



Dipartimento di Agraria

- Corso di Laurea *Scienze e Tecnologie Agrarie* (LM69) -
- Corso *Gestione agronomica delle risorse idriche* -

Carmelo Santonoceto

IRRIGAZIONE

**BOZZA SOGGETTA A  
PROFONDE REVISIONI**

## IRRIGAZIONE

L'irrigazione è una pratica agricola consistente nell'apportare acqua al terreno che ne difetta e in genere mirante a integrare lo squilibrio tra l'acqua fornita dalle precipitazioni e la domanda evaporativa (*ETc*) dell'atmosfera. Ogni volta che l'evapotraspirazione reale risulta inferiore a quella potenziale la pianta manifesta una diminuita capacità di sintesi di sostanza organica, per cui dà una produzione minore e un peggioramento qualitativo dei prodotti.

L'irrigazione di cui si è finora parlato è quella, più comune, nella quale l'acqua soddisfa le esigenze idriche dei vegetali: è questa l'*irrigazione umettante*.

In altri casi, l'irrigazione estrinseca beneficia effetti sulla produzione delle colture attraverso azioni diverse.

### *Irrigazione fertilizzante.*

Talora l'acqua può contenere disciolte o portare sospese sostanze aventi valore fertilizzante che, depositandosi nel terreno, contribuiscono ad innalzarne la fertilità per azione concimante o ammendante. Si parla di *fertirrigazione* quando nell'acqua d'irrigazione vengono espressamente disciolti sali fertilizzanti.

### *Irrigazione dilavante.*

Quando nello strato di suolo esplorato dalle radici delle piante è presente un'elevata concentrazione di sali, l'irrigazione può svolgere una preziosa opera di miglioramento della abitabilità dilavando e portando in profondità l'eccesso di sali. Analogamente, quando si irriga con acque salse è necessario impiegare ad ogni intervento volumi d'acqua superiori ai bisogni idrici della vegetazione: ciò per esercitare un'azione dilavante sul terreno e asportare i sali portati dall'adacquata precedente.

### *Irrigazione termica.*

Un caso di irrigazione termica è quella antibrina già vista in precedenza.

### *Irrigazione antiparassitaria.*

Pratica con cui i prodotti antiparassitari (insetticidi, fungicidi, ecc.) vengono disciolti e fatti trasportare dall'acqua di irrigazione. Ovvero, quando è la stessa acqua ad avere azione antiparassitaria, come, ad esempio, sommergendo i terreni nel periodo di quiescenza delle piante, per controllare talpe, arvicole o altri parassiti presenti in esso.

### *Irrigazioni sussidiarie.*

Sono quelle irrigazioni eseguite per agevolare qualche altra pratica agricola, come lavorazioni o diserbo. Mediante un'opportuna irrigazione si possono creare nel terreno, al momento desiderato, le condizioni di tempera, così da rendere massima l'efficacia delle lavorazioni.

### *Irrigazione climatizzante.*

L'irrigazione climatizzante è realizzata con ugelli nebulizzatori. L'acqua viene erogata in forma di goccioline minutissime, la cui funzione è quella di creare, evaporando, un microclima favorevole, aumentando l'umidità relativa e abbassando la temperatura quando troppo alta.

## IRRIGAZIONE UMETTANTE

L'irrigazione umettante, come già anticipato, è la pratica che mira a soddisfare, in parte o in tutto, le esigenze idriche di una coltura. Essa può essere distinta nei seguenti tipi:

- *Irrigazione normale* o *totalitaria*: viene eseguita approvvigionando la coltura, dall'inizio alla fine del suo ciclo, con le quantità di acqua necessarie a soddisfare completamente la sua richiesta.

- *Irrigazione ausiliaria*: si tratta di un intervento programmato, effettuato "una tantum", quando la disponibilità di acqua è limitata o il suo costo è eccessivo, per permettere alla coltura di superare una fase particolarmente critica: per assicurare la germinazione dei semi in terreni

poco provvisti di umidità o somministrando la poca acqua a disposizione nelle fasi di maggiore esigenza della coltura come, ad esempio, allo stadio di bottone fiorale nel girasole.

- *Irrigazione di soccorso*: si tratta di un intervento non programmato, ma che viene eseguito quando una coltura, a causa dell'andamento stagionale particolarmente siccitoso, minaccia di andare perduta.

#### TECNICA IRRIGUA STUDI PRELIMINARI

Uno studio preliminare della trasformazione irrigua di un territorio deve avere per oggetto le *caratteristiche del terreno* da irrigare, il *clima* del comprensorio e la qualità dell'*acqua d'irrigazione*.

#### TERRENO E IRRIGAZIONE

Lo studio dell'*attitudine del suolo* all'irrigazione verterà sui seguenti aspetti:

- a) caratteristiche topografiche: pendenza, regolarità, possibilità di regolarizzare la superficie;
- b) profilo: spessore, permeabilità del sottosuolo;
- c) contenuto di sali e pH (sono da temere i suoli salini e alcalini, specialmente se argillosi): possibilità di correzione;
- d) struttura: deve assicurare ottima aereazione e sviluppo radicale;
- e) proprietà idrologiche: i caratteri più importanti da conoscere sono la *velocità d'infiltrazione* e la *curva di ritenzione idrica* nell'intero intervallo tra la capacità di campo e il punto di appassimento.

#### CLIMA E IRRIGAZIONE

È necessario conoscere la *piovosità*, l'*evapotraspirazione* e la *ventosità* nel corso della stagione irrigua.

La conoscenza dell'evapotraspirazione è fondamentale per stabilire le quantità d'acqua necessarie per le varie colture, in quanto con l'irrigazione si tende a reintegrare senza insufficienze e col minimo spreco l'acqua evapotraspirata dal terreno coltivato. La conoscenza della ventosità della zona può influenzare le scelte verso certi sistemi o metodi d'irrigazione. Ad es. in zone ventose è da escludere l'uso del sistema a pioggia.

#### QUALITÀ DELL'ACQUA E IRRIGAZIONE

Si possono distinguere due categorie di acque ai fini irrigui: *acque superficiali* e *acque sotterranee* o *di falda*. Le prime (acque di fiumi, di canali, di laghi,) hanno temperatura variabile nel corso dell'annata e sono in genere più o meno torbide. Le seconde (provenienti da sorgenti, fontanili o pozzi) hanno temperatura praticamente costante e sono limpide.

La qualità di un'acqua dipende in particolare dalla *temperatura*, dalle *sostanze sospese* e da *quelle disciolte*, e dal *pH*.

- *Temperatura*.

Abbiamo già detto che le acque superficiali hanno temperatura correlata col livello termico dell'aria, mentre le acque profonde hanno una temperatura costante di circa 10-12 °C: ciò le rende calde in inverno e fredde in estate.

Quando d'estate si irriga con acque fredde si può determinare un abbassamento brusco del livello termico del terreno, pericoloso perché potrebbe cagionare turbe fisiologiche nel vegetale (rallentamento del metabolismo generale, dell'assorbimento radicale, del processo fotosintetico, ecc.). In estate si considerano fredde tutte le acque che hanno una temperatura inferiore ai 3/4 della temperatura media dell'aria: ad es. se la temperatura media in luglio è di 24 gradi, un'acqua che non abbia almeno 18 gradi è da considerare fredda per la generalità delle colture (soia, mais, barbabietola).

Per colture più tolleranti, l'acqua è da considerare fredda quando abbia una temperatura inferiore ai 2/3 della temperatura media dell'aria.

Un rimedio per l'uso di acque fredde è quello di far sostare l'acqua fredda in vasche di raccolta finché non si sia riscaldata.

Altri accorgimenti sono i seguenti:

a) irrigare con volumi d'acqua modesti e più frequentemente, possibilmente con sistemi attraverso i quali l'acqua non venga immediatamente a contatto con le radici delle piante, come quello a microportata o per infiltrazione laterale da solchi;

b) irrigare poco prima dell'alba quando la temperatura dell'aria è più bassa e pertanto è minimo il divario tra temperatura dell'aria e dell'acqua.

#### - Sostanze sospese e sostanze disciolte

Le acque profonde generalmente sono acque limpide, non contengono cioè sostanze sospese ma solo disciolte.

Le acque superficiali, invece, presentano sostanze sospese, cioè presentano un certo *coefficiente di torbida* (grammi di sostanze sospese in un m<sup>3</sup> d'acqua). Ai fini irrigui, oggi stanno assumendo particolare interesse le acque *reflue* che sono le acque di lavaggio delle stalle, le acque di vegetazione dei frantoi o derivanti da altre industrie agroalimentari, quelle degli scoli delle città previamente depurate.

*Solidi totali (total solids TS)*. Tutte le sostanze disciolte e in sospensione in un'acqua naturale o di scarico, vengono indicate come solidi totali.

La determinazione dei solidi totali si esegue sottoponendo un campione d'acqua per evaporazione in stufa termostata a 105°C.

Il contenuto di solidi totali è dato da:

$$\text{Solidi totali (mg/L)} = (M1 - M0) \times 1000 / V_{\text{Campione}}$$

dove:

M1 = massa in mg della capsula e del residuo dopo essiccamento;

M0 = massa in mg della capsula vuota;

V<sub>Campione</sub> = volume in mL di campione sottoposto ad analisi.

Es. M1 = 10,236      10023,6 mg

M0 = 10            10000 mg

V<sub>Campione</sub> = 100 mL

10023,6 – 10000 = 23,6 mg

23,6x1000/100 = 236 mg/L

I solidi totali vengono suddivisi in *Solidi sospesi totali* (total suspended solids TSS) e *Solidi disciolti totali* (total dissolved solids TDS).

*Solidi sospesi totali (TSS)*. Rappresentano quella parte del materiale presente in sospensione in un campione d'acqua che può essere separato per filtrazione, mediante un filtro a membrana con porosità di 0,45 µm (Il micrometro µm è un'unità di misura della lunghezza corrispondente a un milionesimo di metro, cioè un millesimo di millimetro). In passato era usata la dizione micron, il cui uso è oggi sconsigliato nel S.I. Un micrometro equivale a 1000 nanometri nm).

I solidi raccolti sul filtro vengono essiccati ad una temperatura di 103-105°C fino a peso costante.

Il contenuto di solidi sospesi totali è dato da:

Solidi sospesi (mg/L) =  $(M1 - M0) \times 1000 / V_{\text{Campione}}$

dove:

M1 = massa in mg della capsula+filtro e residuo dopo essiccamento;

M0 = massa in mg della capsula+filtro;

V<sub>Campione</sub> = volume in mL di campione sottoposto a filtrazione.

*Solidi disciolti totali (TDS)*. Rappresentano la differenza dei primi due valori.

*Residuo fisso* Espresso in  $\text{mg L}^{-1}$ , indica la quantità della precedente frazione (*Solidi disciolti totali*) dopo averla posta in stufa a 180 °C in una capsula (eliminando così i sali di ammonio e il materiale organico volatile). È il parametro che esprime il quantitativo dei sali disciolti nell'acqua (sodio, potassio, calcio, magnesio, cloruri, solfati, bicarbonati, ecc.).

Il procedimento per la determinazione del residuo fisso consiste nel versare un campione di acqua pari a 100 ml (previamente filtrata per la determinazione dei solidi sospesi totali) all'interno di una capsula e si introduce in una stufa a 180 °C. Dopo che tutta l'acqua è evaporata si lascia raffreddare il tutto all'interno di un essiccatore.

Calcoli:

Residuo fisso ( $\text{mg L}^{-1}$ ) =  $(M1 - M0) \times 1000 / V_{\text{Campione}}$

dove:

M1 = massa in mg della capsula + residuo dopo essiccamento;

M0 = massa in mg della capsula vuota.

Si può poi riscaldarla ulteriormente a 500°C distruggendo tutti i sali di ammonio, le sostanze organiche ed i nitrati. Occorre sempre specificare a quale temperatura ci si riferisce (*residuo fisso a 180 °C o residuo fisso a 500 °C*).

*Solidi sospesi totali (TSS)*

I materiali solidi in sospensione possono essere di varia origine e natura. Allorché si tratta di sostanze prevalentemente minerali, le acque possono essere utilmente impiegate a scopo ammendante, oltre che umettante. Ad esempio, l'impiego irriguo di acque ricche di limo e argilla può migliorare le caratteristiche dei terreni sciolti. Molto utili per l'irrigazione possono risultare acque contenenti in sospensione materiali organici. Abbastanza spesso le acque reflue possiedono tali caratteristiche, ma bisogna essere molto cauti nell'impiegare acque con materiale organico in sospensione in quanto parte di questo può avere effetto inquinante. Queste sostanze, siano esse minerali o organiche, possono arrivare, ad esempio, attraverso immissioni dirette di liquami nei corsi d'acqua e rappresentano il gruppo di inquinanti di *rifiuti che consumano ossigeno*. Essi sono rappresentati soprattutto da sostanza organica e provengono da scarichi (non depurati) delle fognie cittadine, da allevamenti zootecnici intensivi, da concerie, macelli, industrie cartarie, ecc. Il carbonio contenuto in questo materiale reagisce con l'ossigeno disciolto nell'acqua che ne rimane impoverita. Al fine di verificare quanto di questo materiale organico può essere degradato biologicamente e quanto rappresenta il carico inquinante vengono utilizzati due indici: il B.O.D.<sub>5</sub> e il C.O.D.

- *B.O.D.<sub>5</sub> (Biochemical Oxygen Demand)*. Misura la richiesta biologica di ossigeno ovvero la quantità di ossigeno consumato (*espressa in  $\text{mg l}^{-1}$  di  $\text{O}_2$* ) in 5 giorni per ossidazione della sostanza organica ad opera di una determinata flora batterica. (*Il campione di acqua in esame viene frazionato*

in due parti e portato a pH 7. Sulla prima si determina subito l'ossigeno libero contenuto dopo termostatazione a 20 °C; sulla seconda si effettua la stessa determinazione dopo incubazione di 5 giorni al buio e alla stessa temperatura di 20 °C. Il valore del BOD<sub>5</sub> è determinato come differenza tra i contenuti di O<sub>2</sub> nei due campioni, prima e dopo il periodo di incubazione).

L'analisi del BOD<sub>5</sub> indica il contenuto di sostanza organica biodegradabile presente nei corpi idrici, espresso in termini di quantità di ossigeno necessario alla degradazione da parte di microrganismi.

L'acqua viene considerata discretamente pura se il valore di BOD<sub>5</sub> non supera 3 mg l<sup>-1</sup>. Le acque di fogna urbana presentano valori medi di 200-400 mg l<sup>-1</sup>. Le acque di vegetazione degli oleifici superano 5000 mg l<sup>-1</sup>.

Da un punto di vista strettamente irriguo si può dire che non esistono particolari controindicazioni all'impiego di acque con BOD elevato (in taluni casi può anche risultare vantaggioso in quanto favorisce una certa fertilizzazione del suolo). Occorre, tuttavia fare alcune considerazioni:

Contengono sostanza organica facilmente mineralizzabile (mancando i materiali ricchi di lignina non può essere paragonata assolutamente ad una concimazione organica). La loro utilizzazione e valutazione va fatta, quindi, sulla base del loro potere concimante. Un'eccessiva somministrazione di acque con BOD elevato può, però, comportare:

- ✓ Danni per eccesso di elementi minerali e conseguente accumulo di salinità.
- ✓ Danni alle proprietà del suolo per apporto di sodio in eccesso; per modificazioni del pH; per compromissione della microflora (consumo di ossigeno).
- ✓ Inquinamento delle falde idriche (ammonio, nitrati, nitriti, microrganismi e virus patogeni).
- ✓ Inquinamento dei corsi d'acqua per ruscellamento con conseguenti fenomeni di eutrofizzazione e consumo di ossigeno).
- ✓ Imbrattamento dei prodotti (ortive, fruttiferi), ancora più pericoloso con l'apporto di microrganismi e virus patogeni per l'uomo e per gli animali; sviluppo di cattivi odori e perdita di appetibilità del bestiame.

- *C.O.D. (Chemical Oxygen Demand)*. Misura la quantità di ossigeno (espressa in mg l<sup>-1</sup> di O<sub>2</sub>) consumata per l'ossidazione di sostanze organiche e inorganiche contenute in un campione d'acqua a seguito di trattamento con composti a forte potere ossidante (bicromato di potassio K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> o permanganato di potassio KMnO<sub>4</sub>), che risultano attivi sulla maggior parte di sostanze organiche e inorganiche. Il COD ci dà un'indicazione del contenuto totale delle sostanze organiche (anche di quelle non ossidabili col metodo precedente) ed inorganiche ossidabili, come ad esempio i cloruri, e quindi del grado di contaminazione dell'acqua.

Questo parametro, come il BOD<sub>5</sub>, viene principalmente usato per la stima del potenziale livello di inquinamento delle acque naturali e di scarico. Un alto valore di COD di uno scarico comporta una riduzione dell'ossigeno disciolto nel corpo idrico ricettore e quindi una riduzione di capacità di autodepurazione e di sostenere forme di vita.

In base a tali considerazioni è lecito supporre che i valori del COD risultino sistematicamente superiori a quelli del corrispondente BOD<sub>5</sub>. In effetti ciò è quasi sempre vero, anche se esistono talune sostanze che possono essere ossidate solo per via biologica (es. acetato) e quindi conteggiate nel BOD<sub>5</sub>, ma non nel COD.

La legge italiana consente lo scarico nei sistemi fognari di acqua il cui COD non sia superiore a 500 mg L<sup>-1</sup>. Acque aventi valori superiori devono essere previamente trattate in modo da rimuoverne gli inquinanti. Per lo scarico in acque superficiali (fiumi, ecc.) il limite ammesso è pari a 160 mg L<sup>-1</sup>.

Un alto valore di COD comporta una forte riduzione dell'ossigeno disciolto nel corpo idrico e nei terreni irrigati con tali acque con riflessi negativi sull'attività sia dei microrganismi sia degli apparati radicali dei vegetali.

Dal rapporto tra i due indici si ottiene l'*indice di biodegradabilità* il cui valore fornisce informazioni sulla capacità di autodepurazione dell'acqua per via biologica e di sostenere forme di vita

$$\frac{\text{BOD}}{\text{COD}} \times 100 = \text{Indice di biodegradabilità}$$

### *Solidi disciolti totali (TDS)*

Contrariamente a quanto si possa pensare, l'acqua di pioggia non è per niente simile all'acqua distillata; infatti le acque piovane possono contenere sostanze chimiche derivanti da: eruzioni vulcaniche, emissioni di gas, polveri e altri solidi portati nell'atmosfera dal vento, spray marini, gas e altri prodotti metabolici introdotti nell'atmosfera dagli organismi viventi, reazioni causate da fulmini, inquinamento antropico.

Inoltre, il passaggio e la percolazione dell'acqua sul terreno e sulle rocce fa sì che essa disciolga diversi tipi di composti minerali.

L'acqua può dunque contenere svariate sostanze e ioni, tra cui calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), potassio ( $\text{K}^+$ ), sodio ( $\text{Na}^+$ ), bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), cloro ( $\text{Cl}^-$ ), solfati ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), fosfati ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), composti azotati: ammonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitriti ( $\text{NO}_2^-$ ) e nitrati ( $\text{NO}_3^-$ ).

La concentrazione di tutti questi sali nelle acque dipende, quindi, in maniera diretta dalla natura geologica dei terreni attraversati e degli acquiferi in cui risiede.

### *pH*

A scopo irriguo si considerano normali acque il cui pH sia compreso all'interno dell'intervallo 6.0-8.5.

Un pH anomalo dell'acqua può ritenersi utile qualora l'acqua venga utilizzata in terreni con pH anomalo opposto a quello dell'acqua stessa.

Una reazione lontana della neutralità evidenzia comunque l'esistenza di qualche anomalia come ad esempio la presenza di sostanze tossiche o un'eccessiva concentrazione in sali.

In genere un'acqua è da considerare assolutamente pericolosa quando il suo pH è inferiore a 3,4, poiché una tale acidità può essere dovuta soltanto alla presenza di acidi minerali liberi, o anche a notevoli quantità di sali di acidi forti (cloruri, solfati, nitrati) con basi deboli. Acque con valori superiori a 3,4, rientranti pur sempre nel campo acido, possono far rientrare l'acqua nel campo della normalità solo quando l'acidità è dovuta ad anidride carbonica libera.

L'alterazione dell'acidità dell'acqua può essere dovuta sia allo scarico diretto di sostanze acide nei fiumi da parte delle industrie (in particolare quelle cartarie, siderurgiche, conciarie) sia all'azione dell'acqua piovana che trasporta nei fiumi le sostanze acide inquinanti dell'atmosfera come  $\text{SO}_x$  (ossidi di zolfo) presenti in atmosfera sotto forma di anidride solforosa ( $\text{SO}_2$ ) e di anidride solforica ( $\text{SO}_3$ ), o  $\text{NO}_2$  (biossido di azoto - nitrito).

Le emissioni naturali di biossido di zolfo sono principalmente dovute all'attività vulcanica. Le emissioni antropogene che sono dovute principalmente ai processi di combustione dei combustibili fossili e liquidi (carbone, petrolio, gasolio per riscaldamento domestico, processi industriali, produzione di energia elettrica). Rilevanti sono anche le emissioni nei processi di

produzione dell'acido solforico, nella lavorazione di molte materie plastiche, nell'incenerimento dei rifiuti. L'azione principale operata ai danni dell'ambiente da parte degli ossidi di zolfo consiste nell'acidificazione delle piogge. Gli effetti corrosivi dell'acidità dell'acqua si riscontrano anche sui materiali degli impianti irrigui. L'acido solforico trasforma i carbonati insolubili in solfati solubili che vengono dilavati per azione della pioggia.

Gli ossidi di zolfo a basse concentrazioni provocano un rallentamento nella crescita delle piante, mentre ad alte concentrazioni ne provoca la morte alterandone la fisiologia in modo irreparabile. Nelle foglie si accumulano solfiti che causano la distruzione della clorofilla, il collasso delle cellule e la necrosi dei tessuti. Le foglie presentano, fra i margini e le nervature, delle aree irregolari di colore bianco, giallo o marrone con tratti necrotizzati.

Il biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) è un inquinante che viene normalmente generato a seguito di processi di combustione. In particolare, tra le sorgenti emmissive, il traffico veicolare è stato individuato essere quello che contribuisce maggiormente all'aumento dei livelli di biossido d'azoto nell'ambiente.

#### *- Conducibilità elettrica dell'acqua (EC<sub>w</sub>)*

Nella parte iniziale di questa dispensa è stato illustrato il metodo di determinazione del residuo fisso, cioè della concentrazione di sali disciolti nell'acqua, attraverso essiccazione del campione d'acqua in stufa. Trattandosi di un metodo piuttosto lungo e laborioso, oggi si preferisce utilizzare, allo stesso scopo, un sistema molto più semplice e veloce: quello della misurazione della conducibilità elettrica dell'acqua.

*La conduttanza specifica o conducibilità* è definita come la conduttanza presentata al passaggio della corrente da una soluzione elettrolitica, nel momento in cui essa viene a trovarsi tra due elettrodi posti alla distanza di 1 cm e aventi una superficie di 1 cm<sup>2</sup>.

La conducibilità di una soluzione aumenta all'aumentare della concentrazione dei sali dissociati, essa è, quindi, un parametro che fornisce informazioni circa il suo contenuto salino.

La conducibilità elettrica viene misurata con uno strumento molto semplice: il conduttimetro.

L'unità di misura della conducibilità nel Sistema Internazionale è il decisiemens al metro (dS m<sup>-1</sup>), il millisiemens al centimetro (mS cm<sup>-1</sup>) il microsiemens al centimetro (μS cm<sup>-1</sup>). Fra i primi due parametri non vi è alcuna differenza.

$$\text{Conversione: } 1 \text{ dS m}^{-1} = 1 \text{ mS cm}^{-1} = 1000 \text{ } \mu\text{S cm}^{-1}.$$



Attraverso la conoscenza della conducibilità elettrica ( $EC_w$ ) è molto semplice risalire al contenuto dei sali nell'acqua.

$EC_w$  è legata alla concentrazione salina (C) dalle relazioni seguenti:

con  $EC_w < 5 \text{ dS m}^{-1}$   $C = EC_w \times 0,64 = \text{g L}^{-1}$

con  $EC_w > 5 \text{ dS m}^{-1}$   $C = EC_w \times 0,80 = \text{g L}^{-1}$

nel caso il valore di  $EC_w$  fosse in  $\mu\text{S cm}^{-1}$  la concentrazione verrebbe espressa in  $\text{mg l}^{-1}$  o ppm.

Ad esempio, un'acqua avente  $EC_w = 2 \text{ dS m}^{-1}$  avrà una concentrazione salina pari a:  $2 \times 0,64 = 1,28 \text{ g L}^{-1}$ ; oppure  $EC_w = 2.000 \mu\text{S cm}^{-1} \times 0,64 = 1.280 \text{ mg L}^{-1}$  o ppm di sali.

Una classificazione distingue le acque in base alla salinità come segue:

- Salinità bassa (S1):  $< 250 \mu\text{S cm}^{-1}$  (= 165 ppm): acque utilizzabili senza particolari accorgimenti né rischi.
- Salinità media (S2):  $250\text{-}750 \mu\text{S cm}^{-1}$  (165-500 ppm): acque utilizzabili senza particolari accorgimenti né rischi. Occorre un modesto leaching.
- Salinità alta (S3):  $750\text{-}2250 \mu\text{S cm}^{-1}$  (500-1500 ppm): acque utilizzabili solo su terreni permeabili con sufficiente leaching.
- Salinità molto alta (S4):  $2250\text{-}5000 \mu\text{S cm}^{-1}$  (1500-3200 ppm): acque non utilizzabili in normali condizioni, ma solo su terreni permeabili, su colture tolleranti e con elevato leaching.
- Salinità limite (S5):  $>5000 \mu\text{S cm}^{-1}$  ( $> 4000$  ppm): acque difficilmente utilizzabili, ma solo su terreni permeabilissimi, su colture resistenti alla salinità e con acqua in eccesso.

L'eccesso di sali nell'acqua di irrigazione e nel terreno riduce la potenzialità produttiva delle specie vegetali. Ognuna di queste, però, presenta un diverso livello di tolleranza alla salinità come indicato nelle tabelle FAO appresso riportate:

CROP TOLERANCE AND YIELD POTENTIAL OF SELECTED CROPS AS INFLUENCED BY IRRIGATION WATER SALINITY ( $EC_w$ ) OR SOIL SALINITY ( $EC_e$ )

FIELD CROPS	YIELD POTENTIAL									
	100%		90%		75%		50%		0%	
	$EC_e$	$EC_w$	$EC_e$	$EC_w$	$EC_e$	$EC_w$	$EC_e$	$EC_w$	$EC_e$	$EC_w$
Barley ( <i>Hordeum vulgare</i> )	8.0	5.3	10	6.7	13	8.7	18	12	28	19
Cotton ( <i>Gossypium hirsutum</i> )	7.7	5.1	9.6	6.4	13	8.4	17	12	27	18
Sugarbeet ( <i>Beta vulgaris</i> )	7.0	4.7	8.7	5.8	11	7.5	15	10	24	16
Sorghum ( <i>Sorghum bicolor</i> )	6.8	4.5	7.4	5.0	8.4	5.6	9.9	6.7	13	8.7
Wheat ( <i>Triticum aestivum</i> )	6.0	4.0	7.4	4.9	9.5	6.3	13	8.7	20	13
Wheat, durum ( <i>Triticum turgidum</i> )	5.7	3.8	7.6	5.0	10	6.9	15	10	24	16
Soybean ( <i>Glycine max</i> )	5.0	3.3	5.5	3.7	6.3	4.2	7.5	5.0	10	6.7
Cowpea ( <i>Vigna unguiculata</i> )	4.9	3.3	5.7	3.8	7.0	4.7	9.1	6.0	13	8.8
Groundnut (Peanut) ( <i>Arachis hypogaea</i> )	3.2	2.1	3.5	2.4	4.1	2.7	4.9	3.3	6.6	4.4
Rice (paddy) ( <i>Oriza sativa</i> )	3.0	2.0	3.8	2.6	5.1	3.4	7.2	4.8	11	7.6
Sugarcane ( <i>Saccharum officinarum</i> )	1.7	1.1	3.4	2.3	5.9	4.0	10	6.8	19	12
Corn (maize) ( <i>Zea mays</i> )	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
Flax ( <i>Linum usitatissimum</i> )	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
Broadbean ( <i>Vicia faba</i> )	1.5	1.1	2.6	1.8	4.2	2.0	6.8	4.5	12	8.0
Bean ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	1.0	0.7	1.5	1.0	2.3	1.5	3.6	2.4	6.3	4.2

$\text{dS m}^{-1}$	$\text{g l}^{-1}$
1	0,64
2	1,28
3	1,92
4	2,56
5	3,20
6	4,80
7	5,60
8	6,40
9	7,20
10	8,00
11	8,80
12	9,60
13	10,40
14	11,20
15	12,00
16	12,80
17	13,60
18	14,40
19	15,20
20	16,00
40	32,00

	YIELD POTENTIAL									
	100%		90%		75%		50%		0%	
	<u>ECe</u>	<u>ECw</u>	<u>ECe</u>	<u>ECw</u>	<u>ECe</u>	<u>ECw</u>	<u>ECe</u>	<u>ECw</u>	<u>ECe</u>	<u>ECw</u>
FRUIT CROPS										
Date palm (phoenix <u>dactylifera</u> )	4.0	2.7	6.8	4.5	11	7.3	18	12	32	21
Grapefruit ( <u>Citrus paradisi</u> )	1.8	1.2	2.4	1.6	3.4	2.2	4.9	3.3	8.0	5.4
Orange ( <u>Citrus sinensis</u> )	1.7	1.1	2.3	1.6	3.3	2.2	4.8	3.2	8.0	5.3
Peach ( <u>Prunus persica</u> )	1.7	1.1	2.2	1.5	2.9	1.9	4.1	2.7	6.5	4.3
Apricot ( <u>Prunus armeniaca</u> )	1.6	1.1	2.0	1.3	2.6	1.8	3.7	2.5	5.8	3.8
Grape ( <u>Vitis sp.</u> )	1.5	1.0	2.5	1.7	4.1	2.7	6.7	4.5	12	7.9
Almond ( <u>Prunus dulcis</u> )	1.5	1.0	2.0	1.4	2.8	1.9	4.1	2.8	6.8	4.5
Plum, prune ( <u>Prunus domestica</u> )	1.5	1.0	2.1	1.4	2.9	1.9	4.3	2.9	7.1	4.7
Blackberry ( <u>Rubus sp.</u> )	1.5	1.0	2.0	1.3	2.6	1.8	3.8	2.5	6.0	4.0
Boysenberry ( <u>Rubus ursinus</u> )	1.5	1.0	2.0	1.3	2.6	1.8	3.8	2.5	6.0	4.0
Strawberry ( <u>Fragaria sp.</u> )	1.0	0.7	1.3	0.9	1.8	1.2	2.5	1.7	4	2.7

	YIELD POTENTIAL									
	100%		90%		75%		50%		0%	
	<u>ECe</u>	<u>ECw</u>	<u>ECe</u>	<u>ECw</u>	<u>ECe</u>	<u>ECw</u>	<u>ECe</u>	<u>ECw</u>	<u>ECe</u>	<u>ECw</u>
VEGETABLE CROPS										
Squash, zucchini ( <u>courgette</u> )										
( <u>Cucurbita pepo melopepo</u> )	4.7	3.1	5.8	3.8	7.4	4.9	10	6.7	15	10
Beet, red ( <u>Beta vulgaris</u> ) <sup>5</sup>	4.0	2.7	5.1	3.4	6.8	4.5	9.6	6.4	15	10
Squash, scallop										
( <u>Cucurbita pepo melopepo</u> )	3.2	2.1	3.8	2.6	4.8	3.2	6.3	4.2	9.4	6.3
Broccoli ( <u>Brassica oleracea botrytis</u> )	2.8	1.9	3.9	2.6	5.5	3.7	8.2	5.5	14	9.1
Tomato ( <u>Lycopersicon esculentum</u> )	2.5	1.7	3.5	2.3	5.0	3.4	7.6	5.0	13	8.4
Cucumber ( <u>Cucumis sativus</u> )	2.5	1.7	3.3	2.2	4.4	2.9	6.3	4.2	10	6.8
Spinach ( <u>Spinacia oleracea</u> )	2.0	1.3	3.3	2.2	5.3	3.5	8.6	5.7	15	10
Celery ( <u>Apium graveolens</u> )	1.8	1.2	3.4	2.3	5.8	3.9	9.9	6.6	18	12
Cabbage ( <u>Brassica oleracea capitata</u> )	1.8	1.2	2.8	1.9	4.4	2.9	7.0	4.6	12	8.1
Potato ( <u>Solanum tuberosum</u> )	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
Corn, sweet (maize) ( <u>Zea mays</u> )	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
Sweet potato ( <u>Ipomoea batatas</u> )	1.5	1.0	2.4	1.6	3.8	2.5	6.0	4.0	11	7.1
Pepper ( <u>Capsicum annum</u> )	1.5	1.0	2.2	1.5	3.3	2.2	5.1	3.4	8.6	5.8
Lettuce ( <u>Lactuca sativa</u> )	1.3	0.9	2.1	1.4	3.2	2.1	5.1	3.4	9.0	6.0
Radish ( <u>Raphanus sativus</u> )	1.2	0.8	2.0	1.3	3.1	2.1	5.0	3.4	8.9	5.9
Onion ( <u>Allium cepa</u> )	1.2	0.8	1.8	1.2	2.8	1.8	4.3	2.9	7.4	5.0
Carrot ( <u>Daucus carota</u> )	1.0	0.7	1.7	1.1	2.8	1.9	4.6	3.0	8.1	5.4
Bean ( <u>Phaseolus vulgaris</u> )	1.0	0.7	1.5	1.0	2.3	1.5	3.6	2.4	6.3	4.2
Turnip ( <u>Brassica rapa</u> )	0.9	0.6	2.0	1.3	3.7	2.5	6.5	4.3	12	8.0

	YIELD POTENTIAL									
	100%		90%		75%		50%		0%	
	<u>ECe</u>	<u>ECw</u>	<u>ECe</u>	<u>ECw</u>	<u>ECe</u>	<u>ECw</u>	<u>ECe</u>	<u>ECw</u>	<u>ECe</u>	<u>ECw</u>
FORAGE/COVER CROPS										
Wheatgrass, tall ( <u>Agropyron elongatum</u> )	7.5	5.0	9.9	6.6	13	9.0	19	13	31	21
Wheatgrass, fairway crested ( <u>Agropyron cristatum</u> )	7.5	5.0	9.0	6.0	11	7.4	15	9.8	22	15
Bermuda grass ( <u>Cynodon dactylon</u> )	6.9	4.6	8.5	5.6	11	7.2	15	9.8	23	15
Barley (forage) ( <u>Hordeum vulgare</u> )	6.0	4.0	7.4	4.9	9.5	6.4	13	8.7	20	13
Ryegrass, perennial ( <u>Lolium perenne</u> )	5.6	3.7	6.9	4.6	8.9	5.9	12	8.1	19	13
Trefoil, narrowleaf birdsfoot ( <u>Lotus comiculatus tenuifolium</u> )	5.0	3.3	6.0	4.0	7.5	5.0	10	6.7	15	10
Harding grass ( <u>Phalaris tuberosa</u> )	4.6	3.1	5.9	3.9	7.9	5.3	11	7.4	18	12
Fescue, tall ( <u>Festuca elatior</u> )	3.9	2.6	5.5	3.6	7.8	5.2	12	7.8	20	13
Wheatgrass, standard crested ( <u>Agropyron sibiricum</u> )	3.5	2.3	6.0	4.0	9.8	6.5	16	11	28	19
Vetch, common ( <u>Vicia angustifolia</u> )	3.0	2.0	3.9	2.6	5.3	3.5	7.6	5.0	12	8.1
Sudan grass ( <u>Sorghum sudanense</u> )	2.8	1.9	5.1	3.4	8.6	5.7	14	9.6	26	17
Wildrye, beardless ( <u>Elymus triticoides</u> )	2.7	1.8	4.4	2.9	6.9	4.6	11	7.4	19	13
Cowpea (forage) ( <u>Vigna unguiculata</u> )	2.5	1.7	3.4	2.3	4.8	3.2	7.1	4.8	12	7.8
Trefoil, big ( <u>Lotus uliginosus</u> )	2.3	1.5	2.8	1.9	3.6	2.4	4.9	3.3	7.6	5.0
Sesbania ( <u>Sesbania exaltata</u> )	2.3	1.5	3.7	2.5	5.9	3.9	9.4	6.3	17	11
Sphaerophysa ( <u>Sphaerophysa salsula</u> )	2.2	1.5	3.6	2.4	5.8	3.8	9.3	6.2	16	11
Alfalfa ( <u>Medicago sativa</u> )	2.0	1.3	3.4	2.2	5.4	3.6	8.8	5.9	16	10
Lovegrass ( <u>Eragrostis sp.</u> )	2.0	1.3	3.2	2.1	5.0	3.3	8.0	5.3	14	9.3
Corn (forage) (maize) ( <u>Zea mays</u> )	1.8	1.2	3.2	2.1	5.2	3.5	8.6	5.7	15	10
Clover, berseem ( <u>Trifolium alexandrinum</u> )	1.5	1.0	3.2	2.2	5.9	3.9	10	6.8	19	13
Orchard grass ( <u>Dactylis glomerata</u> )	1.5	1.0	3.1	2.1	5.5	3.7	9.6	6.4	18	12
Foxtail, meadow ( <u>Alopecurus pratensis</u> )	1.5	1.0	2.5	1.7	4.1	2.7	6.7	4.5	12	7.9
Clover, red ( <u>Trifolium pratense</u> )	1.5	1.0	2.3	1.6	3.6	2.4	5.7	3.8	9.8	6.6
Clover, alsike ( <u>Trifolium hybridum</u> )	1.5	1.0	2.3	1.6	3.6	2.4	5.7	3.8	9.8	6.6
Clover, ladino ( <u>Trifolium repens</u> )	1.5	1.0	2.3	1.6	3.6	2.4	5.7	3.8	9.8	6.6
Clover, strawberry ( <u>Trifolium fragiferum</u> )	1.5	1.0	2.3	1.6	3.6	2.4	5.7	3.8	9.8	6.6

I valori riportati in queste tabelle verranno utilizzati, come vedremo a pag. 11, per il calcolo del fabbisogno di lisciviazione (leaching requirement).

La misura della conduttività elettrica fornisce informazioni soltanto sulla concentrazione di sali presenti nell'acqua ma non permettere di distinguere il tipo di cationi e anioni in essa contenuti. Per ottenere questa indicazione occorre necessariamente fare ricorso all'analisi chimica e fisico-chimica dell'acqua. Di seguito vengono riportati i principali parametri da prendere in considerazione. Tra parentesi viene anche riportato il limite di legge previsto dal D.Lgs. 31/2001 che disciplina l'uso delle acque potabili.

**pH.** A scopo irriguo si considerano normali acque il cui pH sia compreso nell'intervallo 6.0-8.5. Un pH troppo elevato o troppo basso può ritenersi utile qualora l'acqua venga utilizzata in terreni con pH opposto a quello dell'acqua stessa.

Una reazione lontana della neutralità evidenzia comunque l'esistenza di qualche anomalia come ad esempio la presenza di sostanze tossiche o un'eccessiva concentrazione in sali.

(Limite di legge previsto per le acque potabili dal D.Lgs. 31/2001: 6,5 - 9,5).

**Cloruri (Cl<sup>-</sup>).** I cloruri nelle acque sotterranee generalmente provengono dal contatto con minerali contenenti sali sodici o potassici (NaCl, KCl), ma possono anche essere di origine organica. In quest'ultimo caso, che può essere indice di inquinamento delle falde, si verifica in genere la contemporanea presenza a concentrazioni piuttosto elevate di ammoniaca o nitriti, derivanti dalle urine presenti negli scarichi fognari civili e industriali. Un'altra fonte di ioni cloruro nelle acque potabili può essere originata dai processi di disinfezione.

In piccole quantità entrano far parte dei tessuti vegetali. Se presenti in quantità eccessiva possono risultare tossici per le colture.

*Il valore soglia per i cloruri nelle acque di irrigazione è di 350 mg L<sup>-1</sup>.*

La pericolosità dei cloruri è comunque fortemente influenzata dalla sensibilità delle singola specie (risultano sensibili tutte le colture arboree, la fragola ed il tabacco) e dal metodo irriguo (meglio metodi per scorrimento ed infiltrazione rispetto a quelli per aspersione).

(Limite di legge previsto per le acque potabili dal D.Lgs. 31/2001: 250 mg L<sup>-1</sup>).

**Solfati (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>).** Lo ione solfato è presente in tutte le acque naturali in quantità variabili, a seconda della natura geologica dei terreni attraversati dall'acqua es. per:

- Dissoluzione di gessi o anidriti (*solfo di calcio - CaSO<sub>4</sub> - anidro*) venuti a contatto con le acque; sotterranee (in questo caso si hanno concentrazioni molto elevate, al limite della saturazione);
- Circolazione in acquiferi con contenuto argilloso;
- Ossidazione di solfuri (piriti, etc.).

Altre fonti di solfati si possono individuare nell'acqua piovana che trasporta nei fiumi sostanze inquinanti dell'atmosfera come l'anidride solforosa e solforica o apporti degli spray marini in zone costiere (*spray o aerosol: particelle solide o liquide sospese in aria e con un diametro inferiore a 1 μm*).

Si possono ripetere le considerazioni già fatte per i cloruri, salvo aggiungere che per i solfati possono risultare particolarmente pericolose condizioni asfittiche e riducenti del terreno che possono favorire la loro trasformazione in solfuri.

Inoltre, e questo vale anche per i cloruri, in considerazione della loro facile dilavabilità possono compromettere la qualità delle acque sottosuperficiali in seguito a fenomeni di percolazione.

**I livelli quantitativi che indicano condizioni di preoccupazione corrispondono a 2500 mg/l** che costituiscono il limite oltre il quale il ricorso all'irrigazione deve essere adeguatamente limitato. (Limite di legge previsto per le acque potabili dal D.Lgs. 31/2001: 250 mg L<sup>-1</sup>)

**Azoto nitrico N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**

**Azoto ammoniacale N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>**

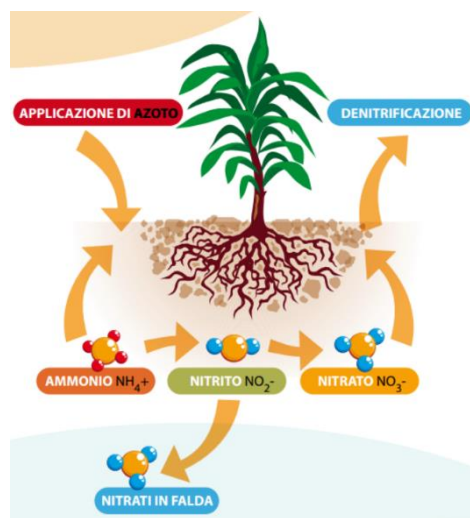
**Fosfati PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>**

**Potassio K<sup>+</sup>**

Sono i nutrienti assorbiti in maggiore quantità dai vegetali. Difficilmente arrivano a concentrazioni tossiche tuttavia può essere importante conoscerne la concentrazione nell'acqua irrigua per tenerne conto nel piano di concimazione.

**Ammonio ( $\text{NH}_4^+$ ), Nitriti ( $\text{NO}_2^-$ ) e Nitrati. ( $\text{NO}_3^-$ ).** I nitrati presenti nelle acque possono avere origine dalla decomposizione di sostanza organica derivando dalla decomposizione di materiale organico azotato. Si possono individuare nei liquami domestici e zootecnici, negli scarichi industriali ma anche nell'inquinamento atmosferico dovuto a processi di combustione. Apporti di nitrati nelle acque di falda possono derivare principalmente dall'utilizzo di fertilizzanti contenenti azoto inorganico.

La presenza di ammonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nell'acqua indica inquinamento da sostanze organiche in decomposizione provenienti da liquami domestici, industriali o zootecnici. La presenza di nitriti ( $\text{NO}_2^-$ ) indica che l'ammoniaca ha già iniziato ad ossidarsi ma il processo di ossidazione non è ancora completo. I nitrati ( $\text{NO}_3^-$ ) indicano che il processo di ossidazione (da azoto ammoniacale ad azoto nitrico) si è completato. In altri termini, ammonio e i nitriti indicano una contaminazione organica recente, mentre i nitrati indicano una contaminazione pregressa.



L'azoto nitrico è la forma assorbita dai vegetali. La sua presenza nelle acque irrigue potrebbe pertanto essere vantaggiosa, ma, non essendo trattenuto dai colloidali del suolo, è soggetto all'azione dilavante delle acque. Raggiunge gli strati più profondi del terreno, inquinando le falde acquifere, fiumi e laghi in cui provoca fenomeni di eutrofizzazione.

Riguardo l'utilizzo di acque reflue in agricoltura i limiti, **sono di 30 mg/l** nel caso di scarico delle acque nella rete fognaria.

Per quanto concerne le acque potabili la soglia massima consentita è pari a 0,5 mg l<sup>-1</sup> per ammonio e nitriti e a 50 mg l<sup>-1</sup> per i nitrati.

**Fosfati ( $\text{PO}_4^{3-}$ )** L'origine dei fosfati nelle acque superficiali è spesso messa in relazione al rilascio di tali sostanze da parte dei campi coltivati; ciò può essere vero, ma solo in corrispondenza di situazioni pedoclimatiche e colturali particolari (ad esempio in corrispondenza di un'intensa attività zootecnica e di un'irrazionale utilizzazione agronomica dei liquami di stalla). Spesso invece la presenza di tali nutrienti e da ricercare negli scarichi dei depuratori di insediamenti industriali e civili o, addirittura, nello scarico diretto di reflui non depurati.

Non costituiscono, di norma, un limite all'utilizzo irriguo delle acque, ed anzi possono costituire un complemento utile alla nutrizione delle colture. I problemi possono derivare dal fatto che un'eccessiva dotazione in nutrienti evidenzia una condizione di possibile degrado del corpo idrico e costituisce una causa predisponente l'affermazione di processi di eutrofizzazione.

È comunque vero che un'eccessiva concentrazione di fosfati è indice di una insoddisfaccente qualità e quindi prova dell'esistenza di fenomeni di contaminazione del sistema delle acque superficiali.

Infine, si deve considerare che condizioni predisponenti l'abnorme sviluppo di una vegetazione algale possono indirettamente costituire un problema per l'utilizzazione irrigua, creando problemi alla meccanica distributiva dell'acqua (intralcio al flusso idrico e al pescaggio delle pompe, intasamento degli erogatori, ecc.).

Non è dunque facile stabilire un limite che tenga conto degli effetti che il contenuto in fosforo può determinare sulla qualità delle acque ad uso irriguo; a titolo indicativo si può fare

riferimento al **limite di 10 mg/l di P totale (pari a circa 30 mg/l espresso come fosfati)** indicato da Giardini (2002).

Nelle acque potabili i fosfati devono essere assenti.

**Sodio.** I sali di sodio, soprattutto il cloruro di sodio, si trovano normalmente in tutte le acque a seguito di infiltrazione da depositi minerali, per immissione di acqua marina, reflui, sali usati come antigelo per le strade.

È l'elemento in grado di provocare la maggiore destrutturazione degli aggregati terrosi, oltre a presentare un effetto tossico diretto sulle piante.

In termini assoluti, per l'uso irriguo, **la concentrazione di sodio sarebbe bene non superasse i 180 mg L<sup>-1</sup>**. Nel caso di metodi irrigui che comportano la bagnatura della vegetazione, tale limite dovrebbe essere ulteriormente ridotto.

(Limite di legge previsto per le acque potabili dal D.Lgs. 31/2001: 200 mg L<sup>-1</sup>)

**Potassio, Magnesio e Calcio.** Il potassio, il magnesio e il calcio sono elementi importanti per la nutrizione delle piante ed il loro apporto al terreno non può essere considerato negativamente. In natura il calcio e il magnesio sono presenti in molte rocce sedimentarie, le più comuni delle quali hanno composizione calcarea. In particolare il Ca<sup>++</sup> ed il Mg<sup>++</sup> sono importanti anche per bilanciare l'equilibrio cationico del terreno contrastando gli effetti negativi del Na<sup>+</sup>.

Per i tre elementi non è previsto limite di legge sia per le acque irrigue, sia per quelle potabili.

**S.A.R.** L'azione negativa del sodio viene contrastata dal calcio e dal magnesio. Per questo motivo la valutazione della pericolosità del sodio contenuto nelle acque irrigue viene affidata piuttosto che alla valutazione della singola concentrazione dell'elemento ad un indice, il S.A.R. (Sodium Adsorption Ratio), che tiene simultaneamente conto della concentrazione dei tre elementi.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

Pesi equivalenti

Ca<sup>++</sup> = 20.04

Mg<sup>++</sup> = 12.16

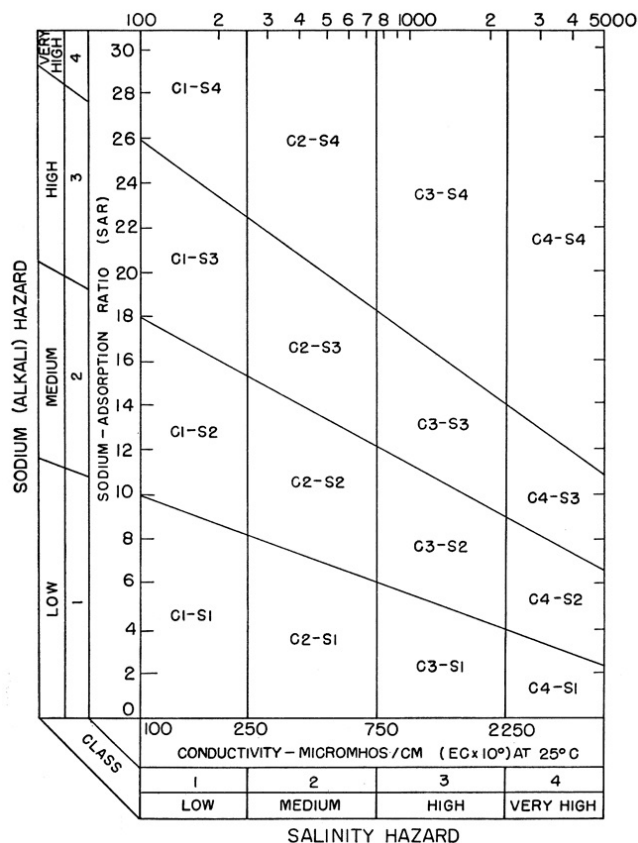
Na<sup>+</sup> = 22.99

La concentrazione di Na<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup> e Mg<sup>++</sup> deve essere espressa in milliequivalenti per litro. In caso la concentrazione, nelle analisi dell'acqua, fosse riportata in g L<sup>-1</sup> o in mg L<sup>-1</sup>, la conversione in me L<sup>-1</sup> si otterrà dividendo tali valori per il peso equivalente di ciascun elemento.

Valori elevati di SAR sono indice del rischio di progressiva sodicizzazione del terreno in seguito all'impiego dell'acqua irrigua.

I valori del S.A.R. variano da 0 a 30. In base ad essi sono state suddivise le seguenti categorie di acqua:

- ✓ Alcalinità bassa (S.A. R. 0-10): acque utilizzabili senza particolari rischi su quasi tutti i terreni.
- ✓ Alcalinità media (S.A. R. 10-18): acque di questo tipo possono dar luogo a qualche problema in terreni argillosi.
- ✓ Alcalinità alta (S.A.R. 18-26): queste acque pongono gravi problemi in tutti i terreni; sono utilizzabili solo su suoli sciolti, ben drenati, ricchi di sostanza organica e di gesso.
- ✓ Alcalinità molto alta (S.A.R. 26-30): acque generalmente da scartare, a meno che non abbiano livelli di salinità bassi o medi e non si praticino consistenti apporti di gesso. Per una corretta valutazione delle acque irrigue occorre tener conto sia della loro salinità sia dell'alcalinità da sodio. A tale scopo ci si può avvalere dell'abaco messo a punto dall'USDA:



Abaco per la classificazione delle acque irrigue in funzione della conduttività elettrica e del S.A.R.

Classi	Rischio di salinità	Rischio di sodicità
1	Acque utilizzabili senza particolari accorgimenti né rischi.	Acque utilizzabili senza particolari rischi su quasi tutti i terreni.
2	Utilizzabili senza particolari problemi; necessario un modesto leaching.	Acque di questo tipo possono dar luogo a qualche problema in terreni argillosi.
3	Utilizzabili in suoli permeabili con elevato drenaggio e con specie tolleranti.	Queste acque pongono gravi problemi in tutti i terreni; sono utilizzabili solo su suoli sciolti, ben drenati, ricchi di sostanza organica e di correttivi (gesso).
4	Acque non utilizzabili in normali condizioni, ma solo su terreni permeabili, ben drenati, su colture tolleranti e con elevato leaching.	Acque generalmente da scartare, a meno che non abbiano livelli di salinità bassi o medi e non si praticino consistenti apporti di gesso.

È bene però precisare che i valori calcolati possono condurre ad una sottostima del problema in quanto non si tiene conto della precipitazione degli ioni  $Ca^{++}$  e  $Mg^{++}$  provocata dalla formazione

di sali con gli ioni carbonato e bicarbonato. In questo modo gli ioni bivalenti essendo sottratti dal sistema non possono competere con il Na per l'adsorbimento sul complesso di scambio. Di conseguenza i valori di SAR così calcolati possono indicare condizioni di squilibrio a favore del sodio meno nette di quelle effettivamente esistenti nella realtà. È stata proposta allora una diversa correzione del procedimento di determinazione del SAR che valuti l'effetto di  $\text{CO}_3^{++}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  e di ECw sulla concentrazione del calcio prima presente nelle acque di irrigazione e successivamente facente parte del sistema acqua-terreno. Il metodo è fondato sul presupposto che nel terreno sia presente una fonte di calcio (calcareo o silicati) e che non abbiano luogo fenomeni di precipitazione a carico del magnesio (Rhoades et al., 1992).

L'equazione per il calcolo del "nuovo" SAR che prende il nome  $N_{\text{adjSAR}}$  o  $\text{adjRNA}$  (Ratio Natrum Adsorption) e la seguente:

$$\text{adjRNA} = \text{Na}^+ / [(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})/2]^{0.5}$$

dove  $\text{Ca}_x$  è la concentrazione corretta del Ca attraverso un apposito abaco che tiene conto dell'ECw, del rapporto  $\text{HCO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$ .

$\frac{\text{HCO}_3^-}{\text{Ca}^{2+}}$ ↓	Conducibilità elettrica in $\text{mmho cm}^{-1}$ ( $\text{dS m}^{-1}$ )											
	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	6.0	8.0
0.05	13.20	13.61	13.92	14.40	14.79	15.26	15.91	16.43	17.28	17.97	19.07	19.94
0.10	8.31	8.57	8.77	9.07	9.31	9.62	10.02	10.35	10.89	11.32	12.01	12.56
0.15	6.34	6.54	6.69	6.92	7.11	7.34	7.65	7.90	8.31	8.64	9.17	9.58
0.20	5.24	5.40	5.52	5.71	5.87	6.06	6.31	6.52	6.86	7.13	7.57	7.91
0.25	4.51	4.65	4.76	4.92	5.06	5.22	5.44	5.62	5.91	6.15	6.52	6.82
0.30	4.00	4.12	4.21	4.36	4.48	4.62	4.82	4.98	5.24	5.44	5.77	6.04
0.35	3.61	3.72	3.80	3.94	4.04	4.17	4.35	4.49	4.72	4.91	5.21	5.45
0.40	3.30	3.40	3.48	3.60	3.70	3.82	3.98	4.11	4.32	4.49	4.77	4.98
0.45	3.05	3.14	3.22	3.33	3.42	3.53	3.68	3.80	4.00	4.15	4.41	4.61
0.50	2.84	2.93	3.00	3.10	3.19	2.29	3.43	3.54	3.72	3.87	4.11	4.30
0.75	2.17	2.24	2.29	2.37	2.43	2.51	2.62	2.70	2.84	2.95	3.14	3.28
1.00	1.79	1.85	1.89	1.96	2.01	2.09	2.16	2.23	2.35	2.44	2.59	2.71
1.25	1.54	1.59	1.63	1.68	1.73	1.78	1.86	1.92	2.02	2.10	2.23	2.33
1.50	1.37	1.41	1.44	1.49	1.53	1.58	1.65	1.70	1.79	1.86	1.97	2.07
1.75	1.23	1.27	1.30	1.35	1.38	1.43	1.49	1.54	1.62	1.68	1.78	1.86
2.00	1.13	1.16	1.19	1.23	1.26	1.31	1.36	1.40	1.48	1.54	1.63	1.70
2.25	1.04	1.08	1.10	1.14	1.17	1.21	1.26	1.30	1.37	1.42	1.51	1.58
2.50	0.97	1.00	1.02	1.06	1.09	1.12	1.17	1.21	1.27	1.32	1.40	1.47
3.00	0.85	0.89	0.91	0.94	0.96	1.00	1.04	1.07	1.13	1.17	1.24	1.30
3.50	0.78	0.80	0.82	0.85	0.87	0.90	0.94	0.97	1.02	1.06	1.12	1.17
4.00	0.71	0.73	0.75	0.78	0.80	0.82	0.86	0.88	0.93	0.97	1.03	1.07
4.50	0.66	0.68	0.69	0.72	0.74	0.76	0.79	0.82	0.86	0.90	0.95	0.99
5.00	0.61	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.76	0.80	0.83	0.88	0.93
7.00	0.49	0.50	0.52	0.53	0.55	0.57	0.59	0.61	0.64	0.67	0.71	0.74
10.0	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.45	0.47	0.48	0.51	0.53	0.56	0.58
20.0	0.24	0.25	0.26	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.32	0.33	0.35	0.37
30.0	0.18	0.19	0.20	0.20	0.21	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25	0.27	0.28



Allo scopo di riassumere i limiti e le possibilità di interpretazione delle analisi delle acque irrigue per i diversi parametri analizzati si propone questo prospetto riassuntivo.

Carattere	u.m.	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
pH <sup>1</sup>	–	6,0-8,5	5,0-6,0 8,5-9,0	4,0-5,0 9,0-10,0	< 4,0 > 10,0
Residuo secco <sup>2</sup> (105 °C)	mg/L	< 500	500-1000	1000-2000	> 2000
Conducibilità <sup>1</sup>	dS/m	< 0,75	0,75-2,5	2,5-4,0	> 4,0
Cloruri <sup>1</sup>	mg/L	< 100	100-250	250-350	> 350
Solfati <sup>1</sup>	mg/L	< 100	100-2500	2500-3800	> 3800
Fosfati <sup>3</sup>	mg/L	< 6	6-10	10-30	> 30
Nitrati <sup>3</sup>	mg/L	< 50	50-100	100-150	> 150
Sodio <sup>1</sup>	mg/L	< 50	50-180	180-210	> 210
Potassio	mg/L	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.
Magnesio	mg/L	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.
Calcio	mg/L	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.
SAR <sup>1</sup>	mg/L	< 6	6-20	20-28	> 28

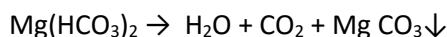
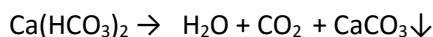
<sup>1</sup> da Giardini, 2002; <sup>2</sup> da Testini, 1989 (modificato); <sup>3</sup> da Giardini, 2002 (modificato); n.c. = non considerato.

Dove:

- ✓ Classe I: acque che consentono un esercizio irriguo continuativo, senza limitazioni (qualità ottima);
- ✓ Classe II: acque che permettono un esercizio irriguo continuativo, con eventuali limitazioni riguardanti i volumi stagionali, le specie irrigabili, i metodi irrigui (qualità buona);
- ✓ Classe III: acque che permettono solo un'irrigazione saltuaria (un anno ogni due o tre), o di soccorso su specie tolleranti e con metodi irrigui ad elevata efficienza (qualità scarsa);
- ✓ Classe IV: acque da non impiegare per fini irrigui, se non in via del tutto eccezionale e su terreni particolarmente idonei (qualità pessima).

**Durezza totale dell'acqua**, si misura in gradi francesi (°f).

Nelle acque naturali, gli unici cationi presenti in quantità non trascurabile che causano la durezza sono i cationi  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{Mg}^{++}$ . La loro presenza può causare vari inconvenienti tra cui la formazione del calcare soprattutto quando l'acqua è soggetta al riscaldamento. Infatti nell'acqua è spesso presente l'anione bicarbonato e quando l'acqua viene riscaldata avvengono le reazioni:



Il precipitato di  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$  costituisce il calcare.

La durezza dell'acqua viene comunemente espressa in gradi francesi (°f).

Un grado francese corrisponde a  $10 \text{ mg L}^{-1}$  (= ppm) di  $\text{CaCO}_3$ . Per il calcolo della durezza totale dell'acqua occorre conoscere il suo contenuto, espresso in  $\text{mg L}^{-1}$  (=ppm), di  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{Mg}^{++}$ . Si procede con il seguente calcolo:

$$\text{ppm di Ca}^{++} \times 2,5 + \text{ppm di Mg}^{++} \times 4,1 = \text{ppm di CaCO}_3$$

$$\text{ppm di CaCO}_3 / 10 = \text{°f.}$$

La seguente tabella riporta la classificazione delle acque in base alla durezza totale:

Durezza (°f)	Classificazione
0 - 4	Acqua molto dolce
4 - 8	Acqua dolce
8 - 12	Acqua a durezza media
12 - 18	Acqua a durezza discreta
18 - 30	Acqua dura
> 30	Acqua molto dura

**Alcalinità.** L'alcalinità totale indica la quantità di componenti alcalini (carbonati, bicarbonati e idrossidi) disciolti nell'acqua. L'alcalinità gioca un ruolo importante come regolatore delle variazioni dei valori del pH (effetto tampone).

Nelle acque l'alcalinità svolge una funzione tampone nei confronti delle variazioni del pH provocate dall'attività fotosintetica e da scarichi di vario tipo come soluzioni acide o basiche. L'alcalinità è dovuta principalmente agli ioni carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), e bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) e, se il pH è elevato, agli ioni ossidrilici.

Al crescere dell'alcalinità diminuisce l'aggressività di un'acqua ovvero la sua capacità di produrre fenomeni corrosivi. Tale fenomeno è dovuto alla diminuzione della concentrazione dell'anidride carbonica libera.

L'**aggressività** di un'acqua definisce la propensione di questa ad attaccare e solubilizzare alcuni minerali contenuti in rocce, terreni o materiali edili.

L'indice di aggressività è dato dalla formula:

$$\bullet \quad \text{IA} = \text{pH} + \log_{10}(\text{A} \times \text{H})$$

dove:

- A = alcalinità totale (mg/l di  $\text{CaCO}_3$ )
- H = durezza Calcica (mg/l di  $\text{CaCO}_3$ )

In base all'IA l'acqua risulta tanto più aggressiva quanto più basso il valore dell'indice di aggressività e precisamente:

- IA > 12: acqua non aggressiva;

- $10 < IA < 12$ : acqua moderatamente aggressiva;
- $IA < 10$ : acqua aggressiva.

Tale indice è stato indicato dalla normativa italiana per determinare il comportamento dell'acqua potabile nei confronti delle tubazioni in cemento amianto.

In questo caso l'IA deve essere superiore a 12 per evitare che l'aggressività dell'acqua potabile, portando in soluzione le parti solubili della matrice cementizia, possa liberare le fibre di amianto contaminando così l'acqua stessa.

**Carbonato di sodio residuo (RSC).** Le acque che contengono elevate concentrazioni di ioni bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) presentano la tendenza, a seguito di possibile perdita di  $\text{CO}_2$  o eventuale concentrazione della soluzione circolante del terreno, a far precipitare calcio e magnesio sotto forma di carbonati.

La precipitazione parziale o totale di questi due elementi altera evidentemente il valore del rapporto SAR nel senso che lo fa aumentare. Se gli anioni carbonato e bicarbonato prevalgono sui cationi calcio e magnesio, si può formare del carbonato di sodio che fa aumentare anche il grado di reazione in pH.

Eaton ha definito carbonato di sodio residuo la seguente differenza:  $\text{RSC} = \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ residuo} = (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$

Se la differenza è negativa a seguito della precipitazione dei carbonati non vi è possibilità che si formi carbonato di sodio, se invece la differenza è positiva, tale possibilità esiste e l'utilizzazione dell'acqua è condizionata dalla quantità di carbonato di sodio residuo che si forma.

Sono considerate utilizzabili le acque il cui valore del carbonato di sodio residuo è inferiore a  $1,25 \text{ meq L}^{-1}$ , parzialmente utilizzabili quelle con un contenuto compreso tra 1,25 e 2,50, non idonee quelle con un valore maggiore di 2,50.

**Limite di Todd.** La contaminazione dell'acqua di falda con acqua marina (*la prima ricca di ioni  $\text{HCO}_3^-$  e la seconda in ioni  $\text{Cl}^-$* ) viene valutata calcolando il rapporto  $\text{Cl}^- / (\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-})$ .

Il valore 0,5 segna il limite fra le acque di falda non contaminate e quelle contaminate dall'acqua di mare.

### Classificazione delle acque di falda secondo Todd

Classe	$\text{Cl}^- / (\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-})$	Tipo di acqua
1	< 0,50	Acqua di falda non contaminata dal mare
2	0,50 ÷ 1,30	Acqua di falda lievissimamente contaminata dal mare
3	1,30 ÷ 2,80	Acqua di falda lievemente contaminata dal mare
4	2,80 ÷ 6,60	Acqua di falda moderatamente contaminata dal mare
5	6,60 ÷ 15,60	Acqua di falda sensibilmente contaminata dal mare
6	> 15,60	Acqua di falda fortemente contaminata dal mare

Da quanto riportato in precedenza, le acque irrigue possono contenere elementi la cui presenza, entro limiti accettabili, può essere vantaggiosa in termini di fertilizzazione del suolo.

Tra questi i macroelementi (assunti in quantità rilevante dalle piante) comprendenti le varie forme di azoto, i fosfati e il potassio; i mesoelementi, assorbiti in quantità inferiori rispetto ai precedenti, tra cui il calcio, il magnesio, il ferro e i solfati. Di tutti è importante conoscerne la concentrazione nelle acque e tenerne conto nel piano di concimazione.

Si può riscontrare, inoltre, la presenza di microelementi Rame (Cu) Manganese (Mn) Cloro (Cl) Zinco (Zn) Boro (B) Molibdeno (Mo) che, in quantità minima, risultano indispensabili per le piante, ma, superati certi limiti, possono facilmente raggiungere concentrazioni tossiche.

**Elementi in traccia.** Con questo termine vengono definiti gli elementi contenuti nelle acque in quantità generalmente modesta: Boro (B), cromo (Cr), cadmio (Cd), rame (Cu), nichel (Ni), piombo (Pb), zinco (Zn), alluminio (Al), molibdeno (Mo), Nichel (Ni), Vanadio (V), arsenico (As), mercurio (Hg), ecc..

Molti di questi sono definiti *metalli pesanti* a causa della loro densità. Sono trattenuti dal potere assorbente del terreno. In piccola misura entrano nel nostro corpo attraverso il cibo, l'acqua e l'aria. A concentrazioni più alte possono portare ad avvelenamento che potrebbe derivare, per esempio, da contaminazione dell'acqua potabile, da alte concentrazioni nell'ambiente vicino alle fonti di emissione, o assunzione tramite il ciclo alimentare.

I metalli pesanti sono pericolosi perché tendono a bioaccumularsi cioè si accumulano negli esseri viventi più velocemente di quanto non vengano espulsi.

I metalli pesanti possono entrare nei rifornimenti idrici da scarti derivanti da consumi o industrie, o persino per effetto della pioggia acida che penetra nei terreni e porta i metalli pesanti nei corsi d'acqua, nei laghi, nei fiumi e nell'acqua freatica.

Nella tabella riportata a fianco è indicata la concentrazione di questi elementi nelle acque utilizzate in agricoltura al di sopra della quale si ritiene esista un rischio per la salute dell'uomo e per quella delle specie viventi negli ecosistemi associati

Elemento	Concentrazione massima (mg L <sup>-1</sup> )
Alluminio	5,0
Arsenico	0,10
Berillio	0,10
Boro	0,5
Cadmio	0,01
Cobalto	0,05
Cromo	0,10
Fluoro	1,0
Ferro	5,0
Litio	2,5
Manganese	0,20
Mercurio	0,002
Molibdeno	0,01
Nichel	0,20
Piombo	5,0
Rame	0,20
Selenio	0,02
Stagno, Titanio, Tungsteno	-
Vanadio	0,10
Zinco	2,0

### Il fabbisogno di lisciviazione (L.R. – Leaching requirement)

L.R. rappresenta la quantità di acqua di irrigazione che bisogna somministrare in più, rispetto al normale volume di adacquamento necessario per soddisfare le esigenze idriche della coltura, per tenere sotto controllo la salinità del suolo e mantenerla al livello desiderato. La formula per il calcolo di L.R. è la seguente:

$$L.R. = \frac{EC_w}{5 \times EC_e - EC_w} \quad \text{in cui:}$$

$EC_w$  Conducibilità dell'acqua d'irrigazione

$EC_e$  Conducibilità dell'estratto saturo di terreno tollerato dalla coltura per un predeterminato valore di riduzione della resa (vedi tabelle pagg. ....).

Conoscendo L.R. si procede al calcolo del volume di adacquamento complessivo da somministrare attraverso la formula:

$$v_t = \frac{v}{1 - L.R.} \quad \text{in cui:}$$

$v$  = volume di adacquamento necessario per il soddisfacimento del fabbisogno idrico della coltura

$v_t$  = volume di adacquamento maggiorato

#### Esempio

Partendo dalla tabella di pag. ... e individuando i limiti di produttività della soia in relazione alla salinità dell'estratto saturo del terreno ( $EC_e$ ) e dell'acqua di irrigazione ( $EC_w$ ) si può notare che, fino a valori pari -per  $EC_e$  e  $EC_w$ - rispettivamente a  $5 \text{ dS m}^{-1}$  e  $3,3 \text{ dS m}^{-1}$ , la coltura è in grado di garantire il 100% della resa; con valori limite di  $5,5 \text{ dS m}^{-1}$  e  $3,7 \text{ dS m}^{-1}$  il potenziale produttivo scende al 90% e così via.

Tuttavia, *soltanto nel caso in cui la salinità dell'acqua dovesse superare tali limiti*, incrementando la quantità d'acqua da apportare col normale volume di adacquamento, col metodo sopra descritto, la resa potenziale della coltura può essere incrementata.

CROP TOLERANCE AND YIELD POTENTIAL OF SELECTED CROPS AS INFLUENCED BY IRRIGATION WATER SALINITY ( $EC_w$ ) OR SOIL SALINITY ( $EC_e$ )

FIELD CROPS	100%		90%		75%		50%		0%	
	$EC_e$	$EC_w$	$EC_e$	$EC_w$	$EC_e$	$EC_w$	$EC_e$	$EC_w$	$EC_e$	$EC_w$
Soybean (Glycine max)	5.0	3.3	5.5	3.7	6.3	4.2	7.5	5.0	10	6.7

Supponiamo di dover somministrare ad una coltura di soia un volume di adacquamento di  $500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  e che l'acqua abbia una conducibilità elettrica pari a  $4 \text{ dS m}^{-1}$ . La coltura fornirebbe una resa compresa tra il 75 e il 90% della sua potenzialità. Volendo ottenere il 100% di produzione (soltanto se  $EC_e$  non supera  $5 \text{ dS m}^{-1}$ ) si dovrà incrementare il volume di adacquamento:

$$L.R. = \frac{4}{5 \times 5 - 4} = 0,19 \quad v_t = \frac{500}{1 - 0,19} = 617 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$$

Per ottenere il 100% di produzione bisogna, pertanto, somministrare  $617 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  anziché  $500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Se ci si dovesse accontentare del 90% di produzione, il volume d'acqua da apportare sarebbe:

$$L.R. = \frac{4}{5,5 \times 5 - 4} = 0,17 \quad v_t = \frac{500}{1 - 0,17} = 602 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$$

## TECNICA IRRIGUA: CALCOLO DEL FABBISOGNO IDRICO

Ogni coltura ha determinati bisogni, giornalieri, mensili o totali, d'acqua corrispondenti al suo consumo evapotraspirativo.

I bisogni massimi si hanno, logicamente, nei momenti in cui il clima è più caldo e secco e in cui lo sviluppo fogliare è massimo: sono questi valori massimi che presentano il maggior interesse per stabilire la quantità d'acqua massima di cui bisogna disporre per la coltura in atto (periodo di punta). Per stabilire ciò, bisogna prendere in considerazione i seguenti aspetti:

### FABBISOGNO IDRICO COLTURALE

Il punto di partenza per il calcolo degli elementi tecnici dell'irrigazione di una coltura è il *fabbisogno idrico colturale (crop water requirement)*, cioè tutta l'acqua effettivamente necessaria alla coltura, calcolato in base a  $ET_0$  e ai coefficienti colturali (mm di acqua al giorno, a decade, al mese).

### *Fabbisogno irriguo netto*

Se nell'area da irrigare si può contare su apporti idrici naturali (piogge, apporti di falda, riserve idriche immagazzinate nel terreno in seguito a piogge cadute in precedenza) bisogna defalcarle dal fabbisogno idrico colturale per ottenere il *fabbisogno irriguo netto*.

### FABBISOGNO IRRIGUO DI CAMPO

Una volta calcolato il fabbisogno irriguo netto bisogna maggiorarlo considerando l'*indice di efficienza dell'irrigazione* e, se necessario, il *fabbisogno di lisciviazione*.

### *Indice dell'efficienza dell'irrigazione (Ey)*

La coltura non utilizza tutta l'acqua che le viene somministrata, in quanto una quota di questa si perde soprattutto in funzione del sistema di irrigazione adottato.

L'*indice di efficienza dell'irrigazione (Ey)* è dato dal rapporto tra la quantità di acqua effettivamente utilizzata dalla coltura (*fabbisogno idrico*) e la quantità di acqua somministrata (*fabbisogno irriguo*).

$$E_y = \frac{\text{Acqua utilizzata}}{\text{Acqua distribuita}} = \frac{\text{Fabbisogno idrico}}{\text{Fabbisogno irriguo}}$$

Questo rapporto teoricamente dovrebbe essere pari a 1 (tutta l'acqua somministrata viene utilizzata dalla coltura), ma nella realtà è sempre inferiore all'unità. L'efficienza dell'irrigazione varia molto con i sistemi irrigui adottati: da 0,85-0,90 nel sistema di irrigazione a microportata di erogazione (a goccia), da 0,75-0,85 nel sistema per aspersione (a pioggia), fino a valori di 0,5 o meno nei sistemi per gravità.

### *Fabbisogno di lisciviazione*

Già trattato in precedenza.

Occorre considerare che il fabbisogno di lisciviazione, talora, può essere soddisfatto in tutto o in parte dalla quantità di acqua data in più con i sistemi di irrigazione a bassa efficienza.

### PORTATA CARATTERISTICA O CONTINUA (q)

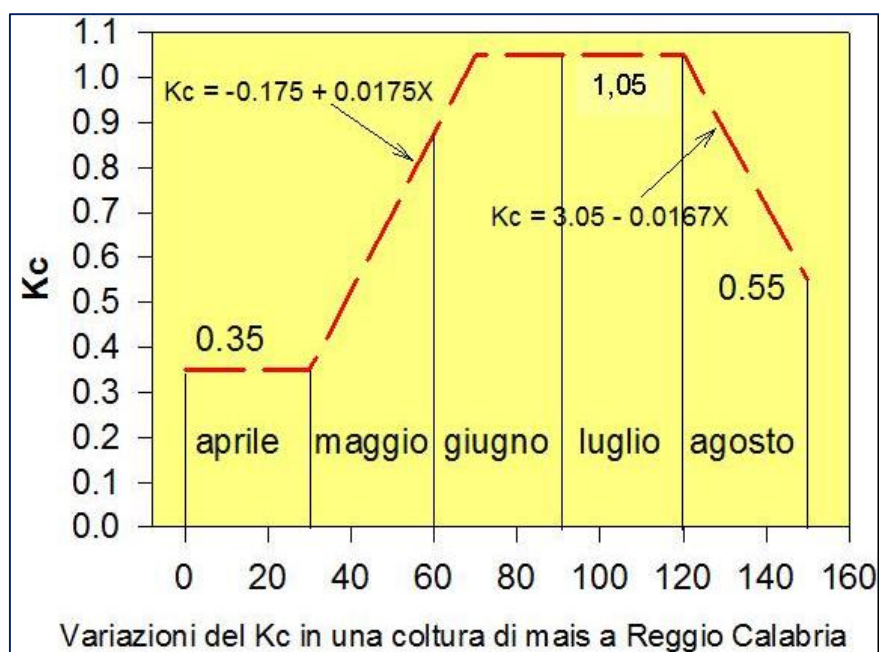
Per alcuni calcoli idraulici, di cui faremo di seguito un esempio, risulta utile convertire il fabbisogno irriguo di campo in *portata caratteristica* o *portata continua*. Questa portata, espressa in litri al secondo per ettaro ( $L s^{-1} ha^{-1}$ ), rappresenta la quantità di acqua, corrispondente al fabbisogno irriguo di campo giornaliero di una coltura, qualora questa venisse somministrata su un ettaro di terreno in maniera continua nell'arco delle 24 ore, cosa difficilmente ipotizzabile sul piano pratico. Ma questo concetto alquanto astratto risulta di estrema importanza, come già affermato, ai fini di particolari calcoli idraulici.

ESEMPIO DI CALCOLO DEL FABBISOGNO IRRIGUO DI UNA COLTURA DI MAIS A REGGIO CALABRIA (DURATA DEI CICLO: 150 D, DAL 1 APRILE AL 31 AGOSTO).

Per prima cosa occorre calcolare il *Fabbisogno idrico colturale* mediante la determinazione di  $ET_0$  con la formula di Turc (vedi dispensa su rapporti acqua-pianta) adottando i dati climatici di Reggio Calabria. Successivamente, utilizzando i coefficienti colturali medi mensili riportati nel grafico sottostante, risalire ai valori di  $ET_c$  del mais.

Dati climatici di Reggio Calabria (medie 1960-2010)

	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tmean (°C)	RH (%)	Rg (cal cm <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	Pioggia (mm)
GEN	14,7	7,6	11,2	68	168	91
FEB	15,0	8,0	11,5	71	244	63
MAR	16,8	8,9	12,9	70	294	51
APR	19,4	11,2	15,3	76	358	38
MAG	23,2	14,3	18,8	71	548	25
GIU	27,8	18,2	23,0	70	578	15
LUG	30,3	21,1	25,7	70	541	4
AGO	30,8	21,4	26,1	74	535	14
SET	28,5	19,2	23,9	73	385	39
OTT	24,3	15,8	20,1	78	255	62
NOV	20,5	12,6	16,6	76	139	96
DIC	16,2	9,2	12,7	75	133	98



Es. mese di luglio:  $T_{media} = 25,7$       Radiazione globale =  $541 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$

$K_c = 1,05$

$$ET_0 = \frac{0.40 \times 25,7}{(25,7 + 15)} \times (541 + 50) = 149,3 \text{ mm mese}^{-1}$$

$$ET_c \text{ mais} = 149,3 \times 1,05 = 156,7 \text{ mm mese}^{-1}$$

**156,7 mm** rappresentano il *fabbisogno idrico della coltura* di mais per il mese di luglio. Da questi occorre defalcare gli apporti idrici naturali che, in questo caso, si ipotizza siano dovuti soltanto a 4 mm di pioggia caduti nel mese di luglio.

$$156,7 \text{ mm mese}^{-1} - 4,0 \text{ mm} = 152,7 \text{ mm mese}^{-1}$$

**152,7 mm** rappresentano il *fabbisogno irriguo netto della coltura* di mais per il mese di luglio.

Supponendo che il mais venga irrigato con un sistema per aspersione caratterizzato da un indice di efficienza idrica pari a 0,7 (ad es. su 1.000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> di acqua somministrati con l'irrigazione, la coltura ne utilizza solo 700 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>  $E_y = 700/1000 = 0,7$ ), viene calcolata la quantità di acqua che bisogna dare in più per colmare "l'inefficienza" del 30% del sistema di irrigazione.

$$\frac{152,7 \text{ mm mese}^{-1}}{0,7} = 218,1 \text{ mm mese}^{-1}$$

**218,1 mm** rappresentano la quantità di acqua che occorre somministrare alla coltura nel mese di luglio perché la stessa ne possa utilizzare **152,7 mm**.

Ipotizziamo, adesso, che l'acqua di irrigazione abbia una conducibilità elettrica pari 1,6 dS m<sup>-1</sup>, volendo ottenere il 100% della produzione occorrerebbe somministrare un volume maggiorato di irrigazione allo scopo di lisciviare i sali in eccesso. Questo volume maggiorato viene calcolato con l'ausilio della tabella FAO e mediante la formula del fabbisogno di lisciviazione:

CROP TOLERANCE AND YIELD POTENTIAL OF SELECTED CROPS AS INFLUENCED BY IRRIGATION WATER SALINITY (ECw) OR SOIL SALINITY (ECe)

FIELD CROPS	YIELD POTENTIAL									
	100%		90%		75%		50%		0%	
	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw
Corn (maize) ( <u>Zea mays</u> )	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7

$$L.R. = \frac{1.6}{5 \times 1,7 - 1,6} = 0,23 \quad vt = \frac{152,7}{1 - 0,23} = 198,3 \text{ mm mese}^{-1}$$

In effetti, a causa della salinità dell'acqua, occorrerebbe apportare un volume irriguo maggiorato del 23% (198,3 anziché 152,7 mm mese<sup>-1</sup>, ma in questo caso il fabbisogno di lisciviazione è stato soddisfatto dal 30% (218,1 mm mese<sup>-1</sup>) di acqua in più somministrata a seguito alla bassa efficienza del sistema di irrigazione.

Pertanto, i 218,1 mm mese<sup>-1</sup> rappresentano il *fabbisogno irriguo di campo*. Dividendo questo valore per i 31 giorni di luglio otteniamo in fabbisogno irriguo giornaliero.

$$\text{Fabbisogno irriguo di campo giornaliero} = \frac{218,1}{31} = 7,0 \text{ mm d}^{-1}$$

Conoscendo il *fabbisogno irriguo di campo giornaliero*, si procede al calcolo della *portata caratteristica o continua (q)*. Per la conversione occorre tener presente che in un giorno ci sono 86.400 secondi e che 1 mm d'acqua corrisponde a 10 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, cioè a 10.000 L ha<sup>-1</sup>. Per cui:

$$7 \text{ mm d}^{-1} = 70 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} = 70.000 \text{ lt d}^{-1} \text{ ha}^{-1}$$



$$\text{Portata caratteristica} = \frac{70.000 \text{ lt d}^{-1} \text{ ha}^{-1}}{86.400 \text{ s d}^{-1}} = 0,81 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$$

Per una visione completa del fabbisogno irriguo di mais a Reggio Calabria si riporta una tabella che descrive la situazione durante l'intera stagione di crescita della coltura.

*Esempio di calcolo del fabbisogno irriguo di una coltura di mais a Reggio Calabria (durata del ciclo: 150 d, dal 1 aprile al 31 agosto).*

Mesi	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
ET <sub>0</sub> , (mm al mese)							149.3					
Stadi vegetativi							3					
Kc mais							1,05					
Fabb. idr. (mm mese <sup>-1</sup> )							156.7					
Piogge utili (mm)							4.0					
Fabb. irr. netto (mm mese <sup>-1</sup> )							152.8					
Efficienza							0,7					
Fabb. di lisciviaz. (0,23) *							*					
Fabb. irr. di campo (mm)							218.2					
Fabb. irr. di campo (mm d <sup>-1</sup> )							7.0					
Fabb. di punta (l s <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> )							0.81**					

\* Il fabbisogno di lisciviazione (23%) si considera soddisfatto dalla 'inefficienza' (30%) del sistema d'irrigazione.

\*\* Calcolato in base al fabb. irr. di campo di punta:  $7.0 \text{ mm d}^{-1} = 70.000 \text{ l d}^{-1} \text{ ha}^{-1} / 86.400 \text{ s d}^{-1} = 0.81 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$  (presupponendo l'erogazione 24 ore su 24).

Da questa tabella si può evincere che il *fabbisogno irriguo di punta* ricade proprio nel mese di luglio illustrato nell'esempio. È su questo valore, che si riscontra nel periodo di massimo consumo evapotraspirativo, che si basano i calcoli necessari a stabilire la disponibilità di acqua necessaria per irrigare una determinata superficie coltivata con la specie in esame.

Es.: se l'azienda dispone di un pozzo con una portata (p) di  $20 \text{ L s}^{-1}$ , avendo calcolato la portata caratteristica nel periodo di punta, dal semplice rapporto tra queste due variabili si ottiene la *superficie (S)* coltivabile a mais.

$$S = \frac{p}{q} \quad S = \frac{20 \text{ L s}^{-1}}{0,81 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}} = 24,7 \text{ ha}$$

#### ELEMENTI TECNICI DELL'IRRIGAZIONE

I calcoli dei fabbisogni irrigui di campo definiscono le quantità di acqua necessarie, e quindi le superfici irrigabili con una data disponibilità idrica. Restano ora da definire altri elementi tecnici dell'irrigazione relativi alla modalità con cui assicurare razionalmente il rifornimento d'acqua alle singole colture. In altri termini, nell'esempio fatto in precedenza la quantità d'acqua da somministrare alla coltura nel mese di luglio, così come per tutta la stagione irrigua, non può essere fornita al terreno in un'unica soluzione, ma dovrà essere frazionata in funzione dello spessore di strato di terreno da bagnare e dalla capacità di questo strato di trattenere quantità di acqua più o meno elevate. L'elemento più importante che bisogna considerare è il *volume specifico d'adacquamento*.

### *Volume specifico d'adacquamento (v)*

È la quantità d'acqua che va apportata al terreno ad ogni intervento irriguo, per riportarlo allo stato ottimale d'umidità, senza insufficienze né sprechi.

Lo stato ottimale d'umidità cui il suolo va ogni volta riportato corrisponde alla sua *capacità di campo*. I primi parametri che, pertanto, bisogna conoscere per il calcolo del volume d'adacquamento sono le costanti idrologiche e, in particolare la *capacità di campo (CC)* e il *punto di appassimento (PA)*. Si ricorda che, dalla differenza dei valori di queste due costanti si risale alla quantità di *acqua disponibile (AD)* o *riserva utile del terreno (RU)* (vedi dispensa sui rapporti acqua-terreno). È, inoltre, necessaria la conoscenza del *contenuto di umidità del suolo (U)*, in particolare in concomitanza del primo intervento irriguo, da effettuare all'impianto della coltura. Se tutti i valori precedentemente citati sono espressi come percentuale in peso è necessario trasformarli in percentuale in volume, moltiplicandoli per la *densità apparente del terreno ( $\Phi$ )*. Occorre ancora stabilire lo *spessore di suolo da bagnare (H)* in relazione allo strato di massima estrazione delle radici della coltura.

Altro elemento da cui dipende  $v$  è il *punto di intervento irriguo (pii)*, inteso come contenuto d'acqua del suolo al di sotto del quale non si deve scendere per evitare che la coltura entri in stress e che segna il momento in cui si deve intervenire con l'irrigazione. Il punto di intervento irriguo è intermedio tra la capacità di campo e il punto di appassimento e divide l'acqua disponibile in due parti: la *Riserva Facilmente Utilizzabile (Rfu)* e il *Limite Critico di Umidità (Lcu)*. Il limite critico di umidità varia da specie a specie e dipende dalla capacità di estrazione dell'acqua di ciascuna di esse.

Occorre, infine, tener conto dell'indice di efficienza dell'impianto di irrigazione e della salinità dell'acqua per maggiore il volume di irrigazione in base a questi ultimi due parametri.

Parametri per il calcolo del volume specifico di adacquamento

- ✓ *Strato di terreno da umettare (H)*
- ✓ *Costanti idrologiche (CC – PA)*
- ✓ *Contenuto di umidità del terreno (U)*
- ✓ *Densità apparente del terreno ( $\Phi$ )*
- ✓ *Indice dell'efficienza dell'irrigazione (Ey)*
- ✓ *Coefficiente di lisciviazione (LR)*
- ✓ *Riserva facilmente utilizzabile (Rfu)*
- ✓ *Limite critico di umidità (Lcu o P)*
- ✓ *Pioggia utile (Pu)*

Vediamo ora con un esempio come operare praticamente. Utilizzando sempre la nostra coltura di mais, ipotizziamo i seguenti parametri:

- ✓ *H*      60 cm
- ✓ *CC*      30% in peso
- ✓ *PA*      16% in peso
- ✓ *U*        19.5% in peso
- ✓  *$\Phi$*       1.25 g cm<sup>-3</sup>
- ✓ *(Ey)*     0.70
- ✓ *LR\**     0.23\* - \*soddisfatto da Ey
- ✓ *Rfu*      45%
- ✓ *Lcu*      55%
- ✓ *Pu*      variabile

Lo spessore di terreno da umettare e la riserva facilmente utilizzabile sono state estrapolate dalla tabella del quaderno 24 FAO di seguito riportata.

Coltura	Profondità radici cm	Strato di max estrazione cm	Acqua facilmente utilizzabile in terreno medio (*) %
<b>Bassa capacità di estrazione</b>			
Fragola	20-30	0-25	15
Cipolla	25-35	0-30	25
Aglio	30-40	0-30	30
Lattuga	30-50	0-30	30
Spinaci	30-50	0-30	25
Patata	40-60	0-35	25
Fagiolo	50-70	0-40	45
Trifoglio	50-70	0-35	35
Peperone	50-100	0-40	25
Actinidia	60-120	0-40	25
<b>Media capacità di estrazione</b>			
Medica imp.	50-80	0-40	40
Cetriolo	70-120	0-50	50
Melanzana	70-110	0-60	40
Pisello	60-100	0-40	35
Prato	50-150	0-50	50
Tabacco	50-100	0-40	40
Soia	60-130	0-50	50
Mais	80-150	0-60	45
Melone	100-140	0-60	35
Melo/M9	70-110	0-50	40
Pera/BA29	80-110	0-50	40
Arancio	120-150	0-60	50
<b>Alta capacità di estrazione</b>			
Sorgo	100-200	0-60	55
Bietola	70-120	0-70	50
Pomodoro	70-150	0-70	35
Girasole	80-150	0-70	50
Frumento	100-150	0-80	70
Medica	100-200	0-80	60
Cotone	100-170	0-80	60
Pesca/GF677	100-170	0-80	60
Melo/M106	80-130	0-60	40
Pera/cotogno	100-150	0-60	50
Vite	100-200	0-80	40

\* Le percentuali: sono per evaporati di 5-6 mm/giorno, estrazioni superiori o inferiori si verificano rispettivamente per evaporati più bassi o più alti.

Iniziamo con il calcolo dell'*acqua disponibile o riserva utile del terreno (RU)* adottando la seguente formula:

$$RU = 10.000 \times (CC - PA) \times \Phi \times H$$

$$RU = 10.000 \times (0,30 - 0,16) \times 1,25 \times 0,60 = 1.050 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} = 105 \text{ mm}$$

I 1050 m<sup>3</sup> rappresentano tutta l'acqua che lo strato di 60 cm di un ettaro di terreno, in base alle sue caratteristiche idrologiche, mette a disposizione della coltura nel momento in cui si trova alla capacità di campo.

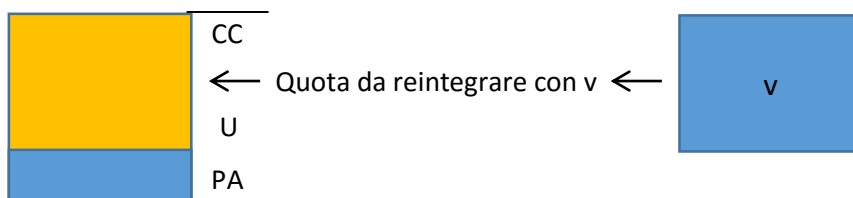


Ai fini della determinazione del *volume specifico di adacquamento* viene utilizzata la medesima formula, sostituendo al valore del punto di appassimento quello del contenuto di umidità presente nel terreno al momento dell'adacquata:

$$v = 10.000 \times (CC - U) \times \Phi \times H$$

$$v = 10.000 \times (0,30 - 0,195) \times 1,25 \times 0,60 = 788 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} = 78,8 \text{ mm}$$

I  $788 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  rappresentano la quantità di acqua da apportare per riportare lo strato di 60 cm di terreno alla situazione ottimale, cioè alla capacità di campo. Dopo la somministrazione di questo volume irriguo l'acqua disponibile sarà di  $1050 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ .



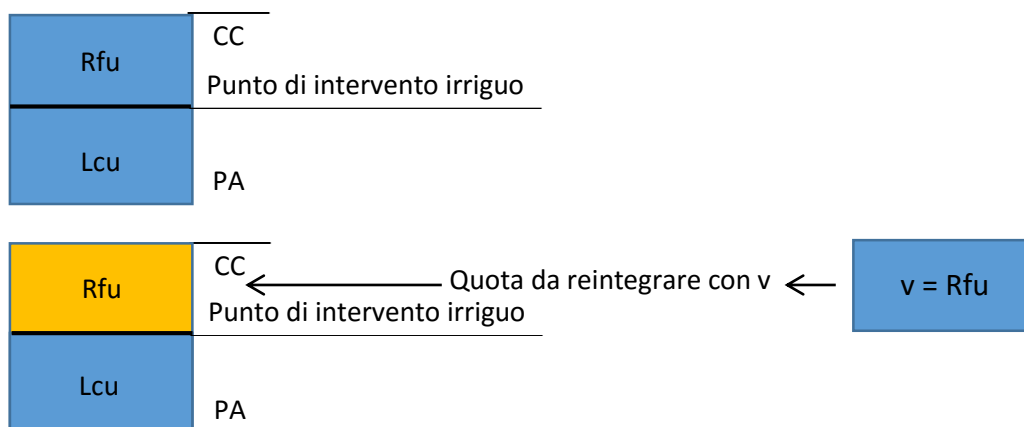
Una quota dell'acqua disponibile, definita *Riserva facilmente utilizzabile (Rfu)*, variabile da specie a specie in funzione della capacità di estrazione dell'apparato radicale, viene agevolmente prelevata dalla coltura. La restante quota, definita *Limite critico di umidità (Lcu)* rappresenta la parte di acqua disponibile che la coltura estrae dal terreno con più difficoltà, iniziando a manifestare sintomi di deficit.

Per il calcolo di queste due quote, che per il mais abbiamo visto essere rispettivamente del 45% e 55% della RU, si procede nel seguente modo:

$$Rfu = 1050 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \times 0,45 = 473 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} = 47,3 \text{ mm}$$

$$Lcu = 1050 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \times 0,55 = 577 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} = 57,7 \text{ mm}$$

Il limite che separa queste due variabili viene indicato come *punto di intervento irriguo (Pii)*. Esso rappresenta la soglia in cui bisogna intervenire con l'irrigazione nel momento in cui tutta la Riserva facilmente utilizzabile (nel nostro esempio pari a  $473 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) si è esaurita con l'evapotraspirazione, quando, in altri termini, nello strato di 60 cm di terreno vi è ancora la presenza della quota di acqua corrispondente al Limite critico di umidità ( $577 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ). È chiaro che, in questo caso, il volume di adattamento sarà pari alla Rfu ( $473 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ).



Il volume di adattamento dovrà comunque essere ridotto in base alla quantità di pioggia caduta (PU) e maggiorato a causa della bassa efficienza dell'impianto di irrigazione e del fabbisogno di lisciviazione che, però, in questo caso, essendo pari al 23% viene soddisfatto con l'acqua somministrata in più (30%) a causa di  $E_y$ .

$$E_y = 0,7 \quad v = \frac{473 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}}{0,7} = 678 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$$

Per i successivi interventi irrigui, si continuerà a procedere alla stessa maniera. In tal modo, il volume d'irrigazione diviene fisso.

Per individuare i momenti in cui intervenire con i volumi di irrigazione ci si avvale del bilancio idrologico sotto riportato, in cui il consumo idrico giornaliero potenziale della coltura (ETc) è stato determinato attraverso il calcolo di ET<sub>0</sub> (Turc) e l'uso dei coefficienti colturali (Kc) riportati nel grafico di pag. 23.

ARSSA Servizio Agrometeorologia Villa Margherita" - Cutro (KR)"										
Report dati meteorologici giornalieri dal 1 gennaio 2012 al 31 dicembre 2012										
	Data	temperatura aria (media del periodo) [°C] 1 giorno	pyranometro (media del periodo) [cal cm <sup>-2</sup> ] 1 giorno	ET <sub>0</sub> mm d <sup>-1</sup>	Kc	Etc mm d <sup>-1</sup>	Pioggia mm	Rfu mm	Momento di intervento	Volume di irrigazione mm
1	01/04/2012	15,0	437,5	3,2	0,35	1,1	0	<b>105,0</b>		<b>79</b> (113)
2	02/04/2012	13,5	379,7	2,7	0,35	0,9	0	103,9		
3	03/04/2012	14,7	169,2	1,4	0,35	0,5	0	102,9		
4	04/04/2012	16,1	158,9	1,4	0,35	0,5	0	102,4		
5	05/04/2012	16,3	241,4	2,0	0,35	0,7	1,4	103,3		
6	06/04/2012	15,8	375,6	2,9	0,35	1,0	0	102,6		
7	07/04/2012	14,9	268,3	2,1	0,35	0,7	0	101,6		
8	08/04/2012	15,5	235,2	1,9	0,35	0,7	14,6	<b>105,0</b>		
9	09/04/2012	14,0	371,4	2,7	0,35	0,9	3,4	<b>105,0</b>		
10	10/04/2012	13,3	359,1	2,6	0,35	0,9	0	104,1		
11	11/04/2012	14,6	208,4	1,7	0,35	0,6	0	103,2		
12	12/04/2012	17,1	427,2	3,4	0,35	1,2	0	102,6		
13	13/04/2012	15,1	66,0	0,8	0,35	0,3	27	105,0		
14	14/04/2012	16,4	198,1	1,7	0,35	0,6	1	<b>105,0</b>		
15	15/04/2012	17,5	357,0	2,9	0,35	1,0	0,6	<b>105,0</b>		
16	16/04/2012	15,3	262,1	2,1	0,35	0,7	19,4	<b>105,0</b>		
17	17/04/2012	16,5	454,0	3,5	0,35	1,2	0	104,3		
18	18/04/2012	15,7	276,5	2,2	0,35	0,8	6	<b>105,0</b>		
19	19/04/2012	16,5	342,6	2,7	0,35	1,0	0	104,2		
20	20/04/2012	17,4	293,0	2,5	0,35	0,9	0	103,3		
21	21/04/2012	17,9	439,5	3,6	0,35	1,2	0	102,4		
22	22/04/2012	16,8	445,7	3,5	0,35	1,2	0	101,2		
23	23/04/2012	17,7	332,2	2,8	0,35	1,0	0	99,9		
24	24/04/2012	18,5	462,2	3,8	0,35	1,3	0	99,0		
25	25/04/2012	19,5	484,9	4,0	0,35	1,4	0	97,7		
26	26/04/2012	17,7	491,1	3,9	0,35	1,4	0	96,2		
27	27/04/2012	18,5	501,4	4,1	0,35	1,4	0	94,9		
28	28/04/2012	18,9	491,1	4,0	0,35	1,4	0	93,5		
29	29/04/2012	20,8	482,9	4,1	0,35	1,4	0	92,0		
30	30/04/2012	21,8	476,7	4,2	0,35	1,5	0	90,6		

31	01/05/2012	21,9	495,3	4,3	0,37	1,6	0	89,1		
32	02/05/2012	21,9	501,4	4,4	0,39	1,7	0	87,6		
33	03/05/2012	21,5	518,0	4,5	0,40	1,8	0	85,9		
34	04/05/2012	21,2	499,4	4,3	0,42	1,8	0	84,1		
35	05/05/2012	21,6	522,1	4,5	0,44	2,0	0	82,3		
36	06/05/2012	20,8	410,7	3,6	0,46	1,6	0	80,3		
37	07/05/2012	21,2	202,2	2,0	0,47	0,9	0	78,7		
38	08/05/2012	21,2	509,7	4,4	0,49	2,1	0	77,8		
39	09/05/2012	22,2	505,6	4,4	0,51	2,2	0	75,6		
40	10/05/2012	23,4	499,4	4,5	0,53	2,3	0	73,4		
41	11/05/2012	22,4	513,8	4,5	0,54	2,4	0	71,0		
42	12/05/2012	24,5	499,4	4,5	0,56	2,5	0	68,6		
43	13/05/2012	25,4	518,0	4,8	0,58	2,7	0	66,0		
44	14/05/2012	20,9	377,6	3,3	0,60	2,0	0	63,3		
45	15/05/2012	18,2	255,9	2,2	0,61	1,4	0	61,3		
46	16/05/2012	20,1	515,9	4,3	0,63	2,7	0	59,9		
47	17/05/2012	17,9	487,0	3,9	0,65	2,5	0	57,2		47 (67)
48	18/05/2012	17,9	538,6	4,3	0,67	2,8	0	105,0		
49	19/05/2012	17,5	511,8	4,0	0,68	2,8	0	102,2		
50	20/05/2012	18,3	315,7	2,7	0,70	1,9	0	99,4		
51	21/05/2012	20,7	326,0	2,9	0,72	2,1	0	97,5		
52	22/05/2012	20,3	408,6	3,5	0,74	2,6	0	95,4		
53	23/05/2012	19,2	268,3	2,4	0,75	1,8	2	94,9		
54	24/05/2012	20,2	400,3	3,4	0,77	2,7	0,2	93,3		
55	25/05/2012	22,7	530,3	4,7	0,79	3,7	0	90,6		
56	26/05/2012	20,6	518,0	4,4	0,81	3,5	0	86,9		
57	27/05/2012	19,3	332,2	2,9	0,82	2,4	2,6	86,0		
58	28/05/2012	19,3	482,9	4,0	0,84	3,4	0	83,7		
59	29/05/2012	19,1	542,7	4,4	0,86	3,8	0	80,3		
60	30/05/2012	21,9	538,6	4,7	0,88	4,1	0	76,5		
61	31/05/2012	21,9	540,7	4,7	0,89	4,2	0	72,4		
62	01/06/2012	22,4	542,7	4,7	0,91	4,3	0	68,3		
63	02/06/2012	22,3	540,7	4,7	0,93	4,4	0	64,0		
64	03/06/2012	22,6	532,4	4,7	0,95	4,4	0	59,6		47 (67)
65	04/06/2012	23,7	414,8	3,8	0,96	3,7	0	105,0		
66	05/06/2012	23,8	536,5	4,8	0,98	4,7	0	101,3		
67	06/06/2012	22,6	546,8	4,8	1,00	4,8	0	96,6		
68	07/06/2012	21,8	553,0	4,8	1,02	4,8	0	91,9		
69	08/06/2012	23,0	551,0	4,8	1,03	5,0	0	87,0		
70	09/06/2012	23,3	534,5	4,7	1,05	5,0	0	82,0		
71	10/06/2012	26,6	526,2	4,9	1,05	5,2	0	77,1		
72	11/06/2012	27,2	546,8	5,1	1,05	5,4	0	71,9		
73	12/06/2012	27,5	538,6	5,1	1,05	5,3	0	66,5		
74	13/06/2012	26,5	542,7	5,0	1,05	5,3	0	61,2		
75	14/06/2012	25,2	551,0	5,0	1,05	5,3	0	55,9		47 (67)
76	15/06/2012	24,9	505,6	4,6	1,05	4,9	0	105,0		
77	16/06/2012	25,8	544,8	5,0	1,05	5,3	0	100,1		
78	17/06/2012	26,8	546,8	5,1	1,05	5,4	0	94,9		
79	18/06/2012	26,7	544,8	5,1	1,05	5,3	0	89,5		
80	19/06/2012	29,0	544,8	5,2	1,05	5,5	0	84,2		
81	20/06/2012	31,0	540,7	5,3	1,05	5,6	0	78,7		
82	21/06/2012	31,0	507,6	5,0	1,05	5,3	0	73,1		
83	22/06/2012	30,7	540,7	5,3	1,05	5,6	0	67,9		
84	23/06/2012	31,6	538,6	5,3	1,05	5,6	0	62,3		
85	24/06/2012	31,6	534,5	5,3	1,05	5,5	0	56,7		47 (67)
86	25/06/2012	29,3	538,6	5,2	1,05	5,5	0	105,0		
87	26/06/2012	29,1	546,8	5,3	1,05	5,5	0	99,5		
88	27/06/2012	27,6	524,1	5,0	1,05	5,2	0	94,0		
89	28/06/2012	27,1	522,1	4,9	1,05	5,2	0	88,8		
90	29/06/2012	27,1	526,2	4,9	1,05	5,2	0	83,7		
91	30/06/2012	28,1	518,0	4,9	1,05	5,2	0	78,5		

92	01/07/2012	28,3	520,0	5,0	1,05	5,2	0	73,3		
93	02/07/2012	28,5	509,7	4,9	1,05	5,1	0	68,1		
94	03/07/2012	28,3	499,4	4,8	1,05	5,0	0	62,9		
95	04/07/2012	27,6	495,3	4,7	1,05	4,9	0	57,9		47 (67)
96	05/07/2012	27,1	439,5	4,2	1,05	4,4	0	105,0		
97	06/07/2012	28,7	511,8	4,9	1,05	5,2	0	100,6		
98	07/07/2012	30,6	536,5	5,2	1,05	5,5	0	95,4		
99	08/07/2012	31,0	524,1	5,2	1,05	5,4	0	89,9		
100	09/07/2012	29,6	520,0	5,0	1,05	5,3	0	84,5		
101	10/07/2012	33,6	509,7	5,2	1,05	5,4	0	79,2		
102	11/07/2012	31,8	522,1	5,2	1,05	5,4	0	73,8		
103	12/07/2012	34,6	474,6	4,9	1,05	5,1	0	68,3		
104	13/07/2012	31,7	536,5	5,3	1,05	5,6	0	63,2		
105	14/07/2012	30,6	532,4	5,2	1,05	5,5	0	57,6		47 (67)
106	15/07/2012	30,9	513,8	5,1	1,05	5,3	0	105,0		
107	16/07/2012	30,1	511,8	5,0	1,05	5,2	0	99,7		
108	17/07/2012	28,5	524,1	5,0	1,05	5,3	0	94,4		
109	18/07/2012	29,2	518,0	5,0	1,05	5,3	0	89,2		
110	19/07/2012	28,1	522,1	5,0	1,05	5,2	0	83,9		
111	20/07/2012	28,1	522,1	5,0	1,05	5,2	0	78,7		
112	21/07/2012	28,8	513,8	4,9	1,05	5,2	0	73,5		
113	22/07/2012	31,6	478,8	4,8	1,05	5,0	0	68,3		
114	23/07/2012	22,5	103,2	1,2	1,05	1,3	25	88,3		
115	24/07/2012	26,0	476,7	4,5	1,05	4,7	0	87,0		
116	25/07/2012	25,9	439,5	4,1	1,05	4,3	0	82,3		
117	26/07/2012	28,0	509,7	4,9	1,05	5,1	0	78,0		
118	27/07/2012	28,5	515,9	4,9	1,05	5,2	0	72,9		
119	28/07/2012	30,3	513,8	5,0	1,05	5,3	0	67,7		
120	29/07/2012	31,8	480,8	4,8	1,05	5,0	0	62,4		
121	30/07/2012	31,4	530,3	5,2	1,05	5,5	0	57,3		47 (67)
122	31/07/2012	30,4	522,1	5,1	1,05	5,4	0	105,0		
123	01/08/2012	30,5	513,8	5,0	1,05	5,3	0	99,6		
124	02/08/2012	28,4	491,1	4,7	0,98	4,6	0	94,3		
125	03/08/2012	27,8	497,3	4,7	0,96	4,6	0	89,7		
126	04/08/2012	27,9	505,6	4,8	0,95	4,6	0	85,2		
127	05/08/2012	28,0	474,6	4,6	0,93	4,2	0	80,6		
128	06/08/2012	29,3	456,1	4,5	0,91	4,1	0	76,4		
129	07/08/2012	31,4	449,9	4,5	0,90	4,0	0	72,3		
130	08/08/2012	35,6	468,4	4,9	0,88	4,3	0	68,3		
131	09/08/2012	30,4	489,1	4,8	0,86	4,2	0	64,0		
132	10/08/2012	30,8	491,1	4,9	0,85	4,1	0	59,8		47 (67)
133	11/08/2012	28,4	381,8	3,8	0,83	3,1	0	105,0		
134	12/08/2012	26,8	439,5	4,2	0,81	3,4	0	101,9		
135	13/08/2012	27,7	466,4	4,5	0,80	3,6	0	98,5		
136	14/08/2012	27,4	462,2	4,4	0,78	3,4	0	94,9		
137	15/08/2012	26,6	470,5	4,4	0,76	3,4	0	91,5		
138	16/08/2012	29,8	472,6	4,6	0,75	3,5	0	88,1		
139	17/08/2012	30,5	466,4	4,6	0,73	3,4	0	84,7		
140	18/08/2012	29,0	439,5	4,3	0,71	3,1	0	81,3		
141	19/08/2012	28,4	460,2	4,5	0,70	3,1	0	78,2		
142	20/08/2012	27,7	454,0	4,4	0,68	3,0	0	75,1		
143	21/08/2012	27,4	454,0	4,3	0,66	2,9	0	72,2		
144	22/08/2012	28,1	454,0	4,4	0,65	2,8	0	69,3		
145	23/08/2012	27,8	472,6	4,5	0,63	2,8	0	66,5		
146	24/08/2012	28,4	470,5	4,5	0,61	2,8	0	63,6		
147	25/08/2012	27,3	456,1	4,4	0,60	2,6	0	60,8		
148	26/08/2012	31,2	451,9	4,5	0,58	2,6	0	58,3		
149	27/08/2012	29,8	449,9	4,4	0,56	2,5	0	55,6		
150	28/08/2012	26,1	451,9	4,2	0,55	2,3	0	53,2		
151	29/08/2012	25,6	451,9	4,2	0,53	2,2	0	50,8		
152	30/08/2012	26,0	437,5	4,1	0,51	2,1	0	48,6		
153	31/08/2012	27,0	435,4	4,2	0,49	2,1	0	46,5		