

10. L'acqua irrigua: fonti di approvvigionamento e trattamenti di affinamento

Paolo Marzialetti, Stefano Landi, Alberto Pardossi

Introduzione

L'acqua è uno dei principali fattori produttivi, e il suo approvvigionamento è di fondamentale importanza per le aziende florovivaistiche.

Le acque superficiali (fiumi, laghi) sono quelle che di norma vengono riservate per gli usi agricoli, ma nelle aree dove l'attività è più intensiva, queste possono non essere sufficienti e vengono pertanto ampiamente integrate con l'attingimento dalle acque sotterranee (pozzi). Ultimamente stanno suscitando un certo interesse anche le risorse idriche riciclate, come le acque reflue dei depuratori, adeguatamente trattate e poi distribuite tramite appositi acquedotti agro-industriali (vedi Capitolo 20).

Vale la pena ricordare che con la legge n. 36/1994 (Legge Galli) è stato introdotto il principio che tutte le acque, sia superficiali che sotterranee, sono da intendersi pubbliche, pertanto è sempre necessario richiedere la relativa autorizzazione per l'attingimento da pozzi o la derivazione da corsi d'acqua demaniali. In Toscana come in molte altre regioni, le competenze in materia idrica sono state trasferite alle Amministrazioni Provinciali, e quindi è necessario richiedere a loro tali permessi.

Esistono anche delle norme da applicare nella costruzione dei pozzi allo scopo di evitare l'inquinamento degli acquiferi e l'esaurimento della falda, nel rispetto del D.M. 26 marzo 1991. In estrema sintesi, una corretta progettazione richiede che la posizione di un pozzo sia basata su uno studio idrogeologico, e se possibile biologico e chimico, delle acque. Il pozzo deve essere realizzato in modo che, in nessun caso, le acque di superficie possano raggiungere, senza controllo, l'acquifero attraverso il manufatto. Qualora il pozzo attraversi

più acquiferi di caratteristiche idriche differenti, si deve procedere, in conformità alle indicazioni dell'autorità competente, a sceglierne una soltanto e sigillare l'incamiciatura del pozzo in corrispondenza delle altre, in modo da mantenere nel tempo le separazioni naturali. Certificata la qualità delle acque dalle autorità competenti, nella gestione del pozzo dovranno essere adottati gli accorgimenti necessari a preservare la qualità della risorsa stessa. Il pozzo stesso deve essere sempre disattivato o chiuso quando si manifesti un malfunzionamento o ne sia cessata l'utilizzazione.

Le acque sotterranee, ma spesso anche quelle derivate da corsi d'acqua, non vengono impiegate direttamente nelle aziende florovivaistiche, ma in genere vengono pompate prima dentro a un corpo di raccolta, che funge anche da riserva idrica. In questo modo si evita di somministrare acque sotterranee troppo fredde alle colture (in particolare con l'irrigazione per asperzione) ed è inoltre possibile effettuare alcuni trattamenti (filtrazione, disinfezione, acidificazione...) per correggerne gli eventuali difetti di qualità.

Stoccaggio

L'acqua di irrigazione viene spesso raccolta, dalle varie fonti di approvvigionamento, dentro un vaso di stoccaggio. Ogni unità aziendale ha uno o più invasi secondo le tipologie colturali, la cui capacità è molto variabile e viene spesso condizionata dalla carenza di spazio.

Nelle colture in ambiente protetto, le quali si sviluppano su superfici limitate e richiedono di conseguenza volumi idrici inferiori, spesso si impiegano delle cisterne, in metallo o vetroresina, poste fuori dal terreno per mantenere le acque a una tempera-



Enorme invaso per la raccolta dell'acqua piovana in un'azienda serricola in provincia di Ragusa

tura più vicina a quella ambientale e appositamente schermate per evitare la penetrazione della luce solare, che favorisce la formazione di alghe.

Le coltivazioni in pien'aria, estendendosi su superfici maggiori, hanno di conseguenza necessità di volumi più rilevanti, con l'eccezione delle colture in piena terra, dove spesso la frequenza delle irrigazioni è molto bassa o addirittura a carattere di soccorso, considerando la funzione di volano idrico del terreno. Al contrario, per i piazzali di coltivazione in contenitore, che coprono spesso vaste superfici e richiedono quotidianamente ingenti quantità di acqua, gli invasi devono essere di rilevanti dimensioni. In media, per un calcolo approssimativo, si tenga presente che un ettaro di vivaio in contenitore può richiedere intorno a 200-250 metri cubi al giorno in caso di irrigazione a pioggia; detta quantità può essere diminuita sensibilmente (-30%) nel caso di irrigazione a goccia e cala ulteriormente se vengono recuperati i reflui dell'irrigazione (-30% circa)

L'elevata variabilità nel volume dei bacini di stoccaggio delle acque irrigue è anche in funzione dell'approvvigionamento idrico disponibile per la loro ricarica. Laddove si hanno a disposizione portate rilevanti da una serie di pozzi, la capacità degli invasi può essere più contenuta, comunque sufficientemente grande da permettere alcuni giorni di autonomia.

Pertanto con questi dati, unitamente alla portata dell'approvvigionamento e all'autonomia desiderata, si potrà dimensionare adeguatamente l'invaso per il corpo aziendale.

È solo il caso di accennare che per la realizzazione di questi invasi è necessario richiedere il per-

messo presso le autorità competenti (Genio Civile) nel caso di invasi collinari o con sponde fuori terra, mentre per quelli scavati in pianura è sufficiente la richiesta alle amministrazioni locali, le quali hanno spesso dei regolamenti particolari, in relazione ai diversi vincoli di rischio idrogeologico dell'area. È richiesto che la loro progettazione sia eseguita da un professionista. Riguardo al rapporto superficie/profondità dell'opera, generalmente non vi sono disposizioni particolari se escavata (salvo una corretta pendenza delle sponde); si fa presente, però, che gli invasi di superfici ridotte e profondità molto elevate, pur risparmiando spazio e riducendo le perdite per evaporazione, spesso creano notevoli problemi sia per uniformare la temperatura delle acque con quella ambientale, sia per la loro ridotta aerazione.

Per gli invasi di dimensioni non troppo elevate è buona norma impermeabilizzare le pareti con gli appositi teli, realizzati con vari materiali plastici: i vantaggi di ciò sono, in alcuni casi, il miglioramento della tenuta, il controllo delle erbe infestanti sulle rive e una maggiore pulizia delle acque. Tuttavia, quando le dimensioni dell'invaso sono rilevanti, ci si può limitare a pacciamare solamente i bordi fino al livello dell'acqua.

Come abbiamo accennato gli invasi vengono impiegati anche per recuperare e riciclare i reflui dell'irrigazione, in modo da economizzare le risorse idriche. In genere, se è possibile, si colloca l'invaso di raccolta a valle dell'area da irrigare in modo tale che i reflui possano confluirci per caduta naturale. Ove questo non sia possibile, è necessario realizzare dei pozzetti di raccolta nei punti di quota inferiore, all'interno dei quali una pompa di solle-

Tab. 1 - Rischio di occlusione nei sistemi microirrigui in funzione di alcuni parametri

Fattori d'intasamento	Rischio d'intasamento		
	Basso	Medio	Alto
Solidi sospesi (mg/L)	< 50	50 - 100	> 100
pH	< 7,0	7,0 - 8,0	> 8,0
Solidi disciolti (mg/L)	< 500	500 - 2000	> 2000
Manganese (mg/L)	< 0,1	0,1 - 1,5	> 1,5
Ferro totale (mg/L)	< 0,2	0,2 - 1,5	> 1,5

Fonte: Nakayama e Bucks, 1991; modificata.

vamento consentirà alle acque reflue di tornare nell'invaso di raccolta.

Filtrazione

La filtrazione ha lo scopo di eliminare i solidi in sospensione che potrebbero danneggiare gli impianti di irrigazione e fertirrigazione (tubazioni, erogatori, dosatori) e le stesse colture, imbrattandone le foglie se non addirittura provocando effetti fitotossici.

Per scegliere la stazione di filtraggio più adeguata alle esigenze dell'azienda occorre valutare attentamente una serie di parametri:

1. la fonte di approvvigionamento idrico (pozzo, pioggia, fiume, acquedotto,...),
2. la qualità dell'acqua irrigua (vedi *tab. 1*);
3. la destinazione dell'acqua filtrata e cioè il tipo di irrigazione impiegata (aspersione, nebulizzazione, a microportata con gocciolatore, spaghetto...);
4. la portata massima dell'impianto, per evitare sotto- o sovra-dimensionamenti;
5. la pressione di esercizio dell'impianto irriguo (minima e massima);
6. la disponibilità di energia elettrica;
7. (eventualmente) la portata del sistema di controlavaggio della stazione di filtraggio.

Il punto 1 è fondamentale in quanto determina il tipo di impianto di filtrazione da far installare in azienda, sempre e comunque da una ditta qualificata.

Le caratteristiche del sistema di filtrazione, infatti, sono determinate in base alla qualità dell'acqua irrigua valutata attraverso la misura della quantità assoluta dei solidi in sospensione (TSS), espressa in mg/L:

- acqua buona con TSS < 50;
- acqua media con TSS < 100;
- acqua cattiva con TSS < 150;
- acqua pessima con TSS > 150;

Prima della filtrazione, un'acqua con un contenuto in solidi sospesi superiore a 400-500 mg/L dovrà preferibilmente essere fatta decantare in una vasca di sedimentazione opportunamente dimensionata in base alla portata di immissione e alla velocità di sedimentazione delle particelle più piccole.

I sistemi d'irrigazione per aspersione utilizzano spesso irrigatori soprachioma con un diametro di uscita degli ugelli tale da poter essere difficilmente ostruito dalle impurità presenti nell'acqua. Con questi impianti, pertanto, non è necessario ricorrere alla filtrazione, che invece è assolutamente necessaria nel caso dell'irrigazione localizzata, caratterizzata da basse pressioni e portate.

Esistono vari tipi di filtri, dai cosiddetti pre-filtri, tipo idrocycloni, fino ai filtri veri e propri (a sabbia o a rete).

Idrocycloni

L'installazione di idrocycloni è consigliabile nel caso di acque di pozzi con presenza di sabbia, allo scopo di proteggere gli impianti dall'azione usurante della sabbia stessa e ridurre le frequenze dei controlavaggi. La separazione avviene attraverso l'accelerazione delle particelle causata dal movimento rotatorio dell'acqua che entra tangenzialmente rispetto al corpo dell'idrocyclone. Le particelle in sospensione sono spinte dalla forza centrifuga contro la parete conica del corpo e si raccolgono in un'apposito serbatoio sul fondo del filtro, mentre l'acqua pulita esce dalla parte centrale del corpo. I filtri idrocycloni, se scelti correttamente, garantiscono un'efficienza di separazione di oltre il 90%; è preferibile utilizzare più idrocycloni di piccolo diametro in parallelo piuttosto che un unico idrocyclone di grande diametro. Per gli idrocycloni è necessaria una regolare pulizia del serbatoio della sabbia.

Filtri a sabbia quarzifera

Sono utilizzati per eliminare le alghe e i materiali organici e inorganici di varia natura. Devono



Filtro a sabbia autopulente

essere sempre montati quando vengono impiegate acque reflue o sporche, ricche di sostanze organiche e solidi in sospensione. Il filtro prende il nome dall'elemento filtrante, costituito da sabbia o ghiaietto di pochi millimetri di diametro. L'efficacia del filtro è legata alle dimensioni dei granelli: più la sabbia è fine, tanto maggiore è la capacità di filtrazione, ma maggiore è la perdita di carico. Vanno montati prima del fertirrigatore, per evitare che gli elementi fertilizzanti utilizzati possano favorire lo sviluppo di microrganismi all'interno del filtro stesso. Per rimuovere la sporcizia è necessario effettuare il controlavaggio, operazione questa che può essere anche automatizzata, in base alla rilevazione della perdita di carico sulla linea (*vedi avanti*). Ai filtri a sabbia devono essere abbinati, a valle, dei filtri a rete, per impedire alla sabbia di penetrare nell'impianto.

Filtri a rete e a dischi

Nei filtri a rete, il principio di filtrazione è basato sulla presenza di una rete con maglie a fori larghi e di una rete con fori più piccoli, funzionanti contemporaneamente. Questi filtri sono adeguati per corpuscoli e particelle più grandi e sono l'ele-

mento minimo indispensabile per un buon sistema di filtraggio. I filtri a rete sono utilizzati normalmente per acqua di pozzo artesiano di buona o media qualità, spesso abbinati a un filtro a sabbia o a un idrociclone.

I filtri a dischi vengono utilizzati sia per separare sabbie che per il trattamento di acque superficiali ricche di alghe e sostanze colloidali. L'elemento filtrante è costituito da lamelle circolari con superficie scabra, per meglio trattenere le impurità dell'acqua che le attraversa.

Il controlavaggio dei filtri

Gli impianti di filtraggio esigono una regolare pulizia e manutenzione, operazioni che attualmente sono sempre più frequentemente automatizzate tramite una centralina di comando a tempo oppure a differenziale di pressione. Nel secondo caso, un manometro rileva la differenza di pressione tra entrata e uscita della stazione filtrante provocata dal progressivo intasamento del filtro; quando raggiunge il valore prefissato, si avvia la pulizia del filtro.

Filtrazione dell'acqua di fertirrigazione

Durante l'uso della fertirrigazione si possono formare delle particelle in seguito alla non perfetta solubilizzazione dei concimi impiegati e/o alla formazione di precipitati chimici. Queste particelle possono in seguito agglutinarsi e otturare così le linee irrigue. Per evitare questi fenomeni è sempre bene installare dei filtri (a rete) immediatamente a valle dell'impianto di fertirrigazione o all'entrata di ogni settore irriguo o meglio ancora, laddove sono normalmente collocate le elettrovalvole di comando dei singoli settori irrigui.

Trattamenti per l'abbattimento di ferro e manganese

I limiti massimi tollerabili della presenza di questi due elementi nelle acque di irrigazione per uso continuo viene fissato in 5,0 mg/L per il ferro e 0,2 mg/L per il manganese (Branson *et al.* 1975). Tuttavia livelli da 0,5 a 3 mg/L di ferro sono abbastanza comuni in alcune acque sotterranee e già 0,5 mg/L di ferro, a causa della proliferazione dei ferrobatteri, in certe condizioni, possono bastare a provocare otturazioni dei gocciolatori e incrostazioni sul fogliame.

Se il contenuto in ferro o in manganese nell'acqua è eccessivo, si possono impiegare diversi metodi per abbatterlo.

L'azione più semplice (e anche più economica),



Filtro a rete

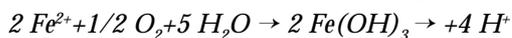


Filtro a dischi

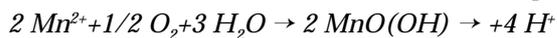
che è spesso adottata dalle aziende, è quella di installare una pompa di aerazione nell'invaso di raccolta delle acque di irrigazione. Questa pompa, mediante un'energica agitazione della superficie dell'acqua, favorisce l'aerazione e l'aumento di ossigeno disciolto in questa.

Infatti, il ferro e manganese, presenti nelle acque sotterranee sotto forma ridotta (valenza 2+), sono ossidati dall'ossigeno così disciolto (passando a valenza 3+), con conseguente precipitazione della forma ossidata, poco solubile.

Le reazioni coinvolte sono le seguenti e la loro massima velocità si ha in condizioni di pH 7-7,5:



Eq. 1



Eq. 2

I precipitati di idrossido di ferro $\text{Fe}(\text{OH})_3$ e idrossido di manganese $\text{MnO}(\text{OH})$ col tempo si depositeranno sul fondo dell'invaso e dovranno essere periodicamente rimossi onde evitare che vengano aspirati.

Poiché l'azione delle onde superficiali aiuta a spingere e accumulare alghe e ferrobatteri presso le zone periferiche dell'invaso, è consigliabile installare la pompa di aerazione in una posizione dove darà il maggior beneficio rispetto alla posizione della presa di aspirazione della pompa di irrigazione.

Nel caso in cui l'installazione della pompa di aerazione non risolva completamente il problema, l'altro intervento da prendere in considerazione è l'adozione di un sistema d'iniezione di un agente ossidante, abbinato con l'installazione di un adeguato sistema di filtrazione. La sostanza che spesso è impiegata come disinfettante e agente ossidante è il cloro: quando questo viene iniettato

direttamente nella linea dell'irrigazione, elimina i ferrobatteri, fa precipitare il ferro e il manganese e inoltre disincrosta i depositi di ferro dalle superfici dei materiali irrigui utilizzati. Per essere efficace il cloro richiede un certo tempo di contatto con l'acqua di irrigazione in funzione della sua concentrazione, necessario per uccidere i ferrobatteri e svolgere il suo effetto ossidante sullo ione ferroso. Generalmente sono richiesti dei serbatoi di transito o dei diverticoli supplementari nelle linee di irrigazione, per ottenere un tempo sufficiente di contatto del cloro con l'acqua di irrigazione (circa 1 minuto per una concentrazione di cloro pari a 0,5 mg/L). Ulteriori dettagli sulla clorazione sono riportati nel prossimo paragrafo.

Disinfezione

L'uso di substrati e di acqua irrigua non inquinata, oltre a un'accurata pulizia e disinfezione degli impianti di coltivazione e di irrigazione prima dell'impianto della coltura (con materiale di propagazione sano!), sono i presupposti della difesa antiparassitaria riguardante la parte ipogea delle piante, che di fatto è più basata sulla profilassi che sulla cura. La disinfezione, in particolare quella basata sull'aggiunta di cloro, serve anche a prevenire le occlusioni delle tubazioni e degli erogatori provocati da alghe e batteri.

Di seguito si riporta una breve rassegna dei principali metodi per la disinfezione delle acque di irrigazione e fertirrigazione, incluse quelle di drenaggio che, nei cosiddetti sistemi chiusi, sono recuperate e riutilizzate sulla stessa coltura. La *tab. 2* sintetizza i principali vantaggi e svantaggi dei vari metodi di disinfezione delle acque, indicando

Tab. 2 - Principali mezzi di disinfezione per le soluzioni nutritive utilizzati commercialmente e loro costo

Metodo di disinfezione	Dose	Vantaggi	Svantaggi	Costo (euro/m ³)
Pastorizzazione (metodo fisico)	95°C per 30 s 85°C per 3 min	• Completa distruzione di tutti i patogeni	• Alto costo di investimento e di gestione (adatto solo ad aziende > 1 ettaro)	0,80 - 0,90
Radiazioni UV (metodo fisico)	100-250 MJ/cm ² UV-C	• Buon controllo dei patogeni; • Costo di investimento medio	• Talvolta si ha una sterilizzazione non completa; • Occorre pre-filtrare; • Distruzione dei chelanti (ferro e microelementi)	0,30 - 0,40
Ultrafiltrazione (metodo fisico)	Dimens. pori: 0,05 µm per <i>Fusarium</i> ; 0,1 mm per <i>Verticillium</i>	• Completa eliminazione di tutti i patogeni	• Molto costoso; • Ridotta durata delle membrane filtranti	0,50 - 0,70
Trattam. con ozono (metodo chimico)	10 g/m ³ h	• Completa distruzione di tutti i patogeni	• Sistema costoso; • Necessità di pre-filtrazione e acidificazione; • Distruzione dei chelati	0,20 - 0,30
Clorinazione (metodo chimico)	2 ppm di Cl per 1' per <i>P. cinnamomi</i>	• Basso costo di investimento • Pulizia di gocciolatori	• Difficoltà nello stabilire la dose-effetto; • L'efficienza è influenzata dal pH e dalla presenza di sostanze organiche	0,15 - 0,20
Filtrazione lenta su sabbia (met. fisico-biologico)	Flussi: 100-300 L m ² /h Dimensione della sabbia: 0-2 mm	• Basso costo di investimento • Adatto per aziende a bassa tecnologia e piccole superfici	• Elimina completamente i funghi zoosporici (<i>Pythium</i> , <i>Phytophthora</i>), i virus e i nematodi	0,20 - 0,25

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

approssimativamente anche i costi unitari dell'acqua trattata. L'argomento è peraltro ripreso più estesamente nel Capitolo 21.

Sterilizzazione con calore

Si basa sulla possibilità di eliminare i differenti patogeni in seguito all'esposizione a elevate temperature per un determinato periodo di tempo. Temperature di 95°C per 30 secondi o di 85°C per tre minuti sono in grado di eliminare tutti i patogeni, compresi i virus, mentre temperature inferiori (60°C per due minuti) sono in grado di eliminare selettivamente funghi, batteri e nematodi (Runia, 1995; Van Os e Stanghellini, 2001). Il metodo presenta come inconvenienti principali gli alti costi di esercizio e la precipitazione dei sali di calcio, in particolare il carbonato di calcio.

Radiazione UV

Il metodo si basa sull'azione biocida delle radiazioni elettromagnetiche con lunghezza d'onda compresa tra 200 e 280 nm, che vengono assorbite selettivamente dagli acidi nucleici (DNA, RNA) dei microrganismi con la conseguente loro inattivazione. La radiazione può essere generata da diversi tipi di lampade, tra le quali sono molto dif-

fuse quelle a vapori di mercurio a bassa pressione (lunghezza d'onda: 254 nm). L'azione nei confronti dei microrganismi è legata all'intensità, alla durata dell'esposizione e alla qualità dell'acqua. Ad esempio, dosi di 90 MJ/cm² per 30 sec consentono l'eliminazione totale di *Pythium aphanidermatum*. I costi di impianto e manutenzione non elevati, l'assenza di sottoprodotti tossici, l'ampio spettro biocida, sono alcuni dei vantaggi legati all'uso dei raggi UV. Gli svantaggi sono legati alla necessità di disporre di acque prive di torbidità, per evitare elevati tempi di esposizione, e all'azione distruttiva dei raggi UV sui chelati di ferro, con conseguente comparsa di clorosi nelle piante.

Ozonizzazione

L'ozono è un potente agente ossidante dotato di un ampio spettro d'azione contro una vasta gamma di agenti fitopatogeni. L'ozono viene generato facendo passare ossigeno puro attraverso una scarica elettrica ad alto voltaggio. L'efficacia dell'ozono è legata alla sua concentrazione e alla durata del trattamento. In condizioni di laboratorio sono sufficienti pochi mg/L per alcuni minuti per uccidere la totalità dei patogeni. In condizioni di lavoro, tuttavia, la sua azione è fortemente rallentata dalla pre-

senza di materiale organico e dalla interazione con i chelati di ferro, rendendo necessari tempi di somministrazione più elevati. Il prodotto può essere fitotossico a concentrazioni basse e presenta elevati costi di gestione.

Clorazione

L'uso del cloro, sotto forma di ipoclorito (di sodio o di calcio) o in forma gassosa, pur avendo un ampio spettro biocida e una notevole economicità, non ha trovato una larga diffusione nel controllo delle malattie nelle colture fuori suolo a ciclo chiuso, essenzialmente per il rischio di fitotossicità e l'elevato rischio di esposizione degli operatori nel caso di utilizzo di cloro gassoso (Minuto e Garibaldi, 2001). La clorazione, invece, è particolarmente interessante come intervento integrativo della filtrazione, riuscendo ad evitare la formazione di alghe e batteri in grado di otturare gli erogatori.

La clorazione di un impianto può essere eseguita in una delle seguenti modalità: continua, con concentrazioni di cloro attivo di 1-2 mg/L, per il controllo dello sviluppo delle alghe e dei batteri e/o come trattamento per rimuovere il ferro e il manganese (grazie al forte potere ossidante del cloro); discontinua, con concentrazioni di 10-20 mg/L per le periodiche disinfezioni (si può arrivare anche 500 mg/L per trattamenti più drastici), e in questo caso, occorre lavare bene gli impianti prima di riprendere le irrigazioni vere e proprie.

Per la clorazione si utilizzano generalmente l'ipoclorito di calcio o di sodio (soluzione acquosa con concentrazione variabile di cloro attivo dall'1% fino al 15%; la normale candeggina ne contiene il 5%), oppure clorammine inorganiche o organiche, quest'ultime disponibili in compresse. Le clorammine sono più costose e più lente ad agire e anche più fitotossiche.

Per il calcolo della quantità di prodotto da iniettare in funzione della concentrazione di cloro attivo del prodotto commerciale utilizzato e della portata dell'impianto, si può utilizzare la seguente equazione:

$$Q = (C \cdot P) / (10 \cdot Co) \quad \text{Eq. 3}$$

dove: Q è la quantità di soluzione in L/h da iniettare in rete, C la concentrazione di cloro attivo desiderata in mg/L, P la portata dell'impianto da trattare in m³/h e Co la percentuale di cloro nel prodotto utilizzato.

Poiché l'ipoclorito è una sostanza instabile e tende naturalmente a decomporsi, è necessario aumentare spesso il rapporto di iniezione affinché rimanga costante la quantità di cloro attivo. Il

cloro libero può essere controllato all'estremità della linea di irrigazione o all'irrigatore, usando kit di analisi rapida come quelli usate nelle piscine. Questo controllo è molto importante poiché il cloro oltre a essere fitotossico quando raggiunge certi livelli, ha anche una forte azione corrosiva sulle attrezzature ed manufatti metallici, come le strutture delle serre.

Infine, allo scopo di ridurre la quantità di cloro da iniettare negli impianti, è opportuno far precedere la clorazione da una filtrazione per rimuovere la frazione organica delle impurità dall'acqua (installando dei filtri a sabbia come abbiamo visto).

Uso di fungicidi

L'uso di fungicidi sistemici per la lotta alle malattie delle colture fuori suolo presenta, accanto ad aspetti tecnici positivi, quali la possibilità di poter somministrare il principio attivo in maniera localizzata con diminuzione delle dosi, minori rischi per l'ambiente e per l'operatore, degli svantaggi dovuti ai maggiori rischi di fitotossicità, alla possibilità di accumulo nel sistema di coltivazione e negli organi destinati al consumo fresco e al rischio di comparsa di resistenze ai diversi principi attivi utilizzati. L'uso di altri prodotti chimici, meno rischiosi per l'uomo e l'ambiente, ha fornito risultati parziali o applicabili solo in particolari situazioni. Questo metodo rimane, in ogni caso, quello meno raccomandabile.

Una considerazione particolare richiede l'uso dei prodotti a base di rame per il controllo delle alghe (vedi anche Capitolo 21). In alcune aziende florovivaistiche toscane con notevoli problemi di otturazione dei gocciolatori provocati dalla proliferazione delle alghe, sono stati osservati dei sensibili miglioramenti iniettando di continuo nella soluzione nutritiva del solfato di rame fino a raggiungere una concentrazione di 2-3 mg/L di rame. È bene sottolineare, comunque, che si tratta di concentrazioni circa dieci volte superiori a quelle utilizzate nelle soluzioni nutritive e in specie sensibili si potrebbero manifestare segni di tossicità.

Filtrazione lenta a sabbia

Il metodo prevede il lento passaggio della soluzione attraverso uno strato drenante costituito generalmente da sabbia a diverso grado di porosità. L'azione dei filtri è dovuta sia a un meccanismo fisico di trattenimento dei microrganismi (di dimensioni maggiori rispetto alla porosità del filtro), sia a un meccanismo biologico, sino a oggi ancora poco studiato, operato dallo strato di materiale organico e inorganico che si viene a depositare nei primi centimetri del filtro. Tale metodo ha come vantaggi il



Filtro a rete autopulente



Impianto di desalinizzazione (osmosi inversa) in una serra olandese

basso costo di impianto e di esercizio e una più che soddisfacente capacità di eliminare i principali agenti fitopatogeni (ad esempio, *Phytophthora* spp., *Pythium* spp.), senza apportare sostanziali modifiche ai parametri della soluzione (pH, composizione degli elementi nutritivi, conducibilità elettrica). Gli inconvenienti sono legati principalmente ai ridotti volumi di filtrazione consentiti, considerando che le portate orarie dei filtri sono intorno a 100-300 litri per m² di superficie filtrante. L'efficacia filtrante di materiali alternativi (lana di roccia, perlite, schiuma) è in fase di studio per verificarne future applicazioni pratiche.

Una trattazione più estesa della filtrazione lenta è riportata nel Capitolo 21.

Desalinizzazione

Poiché le fonti di approvvigionamento idrico diventano sempre più critiche, in alcuni casi vi è la necessità di impiegare a uso irriguo anche delle acque salate. Senza arrivare all'attingimento di acqua di mare, come in alcuni centri ortoflorovivaistici (ad esempio, nella zona di Almeria, in Spagna), possono essere impiegate acque reflue di processi industriali oppure di pozzi contaminati dalle infiltrazioni di acqua marina.

Le tecniche utilizzate per i processi di dissalazione sono numerose e sono basate su principi diversi che possiamo così classificare:

1. tecniche che sfruttano l'evaporazione dell'acqua (multipli effetti, evaporazione solare, termocompressione, espansioni multiple);
2. tecniche che sfruttano il congelamento (processo per congelamento diretto);

3. tecniche basate sull'impiego di membrane permeabili ai sali (elettrodialisi);
4. tecniche basate sull'impiego di resine scambiatrici di ioni (scambio ionico);
5. tecniche basate sull'impiego di membrane semipermeabili (osmosi inversa);

Gli impianti impiegati per usi agricoli sono basati essenzialmente sulle due ultime tecniche.

Per il trattamento di volumi non troppo elevati di acqua (alimentazione di *fog* o *cooling system*, nebulizzazioni ecc.) possono essere impiegati apparecchi con scambiatori a resine che dalla demineralizzazione di acque dure posso spingersi fino alla desalinizzazione delle acque salate. In pratica l'acqua viene fatta passare prima attraverso un letto di resina cationica che ha elevata attività di scambio con i cationi e che si rigenera con acido cloridrico (HCl); successivamente su un letto di resina anionica che ha elevata attività di scambio con gli anioni e che si rigenera con soda (NaOH). Dopo i due passaggi abbiamo un'acqua con un contenuto di sali relativamente modesto, in base al grado a cui è stato spinto il processo.

Invece, per il trattamento di grandi volumi di acqua viene impiegata la tecnologia dell'osmosi inversa, arrivata sul mercato in tempi abbastanza recenti, ma che si è affermata rapidamente e si è imposta grazie alle sue caratteristiche di versatilità, di eccellenza di prestazioni e di semplicità d'uso.

Per spiegare questo processo dobbiamo ricordare che quando due soluzioni a diversa concentrazione vengono poste a contatto attraverso una membrana semipermeabile (cioè permeabile al solvente e non al soluto) si ha spontaneamente un passaggio di acqua dalla soluzione più diluita a quella più concentrata. Si definisce pressione

osmotica la pressione che bisogna esercitare su una soluzione a contatto con il solvente puro attraverso una membrana semipermeabile per annullare il flusso di solvente verso la soluzione. Se esercitiamo realmente una pressione sulla soluzione più concentrata il flusso di solvente risulterà ostacolato fino a essere annullato e poi invertito aumentando la pressione esercitata.

Con questo processo, noto appunto come osmosi inversa, si riesce a separare da una soluzione il solvente puro che nel nostro caso è l'acqua. La pressione che si deve esercitare per realizzare l'osmosi inversa dipende da diversi fattori, tra i quali la concentrazione della soluzione e la temperatura. Per avere flussi di acqua sufficienti si adottano pressioni operative molto elevate, poiché la pressione osmotica dell'acqua di mare è intorno alle 22 atm.

In base al tipo di membrana utilizzata e quindi alla sua efficienza si possono raggiungere gradi di dissalazione più o meno spinti, e si possono ottenere direttamente acque con contenuti salini adatti per gli utilizzi industriali o agricoli e addirittura per il consumo umano.

Come abbiamo visto lo sfruttamento di questo interessantissimo processo di dissalazione delle acque è condizionato essenzialmente dalla qualità delle membrane selettive che ne costituiscono l'organo principale. Le caratteristiche principali delle membrane per osmosi inversa sono: l'*alta resistenza meccanica* (espressa in kg/cm²), la *permeabilità* al solvente (misurata in m³/m² al giorno) e un'*alta reiezione* (capacità a opporsi al passaggio dei soluti, misurata in percentuale di soluti inizialmente contenuti nelle soluzioni trattate e ancora presenti in esse dopo il trattamento).

La *vita utile* (riferita alle pressioni d'esercizio) di una membrana da dissalazione per osmosi inversa è il tempo durante il quale essa conserva le sue caratteristiche di permeabilità, consentendo di mantenere praticamente costante il flusso dell'acqua a un predeterminato grado di purezza. Essa è ridotta dalla deposizione di materiale sulle membrane e dall'azione di microrganismi sulle stesse, per cui occorre effettuare appropriati pre-trattamenti.

Gli impianti attualmente in commercio, prodotti in serie, si distinguono principalmente per la qualità dell'acqua accettata in entrata espressa in mg/L di sali disciolti totali (TDS) che vanno da 1500-2000 mg/L (bassa salinità), a 5000 mg/L

(acque salmastre), fino a 15.000 mg/L (acqua marina) e per la produzione che può variare da pochi metri cubi fino a oltre 1000 metri cubi al giorno.

Correzione del pH

Nell'irrigazione, e in particolare nella fertirrigazione, è sempre consigliabile ricorrere alla correzione del pH dell'acqua, soprattutto nel caso di acque con un valore della durezza superiore a 20-30 gradi francesi (cioè, 200-300 mg/L di carbonato di calcio; 1°F corrisponde a 10 mg/L). Questo intervento serve sia a ridurre le incrostazioni e i danni conseguenti agli impianti irrigui stessi, sia a mantenere il pH del substrato nei valori richiesti dalla normale attività fisiologica (accrescimento, assorbimento idrico e minerale) delle radici e per una adeguata disponibilità di nutrienti.

Il pH esprime la concentrazione di ioni idrogeno (protoni; H⁺) di una soluzione acquosa, più esattamente, il termine, che deriva dal francese *pouvoir hydrogène* (potere d'idrogeno), è definito come il logaritmo (in base 10) della concentrazione (in moli per litro) di ioni H⁺ cambiato di segno:

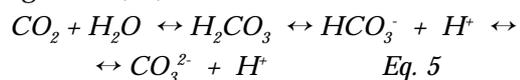
$$pH = -\log_{10} [H^+] \quad \text{Eq. 4}$$

Poiché gli ioni H⁺ si legano alle molecole d'acqua per formare ioni idronio (H₃O⁺), il pH è anche espresso in funzione della concentrazione di questi ioni.

Acidificazione

Nelle condizioni tipiche delle aree florovivaistiche italiane, le acque irrigue di origine sotterranea sono generalmente caratterizzate da un'elevata alcalinità, legata alla concentrazione (equivalente)¹ relativamente elevata (di sovrasaturazione) di ioni carbonato (CO₃²⁻) e soprattutto bicarbonato (HCO₃⁻), considerando che il primo ione è presente in concentrazioni significative solo per valori del pH superiori ad 8,0.

In effetti, a determinare il pH dell'acqua sono essenzialmente gli equilibri chimici tra anidride carbonica (CO₂), acido carbonico (H₂CO₃), ione bicarbonato (HCO₃⁻), ione carbonato (CO₃²⁻) e idrogenioni (H⁺):



¹ La concentrazione equivalente di uno ione in una soluzione si calcola dalla concentrazione molare diviso la sua valenza (1 per HCO₃⁻, 2 per CO₃²⁻).

La prima e la seconda dissociazione dell'acido carbonico sono caratterizzate dalle seguenti costanti di equilibrio:

$$K_1 = ([HCO_3^-] \cdot [H^+]) / [H_2CO_3] = 4,45 \cdot 10^{-7} \quad \text{Eq. 6}$$

quindi $pK1 = 6,35$

$$K_2 = ([CO_3^{2-}] \cdot [H^+]) / [HCO_3^-] = 4,7 \cdot 10^{-11} \quad \text{Eq. 7}$$

quindi $pK2 = 10,32$.

La costante della seconda dissociazione è decisamente bassa (in effetti, come detto, i carbonati sono presenti nelle acque solo per pH superiori ad 8,0-8,3) e, per semplificare i calcoli, possiamo prendere in considerazione solo la prima dissociazione; si tratta di una approssimazione del tutto accettabile nel range di pH delle acque di irrigazione. Possiamo così calcolare il pH come per una soluzione tampone:

$$pH = pK1 + \log ([HCO_3^-] / [H_2CO_3]) \quad \text{Eq. 8}$$

Le acque irrigue, come detto, sono molto ricche in bicarbonati e carbonati; ciò sposta gli equilibri dell'equazione 5 verso sinistra e determina la formazione di anidride carbonica, che tende a disperdersi nell'aria, con conseguente "sottrazione" di H^+ alla soluzione e aumento del pH. Questo spiega le variazioni di pH che spesso si riscontrano lasciando un campione di acqua per qualche tempo a contatto con l'aria e anche l'assenza di una stretta relazione tra l'alcalinità di un'acqua e il suo pH.

L'aggiunta di un acido all'acqua comporta la progressiva trasformazione di carbonati e bicarbonati in acido carbonico e quindi in anidride carbonica; la quantità di acido necessaria a raggiungere un determinato pH dipende, dunque, dalla concentrazione iniziale di carbonati e bicarbonati, ovvero dall'alcalinità. La reazione di acidificazione è la seguente:



Si può notare che il numero di equivalenti di acido, di bicarbonati "sottratti" alla soluzione e di acido carbonico formato sono uguali, quindi:

$$[HCO_3^-] = [HCO_3^-]_{iniziale} - [HA] \quad \text{Eq. 10}$$

$$[H_2CO_3] = [HA] \quad \text{Eq. 11}$$

Possiamo adesso riprendere l'Eq. 10; sostituendo in funzione delle Eq. 11 e 8 si ha:

$$pH = pK_1 + \log ([HCO_3^-]_{iniziale} - [HA]) / [HA] \quad \text{Eq. 12}$$

ricavando $[HA]$ si ottiene la concentrazione di

acido necessaria a ottenere il pH desiderato a partire dalla concentrazione di bicarbonati:

$$[HA] = [HCO_3^-] / (1 + 10^{pH - pK1}) \quad \text{Eq. 13}$$

Dall'Eq. 13 risulta che una concentrazione di acido (H^+) pari al 70% circa della concentrazione di bicarbonati nell'acqua determina un pH di 6,0.

In base alla concentrazione $[HA]$ calcolata con l'Eq. 13 e le caratteristiche (concentrazione, densità, peso equivalente; tab. 3) del prodotto da utilizzare, si calcola la quantità di acido secondo le unità di misura più usuali nella pratica di campo:

$$Q = [HA] \cdot PE / (10 \cdot D \cdot CA) \quad \text{Eq. 14}$$

dove Q è la quantità di acido (mL/L o L/m³) necessaria per raggiungere il pH desiderato, PE il peso equivalente dell'acido, D la densità (kg/L) dell'acido e CA la sua concentrazione (% p/p).

Gli acidi utilizzabili sono l'acido cloridrico, l'acido nitrico, l'acido fosforico (da considerare monoprotonico) e l'acido solforico, tutti da utilizzare con molta cautela (ricordarsi di aggiungere sempre l'acido all'acqua e mai fare il contrario). Il più usato è sicuramente l'acido nitrico, meno pericoloso dell'acido solforico e soprattutto con un ruolo importante di fertilizzante; il costo del suo impiego come acido è compensato dal risparmio sulle spese per i concimi azotati. In genere, si usano dosatori automatici che pompano una soluzione diluita di acido nell'acqua irrigua (vedi Capitolo 11). Gli acidi sono molto corrosivi per acciaio, cemento e alluminio, pertanto occorre assicurarsi che la soluzione acida passi solo attraverso tubazioni in polietilene e/o PVC, e che la pompa dosatrice sia resistente agli acidi. È consigliabile non superare la concentrazione del 5% nella soluzione madre e, visto che i prodotti commerciali a base di acido presentano normalmente una concentrazione ben più alta, è bene ricordarsi di aggiungere sempre l'acido all'acqua e mai fare il contrario.

Le caratteristiche degli acidi più utilizzati per l'acidificazione delle acque irrigue sono riportate nelle tabb. 3 e 4. Ricordiamo che per esprimere la densità degli acidi, oltre alla scala centesimale (densità relativa riferita all'acqua = 1,000), si impiega anche la scala Baumé (Bé). Esistono due scale di gradi Baumé, rispettivamente per liquidi più leggeri e più pesanti dell'acqua: per quelli più pesanti (più densi), come gli acidi, i gradi Bé crescono col crescere della densità del liquido.

Molti dispositivi di acidificazione realizzano l'aggiunta dell'acido in una vasca a contatto con l'aria e non all'interno di una tubazione, in modo da facilitare la formazione di acido carbonico, quindi

Tab. 3 - Titolo, densità e peso equivalente (PE) dei più comuni acidi utilizzati per l'acidificazione delle acque irrigue

ACIDO NITRICO (HNO ₃) PE = 63		ACIDO FOSFORICO (H ₃ PO ₄) PE = 98		ACIDO SOLFORICO (H ₂ SO ₄) PE = 49	
Titolo (% p/p)	Densità (kg/L: °Bè)	Titolo (% p/p)	Densità (kg/L)	Titolo (% p/p)	Densità (kg/L)
30,0	1,13 (22,1°Bè)	37,0	1,25	25,0	1,18
53,5	1,33 (36,0°Bè)	75,0	1,58	40,0	1,30
57,9	1,36 (38,0°Bè)	85,0	1,70	95,0	1,83
61,0	1,37 (39,3°Bè)				
62,5	1,38 (40,0°Bè)				
65,0	1,39 (40,7°Bè)				
67,0	1,40 (41,5°Bè)				
69,0	1,41 (42,0°Bè)				

Tab. 4 - Quantità di acido (mL/L) da aggiungere in funzione della quantità di bicarbonati presenti nell'acqua irrigua e il pH desiderato

Bicarbonato (mg/L)	pH	Acido nitrico	Acido fosforico	Acido solforico
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

di anidride carbonica che viene scambiata con l'atmosfera; questo consente una regolazione più accurata del pH finale.

La *fig. 1* riporta le variazioni di pH e EC di un'acqua in funzione dell'aggiunta di un acido (per semplicità sono stati riportati i soli valori

numerici del pH). Possiamo ricavarne due informazioni di grande interesse applicativo:

1. la curva del pH ha un flesso in corrispondenza di valori approssimativamente compresi tra pH 5 e pH 3, laddove si raggiunge l'equivalenza, cioè la totale trasformazione dei carbonati e

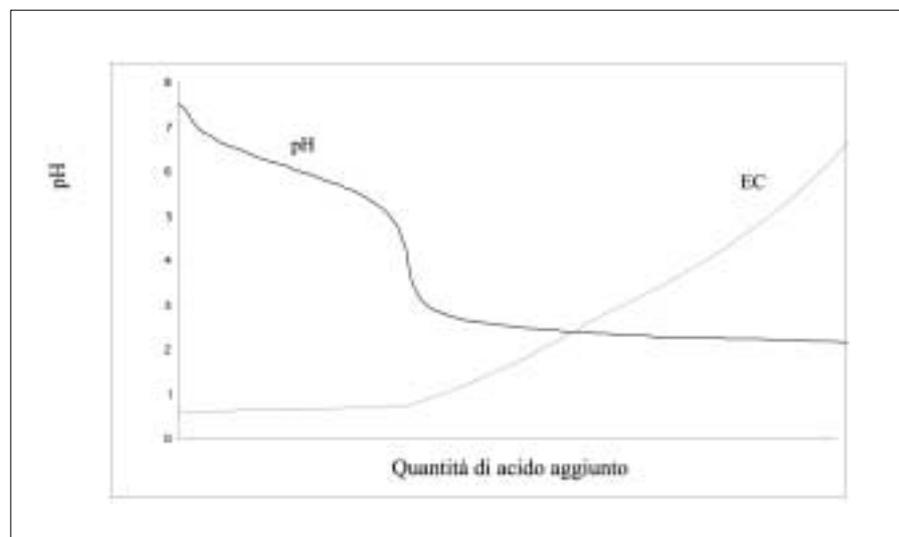


Fig. 1 - Variazione del pH e della EC di un'acqua all'aggiunta di un acido

bicarbonati in anidride carbonica. In questa fascia le variazioni diventano molto "brusche" e si può scendere facilmente a valori non tollerabili dalle piante. Questo è uno dei motivi che suggeriscono di utilizzare per le soluzioni nutritive valori di pH superiori a 5,0.

2. La EC non varia in modo sostanziale finché non si raggiunge l'equivalenza, perché a ogni idrogenione aggiunto con l'acido corrisponde una molecola di carbonati o bicarbonati che, trasformata in anidride carbonica, viene eliminata, mantenendo in questo modo inalterata la concentrazione complessiva di sali presenti nell'acqua. Questo significa che è possibile aggiungere parte dei nutrienti attraverso gli acidi senza incidere sulla EC finale della soluzione.

Aggiunta di bicarbonati

Nel caso di acque superficiali, piovane o sottoposte a trattamenti di desalinizzazione può rendersi necessaria l'aggiunta di piccole concentrazioni (circa 100-150 mg/L) di bicarbonato di sodio (NaHCO_3) o di potassio (KHCO_3), in modo da aumentare il potere tampone (cioè, la capacità di mantenere relativamente costante il pH) dell'acqua di irrigazione o di fertirrigazione, che è determinato dal sistema acido carbonico/bicarbonato. L'aggiunta di bicarbonato è un semplice accorgimento in grado di evitare gli improvvisi e marcati abbassamenti del pH (anche inferiore a 4,0) che potrebbero essere provocati da un dosaggio impreciso degli acidi e/o dall'acidificazione fisiologica delle radici (vedi Capitolo 18).

Bibliografia

1. MINUTO A., GARIBALDI A. (2001). *Riutilizzo di substrati esausti e tecniche di disinfezione delle soluzioni circolanti in colture senza suolo a ciclo chiuso*. Italus Hortus 8, 23-27
2. NAKAYAMA F.S., BUCKS D.A. (1991). *Water quality in drip/trickle irrigation: a review*. Irrigation Science 12, 187-192.
3. RUNIA W.TH. (1995). *A review of possibilities for disinfection of recirculating water from soilless cultures*. Acta Horticulturae 382, 221-228.
4. VAN OS E.A., STANGHELLINI C. (2001). *Diffusion and environmental aspects of soilless growing systems*. Italus Hortus 8, 9-15.