma dell'acqua traspirata e dell'acqua evaporata (evapotraspirazione) fornisce il consumo di acqua di una copertura vegetale.

L'evapotraspirazione (ET) è direttamente influenzata dalle condizioni atmosferiche (radiazione, vento, umidità relativa dell'aria), dal terreno (dotazione di acqua, esposizione, colore, tessitura), dal tipo di vegetazione presente (ampiezza e morfologia dell'apparato fogliare e dell'apparato radicale, densità, condizioni fitosanitarie, stadio fenologico).

Si può parlare di evapotraspirazione potenziale (ETP) ed evapotraspirazione reale (ETR): la prima viene internazionalmente definita come l'acqua evaporata in un periodo di tempo fissato da un terreno ben coperto da vegetazione fitta ed omogenea (prato), nonché ottimamente rifornito di acqua; la seconda è la perdita di acqua in condizioni reali di una coltura specifica in una determinata area e condizione. Si deduce che l'ETP rappresenta la domanda di acqua imposta dall'atmosfera, l'ETR l'offerta realmente prodotta. L'ETP, dipendendo principalmente dalle condizioni atmosferiche, varia sia nel corso dell'anno (elevata nel periodo estivo, bassa in quello invernale), sia all'interno di una giornata (minima nelle ore notturne, massima nelle ore centrali). L'evapotraspirazione viene espressa in millimetri di acqua per unità di tempo (generalmente mm/giorno, ma può essere oraria, settimanale, mensile, annua) o per volume evaporato per unità di superficie e di tempo ( $m^3/ha$  giorno).

Figura 1. Andamento annuale indicativo di ETP e ETR rilevabile in Pianura Padana



L'ETR risulta pari all'ETP solo in condizioni ottimali, ovvero elevata disponibilità idrica e copertura vegetale fitta ed omogenea, mentre sovente risulta inferiore; infatti, in presenza di ridotta disponibilità idrica nel suolo, le piante riducono l'apertura stomatica al fine di diminuire il consumo idrico, abbassando, così facendo, anche l'efficienza fotosintetica e, conseguentemente, la produttività.

Le condizioni climatiche che maggiormente influenzano l'evapotraspirazione sono la temperatura dell'aria, la radiazione solare, la pressione di vapore, il vento. L'ET risulta maggiore in presenza di cielo sereno, alta temperatura, clima secco, vento.

## ACQUA E COLTURE A PIENO CAMPO

### Acqua e suolo

Il suolo immagazzina l'acqua, rendendola poi disponibile all'assorbimento da parte degli apparati radicali delle piante ivi presenti.

Risulta importante quindi conoscere a fondo le relazioni esistenti fra i fattori suolo e acqua.

Il suolo è una matrice solida che presenta degli spazi vuoti che ne costituiscono la porosità. Si definisce macroporosità la frazione costituita da interstizi di grosse dimensioni ( $>$  di  $10\ \mu$ ), microporosità la frazione costituita da interstizi di piccole dimensioni ( $<$  di  $10\ \mu$ ). La prima non è in grado di trattenere l'acqua contro l'azione della forza di gravità e pertanto corrisponde alla capacità per l'aria di un terreno; al contrario la microporosità corrisponde alla capacità di ritenzione idrica del suolo, in quanto l'acqua ivi presente viene trattenuta igroscopicamente (la tensione capillare supera la forza gravitazionale).

La porosità dipende dalla tessitura e struttura del terreno, dalla dotazione in sostanza organica, dall'uso del suolo: valori di porosità inferiori al 20-25% in volume sono indicatori di problemi di compattamento, scarsa aerazione, ristagno idrico. I terreni sabbiosi presentano un eccesso di macroporosità con conseguente scarsa capacità di trattenere l'acqua, al contrario nei terreni argillosi la microporosità predomina; tuttavia, grazie alla capacità di aggregazione delle particelle argillose, nei terreni a tessitura fine ben strutturati le quote di micro e macroporosità tendono ad equivalersi (condizione ottimale per lo sviluppo delle colture).

Quando un terreno si satura di acqua (ad esempio dopo un evento piovoso di una certa consistenza) il primo fenomeno che avviene è quello della percolazione dell'acqua gravitazionale (quella presente nei macropori): questa quota di acqua non è disponibile per le radici delle piante. Al contrario l'acqua presente nei micropori viene trattenuta dalle particelle di terreno per il fenomeno della capillarità; questa quota di acqua viene assorbita dalle radici con una certa facilità, ma, al suo diminuire, il terreno la trattiene con maggior forza, rendendola alla fine indisponibile per le piante.

Si individuano così le seguenti costanti idrologiche:

- ✓ capacità di campo: quantità di acqua presente nel terreno dopo che l'acqua gravitazionale è percolata;
- ✓ punto di appassimento: contenuto limite di acqua nel suolo oltre il quale le piante non sono in grado di assorbirne la quantità necessaria per le loro funzioni;
- ✓ acqua disponibile: quantità di acqua compresa fra la capacità di campo ed il punto di appassimento, che rappresenta la capacità di un terreno ad immagazzinare acqua disponibile per le radici delle piante.

Si richiama il concetto di potenziale idrico accennato al capitolo precedente; nei terreni saturi il potenziale idrico dell'acqua è uguale a zero e tende a diventare sempre più negativo con il diminuire della disponibilità di acqua nel suolo. Il potenziale idrico viene generalmente misurato in bar o millibar (unità di pressione); nel suolo si usa esprimerlo mediante il pF, ovvero il logaritmo decimale del valore assoluto del potenziale idrico espresso in millibar (per esempio - 100 millibar sono uguali a pF 2, - 1000 millibar uguali a pF 3). Nella maggior parte dei terreni, alla capacità di campo il pF corrisponde a 2-2,5 (fra -100 e -300 millibar), mentre il punto di appassimento si assesta intorno a pF 4,2 (- 15 bar).

Le costanti idrologiche vengono solitamente espresse come percentuali riferite al volume e sono parametri utilizzabili per una corretta gestione degli interventi irrigui, unitamente a quelli inerenti la capacità del suolo a lasciarsi attraversare dall'acqua (permeabilità, infiltrazione); molto utile risulta anche esprimere le suddette costanti in millimetri di acqua disponibile, in relazione alla profondità di suolo considerata, ricordando che 1 mm equivale ad  $1\ \text{litro}/\text{m}^2$  e a  $10\ \text{m}^3/\text{ettaro}$ .

L'acqua disponibile è funzione della tessitura e struttura del terreno, minore nei terreni sabbiosi, maggiore in quelli argillosi.

Figura 2. Distribuzione delle diverse fasi idrologiche in differenti tipologie di terreno

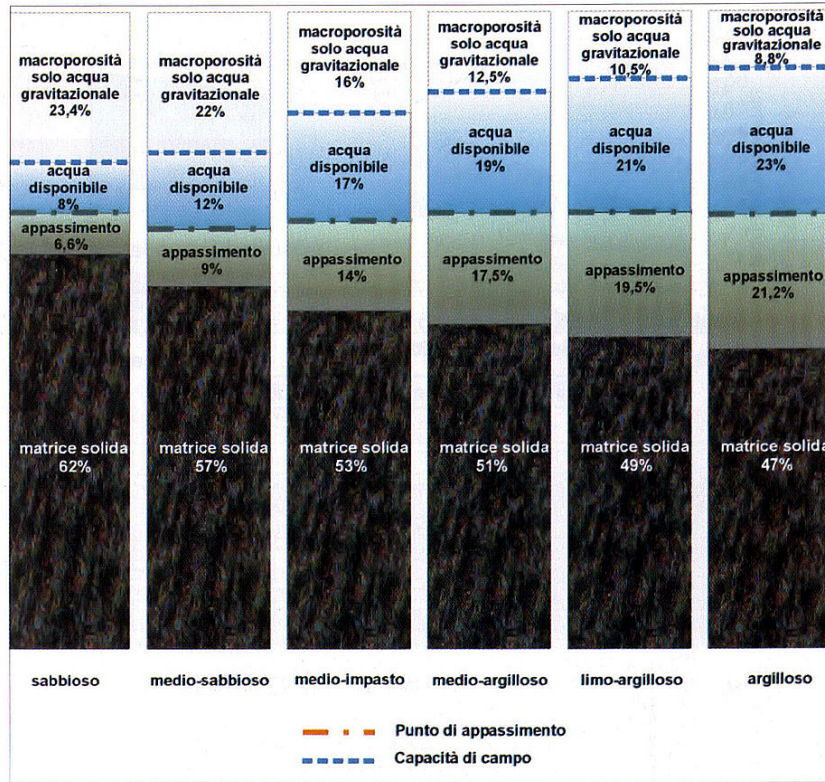
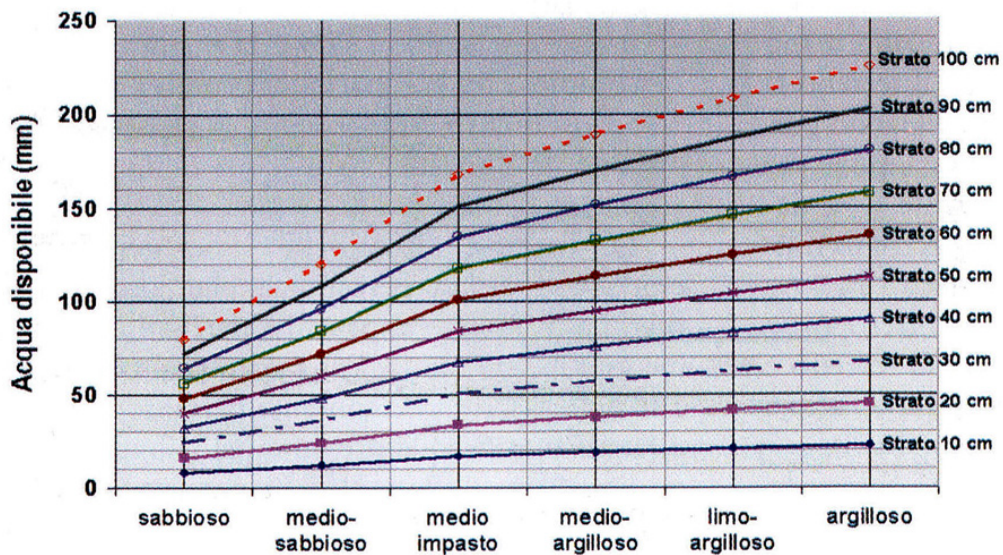


Figura 3. Valori medi indicativi della frazione di acqua disponibile contenuta in orizzonti di suolo a differente tipologia





## Tecnica irrigua a pieno campo

Gli interventi irrigui hanno lo scopo fondamentale di massimizzare la produttività agricola e florovivaistica, obiettivo raggiungibile solo a fronte di tecniche ed impianti di irrigazione efficaci ed efficienti.

Al raggiungimento del sopraccitato scopo concorrono la conoscenza dei fabbisogni irrigui delle colture (erbacee, arbustive, arboree, vivaistiche), la conoscenza delle caratteristiche idrologiche del terreno, la valutazione dell'impianto di irrigazione. Naturalmente il tutto deve confrontarsi poi con un uso razionale dell'acqua, fattore produttivo la cui disponibilità risulta ultimamente in diminuzione.

La determinazione delle esigenze irrigue delle colture deve tenere in considerazione il sistema globale suolo-pianta-atmosfera e non solo l'aspetto colturale.

Come già affermato precedentemente i consumi idrici di una coltura sono riconducibili alla somma della quantità di acqua traspirata ed evaporata direttamente dal suolo, ovvero all'evapotraspirazione. Quest'ultima dipende a sua volta da fattori biologici (tipologia della coltura e fase fenologica), agronomici (densità colturale, tecnica agronomica utilizzata), climatici (radiazione solare, temperatura, ventosità, umidità dell'aria), pedologici (contenuto di acqua, tipologia di suolo). L'evapotraspirazione viene riferita ad un'unità di tempo, in genere al giorno per gli scopi irrigui, ma può essere anche oraria, settimanale, mensile, annuale.

Al fine di stimare l'evapotraspirazione reale di una coltura (ETR), si fa riferimento al dato di evapotraspirazione potenziale (ETP), ovvero alla richiesta di acqua da parte del sistema suolo-pianta-atmosfera in condizioni ottimali di coltura e rifornimento idrico del suolo.

I dati di ETP relativi ad una determinata area possono essere ricavati attraverso misure dirette in campo (vasca evaporimetrica proposta da Tombesi e Lauciani – 1966/1968) o attraverso formule matematiche che considerano parametri climatici e/o fisiologici.



Foto 1. Vasca evaporimetrica automizzata

Nel primo caso, misura diretta della ETP, si utilizzano i dati provenienti da un *evaporimetro a bacinella di classe A*, strumento relativamente di facile gestione ed utilizzo; la lettura giornaliera del livello di acqua nella vasca evaporimetrica fornisce il valore dell'evaporato (E), che correlato ad un



coefficiente ambientale proprio del sito di localizzazione dello strumento ( $K_p$ ), riconduce al valore di ETP attraverso la seguente relazione:

$$ETP = E \times K_p$$

Il coefficiente  $K_p$ , dipendente dai valori di umidità relativa media (%), dalla velocità giornaliera media del vento (km/giorno) e dal tipo di copertura vegetale circostante lo strumento (terreno nudo o copertura a prato), lo si ricava dalle seguenti tabelle.

Tabella 1. Coefficiente  $K_p$  per evaporimetro collocato su terreno coperto da vegetazione

velocità del vento media giorno (km/h)	distanza in metri dalla copertura vegetale	umidità relativa media (%)		
		< 40	40-70	> 70
vento debole < 175	1	0,55	0,65	0,75
	10	0,65	0,75	0,85
	100	0,70	0,80	0,85
	1000	0,75	0,85	0,85
vento moderato 176 – 425	1	0,50	0,60	0,65
	10	0,60	0,70	0,75
	100	0,65	0,75	0,80
	1000	0,70	0,80	0,80
vento forte 426 - 700	1	0,45	0,50	0,60
	10	0,55	0,60	0,65
	100	0,60	0,65	0,70
	1000	0,65	0,70	0,75
vento molto forte > 700	1	0,40	0,45	0,50
	10	0,45	0,55	0,60
	100	0,50	0,60	0,65
	1000	0,55	0,60	0,65

In merito al calcolo indiretto della ETP (attraverso formule matematiche), esistono diverse equazioni che possono essere applicate.

La più precisa da un punto di vista matematico, ma anche molto complicata e poco utilizzata a livello aziendale, è quella di *Penman-Monteith*, che considera diversi parametri climatici quali la radiazione netta, la superficie della vegetazione, la densità di flusso di calore del suolo, la temperatura media giornaliera a 2 metri di altezza, la velocità del vento, la pressione di vapore massima, la pressione di vapore reale. Altre formule prendono in considerazione un numero limitato di parametri ambientali, quali ad esempio quella di *Blaney-Criddle*, che considera l'andamento medio mensile della temperatura.

Oggi comunque sono reperibili sul web informazioni inerenti i dati climatici, molti dei quali di estremo interesse per il settore agricolo, che possono fornire in tempo reale anche i valori dei parametri trattati.

Recuperato il valore di ETP, il dato di consumo idrico reale del proprio sistema colturale (ETR) si ricava dalla seguente equazione:

$$ETR = ETP \times K_c$$

$K_c$  è un coefficiente colturale, proposto dalla FAO, specifico per ogni coltura, che varia al mutare dello stadio fenologico in cui la pianta si trova. Anche in questo caso è possibile reperire informazioni per le proprie aree di pertinenza o da fonti bibliografiche specifiche o da servizi di agrometeorologia on-line.

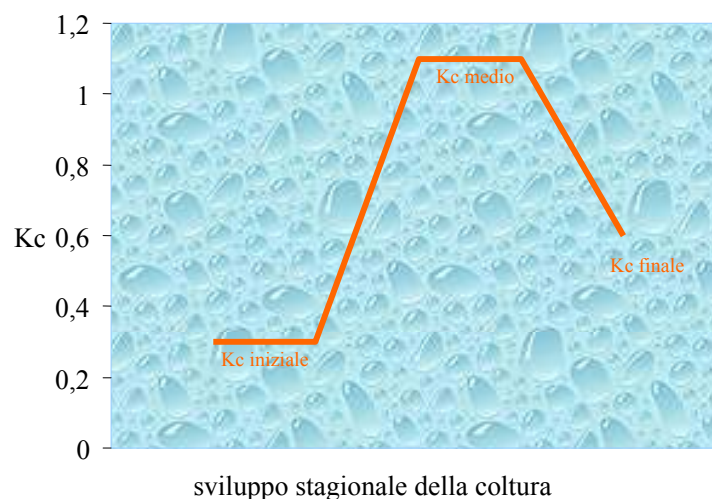
Tabella 2. Valori medi e massimi di ETP giornaliera nella pianura lombarda (periodo 1993-2002)

mese	ETP mm/giorno		mese	ETP mm/giorno	
	valore medio	valore massimo		valore medio	valore massimo
gennaio	0,50	2,63	luglio	4,29	6,98
febbraio	1,01	3,66	agosto	3,68	5,46
marzo	1,90	4,79	settembre	2,42	5,29
aprile	2,64	6,26	ottobre	1,12	3,98
maggio	3,73	7,04	novembre	0,62	3,70
giugno	4,37	7,50	dicembre	0,38	2,70

Tabella 3. Coefficienti Kc indicativi per alcune colture in assenza di stress idrico

coltura	Kc a diversi stadi fenologici			coltura	Kc a diversi stadi fenologici		
	inizio	medio	finale		inizio	medio	finale
orticole in genere	0,70	1,05	0,95	segue cereali			
barbiabetola		1,05	0,95	mais		1,20	0,60
carota		1,05	0,95	miglio		1,00	0,30
lattuga		1,00	0,95	orzo		1,15	0,25
spinacio		1,00	0,95	riso	1,05	1,20	0,90
solanacee	0,60	1,15	0,80	sorgo		1,10	0,55
patata		1,15	0,65	frutticole			
pomodoro		1,15	0,90	fragola	0,40	0,85	0,75
leguminose	0,40	1,15	0,55	melo-pero-ciliegio (senza inerbimento)	0,45/0,60	0,95	0,70/0,75
fagiolo	0,50	1,05	0,90	melo-pero-ciliegio (inerbimento)	0,50/0,80	1,20	0,85/0,95
pisello fresco	0,50	1,15	1,10	pesco e susino (senza inerbimento)	0,45/0,55	0,90	0,65
pisello secco		1,15	0,30	pesco e susino (inerbimento)	0,50/0,80	1,15	0,85/0,90
cereali	0,30	1,15	0,40	kiwi	0,40	1,05	1,05
avena		1,15	0,25	olivo	0,65	0,70	0,70
frumento	0,70	1,15	0,40	vite	0,30	0,70/0,85	0,45

Figura 4. Andamento stagionale dei valori di Kc



Desunto il valore di ETR per il sistema suolo-pianta-atmosfera, ovvero la quantità di acqua consumata dalla coltura, conoscendo il valore di riserva idrica del suolo (misurato o ricavato sulla base della tessitura del terreno), considerando gli eventuali apporti naturali di acqua (pioggia ed eventuale risalita capillare di acqua di falda presente non oltre i 2 metri di profondità) è possibile stimare il valore del deficit idrico della coltura, ovvero la diminuzione del contenuto di acqua disponibile nel suolo.

Se ne deduce quindi che, oltre al dato di evapotraspirazione reale, risulti importante conoscere anche i valori delle costanti idrologiche del suolo, ovvero capacità di campo, punto di appassimento, acqua disponibile, caratteristiche di permeabilità, profondità del terreno in relazione all'approfondimento radicale della coltura.

Pertanto, definita la massima profondità di terreno che si intende irrigare, partendo da una condizione di umidità pari alla capacità di campo, è possibile conoscere la quantità di acqua in millimetri disponibile per la coltura (differenza fra l'acqua presente alla capacità di campo e quella presente al punto di appassimento); sottraendo a questo dato il valore di ETR giornaliero (e, se presenti, sommando eventuali valori provenienti da fenomeni piovosi o di risalita capillare della falda superficiale) si può monitorare con una certa precisione la condizione di umidità del suolo e definire per tempo il momento di intervento irriguo. In sintesi il fabbisogno irriguo giornaliero della coltura può essere ricavato dalla seguente formula:

$$I = ETR - P - Af - RS$$

dove  $I$  è il fabbisogno idrico,  $ETR$  l'evapotraspirazione reale,  $P$  la pioggia,  $Af$  l'apporto da falda,  $RS$  la riserva idrica del suolo (tutto espresso in mm). Partendo da una condizione di saturazione del suolo, il valore di  $I$  sarà all'inizio negativo; aggiornando costantemente il valore di riserva idrica del suolo ( $RS$ ) della quota giornaliera persa ed in assenza di nuovi apporti idrici, si arriverà ad avere un valore di fabbisogno idrico ( $I$ ) positivo, che sancirà la necessità di intervenire con un'irrigazione.

Tuttavia occorre ricordare che la tecnica irrigua applicata in agricoltura non ha come obiettivo primario quello della sopravvivenza della coltura, bensì quello della massima produzione qualitativa e quantitativa. Per tale motivo è possibile identificare un'ulteriore costante idrologica, definita *punto critico colturale (PCC)*, che definisce il contenuto di acqua del suolo oltre il quale risulta conveniente non scendere; nella pratica, al punto critico colturale il contenuto idrico del suolo è superiore a quello presente al punto di appassimento e la differenza fra l'acqua contenuta alla capacità di campo e l'acqua contenuta al punto critico colturale fornisce il valore di acqua facilmente disponibile.

Per semplificazione operativa il PCC viene generalmente espresso come percentuale dell'acqua disponibile (quantità di acqua compresa fra la capacità di campo ed il punto di appassimento). Se per una coltura erbacea a radice superficiale il PCC viene stimato pari al 75% dell'acqua disponibile (AD), l'acqua facilmente disponibile (AFD) risulta il 25% dell'acqua disponibile (AD); al contrario in colture erbacee a radici profonde, o per colture arboree/arbustive, se al PCC viene attribuito un valore del 30%, l'AFD è pari al 70% dell'AD.

Il PCC risulta un fattore dipendente, oltre che dalla tipologia e fase fenologica della coltura, anche dalla tipologia di suolo.

Stabilito il momento ideale di intervento, risulta necessario quantificare anche un'altra serie di parametri e costanti necessarie per gestire l'evento.

In primo luogo risulta necessario conoscere il quantitativo di acqua da distribuire, ovvero la quantità di acqua necessaria a riportare il suolo alla condizione di capacità di campo: questa quantità viene definita *volume di adacquamento* ed è sempre espressa in millimetri.

Per arrivare a quantificare questo volume risulta pertanto indispensabile conoscere le costanti idrologiche del suolo e lo strato di terreno che si ritiene opportuno saturare, che sarà corrispondente

alla profondità dell'apparato radicale della coltura presente in un determinato stadio fenologico; generalmente è pari al valore di acqua disponibile.

Altro fattore di utilità per gestire il momento irriguo è quello dell'*intensità di applicazione* o di adacquamento, ovvero la quantità di acqua erogata dall'impianto di irrigazione per unità di superficie e di tempo ( $\text{mm/h} = \text{l/m}^2 \text{ h}$ ) in relazione alla capacità drenante del terreno; questo dato risulta maggiormente significativo quando l'irrigazione avviene per aspersione o scorrimento. Il valore di questo fattore si ottiene dal rapporto fra la portata dell'impianto (litri/ora) e la superficie di irrigazione ( $\text{m}^2$ ).

Il tempo che intercorre fra un intervento irriguo e l'altro viene denominato *turno irriguo* e dipende dal valore di ETR, ovvero il tempo necessario affinché l'acqua distribuita venga evapotraspirata dal sistema suolo-pianta-atmosfera: il turno, espresso in giorni, si ottiene rapportando il volume di adacquamento al valore di ETR. Altro fondamentale elemento che bisogna conoscere è quello della *durata dell'intervento irriguo* (espresso in ore), ovvero il tempo necessario per distribuire il volume di acqua calcolato; esso si ricava dal rapporto fra il volume di adacquamento e l'intensità di applicazione.

Si riassumono in Tabella 4. i fattori e le formule necessarie a definire il momento irriguo.

Tabella 4. Parametri per la definizione del momento di intervento irriguo

<i>parametro</i>	<i>sigla</i>	<i>unità di misura</i>	<i>calcolo</i>	<i>note</i>
evapotraspirazione potenziale	<i>ETP</i>	mm/giorno		misurato o ricavato da tabelle
coefficiente colturale	<i>Kc</i>			ricavato da tabelle
evapotraspirazione reale	<i>ETR</i>	mm/giorno	$ETP * Kc$	
fabbisogno irriguo	<i>I</i>	mm/giorno	$ETR - P - Af - RS$	stima la riduzione giornaliera della riserva del suolo
pioggia	<i>P</i>	mm/giorno		misurato
apporto idrico da falda	<i>Af</i>	mm/giorno		solo in presenza di falda superficiale
capacità di campo	<i>CC</i>	% v/v		ricavato da tabelle o misurato
punto appassimento	<i>PA</i>	% v/v		ricavato da tabelle o misurato
acqua disponibile	$AD = RS$	% v/v mm o $\text{l/m}^2$	$CC - PA$	calcolato sulla base della profondità di suolo considerata
punto critico colturale	<i>PCC</i>		% AD	ipotizzato o calcolato
acqua facilmente disponibile	<i>AFD</i>	mm o $\text{l/m}^2$	$AD * (1 - PCC/100)$	minore di AD
volume adacquamento	<i>VA</i>	mm	$VA = AFD$	
portata impianto di irrigazione	<i>Q</i>	l/ora		fornito o misurato
intensità applicazione	<i>IA</i>	mm/h	$Q/\text{superficie m}^2$	
turno irriguo	<i>T</i>	giorno	$VA/ETR$	
orario	<i>O</i>	h	$VA/IA$	
drenaggio/permeabilità	<i>D</i>	mm/h		ricavato da tabelle o misurato

Ulteriore approfondimento merita l'aspetto inerente il consumo di acqua irrigua in ambito urbano, in aree verdi ornamentali quali parchi e giardini.

In questi casi scopo dell'irrigazione non è la massimizzazione della produttività, bensì il mantenimento dell'area a verde (prato, arbusti e siepi, alberi) in condizioni vegetative, fitosanitarie ed estetiche ottimali.

In tali ambiti la metodologia illustrata in precedenza necessita di alcuni accorgimenti che possano meglio identificare i fabbisogni idrici dell'area.

Il primo aspetto riguarda il calcolo dell'evapotraspirazione potenziale, ovvero il dato base di riferimento. In queste situazioni particolari essa risulta influenzata da alcuni fattori assai variabili da caso a caso, quali l'ombreggiamento causato da alberi e/o da edifici urbani (differente nel corso dell'anno) o la variabilità del bilancio energetico globale (irraggiamento dei manufatti, delle pavimentazioni, movimento di aria calda, ecc.).

Un altro elemento di difficoltà è quello inerente la stima del coefficiente colturale, ovvero ciò che, unitamente al dato base di evapotraspirazione, permette di ottenere il reale consumo idrico del sistema suolo-pianta-atmosfera, tutto ciò dovuto alla convivenza di specie diverse con dissimili esigenze idriche.

Studi effettuati in California hanno portato ad individuare un sistema che aiuta a stimare il fabbisogno idrico di un'area a verde in ben precise situazioni; si ritiene comunque indispensabile calibrare lo stesso sulla base di proprie esperienze e specifiche situazioni.

Il metodo propone di mantenere inalterato il calcolo del valore di evapotraspirazione potenziale o di riferimento proposto dalla FAO o di reperirlo dai bollettini agrometeorologici.

Per quanto riguarda il coefficiente colturale (meglio definibile in queste situazioni coefficiente dell'area verde) la proposta è quella di scomporlo in tre distinti fattori:  $K_s$  che considera le specie presenti nell'area,  $K_{mc}$  che considera il microclima dell'area,  $K_d$  che considera la densità della vegetazione presente. Al fine di attribuire un valore a questi coefficienti sono state messe a punto tabelle orientative (Tab. 5, Tab. 6 e Tab. 7) in grado di inquadrare, in modo soggettivo, una particolare situazione.

Tabella 5. Coefficiente  $K_s$  in relazione alla tipologia vegetale presente nell'area

Tipologia vegetazione	Valore del coefficiente $K_c$		
	esigenza idrica alta	esigenza idrica media	esigenza idrica bassa
alberi	0,9	0,5	0,2
arbusti	0,7	0,5	0,2
copertura erbacea	0,7	0,5	0,2
copertura mista	0,9	0,5	0,2
prato microterme	0,8	0,8	0,8
prato macroterme	0,8	0,8	0,6

Tabella 6. Coefficiente  $K_{mc}$  in relazione al microclima dell'area

Tipologia vegetazione	Valore del coefficiente $K_{mc}$		
	microclima avverso	microclima neutro	microclima favorevole
alberi	1,4	1,0	0,5
arbusti	1,3	1,0	0,5
copertura erbacea	1,2	1,0	0,5
copertura mista	1,4	1,0	0,5
prato	1,2	1,0	0,8

Tabella 7. Coefficiente  $K_d$  in relazione alla densità della vegetazione presente nell'area

Tipologia vegetazione	Valore del coefficiente $K_d$		
	densità alta	densità media	densità bassa
alberi	1,3	1,0	0,5
arbusti	1,1	1,0	0,5

copertura erbacea	1,1	1,0	0,5
copertura mista	1,3	1,0	0,6
prato	1,0	1,0	0,6

Tabella 8. Stima dei valori massimi di ET di riferimento in climi differenti

Clima		Stima della ET di riferimento valori massimi in mm/giorno
tipo	caratteristiche	
freddo umido	< 21 °C e UR > 50%	2,5 – 3,8
freddo secco	< 21 °C e UR < 50%	3,8 – 5,0
temperato umido	21-32 °C e UR > 50%	3,8 – 5,0
temperato secco	21-32 °C e UR < 50%	5,0 – 6,4
caldo umido	> 32 °C e UR > 50%	5,0 – 7,6
caldo secco	> 32 °C e UR > 50%	7,6 – 11,4

Il primo coefficiente suddivide le essenze presenti in alberi, arbusti, colture erbacee, a loro volta inquadrata in tre classi di esigenze idriche. Nella scelta della specie si dovrà optare per quella dominante o, in caso di difficoltà, utilizzare un coefficiente medio.

In merito alle esigenze idriche delle singole specie è possibile rifarsi a dati provenienti da studi condotti in California, i cui risultati hanno trovato una certa corrispondenza anche in sperimentazioni effettuate in Italia. Secondo gli autori, la maggior parte delle specie coltivate possono essere classificate, relativamente il fattore acqua, nella categoria di medio-elevata esigenza. Il coefficiente del microclima ( $K_{mc}$ ) identifica per le suddette categorie tre situazioni microambientali specifiche: una ostile, un'altra favorevole, una terza ininfluenza. Un microclima ostile (che aumenta il fattore evapotraspirante) può essere causato ad esempio dalla presenza di pavimentazione che irraggia calore, di strutture riflettenti, di posizioni particolarmente soleggiate; un microclima favorevole (che riduce il fattore evapotraspirante) può essere causato da situazioni di ombreggiamento o di protezione da fenomeni ventosi.

Anche l'ultimo coefficiente ( $K_d$ ), quello relativo alla densità della vegetazione, presenta tre possibili tipologie di influenza sull'evapotraspirazione: con vegetazione molto densa il coefficiente aumenta il dato di partenza, in situazioni opposte lo diminuisce.

Nell'attribuire le classi di appartenenza bisogna comunque tenere in considerazione diversi fattori che solo l'esperienza e l'osservazione in campo potranno aiutare ad individuare con una certa precisione; ad esempio in un'area con bassa densità vegetativa non sempre il coefficiente assume un valore di riduzione del dato di evapotraspirazione di riferimento, in quanto l'eventuale presenza di vaste zone di terreno nudo comportano un aumento del fattore di evaporazione diretta del suolo.

Individuati i diversi coefficienti, essi andranno moltiplicati al valore di evapotraspirazione potenziale, permettendo di ottenere il consumo idrico dell'area per unità di tempo e, conoscendo le costanti idrologiche del suolo, di valutare con una certa affidabilità il bilancio idrico della stessa.

### Cenni sui metodi irrigui nelle colture a pieno campo

La scelta di idonee modalità di distribuzione dell'acqua risulta di notevole importanza ai fini del raggiungimento di un'efficienza dell'intervento irriguo e di una razionalizzazione dell'uso della stessa.

La scelta di un metodo irriguo dipende da diversi fattori, quali lo scopo, la disponibilità di acqua, la dimensione aziendale, la disponibilità di capitali e manodopera, la tipologia di coltura e coltivazione, la natura del suolo, il clima. La tecnica irrigua in grado di ridurre il ricorso a manodopera risulta in genere chiaramente connessa a maggiori costi di investimento e tecnologia.

Resta comunque fondamentale porsi come scopo, ove possibile, che il metodo irriguo garantisca uniformità di distribuzione, in quanto in caso contrario si determina uno spreco di acqua e di energia, a discapito dello stato di salute delle piante.

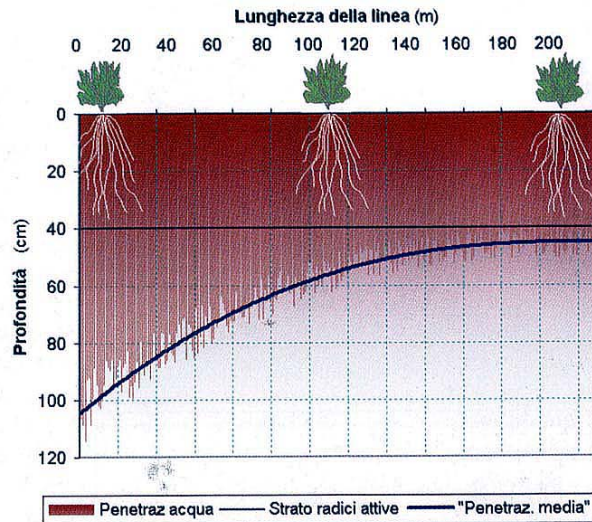


Figura 5. Diminuzione della profondità di penetrazione dell'acqua in una sezione di suolo pianeggiante al di sotto di una linea gocciolante non autocompensante di lunghezza superiore a 200 metri

I metodi irrigui comunemente utilizzati in pieno campo risultano essere i seguenti: sommersione (continua o discontinua), scorrimento e infiltrazione laterale, aspersione, sub-irrigazione, microirrigazione (irrigazione a goccia).

La *sommersione* viene attuata generalmente quando vi è elevata dotazione di acqua ma non continuativa nel tempo. Il terreno viene ricoperto da uno spessore di acqua che, muovendosi verticalmente, si infiltra nel terreno saturandolo. Per attuare questo metodo risulta necessario preparare i terreni in modo adeguato, livellati e possibilmente ripartiti in bacini mediante la realizzazione di argini. La sommersione può essere continuativa (esempio nella risaia) o discontinua; in quest'ultimo caso l'acqua viene lasciata sul terreno il tempo necessario a bagnare la profondità di suolo desiderata e, se in eccesso, viene evacuata mediante rottura degli argini e scorrimento superficiale in altri bacini.

Questo metodo comporta l'uso di elevate quantità di acqua e la preparazione adeguata dei terreni. Nel caso di terreni eccessivamente permeabili risulta di difficile attuazione, mentre nei terreni impermeabili provoca problemi di asfissia radicale. Particolare applicazione del metodo per sommersione è quello attuato quando si mettono a dimora essenze arboree, per le quali si preparano delle conche atte a raccogliere l'acqua piovana o di irrigazione.

Il metodo per *scorrimento* superficiale si differenzia dal precedente in quanto l'acqua scorre in superficie sotto forma di un sottile velo liquido, infiltrandosi nel suolo. In questo caso il terreno deve essere dotato di pendenza e attrezzato con fossi laterali di adduzione e di raccolta dell'acqua di scolo: l'acqua dal canale adduttore si riversa sul campo e la parte in eccedenza, che non si è infiltrata nel suolo, viene raccolta dal canale di scolo. Il metodo è applicabile, con adeguati accorgimenti, a terreni anche ad elevata pendenza; nel contempo il movimento dell'acqua provoca fenomeni erosivi (soprattutto nei terreni a tessitura fine). Il metodo necessita di corpi d'acqua ingenti e di manodopera esperta nella gestione e manutenzione dell'intero sistema.



L'*infiltrazione laterale* prevede che l'acqua scorra in canali disposti in senso longitudinale del campo e si infiltro verticalmente e lateralmente nel suolo, provvedendo a rifornire di acqua i filari presenti fra due canali. Questo metodo mal si adatta ai terreni troppo permeabili.

La *sub-irrigazione* è attuabile in presenza di falde superficiali o mediante l'utilizzo di un sistema tubolare interrato, che funge anche da drenante.

Il sistema prevede il posizionamento con una pendenza dell'1-3% di tubi fessurati del diametro di 50-60 mm ad una profondità di 70-90 cm, posizionati ad un interasse variabile in relazione alle caratteristiche fisiche del terreno tra i 10 e i 25 metri. Il sistema deve essere attrezzato con collettori o fossi a cielo aperto. La profondità di collocazione del sistema di tubi garantisce le lavorazioni meccaniche del suolo, ma è possibile impiantare il sistema più superficialmente in relazione alla coltura ed alla tecnica colturale adottata.

Il mantenimento dell'acqua nei collettori e nei tubi garantisce una saturazione del terreno alla profondità desiderata, garantendo la risalita capillare ed il rifornimento idrico degli apparati radicali delle colture. Il sistema è facilmente automatizzabile e necessita di ridotta manodopera.

I costi di investimento sono elevati, inoltre si possono verificare problemi per terreni dove la falda è molto profonda o dove esistono strati di terreno superficiali impermeabili. I volumi di acqua richiesti sono comunque elevati ed esistono problematiche nei casi di distribuzione idrica turnata; acque con presenza di solidi organici o inorganici, o il ricorso a tale pratica in terreni molto fini, possono provocare fenomeni di ostruzione dei tubi.

Particolare applicazione di questa tecnica è quella utilizzata in fase di impianto di essenze arboree attraverso il posizionamento di un tubo plastico forato nella buca di impianto, riempito di acqua in fase di intervento irriguo.

L'*irrigazione per aspersione* è fra le tecniche maggiormente utilizzate, sia in ambito agricolo, orticolo, florovivaistico, che in quello del verde ornamentale e sportivo.

Questo metodo prevede la distribuzione dell'acqua sotto forma di pioggia, da cui il nome di *irrigazione a pioggia*.

Nel settore agricolo la tecnica consente risparmi idrici rispetto ai metodi per scorrimento e sommersione, di irrigare terreni non livellati o anche con elevate pendenze, di evitare perdite di percolazione, di limitare l'erosione del suolo, di favorire la germinazione dei semi, di adattarsi ai diversi tipi di terreno. Al contrario richiede elevati investimenti economici per l'acquisto dell'attrezzatura ed elevati costi energetici, presenta problemi in presenza di vento e di possibile compattamento del suolo per effetto dell'azione battente dell'acqua.

Gli impianti possono essere di tipo fisso o mobile e, fra quelli mobili, possono prevedere ali avvolgibili (rotoloni), ali ad avanzamento frontale (Ranger, Power Roll), ali impennate (Pivot). Il sistema necessita di pompe per fornire l'adeguata pressione di esercizio, di condotte di distribuzione sotto pressione, di irroratori (statici o rotativi).

Per massimizzare il risultato è importante determinare le corrette pressioni di esercizio ed utilizzare adeguati distributori al fine di ottenere l'intensità di pioggia desiderata, la quale può variare da meno di 3 mm a più di 15 mm/ora, scelta sulla base delle caratteristiche di permeabilità del terreno; indicativamente per terreni di medio impasto l'intensità di pioggia non dovrebbe superare i 10 mm/h, mentre in terreni sabbiosi può raggiungere valori più elevati.

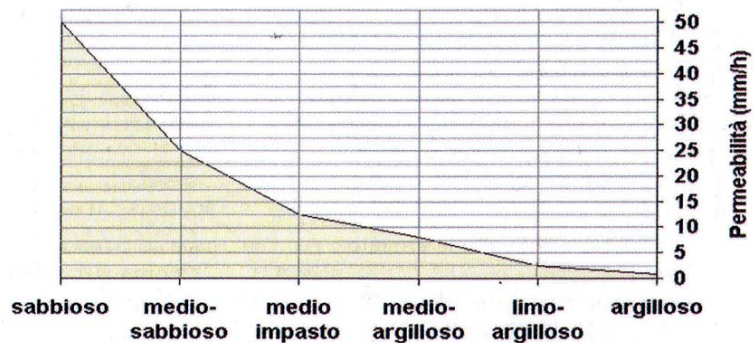
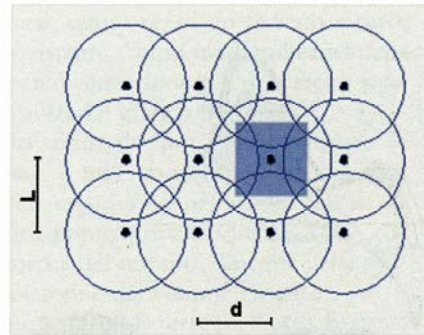


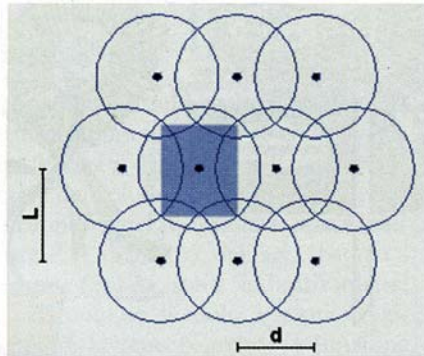
Figura 6. Valori medi indicativi di permeabilità (velocità d'infiltrazione nel suolo saturo) di differenti tipologie di terreno

Ai fini della uniformità di distribuzione, negli impianti avvolgibili o a movimento frontale necessita programmare adeguatamente la velocità di avanzamento in relazione ai valori di portata e di superficie coperta; negli impianti fissi (utilizzati soprattutto in ambito verde ornamentale e ortoflorovivaismo) risulta determinante la corretta distribuzione in campo degli irrigatori.

Generalmente gli irrigatori bagnano un'area di forma circolare, anche se oggi sono disponibili, soprattutto per il settore del verde urbano, irrigatori a diversi gradi di copertura (circolari, rettangolari, triangolari, porzioni di cerchio). Gli irrigatori a cerchio possono essere disposti a quadrato (quando la distanza tra gli irrigatori sulla fila e tra le file risulta uguale), a triangolo e a rettangolo (distanza tra le file maggiore che sulla fila o viceversa); generalmente per ottenere una buona uniformità di aspersione sull'intera superficie gli irrigatori vanno disposti ad una distanza fra di loro pari a circa 1,4 – 1,7 volte il raggio di gittata (maggiore sovrapposizione risulta necessaria in zone ventose).

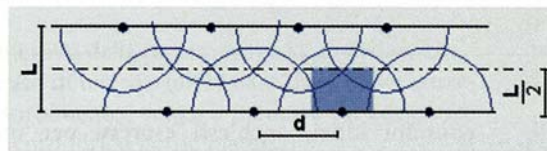


(a)  
Irrigatori a cerchio  
completo disposti  
in quadrato



(b)  
Irrigatori a cerchio  
completo disposti  
in triangolo

$$\text{Intensità di applicazione I. a. (mm/ora)} = \frac{\text{portata irrigatori } Q \text{ (ltri/ora)}}{L \text{ (m)} \times d \text{ (m)}}$$



(c)  
Irrigatori a  
semicerchio  
disposti in triangolo

$$\text{Intensità di applicazione I. a. (mm/ora)} = \frac{\text{portata irrigatori } Q \text{ (ltri/ora)}}{\frac{L}{2} \text{ (m)} \times d \text{ (m)}}$$

Figura 7. Calcolo dell'intensità di pioggia in impianti stazionari

La *microirrigazione* (irrigazione a goccia o a spruzzi) è il metodo che in assoluto permette il maggior risparmio idrico. Esso è utilizzato principalmente nel settore ortoflorovivaistico ed ornamentale, tuttavia recenti sperimentazioni hanno dimostrato una buona efficienza ed applicabilità anche alle colture cerealicole. L'acqua viene distribuita in prossimità degli apparati radicali delle colture attraverso microspruzzatori o gocciolatori montati su tubi plastici a distanze variabili (ogni 30 cm per ali gocciolanti oppure alla stessa distanza di impianto delle colture). Necessitano di una bassa pressione di esercizio (circa 1 bar) ma di un sistema di filtraggio per evitare l'occlusione degli irrigatori. Il sistema può essere utilizzato in tutte le condizioni pedoclimatiche possibili.

In Figura 7. si evidenzia il movimento dell'acqua all'interno di diverse tipologie di suolo.

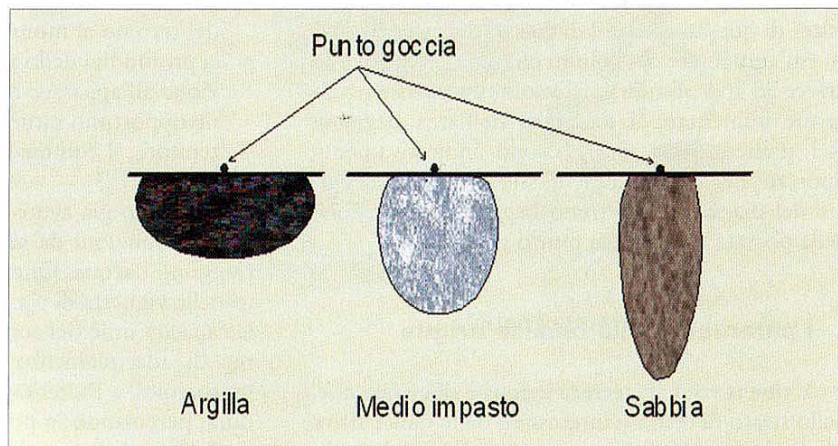


Figura 8. Inumidimento del suolo prodotto da erogatore a goccia puntiforme



Foto 3. Irrigazione a pioggia con irrigatori statici su tappeto erboso presso la Fondazione Minoprio

## ACQUA E FLOROVIVAISMO

### La razionalizzazione dei consumi idrici

Nel settore florovivaistico le produzioni, siano esse in serra o in campo, sono contraddistinte da elevati investimenti per unità di superficie, da alte esigenze qualitative finali a fronte di elevata redditività, da cicli colturali brevi (rapido sviluppo). Tutto ciò richiede un uso intensivo di mezzi tecnici della produzione, primi fra tutti acqua e fertilizzanti.

Le elevate richieste di acqua, in tempi di facile approvvigionamento della risorsa, hanno generato sprechi e, dove la concimazione è abbinata all'irrigazione, inquinamento dei corpi idrici, soprattutto superficiali, da parte di elementi minerali e principi attivi fitofarmaci.

Tuttavia diversi fattori, ambientali ed economici, hanno spinto gli imprenditori che operano nel settore florovivaistico, alla razionalizzazione dei consumi.

Da un lato si è assistito sempre più al diffondersi di correnti di pensiero che attribuiscono alle applicazioni più intensive della produzione agricola responsabilità nell'inquinamento delle falde acquifere e dei suoli agrari.

In termini legislativi la *Direttiva comunitaria 91/676* (conosciuta come “Direttiva Nitrati”, recepita in Italia solo nel 1999 con il *Decreto Legislativo n. 152/99*), ha posto per prima l'attenzione sul problema dell'acqua associata all'uso di fertilizzanti ed antiparassitari; essa ha previsto per tutti gli stati membri la definizione di zone vulnerabili all'inquinamento provocato da nitrati, all'interno delle quali attuare misure in grado di contenere la dispersione dei nutrienti, grazie alla definizione di *Codici di Buona Pratica Agricola*.

Alla 91/676 sono susseguiti ulteriori provvedimenti a livello comunitario (*D.c. n. 60/2000 – Quadro per l'azione comunitaria in materia di acqua; Reg. CE n. 1257/1999 e Reg. CE n. 1783/2003* relativi alla istituzione delle misure agroambientali), nazionale (*D.m. 19 aprile 1999 – Approvazione del codice di buona pratica agricola*) e regionale (Piani di Sviluppo Rurale).

Tuttavia non bisogna dimenticare che, oltre a ragioni di carattere ambientale, motivazioni economiche spingono il settore florovivaistico alla razionalizzazione dei consumi. Negli ultimi anni si è assistito ad una diminuzione della disponibilità di acqua per uso irriguo ed ad un conseguente incremento dei costi, ciò ad esempio a fronte della crescente irregolarità delle precipitazioni atmosferiche (basti pensare all'estate torrida del 2003) e della competizione di altri settori (uno fra tutti quello turistico con picchi di richiesta che coincidono con quelli del florovivaistico).

Alcune aziende, le più all'avanguardia, utilizzano già oggi tecnologie in grado di aumentare l'efficienza dell'irrigazione e della concimazione; per queste la scelta è stata, mediante un piano mirato di investimenti, quella di diminuire gli input e massimizzarne la resa.

In Tabella 9. si riassumono i principali interventi e le misure per la razionalizzazione dell'irrigazione e della fertilizzazione nel settore florovivaistico, suddivisi in base al livello tecnologico ed al costo.

Tabella 9. Interventi e misure per la razionalizzazione dell'irrigazione e della fertilizzazione nel settore florovivaistico.

<i>Interventi a ridotto contenuto tecnologico e/o di costo limitato</i>
1. progettazione accurata degli impianti irrigui
2. organizzazione spaziale delle colture in funzione delle esigenze idriche
3. cura dell'intervento irriguo: irrigazione ciclica, irrigazione mattutina, uso di temporizzatori, esclusione in caso di pioggia
4. trattamento delle acque irrigue (filtrazione ed acidificazione)
5. monitoraggio della coltura (analisi delle acque di drenaggio)
6. registrazione sistematica (mediante contaltri) delle quantità di acqua e di fertilizzanti distribuite e disperse (monitoraggio del <i>runoff</i> )



<i>Interventi a medio contenuto tecnologico e/o di costo relativamente elevato</i>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. introduzione o maggior impiego dell'irrigazione a goccia</li> <li>2. introduzione o maggior impiego della fertirrigazione</li> <li>3. impiego di sistemi per il controllo automatico dell'irrigazione basati sulla stima dell'ETE</li> <li>4. raccolta e stoccaggio delle acque piovane</li> </ol>
<i>Interventi a elevato contenuto tecnologico e di costo particolarmente oneroso</i>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. controllo computerizzato degli interventi di climatizzazione della serra e di irrigazione/fertirrigazione</li> <li>2. impiego di sistemi di coltivazione fuori suolo (per il fiore reciso)</li> <li>3. recupero e riutilizzo delle acque di drenaggio (sistemi chiusi in serra o in vivaio)</li> <li>4. trattamento di desalinizzazione delle acque</li> </ol>

Un'esperienza in tal senso è stata condotta presso la Fondazione Minoprio nel biennio 2003-2004 in ambito del programma comunitario P.I.C. Interreg IIIA 2000-2006 I-CH, con il progetto *“Razionalizzazione dell'uso delle risorse idriche nel settore del florovivaismo in contenitore”*.

Le attività sperimentali hanno previsto la costruzione di un vivaio con lo scopo di valutare in coltivazione sistemi a ciclo chiuso innovativi per la gestione dell'acqua rispetto ad un impianto tradizionale per asperzione a ciclo aperto. Nello specifico è stato predisposto un sistema a riciclo d'acqua (tramite impermeabilizzazione del terreno, posa di dreni per il convoglio delle acque reflue, costruzione di un bacino artificiale per il recupero delle stesse, messa a punto di un sistema di pompaggio in grado di riconvogliare l'acqua al fertirrigatore) abbinato ad un impianto di irrigazione per asperzione e un sistema basato sulla posa di un tappeto capillare impermeabilizzato sul fondo, capace di trattenere la soluzione irrigua e renderla successivamente disponibile alle piante in coltivazione, abbinato ad un impianto di erogazione mediante linee di manichette forate inserite nella struttura del tappeto.

La coltivazione di essenze ornamentali da siepe (lauro, photinia, thuia, viburno e pyracantha) ha permesso di mettere in luce gli aspetti positivi dei sistemi a ciclo chiuso, fra tutti il risparmio di acqua, anche di oltre la metà rispetto al sistema tradizionale.

Da segnalare l'ottima performance del tappeto capillare che ha permesso, a fronte della relativa economicità del sistema, l'ottenimento in coltivazione di risultati qualitativamente superiori al testimone a ciclo aperto.



Foto 4. Vivaio dimostrativo realizzato presso la Fondazione Minoprio.

### **Sistemi di irrigazione in coltura protetta**

E' noto come la tecnica irrigua, ovvero la metodologia di somministrazione dell'acqua, ricopra un ruolo assai rilevante in agricoltura. Particolare importanza essa assume nelle coltivazioni in vaso dove le radici delle piante hanno a disposizione un limitato volume esplorabile: il ricorso ad una modalità di somministrazione dell'acqua (ed eventualmente della soluzione concimante) condiziona gli altri fattori della produzione, primo fra tutti la scelta di un substrato idoneo.

Di seguito sono illustrati i principali metodi di irrigazione impiegati nel settore florovivaistico, suddivisi in base al metodo di erogazione dell'acqua.

#### *Irrigazione per aspersione (a pioggia)*

Sistema tra i più diffusi nel settore florovivaistico, comprende tutti quegli impianti in cui l'acqua viene distribuita per via aerea, in genere sopra chioma, uniformemente su tutta la superficie coltivata.

Trattasi di un sistema che annovera tra i suoi principali vantaggi la relativa semplicità ed economicità dell'impianto e l'uniformità di bagnatura della superficie coltivata (con innalzamento dell'umidità dell'aria). A questi si contrappongono alcuni svantaggi quali la bagnatura della parte aerea della pianta (maggiori rischi di insorgenza di malattie), il pericolo di ustioni e macchie fogliari nel caso di acque di scarsa qualità e una non elevata efficienza idrica, soprattutto in caso di colture in vaso con diametro superiore a 18/20 centimetri (bassa densità colturale).

Gli impianti per aspersione possono essere suddivisi in fissi e mobili. Nel primo caso linee fisse in materiale idoneo (PVC o ferro zincato) su cui sono inseriti gli ugelli in numero variabile, permettono di bagnare contemporaneamente tutta la superficie interessata. Nel secondo caso invece il sistema è costituito da una barra semovente di larghezza pari al lato minore del settore da irrigare, su cui sono montati gli ugelli; in tal caso l'acqua fornita dipende, oltre che dalla portata dell'ugello, anche dalla velocità di avanzamento della barra mobile.

Gli ugelli sono l'elemento principale di tale sistema di irrigazione; essi possono essere suddivisi in statici e dinamici. Nel primo caso funzione dell'ugello è la sola frantumazione del getto d'acqua in gocce più o meno piccole, mentre nel secondo caso a tale funzione primaria si aggiunge l'azionamento di una girante.

Gli ugelli statici possono ulteriormente essere divisi in base alla portata (alta, media e bassa); la loro pressione di esercizio varia da 2 a 6 bar.

Gli ugelli dinamici si suddividono in mini-irrigatori ed irrigatori a schiaffo (a impatto o a martelletto).

Nella progettazione di un impianto di irrigazione per aspersione bisogna sempre tenere in considerazione portata (litri/minuto o litri/ora), gittata (raggio in metri dell'area interessata dal getto) e uniformità di distribuzione degli ugelli.

#### *Irrigazione per subirrigazione*

Denominata anche *irrigazione a flusso e riflusso*, trattasi di un sistema impiegato per la coltivazione in vaso in serra su bancali o pavimenti a tenuta stagna, sulla cui superficie viene mantenuta o fatta scorrere (in canalette) per un determinato periodo di tempo una lama d'acqua. Tale tecnica può essere attuata prevedendo il recupero e il riutilizzo della soluzione irrigua (o fertirrigua) utilizzata (ciclo chiuso).

L'imbibizione del substrato colturale è garantita dalla risalita capillare della soluzione irrigua all'interno del vaso. Risulta importante prevedere, pertanto, l'utilizzo di una miscela con caratteristiche fisiche idonee (elevata capacità di ritenzione idrica).

E' possibile

#### *Irrigazione localizzata (microirrigazione, a goccia o a sorsi)*



Trattasi di tutti quei sistemi caratterizzati da basse portate e basse pressioni di esercizio (<1,5/2 bar), in cui la somministrazione dell'acqua è localizzata al volume di substrato colturale o di suolo direttamente interessato dalle radici delle piante coltivate.

Risulta possibile identificare quattro principali categorie di impianto:

1. *<impianti ad ala gocciolante* (portata 0,5-4 litri/ora; pressione di esercizio 0,5-2 bar): trattasi delle comuni manichette forate, costituite da un tubo di polietilene munito di fori; in genere non danno garanzia in relazione all'uniformità di distribuzione.
2. *impianti con gocciolatori* (portata 2-20 litri/ora; pressione di esercizio 1-4 bar): costituiti da linee di polietilene su cui sono inseriti dei gocciolatori (in genere a bottone o a freccetta).
3. *impianti con erogatori* (portata 6-30 litri/ora; pressione di esercizio 1-3 bar): sono detti anche *impianti a sorsi*
4. *impianti con tubi capillari* (portata 0,7-7 litri/ora; pressione di esercizio 1-2,5 bar): sono detti anche *impianti a spaghetti*; sono costituiti da un tubo in polietilene su cui sono inseriti tubicini di diametro assai ridotti detti capillari; la portata è direttamente proporzionale al diametro del capillare ed inversamente proporzionale alla sua lunghezza. Molto diffusi per la loro economicità, presentano in genere lo svantaggio del verificarsi di una certa non uniformità di portata, a causa del formarsi di un gradiente di pressione decrescente lungo la linea.

I principali vantaggi dell'irrigazione localizzata sono:

- ✓ elevata efficienza irrigua
- ✓ contenimento dello sviluppo delle malerbe
- ✓ maggiore sanità delle colture
- ✓ possibilità di irrigare anche nelle ore più calde della giornata
- ✓ riduzione dei fenomeni di costipazione del suolo (in pieno campo)
- ✓ basse pressioni di esercizio e conseguente contenimento dei costi
- ✓ possibilità di utilizzare il sistema per la fertirrigazione

Tra gli svantaggi si ricorda il problema di intasamento degli ugelli, in relazione al ridotto diametro degli stessi ed alla bassa pressione di esercizio.

#### *Tappeti capillari*

Trattasi di un sistema innovativo in campo florovivaistico, prevede il ricorso a materiali (tappeti) ad elevata capacità di trattenuta idrica. L'acqua o la soluzione nutritiva distribuita in eccesso rispetto alla capacità di assorbimento del substrato sono assorbite dal sistema e rese disponibili successivamente per risalita capillare. Il tappeto, impermeabilizzato o meno sul fondo, risulta abbinato in genere ad un impianto di erogazione dell'acqua per aspersione o a linee di manichette forate. In entrambi i casi risulta importante abbinare al sistema un substrato colturale idoneo, ad elevata capacità di ritenzione idrica; risulta inoltre richiesto lo spianamento dell'area ed una pendenza inferiore al 3%, al fine di mantenere equilibrata la capacità di trattenuta e di diffusione capillare.

In Tabella 10. si riassumono i principali vantaggi e svantaggi dei diversi sistemi di irrigazione e subirrigazione.

Tabella 10. Vantaggi e svantaggi dei diversi sistemi di irrigazione e subirrigazione (da Incrocci, Riccò -2004)

<i>irrigazione manuale</i>	<i>vantaggi</i>	1. basso investimento iniziale 2. in genere applicabile per tutte le specie
	<i>svantaggi</i>	1. irregolarità di bagnatura 2. elevato costo di manodopera 3. eccessivo consumo di acqua 4. disomogeneità della produzione
<i>irrigazione per aspersione</i>	<i>vantaggi</i>	1. investimento iniziale contenuto 2. basso fabbisogno di manodopera

		3. possibilità di utilizzo per rinfrescare piante e mantenimento umidità aria
	<b>svantaggi</b>	1. poca uniformità 2. consumo eccessivo di acqua e dilavamento dei fertilizzanti
<b>barre mobili</b>	<b>vantaggi</b>	1. buona efficienza
	<b>svantaggi</b>	1. costi elevati per le piccole imprese
<b>irrigazione a goccia</b>	<b>vantaggi</b>	1. massima efficienza, riduzione al minimo del ruscellamento 2. minore incidenza di malattie fogliari 3. eccellente controllo aria-acqua del substrato 4. eterogeneità di utilizzo (specie diverse, dimensioni diverse dei vasi)
	<b>svantaggi</b>	1. costi elevati 2. manutenzione più frequente
<b>flusso e riflusso su bancale e pavimento</b>	<b>vantaggi</b>	1. nel ciclo chiuso recupero delle soluzioni fertirrigue (razionale consumo di acqua e fertilizzanti) 2. possibilità di incorporare sistemi di riscaldamento 3. riduzione del rischio di diffusione dei patogeni
	<b>svantaggi</b>	1. elevato investimento iniziale 2. nel ciclo chiuso possibilità di accumulo di principi attivi insetticidi, erbicidi e fungicidi 3. nel ciclo chiuso rischio di accumulo di sali nell'acqua (se di cattiva qualità)
<b>scorrimento a canalette</b>	<b>vantaggi</b>	1. garantisce comunque un buon controllo del rendimento dell'acqua 2. parziale riduzione del rischio di diffusione dei patogeni
	<b>svantaggi</b>	1. elevato investimento iniziale 2. nel ciclo chiuso possibilità di accumulo di principi attivi insetticidi, erbicidi e fungicidi 3. nel ciclo chiuso rischio di accumulo di sali nell'acqua (se di cattiva qualità) 4. minore contenimento della diffusione dei patogeni
<b>tappeti capillari</b>	<b>vantaggi</b>	1. indicati in ambienti caratterizzati da UR elevata 2. adatti per specie a ciclo breve 3. mantenimento di un livello costante di umidità nel vaso 4. idonei per la coltivazione di specie e vasi differenti
	<b>svantaggi</b>	1. accumulo di sali 2. proliferazione di alghe a causa di ristagno

### Brevi note relative agli impianti di fertirrigazione

Per fertirrigazione si intende la pratica di somministrazione dei fertilizzanti per mezzo dell'acqua di irrigazione. Essa offre evidenti vantaggi in coltivazione quali la razionalizzazione dell'uso dei concimi e la possibilità di gestire e calibrare l'apporto di elementi minerali solubili alla coltura in

tempo reale. Di contro si ricordano i costi elevati legati all'investimento iniziale e al funzionamento dell'impianto, nonché le maggiori difficoltà legate alla sua gestione.

Il mercato offre oggi differenti soluzioni impiantistiche a costi differenti (a partire da alcune centinaia fino a decine di migliaia di euro).

Un impianto di fertirrigazione, abbinato ad un sistema di adacquamento tra quelli sopraccitati, risulta in genere costituito dai seguenti elementi, suddivisi in indispensabili ed opzionali:

#### *componenti indispensabili*

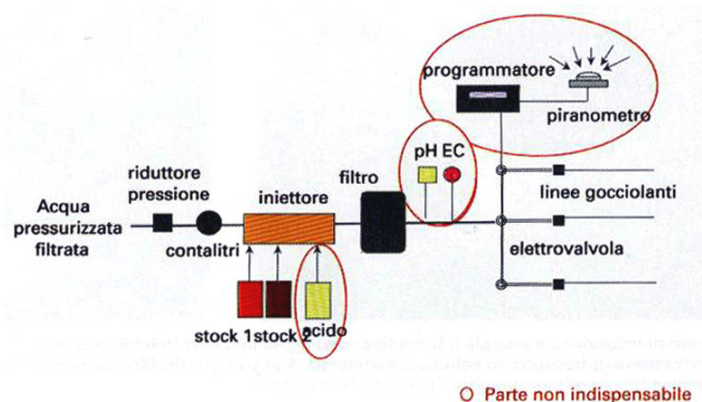
- ✓ riduttore e stabilizzatore di pressione
- ✓ contenitori per soluzioni madre (stock), per la soluzione dell'acido o della base
- ✓ dispositivo di dosaggio delle soluzioni stock, in linea o in vaso di espansione/miscelazione
- ✓ filtri (aiutare il rimescolamento e bloccare le impurità)

#### *componenti opzionali*

- ✓ dispositivo di dosaggio della soluzione di acido
- ✓ dispositivi per il controllo di EC e pH
- ✓ programmatore e sistemi di automazione dell'intervento irriguo

Si riporta in figura uno schema di impianto di fertirrigazione.

Figura 9. Schema di impianto di fertirrigazione



I dispositivi per il dosaggio dei concimi risultano in genere suddivisi in base alla tipologia di controllo del dosaggio (volumetrico o proporzionale) e all'energia impiegata per il movimento della pompa (meccanica o elettrica).

In elenco si riportano le tipologie più comunemente utilizzate:

- ✓ tubo di Venturi
- ✓ pompa dosatrice meccanica volumetrica
- ✓ pompa elettrica a membrana con dosaggio volumetrico
- ✓ pompa elettrica a pistone con dosaggio volumetrico
- ✓ pompa elettrica con dosaggio proporzionale
- ✓ fertirrigatore computerizzato

### **Sistemi per la gestione dell'irrigazione**

L'efficienza dell'irrigazione (intesa come frazione dell'acqua totale erogata che viene utilizzata dalla pianta) è strettamente connessa alla gestione della pratica irrigua e si ottiene mediante la scelta

di un sistema di adacquamento funzionale, la programmazione razionale degli interventi ed il ricorso ad idonei volumi irrigui.

La tecnica irrigua influenza fortemente l'efficienza: l'irrigazione a goccia e la subirrigazione mostrano efficienza doppia nei confronti della somministrazione per scorrimento (0,9/0,95 la prima e 0,95/0,98 la seconda in confronto a 0,4/0,5); intermedia è da considerarsi l'efficienza dell'irrigazione a pioggia (0,6/0,7).

Relativamente la coltivazione in vaso il regime irriguo (quantità d'acqua somministrata nel corso di una giornata) dipende dalle dimensioni del vaso e dal tipo di substrato utilizzato. In un'ottica di efficienza, quindi di utilizzo razionale della risorsa acqua, risulta essenziale la valutazione dei volumi irrigui, prendendo per esempio in considerazione o meno l'ipotesi di frazionare la quantità giornaliera di acqua in più dosi (alcuni studi hanno in questo modo evidenziato un miglioramento dell'efficienza di distribuzione) e identificando il giusto momento di intervento.

Trattasi di valutazioni assai delicate, che presuppongono una buona conoscenza tecnica da parte dell'operatore. Al fine di acquisire informazioni utili alla definizione di tali parametri è possibile operare in modi distinti, facendo ricorso a metodi pratici, teorici o mediante utilizzo di apparecchiature idonee.

In *termini pratici* è possibile operare valutando, in base all'esperienza dell'operatore, il peso del vaso al momento di intervento; inoltre registrando preventivamente il peso di un vaso portato a saturazione idrica è possibile calcolare per differenza il volume di adacquamento richiesto, comunque in modo empirico vista la non conoscenza della percentuale di acqua effettivamente trattenuta dal substrato.

In *termini teorici* è possibile sulla base dell'analisi approfondita della curva di ritenzione idrica valutare, in relazione al peso del vaso, il giusto momento di intervento ed il volume di adacquamento; è possibile semplificare la procedura mediante l'utilizzo di un foglio elettronico.

Si ricorda che, per le colture in contenitore, il volume d'acqua facilmente disponibile si può considerare variabile tra il 20 e il 40%.

Un'alternativa è costituita dalla stima dell'evapotraspirazione potenziale (ETE - millimetri d'acqua persi dal sistema substrato-pianta in seguito all'evaporazione e alla traspirazione), per la quale si rimanda al capitolo sui rapporti tra acqua e suolo. La stima dell'ETE risulta più semplice per le colture in serra in relazione ai minori fattori variabili che incidono sul calcolo.

Sul mercato esistono *strumenti adatti alla rilevazione dell'umidità* dei substrati di coltivazione. Tali apparecchiature rilevano lo stato idrico del substrato e permettono di identificare con sicurezza il momento ideale per l'intervento irriguo. In genere si parla di tensiometri e sonde di umidità.

Un *tensiometro* è costituito da un tubo in vetro, ermeticamente chiuso nella parte superiore e contenente acqua, munito di una coppa porosa in ceramica all'estremità inferiore. In genere all'estremità superiore è collegato un manometro in grado di rilevare i valori di tensione misurati.

Esso permette di misurare il potenziale idrico ( $\psi_w$ ) del substrato presente all'interno del vaso. All'asciugarsi di quest'ultimo l'acqua contenuta nel tubo in vetro fuoriesce dal sistema attraverso la coppa porosa dando vita ad una tensione negativa (diminuzione di  $\psi_w$ ) interna; al contrario, umidificando il substrato l'acqua passa al tubo in vetro provocando diminuzione della tensione e aumento di  $\psi_w$ .

I tensiometri possono essere utilizzati singoli (in genere) o affiancati a centraline elettroniche in grado di programmare tempi e durata degli interventi irrigui temporizzatori. Nel primo caso sta all'operatore procedere all'adacquamento una volta rilevato manualmente un valore di tensione inferiore alla soglia prestabilita; nel secondo caso, invece, un interruttore a membrana per basse pressioni collegato ad una elettrovalvola avvia l'irrigazione al superare della soglia di tensione all'interno del tensiometro.

Alcuni importanti accorgimenti debbono essere messi in atto in caso di utilizzo dei tensiometri:

- ✓ si dovrà scegliere una pianta il più possibile rappresentativa della situazione generale in vivaio, tenendo in considerazione la posizione del vaso al suo interno;

- ✓ si dovrà procedere al controllo periodico del corretto funzionamento del tensiometro (esempio svuotamento anche parziale del tubo in vetro o perdita di contatto con il substrato)
- ✓ si dovrà porre attenzione a collocare correttamente il tensiometro all'interno del vaso, in genere in relazione alla tecnica irrigua (in centro con irrigazione localizzata, qualche centimetro sopra il fondo con aspersione);
- ✓ si dovrà verificare periodicamente l'uniformità della pianta campione con le altre in coltivazione.

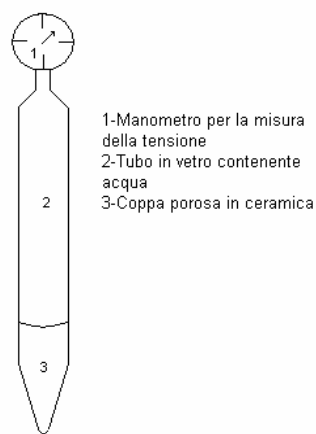


Figura 10. Schema di tensiometro



Foto 5. Veduta di un tensiometro in coltivazione

In Tabella 11. si riportano le soglie tensiometriche utilizzate per l'irrigazione di alcune specie ornamentali. In genere per le colture in vaso con substrati colturali riconducibili, come proprietà idrologiche, alle miscele a base prevalente in torba, il valore soglia di intervento per evitare l'insorgere di stress idrico è fissato a 60-80 hPa.

Tabella 11. Soglie tensiometriche utilizzate per l'irrigazione di alcune specie ornamentali

<i>specie coltivata</i>	<i>soglie di irrigazione (off-on)</i>
<i>crisantemo</i>	10-40 hPa
<i>rosa</i>	10-50 hPa
<i>geranio</i>	20-60 hPa
<i>gerbera</i>	10-50 hPa
<i>ortensia</i>	10-50 hPa
<i>stella di natale</i>	10-50 hPa
<i>conifere</i>	30-70 hPa
<i>fragola</i>	100-300 hPa

Una *sonda di umidità* è uno strumento il cui funzionamento si basa su differenze di potenziale elettrico derivate da variazioni nel contenuto idrico del substrato. Ne esistono di due tipi: capacitivi e TDR (Time Domain Reflectometry).

Le sonde capacitivi determinano il contenuto di umidità misurando la variazione di perdita dielettrica del mezzo in osservazione. Il substrato che funge da dielettrico e gli elettrodi contenuti nella sonda formano una sorta di condensatore. Le proprietà dielettriche di un substrato sono strettamente correlate al suo tenore in acqua e le variazioni di quest'ultimo modificano di conseguenza le proprietà del condensatore (capacità o frequenza di risonanza). La variazione dell'umidità del substrato determina quindi una modificazione della resistenza elettrica.

Le sonde TDR sono costituite da antenne metalliche che emettono un'onda elettromagnetica in un tempo T e recuperano un'onda riflessa in un tempo T+t. I ritardi nella riflessione dipendono dallo stato idrico del substrato: più precisamente l'attenuazione dell'onda riflessa è tanto maggiore quanto più è scarso il contenuto idrico del substrato.

Nel caso si decida di impiegare le sonde d'umidità quale indicatore dello stato idrico del substrato gli accorgimenti che si dovranno tenere saranno gli stessi già elencati per i tensiometri.

In tabella 12. si riportano a confronto vantaggi e svantaggi delle apparecchiature illustrate.

Tabella 12. Caratteristiche delle apparecchiature utilizzate per la rilevazione dell'umidità dei substrati

<i>tensiometro</i>	<i>vantaggi</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>3. il valore di tensione rilevato è preciso e direttamente utilizzabile</li> <li>4. la salinità della soluzione circolante non influenza il valore rilevato</li> <li>5. la posizione del tensiometro all'interno del vaso non incide particolarmente sulla lettura</li> </ul>
	<i>svantaggi</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>4. rischio di svuotamento del tensiometro in caso di asciugatura eccessiva del substrato</li> <li>5. fragilità dello strumento</li> <li>6. eventuale sviluppo di alghe all'interno del tensiometro</li> </ul>
<i>sonda di umidità</i>	<i>vantaggi</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>4. nessuna preparazione prima dell'impiego</li> <li>5. maggior solidità rispetto ai tensiometri</li> <li>6. in genere buona sensibilità</li> </ul>
	<i>svantaggi</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>3. la posizione del tensiometro all'interno del vaso incide sulla lettura</li> <li>4. il valore di tensione rilevato è preciso ma necessita di una conversione prima dell'utilizzo</li> <li>5. la salinità della soluzione circolante può influenzare la lettura</li> <li>6. errori di lettura possono essere dovuti alla formazione di sacche d'aria</li> </ul>

### **Le proprietà idrologiche dei substrati culturali**

Si definisce substrato culturale *un materiale diverso dal terreno, costituito da uno o più componenti, organici e/o inorganici, destinato tal quale a sostenere lo sviluppo vegetale.*

Trattasi di un mezzo tecnico di produzione utilizzato nella coltivazione di piante in vaso, dove assume un'importanza particolare in relazione al limitato volume esplorabile dalle radici; queste ultime in tali situazioni hanno maggiori esigenze nei confronti di aria, acqua ed elementi nutritivi rispetto al suolo agrario.

Di fondamentale importanza risulta la caratterizzazione delle proprietà agronomiche dei substrati colturali, in particolare delle caratteristiche fisiche e idrologiche. La loro conoscenza permette la corretta gestione del ciclo colturale, ed in particolare la scelta dell'ideale pratica irrigua: tutto ciò è possibile solo a fronte della comprensione dei rapporti esistenti tra acqua e substrato.

Un substrato è costituito da un sistema trifasico, una fase solida che assicura l'ancoraggio all'apparato radicale e garantisce la stabilità della pianta, una fase liquida che assicura alla pianta l'approvvigionamento idrico e nutritivo, una fase gassosa che permette la respirazione radicale e la vita della flora microbica.

La fase solida non varia, risulta costante ed incomprimibile, al contrario delle rimanenti due che variano a seconda del contenuto d'acqua del substrato e del complesso di forze applicate al sistema.

Si definisce *porosità di un substrato colturale* il volume della fase fluida (liquida e gassosa) in percentuale sul totale, ovvero la differenza tra l'unità ed il volume occupato dalla materia solida.

Risulta a questo punto possibile definire due ulteriori parametri fisici fondamentali, la *densità apparente* e la *densità reale*, le cui misure permettono, tra l'altro, il calcolo della porosità mediante la formula  $P=1 - (DA/DR)$ .

Si definisce *densità apparente di un substrato colturale* il rapporto tra massa e volume apparente, cioè il volume della matrice comprendente anche gli spazi occupati da aria e acqua.

Si definisce *densità reale di un substrato colturale* il rapporto tra massa e volume reale, cioè il volume della sola fase solida della matrice.

Già sopra si è detto della variabilità in volume della fase liquida e gassosa in relazione alla forza di tensione applicata al sistema; è possibile introdurre ed esplicitare il concetto di curva di ritenzione idrica, cioè l'evoluzione del contenuto di acqua in un substrato colturale a partire da una condizione di massima imbibizione al crescere della suzione applicata.

Di seguito si illustra brevemente il principio fisico che sta alla base della curva di ritenzione idrica di un substrato colturale.

Si definisce potenziale idrico ( $\psi_w$ ) l'energia potenziale dell'acqua per unità di massa; esso esprime il lavoro necessario per estrarre una quantità unitaria di acqua ritenuta dal sistema, è negativo in quanto assume valori negativi rispetto all'acqua libera. Nel caso di un substrato (o di un terreno)  $\psi_w$  determina la suzione necessaria per estrarre l'acqua dal sistema, cioè la forza necessaria alla radice per assorbire acqua dal substrato (più è asciutto maggiore è la forza).

La curva di ritenzione idrica esprime la relazione esistente (in percentuale di volume) tra il potenziale idrico nel substrato, definito anche tensione o potenziale matriciale, ed il contenuto idrico dello stesso.

Studi sulla fisiologia delle piante hanno evidenziato che fino a -25/-30 kPa di tensione le piante non sono influenzate dalla tensione con cui l'acqua è trattenuta dal substrato, ma piuttosto dal contenuto idrico dello stesso. A tal proposito il campo di variazione della tensione per cui si suole individuare la curva di ritenzione idrica dei substrati colturali risulta molto stretto, in genere compreso tra 0 e -30 kPa e normalmente fra 0 -10 kPa, dove con 0 si ha la massima saturazione del mezzo e con -10 kPa una tensione applicata pari a 100 centimetri di colonna d'acqua.

In relazione a quanto sopra esposto sono state fissate, all'interno dell'intervallo definito, tre differenti tensioni, significative della capacità delle radici delle piante coltivate di sottrarre acqua al sistema: -1 kPa (10 centimetri di colonna d'acqua), -5 kPa (50 centimetri di colonna d'acqua) e -10 kPa (100 di colonna d'acqua), pari a pF 1, pF 1,7 e pF 2, definendo il pF come il logaritmo negativo in base 10 della tensione espressa in centimetri di acqua.

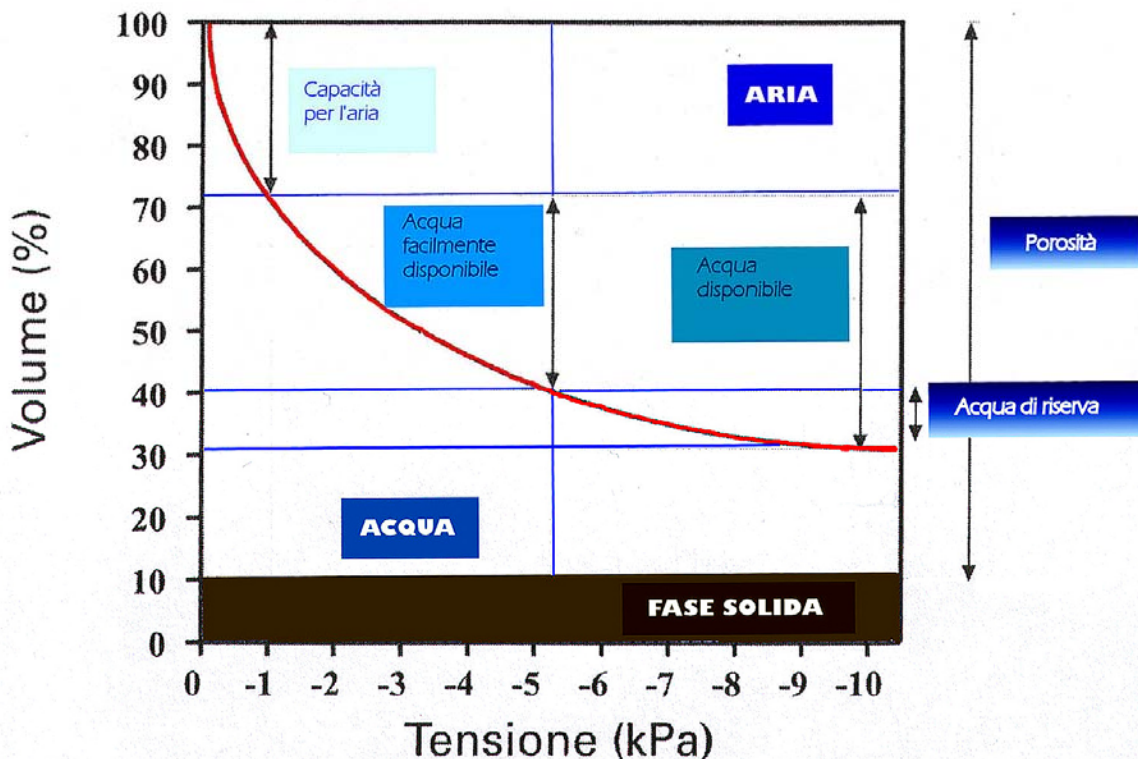
In figura si riporta una curva per un generico substrato a base di torba; dall'analisi della stessa è possibile ricavare altri parametri fisici fondamentali del substrato colturale (in aggiunta a quelli sopraccitati), indispensabili al fine di definire le caratteristiche idrologiche della matrice:

- ✓ capacità di ritenzione idrica – volume di acqua misurato a -1 kPa (pF1)
- ✓ volume occupato dall'aria a -1 kPa (pF1);



- ✓ volume d'acqua facilmente disponibile – differenza tra il contenuto idrico a -1 kPa (pF1) e -5 kPa (pF1,7);
- ✓ volume d'acqua di riserva – differenza tra il contenuto idrico a -5kPa (pF1,7) e -10 kPa (pF2);
- ✓ volume d'acqua utilizzabile – differenza tra il contenuto idrico a -1 kPa (pF1) e -10 kPa (pF2);
- ✓ volume d'acqua non utilizzabile – contenuto idrico residuo a -10 kPa (pF2).

Figura 11. Curva di ritenzione idrica di un substrato colturale



Ogni singola matrice risulta caratterizzata da una propria curva di ritenzione idrica.

In Tabella 13. si riporta una guida all'interpretazione delle principali caratteristiche fisiche di un substrato colturale.

Essa rappresenta un'esemplificazione di quanto in genere rilevato; occorre tener sempre ben presente il fatto che non esiste un substrato considerato ottimale bensì un sistema di coltivazione ottimale, in cui ad una matrice con particolari proprietà fisiche si affianca un vaso di forma e dimensioni idonee, una specie coltivata idonea e appropriate tecniche colturali, con particolare riferimento alla modalità di somministrazione delle soluzioni irrigue/fertirrigue.

Tabella 13. Guida all'interpretazione dei principali parametri fisici dei substrati colturali (metodo De Boodt – metodo EN 13041)

PARAMETRO	leggero/basso	normale	pesante/elevato
densità apparente (g/cm <sup>3</sup> )	< 0,06	0,06 – 0,25	> 0,25

porosità totale (%v/v)	< 80	80 – 95	> 95
volume d'aria a pF1 (%v/v)	< 15	15 – 35	> 35
volume d'acqua a pF1 (%v/v)	< 50	50 – 80	> 80 %
volume d'acqua facilmente disponibile (%v/v)	< 30	30 - 40	> 40

Fonte MAC – Minoprio Analisi e Certificazioni S.r.l

Un'ultima nota relativa alla curva di ritenzione idrica: essa, si è detto, è determinata come *curva di drenaggio*, partendo dallo stato di massima imbibizione equilibrando il campione a tensioni minori (-1 kPa, -5 kPa e -10 kPa).

In realtà è possibile invertire il processo idratando via via il campione in modo da ottenere una curva di umidificazione, comunque sempre differente dalla curva di ritenzione, situate più “in basso” sul piano tensione-umidità percentuale in volume, ovvero con minor contenuto di acqua. Tutto ciò a causa di fenomeni di isteresi dovuti alla presenza d'aria intrappolata nella matrice e soprattutto alla momentanea idrorepellenza di alcune tipologie di materiali (tra tutte le torbe).

Tale aspetto potrebbe assumere particolare rilevanza in relazione alla modalità di utilizzo dei substrati colturali nel ciclo di coltivazione, sempre sottoposti a cicli di bagnatura al fine di contrastare la loro naturale tendenza ad asciugarsi, così da soddisfare le richieste idriche delle specie coltivate, e al contrario, mai asciugati quando bagnati.

Relativamente la tecnica irrigua è possibile, seguendo la classificazione di L.M. Riviére ripresa successivamente da R. Brun (1993), raggruppare le differenti matrici in quattro diverse tipologie, fornendo per ognuna generali criteri di somministrazione dell'acqua.

- ✓ *Tipo 1. Substrati ad elevata porosità (> 85%), volume d'aria a pF1 > 20%, volume d'acqua utilizzabile > 25%, volume d'acqua di riserva ≈ 10%. Trattasi in genere di torbe molto fibrose, nel cui caso la pratica irrigua non presenta particolari problemi, in relazione soprattutto agli elevati volumi di acqua disponibile e di riserva.*
- ✓ *Tipo 2. Substrati poco porosi o con ridotta porosità aperta, con volume d'aria a pF1 < 20%, volume d'acqua utilizzabile < 20%, volume d'acqua di riserva ≈ 3/4%. In genere le torbe brune, nel cui caso necessita porre attenzione ad evitare fenomeni di asfissia radicale.*
- ✓ *Tipo 3. Substrati con volume d'aria a pF1 elevato > 30%, ma ridotto volume d'acqua utilizzabile < 15/20% e volume d'acqua di riserva < 5%. In genere tutti i materiali grossolani, drenanti, spesso usati in miscela con la torba (perlite, pomice, zeolite, argilla espansa, vermiculite, etc.), i quali richiedono irrigazioni frequenti in volume assai ridotto.*
- ✓ *Tipo 4. Substrati con volume d'aria a pF1 sufficiente, elevato volume d'acqua utilizzabile e pressoché nullo volume d'acqua di riserva. Ad esempio la lana di roccia, nel cui caso necessita mantenere sempre elevato il contenuto d'acqua nella matrice.*

## QUALITÀ DELL'ACQUA: ANALISI ED INTERPRETAZIONE

La qualità dell'acqua viene definita sulla base di specifiche caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche, che possono a loro volta assumere significati differenti in base a diverse tipologie e modalità di utilizzo (agricoltura a pieno campo o florovivaismo, irrigazione per aspersione o microirrigazione).

La qualità dell'acqua varia inoltre in base alla provenienza, ovvero se trattasi di acque superficiali (canali, fiumi, bacini e laghi artificiali o naturali), acque sotterranee o di falda (pozzo, fontanili, sorgenti), acque di recupero (reflue più o meno depurate) e, in ambito urbano, da rete civica.

Acque di scarsa qualità possono provocare danni alle colture, agli impianti di distribuzione, agli operatori o agli utenti, al suolo, alla falda.

Ai fini di effettuare un'approfondita valutazione della qualità dell'acqua da utilizzarsi a scopi irrigui, risulta necessario condurre idonee prove di laboratorio. La scelta dei parametri da prendere in considerazione in sede di analisi dipende dalla fonte di approvvigionamento, dal tipo e dalla modalità di utilizzo della risorsa a disposizione. A fronte di eventuali esiti negativi sarà poi possibile individuare potenziali misure di intervento, dirette o indirette, al fine di affinare la qualità della matrice di partenza.

Il primo passo fondamentale al fine di conseguire dati significativi della matrice in esame è rappresentato dal *campionamento*, la cui modalità e tempistica dipende dalla fonte idrica a disposizione. Le caratteristiche dell'acqua possono variare nel corso del tempo e delle stagioni in relazione all'andamento della piovosità; è consigliabile pertanto effettuare inizialmente due cicli di analisi distinti, uno in epoca piovosa, l'altro in clima siccitoso, al fine di verificare e valutare eventuali variazioni; controlli ordinari possono invece essere programmati ogni 1/3 anni.

Il campione deve essere raccolto in contenitori puliti, risciacquati più volte con la stessa matrice da analizzare: risultano idonee all'utilizzo bottiglie in polietilene. L'acqua deve essere prelevata direttamente all'uscita degli apparati di distribuzione, non prima di averla lasciata fluire per alcuni minuti (5-10). Il quantitativo necessario all'effettuazione delle prove di laboratorio risulta pari a 1-2 litri; relativamente le modalità di conservazione, se il campione non viene consegnato entro 48 ore dal prelievo al centro di analisi, risulta necessaria la refrigerazione dello stesso a temperature non superiori a 5°C.

L'analisi della potabilità, non trattata nel presente volume, richiede modalità di campionamento più complesse e prevede il ricorso a contenitori sterili.

I parametri oggetto di approfondimento analitico possono essere suddivisi in fisici, chimici e microbiologici.

### Caratteristiche fisiche

In merito alle caratteristiche fisiche, i due parametri oggetto di valutazione sono in genere *temperatura* e presenza di *materiali solidi sospesi*.

La *temperatura* (T) può assumere valori differenti in base alla fonte di origine: le acque superficiali hanno temperatura variabile nel corso dell'anno, mentre quelle sotterranee possiedono in genere temperatura costante (circa 10-15°C) (calda in inverno e fresca in estate). Si considerano fredde le acque che presentano una temperatura inferiore a  $\frac{3}{4}$  della temperatura media dell'aria (ad esempio a temperatura media dell'aria di 24°C viene considerata fredda un'acqua a 18°C). L'utilizzo di acqua fredda d'estate può causare disturbi fisiologici alle colture, diretti in caso di contatto con gli organi vegetativi, indiretti se, introdotta nel terreno, causa un brusco abbassamento del livello termico dello stesso.

Al fine di porre rimedio all'utilizzo di acqua troppo fredda le soluzioni possono essere differenti, tra cui raccogliere e far sostare l'acqua in serbatoi di accumulo, creare percorsi più lunghi (a cielo

aperto o in tubature), nella quale l'acqua può riscaldarsi, utilizzare la risorsa nelle ore più fresche della giornata, ricorrere a metodi per aspersione che permettano un'acquisizione di calore termico da parte delle gocce prima che esse giungano al suolo.

I *materiali solidi sospesi* (STS – mg/l) possono essere di natura inorganica (sabbia, limo e argilla) od organica (ad esempio nelle acque reflue).

In genere nelle acque sotterranee si ha bassa presenza di materiale solido, al contrario di quello che avviene per le acque superficiali.

Talvolta il materiale disciolto può svolgere anche una funzione fertilizzante, ma spesso sono fonte di disagi, quali l'intasamento dei filtri e degli impianti di distribuzione, o di danni diretti alle colture quando irrigate per aspersione.

In presenza di un'eccessiva quantità di materiali sospesi (valore di STS > a 30-50 mg/l), nel caso di impianti di irrigazione per aspersione o microirrigazione occorrerà far fronte mediante ricorso a trattamenti specifici di filtrazione.

### Caratteristiche chimiche

Parametri fondamentali sono il *pH*, la *conducibilità elettrica*, il contenuto in *calcio*, *magnesio* e *sodio*, *carbonati* e *bicarbonato*. La conoscenza di questi principali fattori fornisce di per sé elementi sufficienti per una prima valutazione di merito circa l'utilizzo dell'acqua come risorsa irrigua.

Il *pH* permette di classificare l'acqua in base alla sua acidità e di fare valutazioni inerenti possibili necessità di correzione dello stesso.

Valori ottimali risultano compresi fra 6 e 8, anche se è sempre auspicabile avere valori intorno alla neutralità. Una reazione anomala, ovvero valori troppo acidi o troppo alcalini, possono provocare nelle coltivazioni in contenitore pericolose variazioni del pH del substrato; inoltre, soprattutto per le acque acide, il contatto con la vegetazione può provocare alterazioni sui tessuti vegetali.

La correzione del valore di pH, effettuata solitamente solo per le colture di pregio (ortoflorovivaismo) è generalmente pratica da effettuare in presenza di elevata alcalinità, come illustrato di seguito.

La *conducibilità elettrica* dell'acqua, (EC<sub>w</sub>), espressa in mS/cm (equivalente a dS/m) fornisce l'indicazione della quantità di sali in essa disciolti (esprimibili anche il mg/l).

L'acqua presenta sempre una certa quantità di elementi minerali disciolti, le quali concentrazioni variano entro limiti piuttosto ampi in relazione alla fonte di approvvigionamento (un esempio è rappresentato dalle acque di falda delle zone costiere che possiedono elevato contenuto salino). Fondamentale risulta poi la valutazione della qualità dei sali disciolti.

L'eccessiva presenza di elementi minerali può provocare problemi di assorbimento dell'acqua da parte delle piante, accumulo nel suolo o nel substrato, destrutturazione del terreno, occlusione degli impianti di irrigazione. Tuttavia acque eccessivamente dolci e non saline, dilavando i cationi presenti nel terreno che favoriscono la flocculazione delle argille (principalmente il calcio), possono causare perdita di struttura.

Per valutare l'aumento di salinità nel suolo (EC<sub>e</sub>) provocato dall'uso di acque saline è possibile utilizzare la formula  $EC_e = 1,5 EC_w$ .

L'aumento della salinità nel suolo causa diminuzione della quantità di acqua disponibile per le piante.

Per le colture a pieno campo il valore massimo consigliato di EC è pari a 1,5 mS/cm, mentre per le colture in contenitore è meglio utilizzare acque con EC inferiore a 0,75 mS/cm.

Si riporta di seguito in Tabella 14. la suscettibilità delle principali colture all'uso di acqua salina.

Tabella 14. Sensibilità delle principali colture alla salinità dell'acqua irrigua

<i>Tipo di coltura</i>	<i>Valore di EC mS/cm e rischio di riduzione della produzione</i>
------------------------	---

	<i>ASSENTE</i>	<i>PROBABILE</i>	<i>CERTO</i>
albicocco	1,1	1,3	1,8
barbabietola da zucchero	4,7	5,8	7,5
carota	0,7	1,1	1,9
erba medica	1,3	2,2	3,6
fagiolo	0,7	1	3
festuca	2,6	3,9	5,7
fragola	0,7	0,9	1,2
frumento	4	4,9	6,4
lattuga	0,9	1,4	2,1
lolio perenne	3,7	4,6	5,9
mais	1,1	1,7	2,5
mais da foraggio	1,2	2,1	3,5
melo	1,1	1,6	2,2
noce	1,1	1,6	2,2
olivo	1,8	2,6	3,7
orzo	5,3	6,7	8,7
orzo da foraggio	4	4,9	6,3
patate	1,1	1,7	2,5
peperone	1	1,5	2,2
pero	1	1,6	2,2
pesco	1,1	1,4	1,9
pomodoro	1,7	2,3	3,4
riso	2	2,6	3,4
soia	3,3	3,7	4,2
sorgo	2,7	3,4	4,8
sorgo da foraggio	1,9	3,4	5,7
spinacio	1,3	2,2	3,5
susino	1	1,4	1,9
trifoglio ladino	1	1,6	2,4
vite	1	1,7	2,7

L'eventuale eccesso di salinità può essere corretto per le colture florovivaistiche mediante il ricorso a sofisticati impianti ad osmosi inversa o mediante il taglio con acque dolci; per le colture frutticole importante risulta invece la scelta di portainnesti tolleranti.

In pieno campo è opportuno utilizzare turni irrigui brevi, in quanto l'asciugarsi del terreno induce in queste condizioni una minore disponibilità di acqua per le piante. Inoltre risulta consigliabile ricorrere a volumi di adacquamento maggiori al fine di dilavare il più possibile i sali apportati ed accumulatisi con gli interventi precedenti e mantenere il più possibile il terreno vicino alla capacità di campo; in terreni molto salini, al diminuire del contenuto idrico aumenta la concentrazione salina della soluzione circolante. Con acque saline le irrigazioni per sommersione creano generalmente minori problemi rispetto a quelle per aspersione o a goccia, in quanto le prime comportano naturalmente maggiore lisciviazione.

Il *calcio* è assorbito in quantità notevoli dalle colture e non risulta tossico; tuttavia, se presente in quantità elevate reagisce con i carbonati e bicarbonati del suolo formando calcare che si deposita nelle tubature, sugli ugelli, sulle foglie. Tale elemento possiede un'azione competitiva nei confronti del sodio, riducendo i fenomeni di destrutturazione del suolo.

Per le colture florovivaistiche il contenuto di calcio nell'acqua irrigua non dovrebbe essere superiore a 150 mg/l.

Il *magnesio*, come il calcio, non è causa di fitotossicità; il suo contenuto nelle acque è solitamente molto inferiore a quello del calcio. Insieme a quest'ultimo riduce gli effetti negativi legati ad eccessi di sodio. In genere non dovrebbe superare i 35 mg/l nelle acque irrigue.

Calcio e magnesio definiscono il valore di *durezza* dell'acqua, espressa come mg/l di carbonato di calcio (CaCO<sub>3</sub>), ottenuta attraverso la seguente relazione:

$$CaCO_3 \text{ mg/l} = (\text{mg/l } Ca^{++} * 2,5) + (\text{mg/l } Mg^{++} * 4,1)$$

La durezza viene espressa anche in gradi francesi (°F), con un rapporto fra le due unità di misura pari a 10:1 (10 mg/l di CaCO<sub>3</sub> = 1 °F).

Valori inferiori a 100-300 mg/l di CaCO<sub>3</sub> risultano accettabili per un'acqua ad uso irriguo; per valori superiori è consigliabile correggere il valore di pH al fine di evitare incrostazioni.

Il *sodio* è elemento in grado di provocare, a dosi elevate, problemi di fitotossicità, accumulandosi nel suolo, dove è causa di peggioramento delle proprietà fisiche dello stesso. In genere il contenuto massimo di sodio nelle acque di irrigazione non dovrebbe superare i 50 mg/l per le colture florovivaistiche ed i 150 mg/l per le colture da pieno campo. Calcio e magnesio contrastano l'assorbimento di sodio nel suolo.

Per questi tre elementi assume fondamentale importanza il rapporto con il quale essi risultano presenti nell'acqua. Questo rapporto viene espresso dall'indice denominato *SAR* (Sodium Adsorption Ratio = Rapporto di Assorbimento del Sodio), calcolato con la seguente formula (concentrazioni espresse in meq/L) →  $SAR = Na^+ / \sqrt{[(Ca^{++} + Mg^{++})/2]}$

Alcuni autori ritengono che la formula sopra riportata vada corretta in funzione di coefficienti che considerano la presenza di bicarbonati e i fenomeni che possono intercorrere quando l'acqua ed il suolo entrano fra loro in contatto; il valore di SAR corretto è generalmente superiore a quello del SAR convenzionale.

Con irrigazione per aspersione soprachioma valori di SAR superiori a 3 possono causare l'assorbimento di sodio a livelli fitotossici da parte delle foglie di colture sensibili, con valori superiori a 9 è consigliabile non adottare tale utilizzo.

Per le colture a pieno campo, ma non solo, il valore di SAR va anche rapportato al valore di salinità dell'acqua (EC<sub>w</sub>), in quanto il sodio, come detto, può provocare alterazioni fisiche del terreno causando seri problemi di permeabilità. I due indici risultano inversamente proporzionali, ovvero all'aumentare del SAR ed al diminuire della salinità aumentano i problemi legati alla struttura e permeabilità del suolo (Tabella 15.).

Tabella 15. Salinità e SAR - rischio di alterazione delle caratteristiche di drenaggio del terreno

Valore di SAR	EC <sub>w</sub> pari a	rischio basso	rischio moderato	rischio elevato
0-3		> 0,7	0,7-0,2	< 0,2
3-6		> 1,2	1,2-0,3	< 0,3
6-12		> 1,9	1,9-0,5	< 0,5
12-20		> 2,9	2,9-1,3	< 1,3
20-40		> 5,0	5,0-2,9	< 2,9

*Carbonati* (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) e *bicarbonati* (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) forniscono il dato di *alcalinità* dell'acqua e, conseguentemente, la necessità o meno di dover correggere il valore di pH.

I carbonati, generalmente assenti, possono essere rilevati in acque con valori di pH superiori a 8,0-8,3; più frequente è la presenza di bicarbonati. Reagendo con calcio e magnesio essi formano composti insolubili (calcare) che provocano problemi di incrostazioni e depositi fogliari. Acque ricche in bicarbonati utilizzate per aspersione soprachioma possono provocare l'estrazione di calcio e magnesio dagli organi vegetativi aerei. In acque molto ricche in carbonati e bicarbonati, ma povere in calcio e magnesio, possono formarsi composti di sodio con innalzamento del pH del suolo ed indisponibilità di ferro; il calcolo del "carbonato di sodio residuale" (differenza fra la somma di carbonato e bicarbonato e la somma di calcio e magnesio, espressi in meq/L) può fornire indicazioni

utili a valutare il possibile verificarsi di questa situazione: per valori superiori a 2,5 meq/L si consiglia di evitare l'uso dell'acqua.

Come valore di riferimento l'alcalinità nell'acqua non dovrebbe essere superiore a 250 mg/l, oltre il quale, per le colture di pregio, si consiglia di intervenire mediante correzione del pH.

La reazione dell'acqua (pH) è il risultato dell'equilibrio tra anidride carbonica, acido carbonico, ioni carbonati e bicarbonati, idrogenioni. Nell'acqua carbonati e bicarbonati reagiscono con gli idrogenioni (H<sup>+</sup>), agenti di acidità, liberando CO<sup>2</sup> ed innalzando il valore di pH, causa la riduzione di ioni idrogeno liberi. Aggiungendo all'acqua un acido, questi reagisce con carbonati e bicarbonati riducendone la concentrazione. La quantità di acido da aggiungere dipende quindi dall'alcalinità di un'acqua, ovvero dal suo contenuto di carbonati e bicarbonati.

Considerando che i carbonati sono di norma assenti e che la loro costante di dissociazione è molto bassa, nota la concentrazione in equivalenti di bicarbonati, la concentrazione in equivalenti di acido (HA) necessaria a neutralizzare l'alcalinità è fornita dalla seguente relazione →  $[HA] = [HCO_3^-] / (1 + 10^{pH - pK1})$ , dove il pH è relativo all'acqua e pK1 la costante di dissociazione dei bicarbonati, pari a 6,35.

Dalla concentrazione di acido così ricavata, note la densità, il peso equivalente e la concentrazione (il titolo) del prodotto acido che si intende utilizzare, si può risalire alla quantità di acido da utilizzarsi →  $Q \text{ acido ml/l} = [HA] * PE / (10 * D * CA)$ , dove PE, D e CA sono rispettivamente il peso equivalente, la densità e la concentrazione del prodotto da utilizzarsi.

In Tabella 16. si riportano le quantità di acido necessarie per abbassare il pH a valori noti, tenuto conto del contenuto di bicarbonato dell'acqua.

Tabella 16. Quantità di acido (ml/l) da aggiungere in funzione del contenuto di bicarbonato nell'acqua e del valore obiettivo di pH

<i>bicarbonato (mg/l)</i>	<i>pH</i>	<i>Acido nitrico</i>	<i>Acido fosforico</i>	<i>Acido solforico</i>
250	5,5	0,248	0,243	0,204
200	5,5	0,198	0,194	0,163
150	5,5	0,149	0,146	0,122
100	5,5	0,099	0,097	0,082
50	5,5	0,050	0,049	0,041
250	6,0	0,195	0,191	0,161
200	6,0	0,156	0,153	0,129
150	6,0	0,117	0,115	0,097
100	6,0	0,078	0,077	0,064
50	6,0	0,039	0,038	0,032

In genere bisogna evitare diminuzioni di pH a valori inferiori a 5, in quanto in questo modo si ottiene la totale neutralizzazione dei carbonati e bicarbonati presenti, con il pericolo che successivi apporti di acido abbassino il pH bruscamente, con danni per le colture irrigate.

Malgrado l'aggiunta di acido il valore di Ec dell'acqua non subisce variazioni in rialzo, in quanto all'apporto corrisponde la neutralizzazione di una quota equivalente di carbonato e bicarbonato, per cui la concentrazione totale di sali presenti nell'acqua rimane inalterata.

Tra i parametri chimici assume rilevante importanza la determinazione del contenuto di cloruri e solfati.

I *cloruri* innalzano la salinità del terreno, sono molto mobili, vengono facilmente assorbiti dalle colture e provocano seri problemi di fitotossicità; il cloro viene inoltre assorbito dagli organi vegetativi aerei.



I *solfati*, che possono causare innalzamento della salinità e danni fogliari con irrigazioni per aspersione soprachioma, vengono assorbiti in quantità inferiore rispetto ai cloruri. Il contenuto massimo in cloruri è pari a 50 mg/l per le colture florovivaistiche e di 200 mg/l per quelle a pieno campo, per i solfati il valore a pieno campo può alzarsi fino ad un massimo di 300 mg/l.

Tabella 17. Guida alla valutazione dei principali parametri chimici delle acque irrigue

parametro	u.m.	classe di appartenenza/utilizzo			note
		I	II	III	
pH		6,0-7,0	5,0-6,0 \ 7,0-8,4	< 5,0 > 8,4	
Ec	mS/cm	< 0,75 (*)	0,75-3,0	> 3,0	(*) 1,50 per il pieno campo
TDS	mg/L	< 450	450-2000	> 2000	
calcio	mg/L	< 150	> 150		
	meq/L	< 7,5	> 7,5		
magnesio	mg/L	<35	> 35		
	meq/L	< 2,8	> 2,8		
sodio	mg/L	<50 (*)	50-180	>180	(*) 150 per il pieno campo
	meq/L	< 2,2	2,2-7,8	> 7,8	
SAR		< 3	3-9	> 9	
carbonati (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	< 0,3	> 0,3		generalmente assenti
	meq/L	< 0,1	> 0,1		
bicarbonati (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	< 90	90-520	520	
	meq/L	< 1,5	1,5-8,5	>8,5	
cloruri (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	< 50 (*)	50-200	> 200	(*) 200 per il pieno campo
	meq/L	1,4	1,4-5,6	> 5,6	
solfati (S)	mg/L	< 50 (*)	50-300	> 300	300 per il pieno campo
	meq/L	< 3,1	3,1-18,8	> 18,8	

Legenda: I classe = nessun problema II classe = qualche problema III classe = gravi problemi

Il contenuto degli altri principali elementi presenti (*azoto nitrico ed ammoniacale, fosforo, potassio, ferro, manganese, rame, zinco e boro*) deve essere tenuto in considerazione per i piani di concimazione; per i macroelementi (azoto, fosforo, potassio), eventuali eccessi provocano innalzamento del valore di EC, mentre per i microelementi dosi eccessive portano a gravi fenomeni di fitotossicità. Si segnalano inoltre problemi di otturazione degli ugelli ed incrostazioni fogliari in caso di eccesso di ferro e manganese.

Le stesse considerazioni sono valide per gli elementi riscontrabili in tracce, tra cui i metalli pesanti. In Tabella 18. si fornisce un'indicazione dei livelli massimi accettabili per un'acqua ad uso irriguo continuativo nel tempo; sempre in tabella sono riportate le concentrazioni massime consigliate per alcune tipologie di inquinanti (solventi, fitofarmaci, ecc.).

Tabella 18. Livelli massimi accettabili di elementi minerali solubili ed inquinanti nell'acqua ad uso irriguo

parametro	u.m.	valore consigliato	note
azoto nitrico (N-NO <sub>3</sub> )	mg/l	< 11	
azoto ammoniacale (N-NH <sub>4</sub> )	mg/l	< 5	
azoto nitroso	mg/l	< 0,6	
fosforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	mg/l	< 11	
potassio (K <sub>2</sub> O)	mg/l	< 10	
ferro	mg/l	< 5	
manganese	mg/l	< 0,6	tossico a pH acidi
rame	mg/l	< 0,2	

zinco	mg/l	< 2	tossico a pH acidi
boro	mg/l	< 0,5	
alluminio	mg/l	< 5	tossico a pH acidi
arsenico	mg/l	< 0,1	sensibilità variabile nelle colture
berillio	mg/l	< 0,1	
cadmio	mg/l	< 0,06	accumulo nei vegetali
cobalto	mg/l	< 0,05	tossico a pH acidi
cromo totale	mg/l	< 0,1	
fluoro	mg/l	< 1,0	tossico a pH acidi
litio	mg/l	< 2,5	
mercurio	mg/l	< 0,02	
molibdeno	mg/l	< 0,02	
molibdeno	mg/l	< 0,01	tossico per il bestiame
nicel	mg/l	< 0,2	tossico a pH acidi
piombo	mg/l	< 5	
selenio	mg/l	< 0,02	tossico per il bestiame
vanadio	mg/l	< 0,1	
aldeidi	mg/l	< 0,4	
cianuri	mg/l	< 0,01	
fenoli	mg/l	< 0,5	
fitofarmaci clorurati	mg/l	< 0,015	
fitofarmaci fosforati	mg/l	< 0,05	
fitofarmaci totali	mg/l	< 0,05	
oli minerali	mg/l	< 0,5	
solventi clorurati	mg/l	< 0,02	
solventi organici aromatici	mg/l	< 0,02	
solventi organici azotati	mg/l	< 0,02	
tensioattivi	mg/l	< 0,5	

### Caratteristiche microbiologiche

La presenza di microrganismi può rendere le acque pericolose da un punto di vista igienico-sanitario. Questo aspetto riguarda soprattutto gli operatori, gli utenti delle aree irrigate (verde urbano) e i consumatori finali di produzioni agricole fresche tal quali.

In genere si ricerca nelle acque irrigue la presenza di *coliformi totali* e *fecali*, di *streptococchi fecali*, di *salmonella*, di *uova di elminti*.

In Tabella 19. si riporta una griglia di valutazione relativa ai limiti di accettabilità consigliati per tali parametri, suddivisa in 3 classi di merito:

- ✓ *classe I* – nessun problema di utilizzo;
- ✓ *classe II* – limiti di utilizzo nelle aree verdi in presenza di visitatori e su prodotti agricoli freschi consumati crudi (sospensione dell'irrigazione 15 giorni prima del raccolto);
- ✓ *classe III* - non utilizzare su colture orticole e in genere su produzioni agricole consumate fresche tal quali; non utilizzare in aree pubbliche e in caso di contatto diretto dell'acqua con il materiale vegetale.

Tabella 19. Guida alla valutazione del contenuto di microrganismi nelle acque irrigue

parametro	u.m.	classe di appartenenza		
		I	II	III
coliformi totali	MPN/100 ml	< 50	50-5.000	> 5.000
coliformi fecali	MPN/100 ml	< 20	20-1.000	> 1.000
streptococchi fecali	MPN/100 ml	< 20	20-1.000	> 1.000
salmonella		assenti	assenti	presenti

uova di elminti	n° uova/l	assenti	assenti	presenti
-----------------	-----------	---------	---------	----------

## STOCCAGGIO E TRATTAMENTO DELL'ACQUA IRRIGUA

In agricoltura le principali fonti di approvvigionamento idrico sono rappresentate dalle acque superficiali (fiumi e laghi), tuttavia negli ultimi anni l'utilizzo della risorsa in ambito intensivo (florovivaismo ed orticoltura protetta per fare un esempio) ha causato l'incremento della richiesta, pertanto le fonti tradizionali sono integrate con l'attingimento, prime fra tutte, di acque sotterranee (pozzi). Ultimamente si assiste anche all'utilizzo in campo agricolo di acque riciclate, quali le acque reflue dei depuratori, una volta trattate e rimesse in circolo mediante acquedotti agro-industriali.

In genere le acque irrigue vengono dapprima stoccate in un corpo di raccolta, con lo scopo, tra l'altro, di riserva; in questo modo possono essere somministrate alle colture a temperature idonee ed è possibile trattarle al fine di correggerne eventuali difetti di qualità.

Trattasi di invasi o cisterne di dimensioni variabili in relazione alla superficie aziendale, all'ordinamento colturale, alla portata dell'impianto, alla tecnica colturale e di adattamento, all'autonomia desiderata in relazione alla disponibilità e facilità di ricarica del corpo di raccolta; tutti questi elementi dovranno essere oggetto di attenta valutazione in sede di progettazione.

Tali strutture possono, in un sistema a ciclo chiuso, adempiere la funzione di recupero delle acque reflue, allo scopo di razionalizzare i consumi.

Come anticipato, operazioni di trattamento delle acque irrigue si rendono necessarie ogniqualvolta la qualità delle stesse è tale da rappresentare una potenziale causa di danni per le piante in coltivazione. La presenza di solidi in sospensione, di alghe, di batteri, di singoli elementi minerali a livelli fitotossici, di elevate dotazioni di sali solubili, o ancora la presenza di una reazione non idonea, sono alcuni dei principali difetti registrati sulle acque irrigue.

Per far fronte a ciò è possibile ricorrere a trattamenti di affinamento delle risorse idriche tra cui, si ricorda:

- ✓ la filtrazione
- ✓ la disinfezione
- ✓ la desalinizzazione
- ✓ la correzione della reazione (pH)
- ✓ l'abbattimento del contenuto in ferro e manganese

La *filtrazione* ha lo scopo di eliminare i solidi sospesi che possono danneggiare gli impianti di irrigazione e fertirrigazione, nonché le colture stesse. Tale operazione risulta indispensabile nel caso dell'irrigazione localizzata, meno nell'irrigazione soprachioma, dove risulta meno frequente l'ostruzione degli ugelli.

La scelta di una stazione di filtraggio adeguata deve essere condotta a seguito della valutazione di una serie di importanti fattori quali la fonte di approvvigionamento, la qualità dell'acqua in entrata, la tecnica di adattamento impiegata, la portata dell'impianto, la pressione di esercizio, la disponibilità di corrente elettrica.

Sul mercato sono presenti differenti tipologie di filtri, tra cui si ricordano quelli a sabbia e quelli a rete.

La *disinfezione* ha lo scopo primario di prevenire l'insorgere in coltivazione di patologie in grado di compromettere la qualità delle produzioni. Nel caso essa venga effettuata mediante clorazione delle acque, tale pratica è anche in grado di prevenire fenomeni di occlusioni dell'impianto irriguo.

Differenti sono i metodi utilizzati a tale scopo: sterilizzazione con calore, radiazione ultravioletta, ozonizzazione, clorazione, trattamento con fungicidi, filtrazione lenta a sabbia.

In tabella 20. si riportano i principali vantaggi e svantaggi delle tecniche sopraccitate, con un'indicazione di costo a metro quadro.

Tabella 20. Caratteristiche dei principali mezzi di disinfezione delle acque e relativa indicazione di costo.

<i>Metodo di disinfezione</i>	<i>Dose</i>	<i>Vantaggi</i>	<i>Svantaggi</i>	<i>Costo (€/m<sup>3</sup>)</i>
sterilizzazione con calore (metodo fisico)	95°C per 30 s 85°C per 3 min	completa distruzione dei patogeni	alto costo di investimento e di gestione (adatto per aziende sup. > 1 ha)	0,80 – 0,90
radiazioni UV (metodo fisico)	100-200 MJ/cm <sup>2</sup> UV-C	buon controllo dei patogeni medio costo di investimento	non ottimale efficienza di sterilizzazione occorre prefiltrare distruzione dei chelati	0,30 – 0,40
ultrafiltrazione (metodo fisico)	dim. pori: 0,05 µm per <i>Fusarium</i> 0,1 mm per <i>Verticillum</i>	completa distruzione dei patogeni	molto costoso ridotta durata delle membrane filtranti	0,50 – 0,70
trattamento con ozono (metodo chimico)	10 g/m <sup>3</sup> h	completa distruzione dei patogeni	costoso occorre pre-filtrare e acidificare distruzione dei chelanti	0,20 – 0,30
clorazione (metodo chimico)	2 ppm Cl	basso costo di investimento pulizia impianto	difficoltà nello stabilire dose-effetto efficienza influenzata da pH e presenza di sostanze organiche	0,15 – 0,20
filtrazione lenta su sabbia (met.fisico-biologico)	flussi: 100-300l m <sup>2</sup> /h con sabbia dim. 0-2 mm	basso costo di investimento adatto per piccole aziende	eliminazione totale di <i>Pythium</i> e <i>Phitophthora</i> , solo parziale di <i>Fusarium</i> , virus e nematodi	0,20 – 0,25

Fonte: *Van Os et al., 2003; Runia, 1996; Incrocci, 2004*

La *desalinizzazione* ha lo scopo di eliminare i sali in eccesso contenuti nell'acqua irrigua. A tal fine è possibile procedere mediante tecniche basate su principi differenti, tra cui si ricorda:

- ✓ impiego di resine scambiatrici di ioni (scambio ionico)
- ✓ impiego di membrane semipermeabili (osmosi inversa)
- ✓ impiego di membrane permeabili (elettrodialisi)
- ✓ evaporazione (ev. solare, termocompressione, espansioni multiple)
- ✓ congelamento (processo diretto)

I primi due sistemi sono ad oggi i più utilizzati; tutti gli impianti si distinguono principalmente per la qualità dell'acqua accettata in entrata (mg/l di sali disciolti – TDS) e per la produzione che può variare da pochi fino a oltre 1000 metri cubi al giorno.

La *correzione del pH* dell'acqua di irrigazione ha lo scopo, soprattutto nel settore florovivaistico, di mantenere la reazione del substrato di crescita nei valori ottimali per la normale attività fisiologica delle radici e per garantire un'adeguata disponibilità di nutrienti; nel caso in cui l'acqua presenti un contenuto di carbonato di calcio elevato tale pratica si rende necessaria al fine di ridurre i danni da incrostazione degli impianti.

Acque caratterizzate da un'elevata alcalinità (elevato contenuto di ioni carbonato e bicarbonato) possono essere acidificate mediante aggiunta di acido. Gli acidi utilizzati sono l'acido nitrico (il più comune per il suo ruolo di fertilizzante), l'acido cloridrico, l'acido fosforico e l'acido solforico; essi

debbono essere impiegati con cautela perché corrosivi (concentrazione max. nella soluzione madre 5%).

L'*abbattimento del contenuto in ferro e manganese* è ottenuto mediante l'istallazione di una pompa di aerazione nel corpo di raccolta delle acque. L'aerazione dell'acqua ne aumenta la quantità di ossigeno disciolto, che fa precipitare i metalli sotto forma di ossidi, limitando i danni nei confronti degli impianti e del materiale vegetale in coltivazione.

In alternativa è possibile aggiungere cloro alle acque con funzione di agente ossidante e inibente la proliferazione dei ferrobatteri.

## **IMPIEGO DI ACQUE REFLUE CIVILI E INDUSTRIALI**

Già si è detto del riuso oggi in agricoltura, specificatamente nel settore florovivaistico, di acque reflue provenienti da impianti civili ed industriali.

Il D.M. 185 del 12 giugno 2003 (a cui si rimanda) disciplina tale riutilizzo distinguendo le acque reflue domestiche, da quelle industriali e urbane.

L'impiego di tali acque nel settore florovivaistico a seguito di trattamento di affinamento, seppur con problemi minori rispetto alle colture alimentari, non è privo di limitazioni e può essere praticato solo a seguito di attente valutazioni in relazione al caso in esame.

In genere vengono riconosciuti effetti diretti ed indiretti a seguito dell'utilizzo di acque reflue civili: i primi sono dovuti al diretto contatto del materiale vegetale in coltivazione con l'acqua di irrigazione; i secondi sono legati alle possibili modificazioni sul substrato o sul suolo in relazione ad un uso prolungato della risorsa.

Il Decreto 185/2003 fissa requisiti minimi di qualità chimica (pH, salinità, elementi e composti chimici disciolti tra cui metalli pesanti, esalazioni gassose), fisica (solidi sospesi, temperatura, torbidità, etc.) e microbiologica (batteri, alghe, etc.).

Particolare attenzione deve essere posta agli aspetti sanitari (rischio microbiologico) al fine di tutelare, mediante disinfezione, la salute degli utilizzatori.

Relativamente i costi, malgrado le cospicue riduzioni di prezzo intervenute negli ultimi anni, essi risultano tuttora superiori a quelli relativi alle acque di falda, senza contare i maggiori investimenti relativi agli impianti di trattamento e stoccaggio.

Sperimentazioni condotte in ambito florovivaistico hanno comunque ottenuto risultati incoraggianti in coltivazione, inoltre vanno segnalati i benefici ambientali collegati al reimpiego, una volta depurate, di acque potenzialmente inquinanti per i corpi idrici superficiali.

Si sottolinea da ultimo l'opportunità che tali risorse potranno rappresentare in futuro per il settore agricolo, cioè quella di garantire una fonte di approvvigionamento sicura in tempi di carenza, fermo restando l'approfondita e scrupolosa valutazione delle caratteristiche analitiche delle stesse.



## BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- AA.VV. (1992): *Schede irrigazione*. Regione Lombardia. Cegeco Edizioni
- AA.VV. (1992): *Sistemi di irrigazione*. Regione Lombardia. Cegeco Edizioni
- Bonciarelli F. (1983): *Agronomia*. Edagricole
- Caliandro A., Tarantino E. (1993): *Ambiente e qualità delle acque*. L'informatore agrario 18/1993
- Consiglio Europeo. *Direttiva 91/676/CEE relative alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole*. G.U. n. 375/L del 31 dicembre 1991
- Costello L.R., Matheny N.P., Clark J.R., Jones K.S. (2000): *A Guide to Estimating Irrigation Water Needs of Landscape Plantings in California*. University of California Cooperative Extension. California Department of Water Resources
- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. (1998): *Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements*. FAO – Irrigation and Drainage Paper 56
- Ayers R.S., Westcot D.W. (1985): *Water quality for agriculture*. FAO – Irrigation and Drainage Paper 29 - Rev.1
- Farnham D.S., Hasek R.F., Paul J.L. (1985): *Water quality – Its Effects on Ornamental Plants*. University of California Cooperative Extension - Division of Agriculture and Natural Resources. LEAFLET 2995
- Gandolfi C. (a cura di) (2003): *Ricerca sui consumi irrigui e le tecniche di irrigazione in Lombardia*. Università degli Studi di Milano. Istituto di Idraulica Agraria.
- Morari F., Camarotto C., Giardini L. (2004): *Esigenze idriche delle specie ornamentali: acqua di bellezza*. Acer 5/2004
- Morari F., Camarotto C., Giardini L. (2004): *Acque irrigue: la qualità sotto esame*. Acer 5/2004
- Paradossi A., Incrocci L., Marzialetti P. (a cura di) (2004): *Uso razionale delle risorse nel florovivaismo: l'acqua*. Regione Toscana - Quaderno ARSIA 5/2004
- Panero M. (1987): *Salinità del terreno, dei fertilizzanti e delle acque di irrigazione. Interpretazione dei risultati delle analisi e rapporti con i fattori di produzione*. Reda Edizioni
- Parlamento Europeo e Consiglio. *Direttiva 2000/60/CE del 23 ottobre 2000 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque*. G.U. n. 327/L del 22 dicembre 2000
- Sogni S. (1990): *La salinità delle acque di irrigazione*. L'informatore agrario 20/1990