



Uso razionale delle risorse nel florovivaismo: l'acqua



• Quaderno ARSIA 5/2004



• Quaderno ARSIA 5/2004



ARSIA - Agenzia Regionale per lo Sviluppo
e l'Innovazione nel settore Agricolo-forestale
Via Pietrapiana, 30 - 50121 Firenze
tel. 055 27551 - fax 055 2755216/2755231
www.arsia.toscana.it
email: posta@arsia.toscana.it

Coordinamento della pubblicazione:
Claudio Carrai, ARSIA

Cura redazionale, grafica e impaginazione:
© LCD srl, Firenze

Stampa: Tipografia Il Bandino srl, Firenze

ISBN 88-8295-056-5
Fuori commercio, vietata la vendita
© Copyright 2004 ARSIA Regione Toscana



Uso razionale delle risorse nel florovivaismo: l'acqua

a cura di

Alberto Pardossi, Luca Incrocci, Paolo Marzialetti

Ringraziamenti

Un sincero ringraziamento deve essere innanzitutto rivolto agli Autori non coinvolti nel Progetto IDRI per il loro eccellente contributo al Quaderno ARSIA 5/2004:

dott. Marcello Bertolacci (Laboratorio Nazionale dell'Irrigazione, Università di Pisa), dott. Carlo Bibbiani (Università di Pisa), prof. Angelo Garibaldi (Università di Torino), dott. Andrea Minuto (Università di Torino), dott. Francesco Montesano (Università di Bari), dott. Sergio Mugnai (Università di Firenze), prof. Francesco Paolo Nicese (Università di Firenze), dott. Angelo Parente (CNR, Bari), dott. Alessandro Pozzi (MAC, Minoprio), dott. Pietro Santamaria (Università di Bari), d.ssa Silvia Scaramuzzi (Università di Firenze), dott. Massimo Valagussa (MAC, Minoprio).

Inoltre, i curatori del Quaderno ARSIA 5/2004 sono grati, per la pazienza e la competenza con cui hanno rivisto i vari capitoli, a tutti i referenti, in particolare quelli esterni al Progetto IDRI: prof. Giancarlo Barbieri (Università di Napoli), d.ssa Stefania De Pascale (Università di Napoli), dott. Pietro Santamaria (Università di Bari), prof. Giovanni Serra (Scuola Sant'Anna, Pisa) e prof. Franco Tognoni (Università di Pisa).

Si ringrazia, infine, l'ENEA e la Gizeta Technica per aver gentilmente concesso l'autorizzazione alla distribuzione del foglio elettronico SOL-NUTRI, sviluppato dal dott. Luca Incrocci del Dipartimento di Biologia delle Piante agrarie dell'Università di Pisa nell'ambito del progetto "IDRO-SUB. Sviluppo e promozione della tecnologia idroponica a ciclo chiuso per le colture protette nella zona litoranea Iblea".

Comitato editoriale

- Laura Bacci (CNR, Firenze)
- Giancarlo Barbieri (Università di Napoli)
- Carlo Bibbiani (Università di Pisa)
- Gianluca Brunori (Università di Pisa)
- Stefania De Pascale (Università di Napoli)
- Francesco Ferrini (Università di Milano)
- Stefano Landi (Demetra srl, Pescia)
- Rita Maggini (Università di Pisa)
- Carlo Pasini (Istituto Sperimentale per la Floricoltura, Sanremo)
- Pietro Santamaria (Università di Bari)
- Giovanni Serra (Scuola Sant'Anna, Pisa)
- Franco Tognoni (Università di Pisa)

Sommario

Presentazione	7
<i>Maria Grazia Mammuccini</i>	
Premessa	9
<i>Alberto Pardossi</i>	
1. Florovivaismo e risorse idriche: il progetto IDRI	11
<i>Alberto Pardossi, Paolo Marzioletti</i>	
2. Acqua e florovivaismo: l'innovazione tecnologica per l'adeguamento alle normative agroambientali	15
<i>Gianluca Brunori, Tiziana Bozzoli</i>	
3. Elementi di agrometeorologia	23
<i>Laura Bacci, Paolo Marzioletti</i>	
4. Elementi di ecofisiologia vegetale	35
<i>Sergio Mugnai</i>	
5. Le colture fuori suolo per le produzioni floricole di serra	49
<i>Fernando Malorgio</i>	
6. Le proprietà fisiche e idrauliche dei substrati di coltivazione	59
<i>Carlo Bibbiani, Alberto Pardossi</i>	
7. Le analisi chimico-fisiche dei substrati di coltivazione	71
<i>Alessandro Pozzi, Massimo Valagussa</i>	
8. L'acqua irrigua: campionamento, analisi chimico-fisiche e interpretazione dei risultati	79
<i>Stefano Landi, Paolo Baroncelli</i>	
9. Metodi rapidi per le analisi chimiche dell'acqua irrigua e del substrato di coltivazione	89
<i>Rita Maggini, Luca Incrocci</i>	
10. L'acqua irrigua: fonti di approvvigionamento e trattamenti di affinamento	95
<i>Paolo Marzioletti, Stefano Landi, Alberto Pardossi</i>	
11. Impianti per l'irrigazione e la fertirrigazione	107
<i>Luca Incrocci, Ernesto Riccò</i>	
12. Nozioni elementari e applicazioni pratiche di tecnica irrigua	125
<i>Marcello Bertolacci</i>	

13. Il pilotaggio dell'irrigazione nelle colture florovivaistiche <i>Laura Bacci, Elisabetta Checcacci</i>	147
14. Nutrizione minerale delle piante e fertilizzanti <i>Paolo Baroncelli, Stefano Landi</i>	157
15. I concimi a lento effetto per le colture vivaistiche <i>Francesco Paolo Nicese, Francesco Ferrini</i>	167
16. La fertirrigazione <i>Giulia Carmassi, Luca Incrocci, Fernando Malorgio</i>	175
17. La concimazione delle piante in contenitore <i>Alberto Pardossi, Paolo Marzialetti</i>	183
18. I sistemi chiusi per le produzioni florovivaistiche di serra <i>Alberto Pardossi, Luca Incrocci, Giulia Carmassi</i>	193
19. La subirrigazione in serra <i>Francesco Montesano, Angelo Parente, Pietro Santamaria</i>	203
20. L'impiego delle acque reflue nel vivaismo ornamentale <i>Francesco Ferrini, Francesco Paolo Nicese</i>	215
21. Disinfezione delle acque e delle soluzioni nutritive <i>Andrea Minuto, Angelo Garibaldi</i>	223
22. Costi e benefici dei sistemi di irrigazione a ciclo chiuso <i>Gianluca Brunori, Alberto Pardossi, Silvia Scaramuzzi</i>	233
23. La razionalizzazione dell'irrigazione e della fertilizzazione nel florovivaismo: una sintesi <i>Alberto Pardossi, Luca Incrocci, Paolo Marzialetti</i>	253
APPENDICI	
A. Buone Pratiche Agricole del Piano di Sviluppo Rurale della Regione Toscana <i>Gianluca Brunori</i>	255
B. Principi generali per le produzioni agricole integrate nella Regione Toscana	261
C. Manuale d'uso di 'CIMIS-ETE' <i>Laura Bacci, Elisabetta Checcacci</i>	265
D. Manuale d'uso di 'SUBIDRO' <i>Carlo Bibbiani</i>	267
E. Manuale d'uso di 'SOL-NUTRI' <i>Luca Incrocci</i>	269
Glossario	275
Unità di misura - Conversione ed equivalenze	283
Gli Autori	285

Presentazione

Questo Quaderno ARSIA conclude la collana di pubblicazioni monografiche che l'ARSIA ha dedicato alla razionalizzazione dell'uso delle risorse nel settore florovivaistico: l'energia, i fertilizzanti e, infine, l'acqua.

L'acqua è oggi una risorsa sempre più minacciata, sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo. L'impoverimento e l'inquinamento delle falde, la salinizzazione, l'eutrofizzazione, la subsidenza, sempre più diffusi, impongono l'adozione di misure appropriate, capaci di salvaguardare un bene così prezioso.

In questo Quaderno, grazie al contributo di numerosi e qualificati esperti, coordinati da Alberto Pardossi, Paolo Marzialetti e Luca Incrocci, sono state affrontate e approfondite tutte le tematiche legate agli impieghi della risorsa idrica in floricoltura e nel vivaismo ornamentale.

Molte delle esperienze qui pubblicate derivano direttamente dalle attività di ricerca svolte nell'ambito del progetto IDRI (*Razionalizzazione dell'impiego delle risorse idriche e dei fertilizzanti nel floro-*

vivaismo), promosso e finanziato dall'ARSIA e attuato dal Ce.Spe.Vi. di Pistoia con la partecipazione di quindici partner in rappresentanza del mondo scientifico e di quello imprenditoriale.

In questo senso il Quaderno ARSIA 5/2004 si pone, tra l'altro, come uno strumento riepilogativo di un importante percorso di ricerca, confronto e condivisione, che nell'arco di due anni ha portato ad individuare idee e strumenti innovativi utili ad affrontare il delicato problema della gestione aziendale dell'acqua.

Augurandoci che questa pubblicazione (alla quale è allegato un CD-rom con alcuni semplici fogli di calcolo utili per la gestione dell'irrigazione) possa rivelarsi valida per i tecnici, gli imprenditori florovivaisti e in generale per tutti gli operatori del settore, ringraziamo tutti coloro che, numerosi, hanno contribuito in vario modo alla sua realizzazione.

Maria Grazia Mammuccini
Amministratore ARSIA

Premessa

Uno dei principali prodotti del progetto IDRI, assegnato dall'ARSIA al Ce.Spe.Vi. di Pistoia nel 2002 (il progetto è brevemente presentato nel Capitolo 1) è costituito da questo Quaderno ARSIA 5/2004, terzo di una serie dedicata all'uso razionale delle risorse nel florovivaismo (già pubblicato nel 2003 quello sull'energia e a metà del 2004 quello sui fertilizzanti).

Il Quaderno affronta i principali aspetti tecnici e scientifici dell'irrigazione e della fertirrigazione delle colture florovivaistiche, con particolare riferimento a quelle in contenitore.

Alcuni capitoli affrontano tematiche di ampio respiro, mentre altri hanno un carattere più operativo, contenendo istruzioni, procedure, algoritmi e dati numerici utili per la gestione sul campo della distribuzione dell'acqua. Per la stretta relazione tra irrigazione e fertilizzazione, alcuni capitoli sono stati dedicati alla concimazione e più in particolare

alla fertirrigazione, a integrazione del Quaderno ARSIA 2/2004 *Uso razionale delle risorse nel florovivaismo: i fertilizzanti*, secondo di questa serie. Ampio spazio trova anche la trattazione sui substrati di coltivazione e sui cosiddetti sistemi di coltivazione chiusi o virtualmente chiusi.

Il Quaderno non può e non vuole costituire un manuale per la progettazione degli impianti irrigui delle aziende florovivaistiche; è stato, comunque, inserito un esame sintetico delle attrezzature e dei dispositivi per l'irrigazione e la fertirrigazione, così da fornire gli elementi conoscitivi necessari per una scelta oculata degli impianti da far installare nelle serre e nei vivai dai numerosi fornitori, italiani e stranieri, che da anni ormai operano nei vari comprensori vivaistici della Toscana e del resto d'Italia.

Tutti i capitoli sono stati rivisti, oltre che dai curatori dell'opera, da almeno un membro del Comitato editoriale, composto anche da studiosi

Un vivaio di piante ornamentali nella zona di Pistoia, il comprensorio vivaistico più importante d'Europa



non coinvolti nel Progetto IDRI.

Completano il Quaderno, in *Appendice*, le *Buone Pratiche Agricole* e il *Disciplinare di produzione integrata* per il settore vivaistico e floricolo recentemente emanati dalla Regione Toscana, una rassegna dei sistemi di controllo e gestione dell'irrigazione, e le istruzioni per l'uso di alcuni fogli di calcolo (CIMIS-ETE, SUBIDRO, SOL-NUTRI) contenuti nel CD allegato.

La preparazione di questo Quaderno ha visto la partecipazione entusiasta e soprattutto competente di esperti esterni al Progetto IDRI come autori di interessanti capitoli sull'ecofisiologia delle piante (Sergio Mugnai, Università di Firenze), sui substrati di coltivazione (Carlo Bibbiani, Università di Pisa; Alessandro Pozzi e Massimo Valagussa, MAC Minoprio), sui concimi a lento effetto (Francesco Paolo Nicese, Università di Firenze), sulla disinfezione delle acque (Angelo Garibaldi e Andrea Minuto, Università di Torino) e su alcuni aspetti tecnici (Marcello Bertolacci, Laboratorio Nazionale dell'Irrigazione di Pisa; Francesco Montesano e Pietro Santamaria, Università di Bari; Angelo Parente, CNR di Bari) o aspetti economici (Silvia Scaramuzzi, Università di Firenze) dell'irrigazione.

L'importanza e l'attualità dei temi illustrati da questo Quaderno è testimoniata anche dall'avvio di un progetto di ricerca, cofinanziato dal Ministe-

ro dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR), su "La gestione di sistemi fuori suolo a ciclo chiuso: adattamento, ottimizzazione e controllo in ambienti mediterranei su colture ortofloricole" (Progetti di ricerca d'interesse nazionale - PRIN 2003). Il progetto, dal quale potranno scaturire altri importanti risultati in materia di gestione dell'acqua nel florovivaismo, è coordinato dal Prof. Angelo Garibaldi e vede coinvolti anche l'Università di Pisa (Alberto Pardossi e Luca Incrocci), il CNR-IBIMET di Firenze (Laura Bacci, come partner associato del Dipartimento di Scienze Agronomiche e Gestione del Territorio Agroforestale dell'Università di Firenze) e l'Università di Bari (Pietro Santamaria).

Questo Quaderno ARSIA 5/2004 può costituire uno strumento utile, se non addirittura il testo di riferimento, per i corsi di aggiornamento professionale dedicati alla razionalizzazione dell'irrigazione e della fertilizzazione nelle colture florovivaistiche e, come si augurano tutti gli autori, anche un valido ausilio per i tecnici, i consulenti e i coltivatori che operano in questo particolare e importante settore agricolo.

Prof. Alberto Pardossi
Coordinatore Scientifico del Progetto IDRI

1. Florovivaismo e risorse idriche: il progetto IDRI

Alberto Pardossi, Paolo Marzialetti

Introduzione

Le piante ornamentali, coltivate in serra o all'aria aperta, sono contraddistinte da un rapido accrescimento e richiedono, perciò, un continuo rifornimento, oltre che di elementi nutritivi, di acqua. Nelle colture in pieno campo l'irrigazione è meno importante e spesso costituisce un intervento di soccorso, ma è essenziale nelle colture in vaso e in serra.

I volumi d'acqua distribuiti alle colture florovivaistiche sono non di rado superiori alle effettive necessità delle piante e questo *surplus* comporta uno spreco di acqua e un inquinamento dei corpi idrici, soprattutto superficiali, da parte dei fertilizzanti e dei fitofarmaci veicolati dalle acque di drenaggio. In generale, nel settore florovivaistico l'efficienza d'uso dell'acqua è spesso poco soddisfacente a causa dell'impiego di impianti irrigui obsoleti e/o mal dimensionati e gestiti.

Diversi fattori, comunque, spingono e spingeranno sempre di più i florovivaisti a razionalizzare l'impiego dell'acqua e con essa dei fertilizzanti. La disponibilità dell'acqua per usi irrigui, infatti, sta diminuendo rapidamente per due motivi principali: l'irregolarità delle precipitazioni atmosferiche, che ne rendono più difficile e inefficiente l'utilizzazione; la competizione per l'acqua con altri settori (ad esempio, quello turistico).

Inoltre, non devono essere dimenticati, da una parte, la crescente pressione da parte dell'opinione pubblica e delle amministrazioni locali e centrali sul mondo agricolo, ritenuto – talvolta a torto, talvolta a ragione – responsabile dell'inquinamento ambientale; dall'altra, lo sviluppo a livello comunitario di una politica ambientale, ispirata al principio del “*cost recovery*”, che vede nella tariffazione dei servizi idrici (*water pricing*) un mezzo per promuovere un uso sostenibile delle risorse idriche.

Pertanto, le aziende florovivaistiche si trovano o si troveranno presto a operare in uno scenario contraddistinto da una diminuzione e da un peggioramento delle risorse idriche per l'irrigazione, oltre che da un aumento del loro costo. L'impiego di tecnologie in grado di razionalizzare l'irrigazione e la fertilizzazione, quindi, sarà legato non tanto, o non solo, a una crescita della sensibilità “ambientalista” degli agricoltori, quanto a considerazioni prettamente tecnico-economiche.

Molte aziende italiane, quelle all'avanguardia, già impiegano tecniche e tecnologie in grado di aumentare l'efficienza dell'irrigazione e della concimazione. Il problema è il trasferimento di queste tecnologie nelle aziende più piccole e più deboli economicamente. In questo senso, assumono un ruolo fondamentale le attività di dimostrazione, divulgazione e formazione professionale.

Il progetto IDRI

Nel maggio del 2002 il Ce.Spe.Vi. (Centro Sperimentale per il Vivaismo) di Pistoia si è aggiudicato un bando istituito dall'ARSIA sulla “*Razionalizzazione dell'impiego delle risorse idriche e dei fertilizzanti nel florovivaismo*”, con un progetto di ricerca e sviluppo di durata biennale (Progetto IDRI). Il progetto, diretto dal dott. Paolo Marzialetti del Ce.Spe.Vi. con il coordinamento scientifico del prof. Alberto Pardossi del Dipartimento di Biologia delle Piante agrarie della Facoltà di Agraria di Pisa, vede il coinvolgimento (*tab. 1*) di diversi istituti di ricerca (due dipartimenti universitari della Facoltà di Agraria di Pisa e un altro della Facoltà di Agraria di Milano, oltre a un istituto del CNR di Firenze) e di alcuni partner imprenditoriali (singoli floricoltori, associazioni di categoria,



Il vivaio-pilota a ciclo chiuso realizzato nell'ambito del Progetto Idri presso il Ce.Spe.Vi. di Pistoia

società di consulenza e aziende produttrici di mezzi tecnici); completa la partnership un'organizzazione *no-profit* toscana impegnata nella tutela dell'ambiente.

Il progetto privilegia le attività di sviluppo e trasferimento, pur prevedendo alcune ricerche di una certa originalità. I settori produttivi di riferimento del progetto sono la produzione dei fiori recisi e delle piante ornamentali in vaso, in serra e in piena aria. Oggetto privilegiato dello studio è stato, comunque, il vivaismo ornamentale di piena aria, concentrato soprattutto a Pistoia. Del resto, il Ce.Spe.Vi. si è proposto come soggetto coordina-

tore proprio in considerazione dell'importanza del vivaismo pistoiese (considerando l'intera provincia, la PLV del vivaismo ornamentale è intorno a 200 milioni di Euro) e nell'ottica di potenziare le proprie attività di servizio e di supporto tecnico al settore, per il quale costituisce da tempo un sicuro punto di riferimento.

Il progetto è incentrato su un flusso bi-direzionale di informazioni tra istituti di ricerca e aziende del settore, rappresentate da aziende di coltivazione, singole o associate, e da società fornitrici di beni e servizi. Attraverso, cioè, una serie di indagini aziendali e sulla base di un attento studio delle

I partner del Progetto Idri

1. Ce.Spe.Vi., Pistoia	dott. Paolo Marzialetti
2. CNR IBIMET, Firenze	d.ssa Laura Bacci
3. Dip. di Biologia delle Piante Agrarie, Università di Pisa	prof. Alberto Pardossi
4. Dip. di Agronomia e Gestione dell'Ambiente Agroforestale, Università di Pisa	prof. Gianluca Brunori
5. Dip. di Produzioni Vegetali, Università di Milano	prof. Francesco Ferrini
6. Azienda Guastapaglia "L'Irrigazione", Pescia	sig. Ernesto Riccò
7. Demetra snc, Pescia	dott. Stefano Landi
8. Amici della Terra Toscana, Versilia	dott. A. Giudiceandrea
9. Azienda Cav. Antonio Evangelisti, Capezzano Pianore	sig. Luigi Evangelisti
10. Studio Bonora, Firenze	sig. P. Bonora
11. Consorzio Ortoflorovivaistico Valdarnese, Montevarchi	sig. Pierluigi Boschi
12. Florexpert Coop, Viareggio	sig. Renzo Navari
13. Toscoflora Coop, Pescia	d.ssa Maria Castellani
14. Confederazione Italiana Agricoltori, Pistoia	dott. Alessandro Morosi
15. Federazione Provinciale Coltivatori Diretti, Pistoia	dott. Michele Bellandi
16. Unione Provinciale Agricoltori, Pistoia	dott. Luca Pelagatti

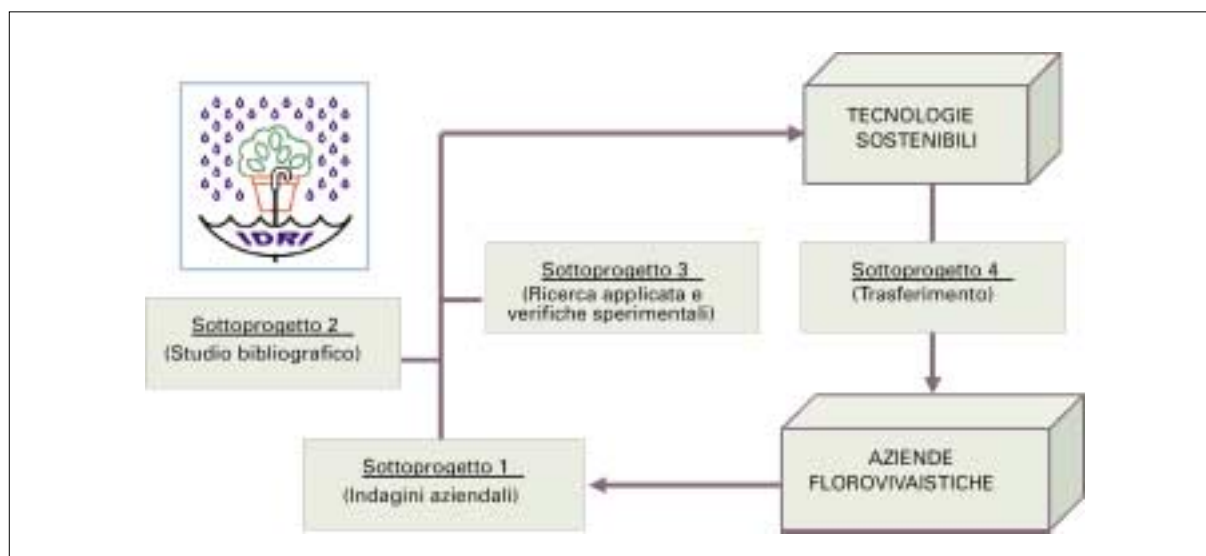


Fig. 1 - La struttura del Progetto Idri

informazioni scientifiche e tecnologiche disponibili e di alcune verifiche sperimentali, saranno raccolti i dati e le informazioni necessarie per lo sviluppo e il successivo trasferimento alle aziende del settore di tecniche di irrigazione e fertilizzazione con maggiori caratteristiche di ecocompatibilità.

Il progetto si è articolato in quattro sottoprogetti (fig. 1):

Sottoprogetto 1 - Analisi tecniche e socioeconomiche

Obiettivo: raccogliere, attraverso l'organizzazione di *focus group* e di una serie di sopralluoghi aziendali (con intervista strutturata ai conduttori o ai loro delegati), le informazioni relative alla disponibilità e alla qualità delle risorse idriche nelle diverse zone a vocazione florovivaistica; determinare il grado di variabilità dell'efficienza di uso dell'acqua (*Water use efficiency* o WUE) e dell'azoto (*Nitrogen use efficiency* o NUE) in una serie di aziende scelte come unità rappresentative in relazione al tipo di produzione florovivaistica, al livello tecnologico dei sistemi di coltivazione e alla zona geografica; identificare le aziende florovivaistiche all'avanguardia in termini di WUE e/o NUE e compatibilità ambientale; condurre studi economici (anche in simulazione) relativi al costo aziendale e sociale dell'acqua impiegata per le produzioni florovivaistiche.

Sottoprogetto 2 - Inventario delle conoscenze scientifiche e tecnologiche

Obiettivo: inventario (raccolta, analisi e sintesi)

delle conoscenze scientifiche e tecnologiche in materia d'irrigazione e fertilizzazione delle colture florovivaistiche in serra e in piena aria.

Sottoprogetto 3 - Prove sperimentali e studi di fattibilità

Obiettivo: conduzione di prove sperimentali su: impiego di sistemi di coltivazione a ciclo chiuso per la produzione in piena aria e in serra di piante ornamentali in contenitore; aspetti biologici e tecnologici relativi all'impiego di acque reflue nella produzione di arbusti ornamentali in contenitore; variazioni delle caratteristiche chimiche e idrodinamiche dei substrati durante la coltivazione in relazione ai materiali utilizzati per la preparazione dei miscugli e alla tecnica di fertirrigazione.

Studi di fattibilità su: sistemi integrati di gestione dell'irrigazione e della fertilizzazione delle colture in contenitore; requisiti tecnologici essenziali degli impianti a ciclo aperto e a ciclo chiuso destinati alla produzione di piante in vaso in serra o in piena aria; sistemi di monitoraggio rapido delle caratteristiche chimiche e fisiche dei substrati e delle soluzioni nutritive riciccolanti o di drenaggio.

Sottoprogetto 4 - Diffusione dei risultati

Obiettivo: realizzazione di un impianto pilota per la coltivazione a ciclo chiuso di specie legnose in contenitore; pubblicazione di documentazione tecnica; stesura di un manuale sull'irrigazione delle colture florovivaistiche (Quaderno ARSIA); ciclo di conferenze pubbliche; convegno nazionale (Pescia 2004).

2. Acqua e florovivaismo: l'innovazione tecnologica per l'adeguamento alle normative agroambientali

Gianluca Brunori, Tiziana Bozzoli

Introduzione

Il florovivaismo è senza dubbio uno dei settori che più faticano ad applicare normative agroambientali a causa degli elevati investimenti per unità di superficie, dell'elevata redditività dei prodotti, delle enormi richieste di input delle colture florovivaistiche e degli scarsi margini di manovra nella loro riduzione.

In particolare, con riferimento al problema dell'acqua e a quello associato dei fertilizzanti, la normativa agroambientale più "temuta" e controversa è la Direttiva comunitaria 91/676¹, conosciuta in maniera spesso confusa tra i florovivaisti e temuta anche a causa di un recepimento italiano lento, di una diffusa mancanza di chiarezza e di informazione sulle possibili conseguenze applicative. Sembra utile, quindi, provare a tracciare il quadro della situazione normativa toscana, sia riguardo al recepimento della Direttiva suddetta, sia riguardo agli strumenti di valorizzazione delle buone pratiche presenti nella nostra regione, per ciò che può riguardare i florovivaisti.

La 'Direttiva Nitrati'

La Direttiva comunitaria 91/676, meglio conosciuta come "Direttiva Nitrati", prevedeva che tutti gli Stati europei, allo scopo di proteggere le acque dall'inquinamento provocato da nitrati di origine agricola, seguissero un preciso iter di attuazione (*fig. 1*). Dopo la definizione di alcune "zone vulnerabili", in esse avrebbero dovuto essere attuati dei programmi d'azione contenenti misure per ridurre la dispersione di nutrienti e resi obbligatori i Codici di Buona Pratica Agricola (volontari nel resto del territorio dello Stato). Ogni quattro anni

le zone vulnerabili avrebbero dovuto essere ridefinite in base al monitoraggio sulle acque e sull'impatto dei programmi.

Come si determina se le acque sono inquinate da fonti agricole?

Il primo passo doveva essere quello di individuare quali fossero, sul territorio nazionale, le acque "inquinata da fonti agricole" e designare come "zone vulnerabili" tutte le zone che scaricano in tali acque.

Le *zone vulnerabili* sono, secondo la Direttiva, tutte le aree che *i*) scaricano in acque definite inquinate a causa delle attività agricole e *ii*) rendono necessario lo sviluppo di un piano d'azione contenente restrizioni nelle attività agricole.

Le *acque inquinate* sono le acque dolci superficiali o sotterranee con una concentrazione di nitrati superiore a 50 mg/L (poco più di 10 mg/L di N) o che possono raggiungere questa concentrazione in assenza di interventi specifici, e/o i laghi naturali di acque dolci o altre acque dolci, estuari, acque marine e costiere che siano eutrofiche (o che possano diventarlo se non si interviene)².

Le analisi per individuare le concentrazioni di nitrati vengono fatte in stazioni di campionamento ben definite dalla legge, che devono riguardare i corpi idrici superficiali (laghi, fiumi, acque di transizione, acque costiere...) e sotterranei più significativi e quelli che hanno rilevanza naturalistica, paesaggistica o che hanno un interesse ambientale per la loro utilizzazione³.

Nell'individuazione delle zone vulnerabili gli Stati devono tenere conto delle caratteristiche fisiche e ambientali delle acque e dei terreni, del comportamento dei composti azotati nell'ambiente e delle ripercussioni di eventuali interventi di tutela⁴. In poche parole, si dovrebbe in qualche modo

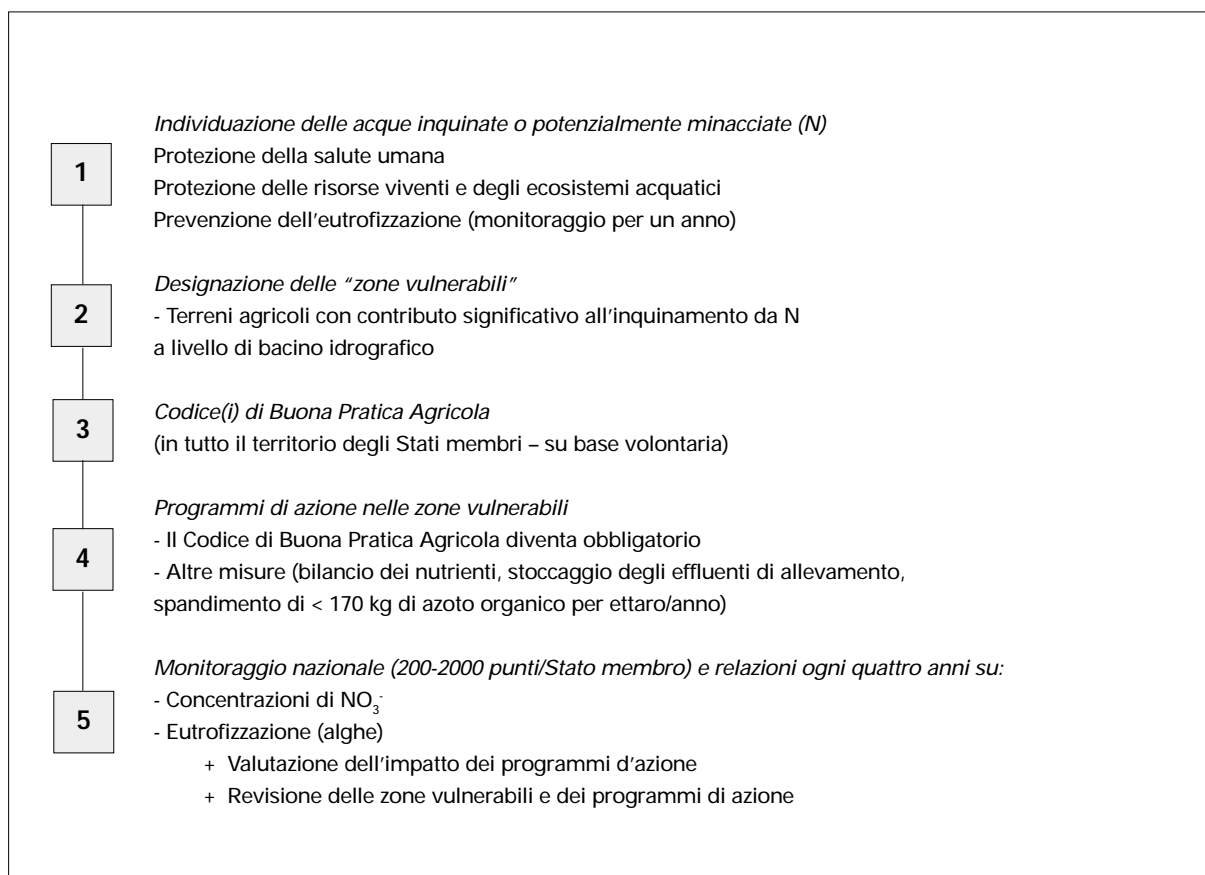


Fig. 1 - Iter previsto dalla "Direttiva Nitrati".

Fonte: Relazione della Commissione Europea sullo stato di attuazione della Direttiva Nitrati. Bruxelles, 2002

Tab. 1 - Alcune delle tipologie di misure che possono essere contenute nei programmi d'azione nelle zone vulnerabili

<i>Tipologia di produzione</i>	<i>Misure che possono essere contenute nei programmi d'azione</i>	<i>Dettagli</i>
Produzioni zootecniche	Capacità dei depositi per stoccare gli effluenti di allevamento	Capacità tale da consentire lo stoccaggio anche per tempi molto lunghi, nei quali potrebbe essere vietato lo spandimento su terreno (Periodi molto piovosi, terreni gelati...)
	Divieto di spandimento di reflui zootecnici in determinate condizioni Limite allo spandimento di reflui che, sommato all'apporto distribuito dagli animali stessi, non deve superare quantità corrispondenti a 170 kg di N per ettaro annuo	
Produzioni vegetali	Periodi in cui è proibita l'applicazione di determinati tipi di fertilizzanti	(Periodi molto piovosi, terreni gelati...)
	Limitazione dell'applicazione di fertilizzanti in base a condizioni climatiche, del suolo, della pendenza, dell'uso del terreno e delle rotazioni...	Principio da seguire: l'equilibrio tra apporti derivanti dalle concimazioni e asportazioni delle colture.

Fonte: Consiglio Europeo, Direttiva 91/676/CEE.

Tab. 2 - Alcune delle azioni per una buona pratica irrigua contenute nel Codice di Buona Pratica Agricola

• Una buona pratica irrigua deve mirare a contenere la percolazione e lo scorrimento superficiale delle acque e dei nitrati in esse contenuti e a conseguire valori elevati di efficienza distributiva dell'acqua. Per quanto riguarda il primo punto, il concetto-base è di fornire a ogni adacquatura volumi esattamente adeguati a riportare alla capacità idrica di campo lo strato di terreno maggiormente esplorato dalle radici della coltura [...].

• Ai fini della realizzazione di valori elevati di efficienza distributiva dell'acqua il metodo irriguo assume un ruolo determinante. I principali fattori agronomici che influenzano la scelta del metodo irriguo sono le carat-

teristiche fisiche, chimiche e orografiche del terreno, le esigenze o/e le caratteristiche delle colture da irrigare, la qualità e quantità di acqua disponibile e le caratteristiche dell'ambiente in cui si deve operare.[...]

• Nel caso si effettui una fertirrigazione, per prevenire fenomeni di inquinamento essa deve essere praticata con metodi irrigui che assicurano una elevata efficienza distributiva dell'acqua; il fertilizzante non deve essere immesso nell'acqua di irrigazione sin dall'inizio dell'adacquata, ma preferibilmente dopo aver somministrato circa il 20-25% del volume di adacquamento; la fertirrigazione dovrebbe completarsi quando è stato somministrato l'80-90% del volume di adacquamento.

Fonte: Codice di Buona Pratica Agricola - Decreto ministeriale, 19 aprile 1999.

individuare in queste aree la diretta connessione tra fonte di inquinamento agricolo (nitrati di origine agricola) e lo stato di inquinamento delle acque, e provare che un'azione sulle pratiche agricole ridurrebbe la concentrazione di nitrati, operazione piuttosto complessa, che ha comportato in Toscana numerosi ritardi.

Le prime designazioni di zone vulnerabili sono avvenute nel 2003⁵, ma la Regione è obbligata dall'Unione Europea a verificare ed eventualmente integrare l'elenco ogni quattro anni.

Cosa comporta ricadere nei confini di una zona dichiarata vulnerabile da nitrati di origine agricola?

Secondo la Direttiva, nelle zone vulnerabili, entro due anni dalla loro designazione ufficiale, devono essere attuati dei *Programmi d'Azione* comprendenti misure di limitazione per gli agricoltori e devono essere applicate le prescrizioni contenute nel cosiddetto *Codice di Buona Pratica Agricola* che diventa obbligatorio in queste aree.

Che cosa può contenere un Programma d'Azione?

In Toscana, a tutt'oggi, non sono ancora stati realizzati i Programmi d'Azione per le zone finora dichiarate vulnerabili; probabilmente essi saranno differenziati a seconda dell'attività fonte di nitrati e a seconda delle caratteristiche dell'area interessata.

La Direttiva fornisce solo alcune linee guida, sulla base delle quali "costruire" i programmi, che possono contenere divieti di applicazione dei ferti-

lizzanti, obblighi relativi alle modalità di stoccaggio degli effluenti di allevamento e della fertilizzazione (*tab. 1*).

Cos'è il Codice di Buona Pratica Agricola?

La Direttiva Nitrati ha obbligato gli Stati membri a dotarsi di un Codice di Buona Pratica Agricola applicabile a discrezione degli agricoltori, che avrebbe dovuto costituire la base per codici regionali e per i cosiddetti Programmi d'Azione nelle zone vulnerabili.

In Italia il Codice è stato approvato con Decreto Ministeriale il 19 aprile 1999. In esso sono contenuti, oltre ad alcune considerazioni inerenti le tipologie di fertilizzanti e le modalità di traslocazione dell'azoto, i principi per predisporre bilanci tra apporti minerali e asportazioni delle colture, una descrizione dei periodi meno opportuni per l'applicazione di fertilizzanti al terreno, le condizioni di applicazione di fertilizzanti a terreni in pendenza o gelati o adiacenti a corsi d'acqua. Il Codice descrive poi le buone pratiche per quanto riguarda gli avvicendamenti, le lavorazioni, le sistemazioni idrauliche. La seconda parte è dedicata all'attività zootecnica, con particolare riguardo alla gestione degli effluenti (modalità di stoccaggio, tempi di spandimento, modalità di trattamento...). Nella *tab. 2* sono riportate alcune delle "Azioni" contenute nel Codice per una buona pratica irrigua.

Al Codice nazionale non sono, in realtà, seguiti dei veri e propri codici regionali. Piuttosto, poiché nel 1999 il Regolamento comunitario 1257/99 lo ha posto come riferimento per chi aderiva alle

misure agroambientali (“...gli impegni agroambientali oltrepassano l’applicazione delle normali Buone Pratiche Agricole...”), in occasione della redazione del Piano di Sviluppo Rurale 2000-2006 in Toscana, così come in altre regioni, si è provveduto a stendere le Normali Buone Pratiche Agricole (in *Appendice*) ispirate al codice nazionale. In pratica si tratta di schede suddivise per tipologia di attività (tra cui floricoltura e vivaismo) volte soprattutto alla riduzione degli input chimici; i principali aspetti toccati sono la distribuzione di diserbanti e la lotta fitosanitaria.

Le aree di salvaguardia delle risorse idriche e la tutela quantitativa

Nel Decreto Legislativo 152/99 di recepimento della Direttiva Nitrati, emergono ulteriori aspetti: la designazione di aree di salvaguardia della risorsa idrica intorno ai punti di captazione o derivazione per consumo umano, all’interno delle quali può essere regolato lo spandimento di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi, allo scopo di salvaguardarli. Se gli aspetti qualitativi sono il cardine della Direttiva Nitrati, non mancano i riferimenti agli aspetti quantitativi, ricorrenti anche nella Direttiva comunitaria n. 60/2000 (*Quadro per l’azione comunitaria in materia di acque*)⁶, la quale oltre a ribadire i concetti della Direttiva Nitrati, (protezione delle acque attraverso l’approccio integrato basato su limiti alle emissioni e obiettivi di qualità dell’acqua) si pone l’obiettivo dell’analisi economica degli usi dell’acqua, che presuppone forzatamente la conoscenza dei consumi nei diversi comparti, tra cui quello agricolo. Peraltro già nel Decreto legislativo 152/99, è previsto l’uso di contatori per misurare e denunciare la quantità di acqua prelevata per uso agricolo. “Le regioni, sentite le autorità di bacino, approvano specifiche norme sul risparmio idrico in agricoltura, basato sulla pianificazione degli usi, sulla corretta individuazione dei fabbisogni nel settore, e sui controlli degli effettivi emungimenti” (art. 25, comma 5). A questo proposito, una delle direttive che la Regione Toscana ha dato alle provincie nell’ambito del Piano di tutela delle acque, è quella di non rilasciare nuove concessioni di emungimento se non accompagnate da strumenti di misurazione.

Il Disciplinare di produzione integrata della Regione Toscana

Un altro importante strumento per l’attuazione di buone pratiche nel florovivaismo toscano è il

Disciplinare di produzione integrata dell’ARSIA⁷. Si tratta di norme che regolano l’utilizzo di input chimici e che razionalizzano la fertilizzazione e l’irrigazione. Le aziende che, aderendo al disciplinare, praticano questo metodo di produzione, hanno la possibilità di accedere ai finanziamenti per le misure agroambientali (misura 6.2) del Piano di Sviluppo Rurale e di ottenere il marchio Agriqualità⁸ dell’agricoltura integrata toscana (identificato con il logo della farfallina) e compensare così i mancati redditi o le maggiori spese derivanti da una produzione a minor impatto ambientale. Le schede aggiornate coltura per coltura, contenenti sia le informazioni per la coltivazione, sia quelle per la difesa, sono reperibili sul sito internet ARSIA: <http://www.arsia.toscana.it/agroambiente/info>.

Le opportunità offerte dal Regolamento (CE) n. 1783/2003

Il Regolamento (CE) n. 1783/2003⁹ prevede, all’articolo 21 *ter*, un sostegno temporaneo agli agricoltori finalizzato alla copertura parziale dei costi sostenuti e delle perdite di reddito avute per l’adeguamento alle norme minime in materia di ambiente, sicurezza alimentare e benessere degli animali, recentemente recepite nella legislazione nazionale.

Nel caso delle aziende che ricadono in zone designate come *vulnerabili da nitrati di origine agricola*, le spese sostenute da un florovivaista per l’adeguamento alla normativa (ad esempio, per l’adeguamento degli impianti...) potrebbero quindi essere parzialmente coperte grazie a finanziamenti erogati nell’ambito del Piano di Sviluppo Rurale.

Il processo decisionale nell’implementazione delle normative ambientali

L’applicazione della Direttiva Nitrati, a lungo disattesa sul territorio toscano e non solo, richiederà un cambiamento nelle abitudini degli agricoltori che, nel caso del florovivaismo, s’identificherà nel recupero delle acque di drenaggio, nell’adozione di sistemi chiusi o virtualmente chiusi, almeno nelle zone dove i nitrati rappresentano una minaccia per la qualità delle risorse idriche. Di fronte alla prospettiva del cambiamento, in alcuni casi gli agricoltori percepiscono dei vincoli che ostacolano le loro scelte fintanto che non sono rimossi; in altri casi il cambiamento viene percepito come un’opportunità da cogliere.

La convinzione che non esista un’unica solu-

zione possibile ai problemi e che sia importante di volta in volta analizzare l'impatto delle scelte politiche non solo a livello aggregato ma anche nelle singole specificità locali, ha portato al ricorso sempre più frequente ad approcci alternativi, metodologie definite *partecipative*, che pongono attenzione all'analisi dei bisogni, alla definizione partecipata degli obiettivi e degli strumenti e che si basano sulla partecipazione degli agricoltori alle dinamiche che li riguardano. Queste metodologie, nate per consentire alle comunità locali di acquisire una capacità di autoprogrammare gli interventi e di attuarli, divenendo partecipi del proprio sviluppo, possono essere utilizzate, oltre che nella definizione delle politiche, anche nel campo della ricerca agricola e rurale. Qui, partendo dalla condivisione della conoscenza degli agricoltori, dalle loro pratiche e dalle loro capacità propositive, i ricercatori facilitano l'individuazione delle soluzioni migliori per i loro fabbisogni.

Nel caso del florovivaismo e dell'adozione di tecnologie in grado di ridurre l'impatto sulla risorsa acqua, le metodologie partecipative ci permettono di indagare su quali siano realmente i bisogni degli imprenditori al riguardo, perché alcuni rinunciano ad adottare le innovazioni, quali sono gli elementi che influenzano il loro processo decisionale e quali possono essere i vincoli da rimuovere per aiutarli a individuare e adottare le soluzioni migliori per le loro aziende e per l'ambiente.

Un florovivaista che inizia a pensare di adottare un sistema di irrigazione che gli consenta di razionalizzare l'uso dell'acqua e dei fertilizzanti (ad esempio, un ciclo chiuso, un sistema senza

runoff, la valutazione dei fabbisogni con sistemi esperti ecc.) si dirige verso un cambiamento delle proprie tecnologie produttive che comporterà un nuovo modo di lavorare. Le *routine* di ogni giorno subiscono, cioè, una variazione, fino all'acquisizione da parte dell'agricoltore di nuove *routine*. Affinché l'agricoltore decida di cambiare la propria routine è però necessario che un qualche *evento* o un qualche *problema* faccia crescere in lui la motivazione necessaria alle azioni che lo condurranno al cambiamento.

Ad esempio, nel caso di un florovivaista che adotta un'innovazione in grado di fargli risparmiare l'acqua o i fertilizzanti utilizzati, la motivazione che lo spinge ad agire nel senso del cambiamento e a superare routines consolidate, può essere l'insorgere di un problema di reperimento di risorse idriche, l'emanazione di una norma ambientale, l'aumento dei costi collegati al prelievo dell'acqua ecc.

Solo quando l'imprenditore incorrerà in un *problema* o in un *evento* che modifica la sua prospettiva, quando capirà le cause del suo problema e individuerà le possibilità per superarlo, solo allora si adopererà anche per *mobilizzare* le proprie risorse nel senso del cambiamento.

I fattori che possono mettere in moto il meccanismo che porta l'agricoltore a scegliere il cambiamento, possono provenire da aspetti interni all'azienda così come dalla realtà esterna in cui l'azienda è inserita.

Tra gli aspetti interni troviamo sicuramente le risorse: nel caso del florovivaismo la scarsità della risorsa idrica, il peggioramento della sua qualità o l'aumento dei costi di approvvigionamento idrico

La pagina del sito internet dell'ARSIA dedicata alle produzioni integrate nel florovivaismo



sono possibili cause di un *problema*, che può convincere gli imprenditori della necessità di razionalizzare l'uso dell'acqua.

Tra gli aspetti esterni compaiono il reticolo sociale di cui l'agricoltore fa parte, le alleanze che questo può formare con soggetti non appartenenti al mondo dell'agricoltura e la rappresentazione esterna dell'azienda.

Il reticolo sociale

Poiché l'agricoltore è, oltre che produttore, anche soggetto economico-sociale, inserito in un contesto di relazioni complesse, la sua propensione al cambiamento è condizionata non solo dalle convenienze economiche della sua azienda, ma anche dalle caratteristiche e dagli interessi economici e sociali della sua famiglia, dalle aspettative di prestigio sociale, dalle norme e dai valori dei gruppi sociali di riferimento (Cavazzani, 1994).

I reticoli possono essere un elemento su cui far leva per affrontare il cambiamento e aumentare la capacità di risposta alle sfide che provengono dall'esterno: essi sono infatti il "filtro" attraverso il quale gli agricoltori percepiscono la realtà. Il messaggio della necessità di risparmiare acqua e dell'esistenza di un problema idrico può circolare, ad esempio, molto più velocemente attraverso il canale privilegiato dei reticoli sociali (i rapporti con gli agricoltori colleghi, anche stranieri, considerando i frequenti rapporti che i florovivaisti italiani e in particolare quelli toscani hanno con l'estero) piuttosto che attraverso incentivi economici o norme cogenti.

Le alleanze

Creare delle *alleanze* significa costruire collegamenti fra attori e realtà che "naturalmente" o "tradizionalmente" non presentano convergenze. Ciò a sua volta implica la capacità di aprire il mondo della produzione agricola ad altri mondi, così da poter accogliere attori estranei alla realtà agricola della produzione e conseguentemente estendere il reticolo di relazioni al di fuori dell'azienda (Medeot, 2004).

Le alleanze possono servire a superare vincoli burocratici, a ottenere agevolazioni, accordi, ma anche a cambiare in meglio la rappresentazione esterna dell'azienda. Ad esempio, si possono formare alleanze con associazioni ambientaliste, con imprenditori di altri settori con i quali formare delle sinergie (ad esempio, di settori a monte o a valle della catena produttiva, di settori industriali...) per abbattere vincoli difficili da superare in forma singola: la burocrazia, i vincoli istituzionali, ma anche i vincoli dati dalla carenza di risorse¹⁰.

La rappresentazione esterna dell'azienda

L'ultimo elemento che gioca un ruolo nel processo verso l'innovazione può essere visto nella rappresentazione "pubblica" dell'azienda. L'adozione di un'innovazione "sostenibile" può rafforzare, ad esempio, la sua rappresentazione esterna, permettendole di ristabilire relazioni positive con i cittadini, con le istituzioni e con i consumatori.

Un'azienda florovivaistica che adotta, ad esempio, un sistema di irrigazione a ciclo chiuso azzerando il drenaggio di effluenti nell'ambiente, ha la possibilità di rafforzare la sua immagine, facendo forza anche su alcune alleanze e al tempo stesso ha la possibilità di crearne di nuove: i clienti possono essere favorevolmente colpiti da una scelta ambientale dell'azienda e possono preferire i suoi prodotti. Contemporaneamente, una buona rappresentazione esterna dell'azienda aumenta le possibilità per questa di ottenere alleanze in grado di far cambiare le regole alle istituzioni o di sfruttare al meglio le opportunità da queste offerte. Inoltre, una volta che l'imprenditore ha rafforzato la propria immagine beneficiando dei vantaggi derivati dal rispetto di certi standard ambientali, il suo comportamento sarà sempre guidato da una "responsabilità" che egli ha assunto nei confronti della collettività.

Il possibile ruolo dell'assistenza

Il modello proposto può essere utile all'assistenza tecnica per collocare i vari elementi che hanno influenza sul processo decisionale dell'agricoltore e per saper facilitare questo processo.

Si tratta di un approccio olistico, che assista l'agricoltore non solo dal punto di vista delle conoscenze, ma faciliti l'intero processo, curando la formazione delle alleanze, il rafforzamento dei reticoli sociali, la gestione della rappresentazione pubblica, favorendo la giusta percezione dei comportamenti ambientalmente corretti all'esterno (ad esempio, informazione, momenti di sensibilizzazione della collettività, ma anche influenza del mercato attraverso pubblicità mirate).

Sarà tanto più facile per i tecnici svolgere il loro ruolo se questi conosceranno le regole del sistema sociale in cui la loro azione si andrà a inserire; il loro compito non sarà quindi quello di proporre soluzioni preconfezionate, ma di interagire in un processo dinamico con gli agricoltori, di comprendere i fattori che interessano più o meno il processo decisionale e di agevolare la rimozione di eventuali ostacoli facendo leva sugli altri fattori presenti.

Note

¹ Direttiva 91/676/CEE del Consiglio, del 12 dicembre 1991, relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato da nitrati provenienti da fonti agricole. Gazzetta Ufficiale n. L375 del 31 dicembre 1991.

² I criteri per la definizione delle acque inquinate sono contenuti nell'allegato I della Direttiva 91/676/CEE.

³ Allegato I al D.lgs. 152/99 dell'11 maggio 1999 di recepimento della Direttiva 91/676/CEE. Pubblicato sul supplemento ordinario n. 101/L alla Gazzetta Ufficiale n. 124 del 29 maggio 1999.

⁴ Allegato 7, parte AII, al D.lgs. 152/99 dell'11 maggio 1999.

⁵ Le zone dichiarate finora "zone vulnerabili" sono il bacino che confluisce nel Lago di Massaciucoli e la zona costiera tra Rosignano Marittimo e Castagneto Carducci. Inoltre sono in corso approfondimenti da parte dell'ARPAT per individuare il bacino del canale maestro della Chiana come zona vulnerabile da nitrati.

⁶ Direttiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 ottobre 2000, Gazzetta Ufficiale n. 327/L del 22 dicembre 2000.

⁷ Approvato con Deliberazione della Giunta Regionale Toscana n. 221 del 12 marzo 2001.

⁸ In Toscana un'apposita legge regionale (L.R. 25/99) per la valorizzazione delle produzioni agricole ha infatti istituito, per le aziende che aderiscono ai disciplinari ARSIA di agricoltura integrata, un marchio identificativo.

⁹ Reg. (CE) n. 1783/2003 del Consiglio del 29 settembre 2003, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 270/L del 21 ottobre 2003.

¹⁰ Durante le indagini aziendali effettuate a Pistoia nell'ambito del progetto IDRI, ad esempio, è stato spesso indicato il vincolo di impermeabilizzazione dei terreni, derivante dal regolamento sul dissesto idrogeologico, come ostacolo all'introduzione di sistemi di recupero delle acque nelle aziende florovivaistiche. In questo caso le alleanze tra produttori e associazioni ambientaliste possono essere preziose per riuscire a cambiare i regolamenti prevedendo l'alternativa del recupero delle acque. Un altro esempio può essere dato dalla sinergia tra interessi agricoli e interessi industriali per la costruzione di un acquedotto agroindustriale che sia in grado di rifornire i produttori di Viareggio – dove le infiltrazioni di acqua salina dal mare hanno ormai contaminato in maniera preoccupante le falde cui attingono gli agricoltori – di acqua irrigua di buona qualità.

Bibliografia

1. ARSIA. *Schede colturali del disciplinare ARSIA per la produzione integrata in Toscana*. http://www.arsia.toscana.it/agroambiente/Schede_psr/Schedesviluppo.htm.
2. BOZZOLI T., BRUNORI G., ROVAI M. (2003). *Il progetto IDRI: "Razionalizzazione dell'impiego delle risorse idriche e dei fertilizzanti nel florovivaismo" - Un caso di applicazione delle metodologie partecipative nello studio dell'introduzione delle innovazioni nel florovivaismo toscano*. Genio Rurale - Estimo e Territorio 12, 38-47.
3. BRUNORI G., GALLI M., ROSSI A. (2002). *Politiche "forti" e politiche "deboli": il ruolo dei fattori istituzionali nell'analisi dell'implementazione delle politiche agro-ambientali*. Rivista di Economia Agraria n. 3.
4. CAVAZZANI A. (1994). *Ruolo della divulgazione agricola e problemi di analisi del mutamento in agricoltura*. Serie Quaderni di documentazione n. 1, INEA. Osservatorio di Economia Agraria per la Calabria.
5. CERNEA M.M. (1985). *Putting People First: Sociological Variables in Rural Development*. Oxford University Press.
6. CHAMBERS R.A. ET AL. (1989). *Farmer First: Farmer Innovation and Agricultural Research*. ITDG, London.
7. CONSIGLIO EUROPEO. *Direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole*. G.U. n. 375/L del 31 dicembre 1991.
8. CONSIGLIO EUROPEO. *Regolamento (CE) n. 1783/2003 del 29 settembre 2003*. G.U. n. 270/L del 21 ottobre 2003.
9. MEDEOT S. (2004). *Il sistema circolatorio dei fatti: un approccio teorico per l'analisi dei processi innovativi e di cambiamento in agricoltura*. Dipartimento di Agronomia e Gestione dell'Agroecosistema, Sez. Economia Agraria, Università di Pisa.
10. MINISTERO PER LE POLITICHE AGRICOLE. *Decreto Ministeriale del 19 aprile 1999 recante "Approvazione del codice di buona pratica agricola"*. G.U. n. 102 S.O. n. 86 del 4 maggio 1999.
11. PARLAMENTO EUROPEO E CONSIGLIO. *Direttiva 2000/60/CE del 23 ottobre 2000 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque*. G.U. n. 327/L del 22 dicembre 2000.
12. PRETTY (1994). *Alternative systems of inquiry for sustainable agriculture*. IDS Bulletin 25 (2), 39-48.
13. REGIONE TOSCANA. *Principi di buona pratica agricola per le colture floricole*. <http://www.rete.toscana.it/sett/agric/srurale/psr/6.htm>
14. REGIONE TOSCANA. *Principi di buona pratica agricola per le colture vivaistiche*. <http://www.rete.toscana.it/sett/agric/srurale/psr/7.htm>
15. REGIONE TOSCANA. *Principi generali di buona pratica agricola ai sensi del Piano di Sviluppo Rurale toscano*. http://www.rete.toscana.it/sett/agric/srurale/psr/allegato_1.htm
16. SCLAVI M. (2000). *Arte di ascoltare i mondi possibili*. Milano, Le Vespe.

3. Elementi di agrometeorologia

Laura Bacci, Paolo Marzialetti

Introduzione

La conoscenza dei fabbisogni idrici delle piante è il presupposto principale di un'irrigazione efficiente e in considerazione della stretta relazione tra traspirazione fogliare, evapotraspirazione della coltura e fattori climatici, un capitolo dedicato all'agrometeorologia è propedeutico per qualsiasi testo dedicato alla razionalizzazione della distribuzione dell'acqua nelle aziende florovivaistiche.

Di seguito sono sinteticamente illustrati i parametri meteorologici che più influenzano le esigenze idriche delle piante e la strumentazione necessaria per misurarli, registrarli ed eventualmente utilizzarli nel pilotaggio dell'irrigazione.

Il clima

Il clima di una località è l'insieme delle condizioni atmosferiche che lo caratterizzano durante l'anno. Il clima è, quindi, definito dalla distribuzione nel tempo e nello spazio di pressione, radiazione, temperatura dell'aria e del terreno, precipitazioni, umidità dell'aria e del terreno, velocità e direzione del vento, evaporazione e evapotraspirazione. La conoscenza del clima di una località permette d'adattare le diverse attività agricole alle caratteristiche ambientali e alle condizioni che si possono realmente presentare. A tal fine, accanto a un'analisi climatica generale, è necessario stabilire quali sono i parametri più rilevanti per una certa attività e quali soglie devono essere prese in considerazione. Ad esempio, se si desidera trapiantare delle giovani piante in vivaio sarà necessario conoscere le probabilità di pioggia, la temperatura dell'aria e possibilmente l'intensità del vento. Questo ci consentirà non soltanto di evitare situazioni

spiacevoli, come interrompere a metà il lavoro per la pioggia, ma di definire meglio le cure colturali post-trapianto e – perché no? – anche di scegliere il tipo di abbigliamento più adatto.

La circolazione generale dell'atmosfera

La posizione relativa del Sole e della Terra determina, nel corso dell'anno, una distribuzione variabile della radiazione solare sulla superficie del pianeta e questo mette in moto i processi della circolazione generale dell'atmosfera. Il sistema 'terra-atmosfera' funziona come un'enorme macchina termica: vi è una sorgente d'energia rappresentata dalla fascia tropicale dove l'energia che giunge dal Sole nell'intero ciclo annuo è eccedentaria rispetto a quella riflessa ed emessa dalla Terra; vi è poi una zona, corrispondente alle medie e alte latitudini, verso la quale tale energia è trasportata, essendo il bilancio tra quella ricevuta e quella emessa e riflessa deficitario durante l'anno.

Questo meccanismo attiva il moto dell'atmosfera e degli oceani, dando luogo alla circolazione generale dell'atmosfera e alle grandi correnti oceaniche. Lo schema di tale circolazione, a grandi linee, consiste nell'ascesa dell'aria calda e umida nella fascia equatoriale, con condensazione dell'umidità in quota, formazione delle nubi e conseguenti precipitazioni. L'aria, privata dell'umidità dalle precipitazioni, tende successivamente a scendere sui tropici creando un'alta pressione e innescando una circolazione da nord-est (sud-est nell'emisfero sud) verso l'Equatore e una circolazione da sud ovest verso le zone temperate.

Il comportamento delle principali masse d'aria è condizionato dalla posizione relativa dei centri di alta e bassa pressione in estate e in inverno, legata a questo meccanismo che è quindi alla base del flusso dei venti nelle diverse stagioni.

I venti

A controbilanciare la fascia dei venti provenienti da nord-est, che prendono il nome di alisei, alle latitudini delle zone temperate si formano i venti da ovest. In pratica ciò significa, a grandi linee, che nella fascia compresa fra 35° e 55° di latitudine i fenomeni del tempo atmosferico sono prevalentemente da addebitarsi alle correnti provenienti da ovest e quindi, nel caso dell'Italia, da masse d'aria che provengono dal nord del Canada e dalla Groenlandia.

Lo schema descritto spiega la *zonalità* della distribuzione dei climi, cioè la loro disposizione per fasce che seguono la variazione latitudinale e che sono caratterizzate dalla stessa insolazione in uno stesso periodo dell'anno.

Quando, però, dall'analisi del sistema globale si passa a una visione più particolare si deve introdurre il concetto di clima azonale. Questo, infatti, è la risultante dell'interazione del clima zonale con le caratteristiche delle superfici interessate, terre o mari, montagne o pianure, discontinuità delle coste. Tale aspetto è di grande importanza, in quanto spiega perché alla stessa latitudine si possono trovare climi anche molto diversi.

Le masse d'aria

La distribuzione delle masse d'aria e il loro spostamento, in relazione ai meccanismi della circolazione generale descritti, sono responsabili dei fenomeni del tempo e quindi, in ultima analisi, dell'andamento climatico annuale e della distribuzione dei diversi climi. Infatti, le masse d'aria fredde di origine artica o polare, ricche o meno di umidità in ragione del loro passaggio sugli oceani, incontrando le masse d'aria calde di provenienza tropicale danno luogo alla formazione dei fronti ai quali sono associati i fenomeni del tempo quali le perturbazioni. Le masse d'aria assumono le caratteristiche delle aree geografiche in cui si generano e, pertanto, possono essere suddivise in quattro tipi: artiche, temperate, tropicali ed equatoriali.

Le classificazioni climatiche

Numerosi sono stati, a partire dalla fine dell'Ottocento, i metodi adottati per classificare i tipi di clima e la loro distribuzione a livello mondiale. Tali classificazioni si riferiscono ad aree molto ampie e corrispondono agli effetti sul territorio della circolazione generale. I parametri ritenuti più importanti per la caratterizzazione climatica sono l'andamento delle temperature e quello delle precipitazioni a scala mensile, che graficamente permettono di identificare aree con comportamenti simili.

Tali classificazioni servono naturalmente per un inquadramento generale dell'area osservata, ma il loro uso pratico è limitato dalle scale spazio-temporali di riferimento. Per una semplice caratterizzazione in termini numerici o grafici delle varie aree climatiche è sufficiente utilizzare i riepiloghi annui dei principali parametri meteorologici di alcune località comprese al loro interno. Per un'utilizzazione applicativa delle classificazioni è, invece, necessario scendere a un livello di dettaglio maggiore, poiché all'interno di uno stesso clima, ad esempio, il clima mediterraneo, possono essere identificate molte aree fortemente diversificate.

Alle classificazioni climatiche si può far corrispondere la distribuzione degli ecosistemi più diffusi. Naturalmente, anche in questo caso, nell'ambito di ciascun ecosistema si riscontrano a livello regionale e locale differenze rilevanti, legate all'interazione con la geografia della zona. A livello italiano, una delle classificazioni fitoclimatiche più conosciute è quella del Pavari (1916); si tratta di una classificazione di fitoclimatologia forestale e, infatti, le diverse zone climatiche sono indicate con il nome dell'associazione vegetale più frequente (*Lauretum, Castanetum, Fagetum, Pictum, Alpinetum...*).

Le previsioni stagionali

Le previsioni stagionali sono una recente conquista della scienza climatologica. Infatti, sulla base della miglior conoscenza dei fenomeni a scala planetaria e della possibilità di seguirli attraverso le osservazioni da satellite, è possibile prevedere con alcuni mesi d'anticipo se alcuni parametri, come ad esempio il totale delle precipitazioni di un dato mese, saranno maggiori, uguali o inferiori al valore normale della serie trentennale. L'accuratezza di tali previsioni è, però, ancora insufficiente.

Il tempo atmosferico

Il tempo atmosferico influenza la vita di ogni giorno, sia che si tratti di stabilire l'abbigliamento da usare sia che si progetti una qualsiasi attività all'aperto, come uscire in mare, andare in montagna o lavorare un terreno. La previsione meteorologica diventa dunque uno strumento utile per prendere decisioni che riguardano la vita di tutti i giorni in numerose attività.

Le perturbazioni

I fenomeni del tempo atmosferico hanno origine diversa a seconda che ci si trovi nella fascia inter-

tropicale o nella fascia delle medie e alte latitudini. Nel primo caso le perturbazioni sono legate allo spostamento del fronte intertropicale di convergenza, cioè a quella linea immaginaria che si sposta da sud a nord dell'Equatore e viceversa, seguendo il corso del Sole durante l'anno e che rappresenta la fascia dei monsoni. I fenomeni connessi sono tipicamente di tipo convettivo e danno luogo a precipitazioni particolarmente intense.

Nel caso delle medie e alte latitudini, le perturbazioni sono associate alle oscillazioni del fronte polare e alla circolazione dei venti da ovest. L'aria fredda polare viene in contatto con l'aria calda di origine tropicale dando luogo a una depressione alla quale si associano le perturbazioni con formazioni di nubi e conseguenti precipitazioni.

I fronti e le masse d'aria

Visto in sezione il fenomeno può essere descritto come la massa d'aria calda che, essendo meno densa, tende a salire sopra quella fredda, con conseguente condensazione del vapor acqueo. Visto in pianta l'aria calda tende a incunearsi nell'aria fredda, con la formazione di un fronte caldo e un fronte freddo.

Il vento

Il movimento delle masse d'aria è determinato dal vento, che si forma a causa della differenza di pressione tra il centro depressionario e l'anticiclone. In teoria, la direzione del vento dovrebbe andare dal centro di alta a quello di bassa pressione, ma a causa della rotazione terrestre esso si dispone con una circolazione oraria, che segue le isobare, intorno al centro di alta pressione e una circolazione antioraria intorno al centro di bassa pressione. Ne segue la regola pratica: "ponendosi con le spalle al vento, alla propria sinistra si ha il centro di bassa pressione e alla propria destra il centro di alta pressione". Nell'emisfero australe tutte le direzioni sono, ovviamente, invertite.

I parametri meteorologici

La conoscenza delle condizioni meteorologiche di una data area richiede la misura dei parametri dell'atmosfera, con una determinata frequenza spazio-temporale.

I principali parametri meteorologici sono:

- radiazione solare
- temperatura dell'aria
- precipitazioni
- nuvolosità
- pressione atmosferica
- umidità dell'aria
- evaporazione
- vento.

A questi parametri principali possono essere aggiunti la temperatura e l'umidità del terreno, che hanno un'importanza rilevante in campo agrario.

Questi parametri possono variare nel tempo in modo continuo, come la temperatura e l'umidità, o in modo discreto, come la pioggia (piove o non piove). Pertanto si esprimono sull'intervallo del giorno, con il valore massimo e il valore minimo (ad esempio, temperatura massima, temperatura minima) o mediante la sommatoria (ad esempio, precipitazione giornaliera totale).

Radiazione solare

È la radiazione a onde corte misurata a terra su un piano orizzontale, che giunge direttamente dal Sole (radiazione diretta) o che viene diffusa per effetto delle nuvole o di altri componenti dell'atmosfera o del materiale di copertura della serra (radiazione diffusa). L'insieme delle componenti diretta e diffusa è definita *radiazione globale*. Si esprime in watt/m^2 (o $\text{cal/cm}^2 \text{ min}$). Nei riepiloghi giornalieri e in quelli mensili si indica il valore totale del periodo considerato in $\text{MJ/m}^2 \cdot \text{g}$ (Megajoule per metro quadro per giorno) o in $\text{MJ/m}^2 \cdot \text{mese}$. Questi dati sono utilizzati per fini diversi, come ad esempio il calcolo dell'evaporazione, la progettazione bioclimatica, il dimensionamento dei pannelli solari ecc.

Nel caso delle piante, per i loro processi fondamentali di fotosintesi e di morfogenesi, soltanto una parte dello spettro solare è efficace. Per la fotosintesi tale intervallo è compreso tra le lunghezze d'onda di 400 e 700 nm (nanometri) e la radiazione compresa in questo intervallo prende il nome di "*radiazione fotosinteticamente attiva*" (in inglese PAR) e si esprime in $\mu\text{E/m}^2 \cdot \text{s}$ (microEinstein per metro quadro per secondo) o $\mu\text{mol/m}^2 \cdot \text{s}$ (micromoli per metro quadro per secondo).

Gli strumenti utilizzati per la misura della radiazione solare sono detti solarimetri o piranometri. Per la misura della PAR sono utilizzati dei sensori chiamati "*quantum sensor*".

Pressione atmosferica

La pressione è il peso che una colonna d'aria esercita sull'unità di superficie. Tale peso è funzione della densità dell'aria, la quale a sua volta è funzione della temperatura. La pressione si esprime in mbar o in mm di mercurio ($1 \text{ mbar} = 0,76 \text{ mm di Hg}$) o in hPa (ettoPascal) che rappresenta oggi l'unità standard internazionale ($1 \text{ mbar} = 1 \text{ hPa}$).

Il valore standard della pressione a livello del mare è di 1013 hPa. La pressione si misura con il barometro.

Temperatura dell'aria

È la temperatura dell'aria misurata all'ombra. Si esprime in gradi Celsius (°C) o in gradi Fahrenheit (°F) o in gradi Kelvin (°K). Dipende dalla radiazione solare che giunge sul terreno, dalla radiazione infrarossa emessa dalle superfici e dalle caratteristiche termiche delle masse d'aria in transito. Nel corso di un giorno standard, la temperatura dell'aria raggiunge il suo minimo, T_{min} , poco prima dell'alba, e il massimo, T_{max} , intorno alle ore quattordici. La differenza tra questi due valori rappresenta l'escursione termica giornaliera. I valori indicati nei riepiloghi giornalieri sono il minimo, il massimo e quello medio. Nei riepiloghi mensili sono riportati i valori medi dei valori minimi, massimi e medi, ma anche i valori del massimo assoluto e del minimo assoluto raggiunti.

I valori di temperatura sono presi in considerazione per varie applicazioni, quali il calcolo delle condizioni di benessere per l'uomo e gli animali, la progettazione degli edifici e degli impianti di condizionamento, il calcolo dell'evapotraspirazione. Per la misura della temperatura dell'aria si utilizza il termometro posto all'ombra, a 2 metri da terra.

Temperatura del terreno

Il valore a cui si fa riferimento è quello della temperatura del terreno misurata a 2 cm e a 10 cm di profondità. Si esprime con le stesse unità di misura della temperatura dell'aria. Varia durante il giorno e durante l'anno con lo stesso andamento della temperatura dell'aria, ma leggermente sfasato rispetto a questo nel tempo. I valori riportati nei riepiloghi giornalieri o mensili sono calcolati nello stesso modo di quelli della temperatura dell'aria.

Umidità dell'aria

È costituita da acqua allo stato di vapore presente nella miscela gassosa che costituisce l'aria stessa. Si esprime come umidità assoluta (X in g/cm^3 o kg/m^3), umidità relativa (%) e pressione di vapor d'acqua (e in Pa); molto spesso si calcolano anche i valori di deficit di saturazione (*vapour pressure deficit* o VPD , in hPa) e la temperatura del punto di rugiada in (°C).

L'umidità assoluta (X) è la massa di vapore per unità di volume, mentre l'umidità relativa è il rapporto, a una data temperatura, fra il contenuto reale in vapor d'acqua dell'aria (espresso come pressione reale del vapore, e) e quello che ci sarebbe se questa fosse satura (pressione di saturazione, e_s).

$$UR = 100 \cdot e/e_s \quad Eq. 1$$

Questa definizione dipende dal fatto che un

volume d'aria a una data temperatura può contenere un valore massimo di vapore acqueo, oltre il quale si verifica la condensazione. Il valore di e_s aumenta in modo esponenziale con la temperatura (per un aumento di 10°C si ha un valore quasi doppio di e_s); la formula empirica per calcolare e_s in funzione di T (°C) è la seguente:

$$e_s = 0,01 \cdot \exp((57,96 - 6731/(273,2 + T)) - 4,796 \cdot \ln(273,2 + A2)) \quad Eq. 2$$

Nella *tab. 1* sono riportati i valori di X e e_s per alcuni valori della temperatura dell'aria.

Il VPD è la differenza fra la pressione di saturazione (e_s) e la pressione reale del vapore (e). Esso determina il tasso di evaporazione da una superficie bagnata, in pratica l'evapotraspirazione di una coltura:

$$UR = e/e_s \quad Eq. 3$$

$$e = e_s \cdot UR \quad Eq. 4$$

$$VPD = e_s - e = e_s - e_s \cdot UR = e_s (1 - UR) \quad Eq. 5$$

In un dato ambiente (ad esempio, in serra):

- a parità di temperatura dell'aria, un aumento dell'umidità assoluta (ad esempio, in seguito a un intervento di irrigazione-nebulizzazione) determina un aumento di e e UR , e quindi una diminuzione di VPD ;
- a parità di X (senza incrementi del contenuto di vapor d'acqua), un aumento di temperatura dell'aria ha un effetto trascurabile su e , ma determina un aumento di e_s e quindi UR diminuisce e VPD aumenta.

La temperatura del punto di rugiada (T_R) rappresenta la temperatura alla quale si deve raffreddare un dato volume d'aria, perché il vapore in essa contenuto raggiunga la saturazione.

Tutti i modi con i quali si esprime l'umidità atmosferica sono equivalenti e, con opportune conversioni, è possibile, nota la temperatura dell'aria, ricavare l'uno dall'altro.

L'umidità relativa, che rappresenta il parametro più comunemente misurato e usato, varia durante il giorno con un massimo in corrispondenza della temperatura minima e un minimo in corrispondenza di quella massima. Durante l'anno, i valori più elevati si registrano nei mesi invernali. I valori indicati nei riepiloghi giornalieri sono il valore massimo, minimo e medio percentuale. I valori impiegati nei riepiloghi mensili sono la media delle massime, la media delle minime, la media delle medie.

Per la misura dell'umidità dell'aria vengono utilizzati gli igrometri o gli psicrometri.

Tab. 1 - Valori di X (umidità assoluta) e e_s (tensione di vapore) a diverse temperature dell'aria

T (°C)	X (g/m ³)	e_s (hPa)	VPD con 25% UR	VPD con 50% UR	VPD con 75% UR
5	6,8	0,87	0,65	0,44	0,22
10	9,4	1,23	0,92	0,61	0,31
15	12,8	1,71	1,28	0,85	0,43
20	17,3	2,34	1,75	1,17	0,58
25	23,1	3,17	2,38	1,58	0,79
30	30,5	4,25	3,19	2,12	1,06
35	39,8	5,63	4,22	2,81	1,41
40	51,3	7,38	5,54	3,69	1,85

Lo psicrometro è lo strumento migliore per misurare il tenore igrometrico dell'aria. È costituito da due termometri, uno dei quali misura la temperatura dell'aria (T_a), mentre l'altro, con il bulbo costantemente umido, registra una temperatura T_{bu} uguale o inferiore a T_a , in funzione del grado igrometrico.

Nell'aria saturata $T_{bu} = T_a$, mentre se diminuisce UR, aumenta l'evaporazione, il bulbo umido si raffredda e la differenza ($T_a - T_{bu}$) aumenta.

Quindi, conoscendo ($T_a - T_{bu}$) si può risalire a UR:

$$e = e_s^{T_{bu}} - \gamma(T_a - T_{bu}) \quad \text{Eq. 6}$$

con $e_s^{T_{bu}}$ uguale alla pressione di vapore dell'aria saturata a T_{bu} , $e/e_s T_a = UR$, γ la costante psicrometrica (0,066 kPa/°K).

γ non è una costante strumentale, ma dipende da proprietà fisico-chimiche dell'acqua e dell'aria (calore specifico e densità dell'aria, calore latente di evaporazione):

$$\gamma = Ct \rho_a / (\lambda \varepsilon) \quad \text{Eq. 7}$$

dove Ct è il calore specifico dell'aria secca (0,001 MJ/kg · °K), ρ_a è la densità dell'aria secca (1,29 kg/m³), λ il calore latente di vaporizzazione dell'acqua (2,45 MJ/kg a 20°C), con

$$(\lambda \varepsilon) = M_a/M_v = 0,018/0,029 = 0,622$$

dove M_a è il peso molecolare dell'acqua (0,018 kg/mol) e M il peso molecolare dell'aria (0,029 kg/mol).

I parametri γ e Δ hanno una grande importanza nella determinazione del tasso di traspirazione di una coltura in funzione dell'energia radiante, determinando la distribuzione dell'energia radiante in calore sensibile (aumento della temperatura e origine dei fenomeni di convezione) e calore latente (evaporazione); all'aumentare della temperatura dell'aria è favorita l'evaporazione dell'acqua.

La differenza ($T_a - T_{bu}$) indica il raffreddamento (teorico) di un impianto "cooling-system" (ven-

tilazione della serra con aria esterna umidificata in ingresso); in pratica, il raffreddamento si aggira intorno al 70-85% di ($T_a - T_{bu}$). In condizioni di traspirazione stazionaria la temperatura fogliare è approssimativamente uguale a T_{bu} .

Umidità del terreno

Corrisponde al contenuto in acqua del terreno. Si esprime come percentuale di acqua contenuta in un'unità di massa o di volume del terreno (%) o in forma di potenziale idrico, che rappresenta la forza con la quale il terreno trattiene l'acqua, cioè, il lavoro che occorre fare per allontanare l'acqua dal terreno. In relazione al rapporto con le piante, le soglie critiche d'umidità sono: umidità di saturazione, capacità di campo (CC), punto di appassimento (PA).

La capacità di campo esprime il contenuto di umidità nel suolo corrispondente al limite superiore dell'acqua disponibile o limite superiore di drenaggio. Corrisponde approssimativamente a un potenziale matriciale di -30 kPa (-0,3 bar) nella maggioranza dei suoli e a -10 kPa (-0,1 bar) in suoli sabbiosi.

Il punto di appassimento è il contenuto di umidità a un potenziale matriciale di -1,500 kPa (-15 bar). Corrisponde approssimativamente al limite inferiore dell'acqua disponibile. Questo valore è espresso in peso, come grammi di acqua/grammi di suolo.

La differenza tra CC e PA rappresenta l'acqua disponibile (AD). Questo valore è espresso come grammi di acqua/grammi di suolo, o come millimetri di acqua/metro di suolo. In tab. 2 sono riportati i valori caratteristici di questi parametri per i tre principali tipi di terreno.

L'umidità del terreno varia in funzione della morfologia e della natura del terreno, che hanno effetti sui processi d'infiltrazione, di percolazione profonda e di ruscellamento superficiale. Durante l'anno le variazioni di umidità dipendono dalle

Tab. 2 - Valori caratteristici di alcuni parametri relativi al contenuto idrico dei tre principali tipi di terreno

	<i>Terreno sabbioso</i>	<i>Terreno medio-impasto</i>	<i>Terreno argilloso</i>
Densità apparente (DA, t/m ³)	1,4 - 1,6	1,2 - 1,3	1,1 - 1,2
Contenuto idrico a Cc (% in peso)	8	20 - 30	30 - 40
Contenuto idrico a Pa (% in peso)	3	10 - 25	20
Acqua disponibile (AD, % in peso)	5 - 6	8 - 12	16 - 20
Acqua disponibile (AD, mc/ha)*	700 - 960	960 - 1560	1760 - 2400

* Considerando una profondità radicale di 1 metro.

precipitazioni, dalle perdite per evaporazione e traspirazione delle piante.

L'umidità del terreno può essere misurata con metodi diversi, tra cui ricordiamo:

1. metodo gravimetrico (differenza tra il peso fresco e il peso secco di un campione di terreno);
2. metodo tensiometrico (tensiometro);
3. metodo elettromagnetico;
4. metodo basato sulla resistenza elettrica (blocchetti di gesso o altri materiali igroscopici);
5. metodo neutronico (sonda a neutroni).

Precipitazioni

Le precipitazioni possono essere classificate in relazione allo stato fisico dell'acqua e alle dimensioni delle singole particelle in: rugiada, brina, piovigine, pioggia, neve, nevischio, grandine e nebbia.

Le unità di misura utilizzate sono i millimetri d'acqua, per la pioggia, e i centimetri o millimetri equivalenti d'acqua per la neve. Il millimetro di pioggia si riferisce all'altezza raggiunta dall'acqua piovana caduta sulla superficie di un metro quadrato su un suolo pianeggiante, senza che avvengano perdite dovute all'evaporazione o allo scorrimento orizzontale lungo la superficie. Tenuto conto che un litro d'acqua occupa un volume pari a un decimetro cubo, ne consegue in modo immediato che ogni millimetro di pioggia equivale a un litro d'acqua caduta su un metro quadrato di terreno.

Oltre al valore cumulato di pioggia, per ogni singolo evento, si può anche misurare l'intensità, che viene espressa in mm/h. Nei riepiloghi giornalieri si riporta il solo valore totale, mentre nei riepiloghi mensili, oltre al valore totale, si riporta anche il numero di giorni nei quali si è verificata la pioggia.

I valori di precipitazione vengono utilizzati per molteplici scopi, tra i quali si annoverano: la stima delle risorse idriche (acqua potabile, per usi civili e industriali); il calcolo delle portate dei fiumi, per la stima del rischio alluvionale; la stima delle risorse idroelettriche; calcoli d'ingegneria civile, per il dimensionamento di fogne, docce, canali, drenag-

gi, strade, fondazioni ecc., la valutazione dello stato delle falde idriche e della loro alimentazione; la programmazione dell'irrigazione, per il calcolo relativo alla costruzione di invasi per l'agricoltura; la stima del rendimento delle colture in combinazione con radiazione solare e temperatura; il calcolo dei premi assicurativi in agricoltura (ricorrenza della grandine, brinate); i calcoli per la conversione in energia meccanica (mulini, segherie ecc.); la stima della visibilità stradale e delle rotte navali (frequenza e intensità della nebbia); la stima della concentrazione di inquinanti nei corsi d'acqua e nelle falde.

Le precipitazioni sono misurate tramite pluviometri e radar meteorologici.

Nuvolosità

La nuvolosità è rappresentata dalla percentuale di nubi al di sopra dell'orizzonte. Le nubi sono rappresentate da ammassi di particelle d'acqua o di ghiaccio in sospensione, che costituiscono i prodotti di condensazione, solidificazione o sublimazione del vapore d'acqua contenuto nell'aria. Le nubi sono il risultato della circolazione generale dell'atmosfera e uno dei sintomi più manifesti dello stato del tempo. La nuvolosità si misura in ottavi (0 = cielo sereno, 8 = cielo totalmente coperto) o decimi di cielo coperto (0 = cielo sereno; 10 = cielo totalmente coperto). Le nubi sono classificate a seconda della quota della loro base e del loro spessore in vari gruppi, secondo il seguente schema:

1. in relazione alla forma/spessore: cirri, cumuli, strati;
2. in relazione alla quota: basse (0-2000), medie (2000-6000), alte (> 6000).

Connessa con la nuvolosità è l'eliofania, definita come la durata dell'insolazione, corrispondente alla presenza del sole sopra l'orizzonte libero da nubi. L'eliofania si esprime in ore di sole e il rapporto fra quella reale e quella teorica è detto l'eliofania relativa (espressa in percentuale). Nei riepiloghi giornalieri si indica la percentuale di cielo

coperto, come valore medio delle osservazioni a vista effettuate ogni tre ore, e l'eliofania in ore di sole. Nei riepiloghi mensili si indica il valore medio di nuvolosità e il numero totale di ore di sole che si sono avuti nel corso del mese. La nuvolosità e l'eliofania sono utilizzate in formule empiriche per la stima della radiazione solare.

La nuvolosità si stima a vista e l'eliofania si misura con l'eliofanometro.

Evaporazione, traspirazione ed evapotraspirazione

L'evaporazione (*Ev*) consiste nel passaggio dell'acqua dallo stato liquido allo stato di vapore. In natura l'entità di tale fenomeno dipende dalle condizioni fisiche dell'ambiente (radiazione, temperatura, umidità, vento) e dalla disponibilità d'acqua, che può essere a "pelo libero" (mari, laghi, fiumi ecc.) o trattenuta in mezzo poroso (terreno e superfici varie). La traspirazione (*Tr*) consiste nel passaggio dell'acqua contenuta negli organismi (piante e animali) dallo stato liquido allo stato di vapore. Tale processo è regolato sia dalle condizioni dell'atmosfera sia da una serie di meccanismi biologici (apertura-chiusura di stomi, pori cutanei ecc.) che tendono a mantenere gli organismi nelle condizioni migliori.

L'evapotraspirazione (*ET* o *ETE*) è l'effetto cumulato dell'evaporazione dalla superficie bagnata, di terreno e foglie, e della traspirazione d'acqua dalle piante presenti su tale terreno. Quando ci si riferisce a una superficie coperta da una coltura o in genere da vegetazione sarebbe estremamente difficile distinguere le due componenti e il fenomeno viene considerato nel suo insieme.

L'*ET* (L/m^2 o mm) si misura su base oraria o giornaliera ed è funzione della quantità d'energia che arriva alla superficie (radiazione solare), delle condizioni dell'atmosfera (temperatura, umidità dell'aria, vento) e della disponibilità d'acqua.

Una trattazione più dettagliata dell'*ET* può essere trovata nel Capitolo 4.

Per la misura dell'evaporazione si usano l'evaporimetro o vasca evaporimetrica, mentre l'evapotraspirazione reale viene misurata con il lisimetro. L'*ETE*, data la laboriosità e il costo dello strumento richiesto per la sua misura, è spesso calcolata a partire dall'*ETP* (evapotraspirazione potenziale).

Vento

Il vento è prodotto dallo spostamento di una massa d'aria. Tale spostamento è determinato, sia alla scala della circolazione generale dell'atmosfera sia a scala locale, da differenze di pressione dell'at-

mosfera, che componendosi con il moto terrestre e con l'attrito delle superfici danno luogo al vento.

Il vento è descritto da due componenti: l'intensità, che si misura in m/s (metri al secondo) o in nodi (1 nodo = 0,514 m/s) e la direzione, che si esprime in gradi e indica la direzione di provenienza, posto il nord geografico uguale a zero e il sud pari a 180°. Per indicare la direzione del vento si usa quella di provenienza delle masse d'aria.

Nei riepiloghi giornalieri, l'intensità del vento è indicata mediante il valore medio (m/s) o come vento sfilato (km), corrispondente alla distanza che avrebbe percorso nel giorno una massa d'aria avente uguale velocità. La direzione è espressa in termini di frequenza della direzione di provenienza, considerando una misura ogni tre ore (8 misure al giorno). L'intensità del vento si misura con l'anemometro e la direzione con l'anemoscopio (banderuola).

Nell'*Appendice* sono riportate alcune tabelle riassuntive delle varie unità di misura dei parametri meteorologici, con alcuni fattori di conversione.

Gli strumenti meteorologici

Si possono distinguere quattro tipi principali di strumenti meteorologici: gli strumenti a lettura diretta, gli strumenti meccanici registratori, gli strumenti elettronici a lettura diretta, gli strumenti elettronici registratori.

Gli strumenti a lettura diretta sono i più semplici e di costo assai contenuto, ma allo stesso tempo permettono già di effettuare tutte le osservazioni utili.

Gli strumenti meccanici registratori sono costituiti da un sensore e da un tamburo mosso da un meccanismo a orologeria sul quale è posta una carta diagrammata, avente in ascissa il tempo e in ordinata il valore del parametro misurato. La scala di questi strumenti può essere giornaliera o settimanale.

Gli strumenti elettronici sono costituiti da un sensore e da un trasduttore che genera un segnale elettrico proporzionale al parametro da misurare. Gli apparecchi per la misura della temperatura, dell'umidità, della pressione e della velocità del vento, aventi un display a cristalli liquidi, sono di questo tipo.

Gli strumenti registratori elettronici affiancano, a questi sensori, un sistema di registrazione dei dati (datalogger) su scheda magnetica o su dischetto, con la possibilità di scaricare direttamente i dati su un PC o di trasmetterli tramite un modem (telefonico o radio) a un centro di raccolta dati.

Capannina meteorologica tradizionale

Costruita in legno di larice stagionato, con pannelli laterali a persiana, presenta verniciatura ad alto potere riflettente e tetto a intercapedine d'aria con lastra di zinco. Il supporto in ferro zincato è provvisto di quattro piedi (angolare 40 x 4 mm) e crociera di irrigidimento in ferro piatto. All'interno della capannina meteorologica sono inseriti alcuni strumenti meccanici registratori (barografi, termoigrografi ecc.), in modo che questi siano protetti dalle intemperie e non subiscano l'influenza diretta della radiazione.

Stazione meteorologica elettronica

Centralina per l'acquisizione di segnali elettrici provenienti da sensori agrometeorologici, costituita da un contenitore di materiale plastico o fibra di vetro che racchiude l'alimentazione e gli strumenti di acquisizione e trasmissione dati. I sensori elettronici sono esterni, eventualmente alloggiati entro apposite protezioni, portati sul palo di sostegno. I dati acquisiti, dopo una prima elaborazione, possono essere trasmessi via modem (radio o telefonico) a un centro di elaborazione, da cui la centralina riceve i comandi. Una memoria di backup, presente sul datalogger, consente di tenere in archivio locale i dati per un certo periodo, nel caso vi fossero problemi di trasmissione. È alimentata a rete o più spesso tramite pannello fotovoltaico e batteria in tampone. Alla stazione sono collegabili vari tipi di sensori: albedometro, anemometro, gonioanemometro, piranometri, termoigrometri, pluviometri ecc.

Caratteristiche metrologiche e d'impiego di uno strumento

La scelta dello strumento più idoneo per una determinata misura condiziona fortemente la qualità della misura stessa. Per consentire all'utilizzatore di orientarsi nella scelta degli strumenti, sono stati definiti dei parametri (caratteristiche metrologiche) che caratterizzano il comportamento dello strumento nei confronti del misurando e delle condizioni operative.

Le caratteristiche metrologiche sono:

- soglia o valore d'inizio o zero;
- portata o valore di fondo scala o *span*;
- gamma di misura o *range*;
- linearità;
- isteresi;
- sensibilità;
- risoluzione - errore di quantizzazione;
- prontezza o tempo di risposta - costante di tempo;

- stabilità - deriva;
- precisione - classe di precisione;
- accuratezza;
- fedeltà o ripetitività.

Soglia o valore di inizio scala o zero. È il più basso livello di segnale rilevato dallo strumento che non sempre coincide col valore nullo della grandezza da misurare. La non coincidenza può essere dovuta al fatto, ad esempio, che per attriti, staratura di un potenziometro o altro, l'indicatore dello strumento non torni sempre perfettamente a zero. Normalmente gli strumenti hanno dei comandi esterni che permettono di effettuare la correzione.

Portata o valore di fondo scala o span. È il valore massimo della grandezza che lo strumento può misurare. Di solito gli strumenti hanno diverse portate selezionabili con comandi esterni. Può accadere che il massimo valore applicabile allo strumento non sia tale da mandare l'indice in fondo scala. Come per la correzione dello zero, anche in questo caso si può eseguire una taratura, tramite comandi esterni, che porti a far coincidere il massimo valore applicabile all'indicazione di fondo scala. Solitamente correggendo il fondo scala si stara lo zero e viceversa. Per approssimazioni successive, aggiustando ora l'uno ora l'altro, con 3-4 passi di taratura, si riesce a mettere le indicazioni correttamente in scala.

Gamma di misura o range. È l'intervallo dei valori d'ingresso entro cui lo strumento dà un'indicazione, in altre parole è la differenza tra il valore di span e lo zero. Molto spesso, siccome lo zero dello strumento coincide col valore nullo della grandezza in esame, il range e lo span coincidono.

Linearità. Dà un'indicazione di quanto la curva di risposta dello strumento (Valore in ingresso - Valore indicato) si avvicina alla caratteristica ideale che è una retta a 45°. La linearità è tanto maggiore quanto minore è il numero che la rappresenta. La linearità è una caratteristica auspicabile in uno strumento poiché, oltre a rendere più facile l'interpretazione della risposta di questo, dà un'indicazione anche di altre caratteristiche dello strumento e in particolare dell'isteresi e della sensibilità, di seguito descritte.

Isteresi. L'isteresi, per uno strumento, è determinata dal fatto che la caratteristica di funzionamento rilevata per valori crescenti della grandezza

in ingresso, non coincide con quella rilevata per valori decrescenti. L'isteresi viene quantificata come rapporto percentuale tra il massimo scostamento (I) fra le due curve di risposta (ottenute per variazioni dell'ingresso dallo zero allo span e dallo span allo zero) e il range dello strumento:

$$I\% = (I / \text{Range}) 100 \quad \text{Eq. 10}$$

Sensibilità. È il rapporto tra la variazione di grandezza di uscita (ad esempio, lo spostamento di un indice su una scala - dU) e la corrispondente variazione di ingresso (dI). Se la caratteristica è lineare la sensibilità è uguale per tutti i punti della curva, altrimenti cambia col punto di lavoro dello strumento. Per definizione:

$$S = dU/dI \quad \text{Eq. 11}$$

Negli strumenti a più portate la sensibilità varia con la portata, cioè diminuisce al crescere di questa.

Risoluzione - errore di quantizzazione. La risoluzione è legata alla più piccola variazione del segnale che può essere apprezzata dallo strumento. Nella maggior parte degli strumenti, soprattutto in quelli per la meteorologia, esistono parti essenziali per il funzionamento, le quali introducono attriti, giochi, discontinuità ecc., il cui effetto è quello di produrre errori sistematici; ad esempio, fissato un certo valore della grandezza in entrata, una variazione, rispetto a quel valore, che sia inferiore a una prefissata entità, non produce alcuna variazione del valore indicato dallo strumento. Il valore di questa minima variazione necessario a produrre una variazione del valore indicato prende il nome di *errore di quantizzazione* (delta, δ). Il rapporto tra l'errore di quantizzazione δ e il range dello strumento prende il nome di *risoluzione* (R) e di solito è espressa in percentuale. Lo strumento sarà tanto migliore quanto più piccolo è R . Nella pratica è invalso l'uso di chiamare risoluzione l'errore di quantizzazione ma ciò non deve portare a fraintendimenti, perché la risoluzione è un numero puro (adimensionale); invece, l'errore di quantizzazione ha le dimensioni della grandezza misurata. Si stia bene attenti a non confondere la risoluzione con la sensibilità.

Prontezza o tempo di risposta - costante di tempo. È il tempo (t_r) impiegato dallo strumento per indicare il 90% della variazione della grandezza al suo ingresso e dà un'indicazione della velocità con cui lo strumento può fornire il risultato della misura. La prontezza è tanto maggiore quanto minore è il numero che la rappresenta. Per i sensori più spes-

so, invece di tempo di risposta, si parla di *costante di tempo* (τ , tau); questa è il tempo necessario al sensore per rilevare il 63% di una variazione brusca tra due livelli del misurando.

Stabilità - Deriva. La stabilità è la proprietà di uno strumento o di un sensore di conservare nel tempo le proprie caratteristiche; si distingue in stabilità a breve termine (se riferita a intervalli di tempo dell'ordine dell'ora) e stabilità a lungo termine (se riferita a intervalli di settimane o mesi). Questo parametro dà un'indicazione di quanto frequenti devono essere le ricalibrature dello strumento. In alcuni casi, soprattutto parlando di sensori, invece che di stabilità si parla di *Deriva*. Con questo termine si intende la variazione, nel tempo, del segnale fornito dal sensore quando la grandezza fisica a cui esso è sensibile rimane costante. Ad esempio, alcuni sensori capacitivi per la misura dell'umidità dell'aria, ad alte umidità relative (superiori al 70%) nei primi momenti, 5 ÷ 10 minuti, indicano il valore giusto; nel tempo però "derivano" e nel giro di 10 ÷ 15 ore indicano valori assai più elevati (90 ÷ 100%) anche se l'umidità non è variata.

Precisione - Classe di precisione. Si definisce precisione l'errore assoluto massimo che lo strumento può compiere. La precisione viene fornita dal costruttore; essa consente di accettare come valore di una misura il singolo valore letto, associando a esso l'incertezza del numero che rappresenta la precisione stessa. Ovviamente, procedendo alla ripetizione della misura e calcolando il valore me-



Stazione meteorologica automatica installata presso il Ce.Spe.Vi. di Pistoia

dio e la precisione statistica, si ottiene un'indicazione che, probabilisticamente, è più vicina al valore vero. La precisione è tanto maggiore quanto più piccolo è il numero che la rappresenta; questo parametro in uno stesso strumento può essere diverso nelle varie portate. Per gli strumenti analogici, molto spesso non viene data la precisione ma la *Classe di Precisione* come rapporto percentuale fra la precisione definita prima e il *Range* dello strumento.

Accuratezza. Ripetendo più volte una stessa misura lo strumento, a causa di inevitabili errori accidentali, non dà sempre la stessa risposta e quindi come valore misurato dobbiamo prendere il valore medio.

L'accuratezza è lo scostamento fra il valore medio e il valore vero. Non si confonda l'accuratezza con la precisione definita precedentemente poiché quest'ultima è la differenza fra il valore misurato e quello vero. In altri termini la precisione dà un'indicazione della vicinanza al valore vero del valore letto mentre l'accuratezza, che tiene conto anche degli errori accidentali, dà un'indicazione della vicinanza al valore vero del valore medio.

Dato che l'operazione di media tende a ridurre gli effetti degli errori accidentali, lo scostamento del valore medio dal valore vero può essere imputato prevalentemente a errori sistematici. L'accuratezza è allora un indice della immunità di uno strumento nei confronti di questi errori.

Fedeltà o Ripetitività. La fedeltà dà un'indicazione della dispersione dei valori ottenuti, ripetendo più volte una stessa misura, intorno al loro valore medio. Poiché gli errori sistematici portano sistematicamente a sbagliare nello stesso modo, la dispersione dei valori intorno al valore medio è da attribuire a cause accidentali. Allora la fedeltà di uno strumento dà una indicazione dell'immunità agli errori accidentali.

Servizi meteorologici per l'agricoltura

Previsioni del tempo

Negli ultimi trenta anni lo sviluppo delle tecnologie ha modificato radicalmente le modalità con cui si effettuano le previsioni meteorologiche. Fino agli anni settanta erano correntemente utilizzate le "carte del tempo", basate sulla considerazione che le perturbazioni compiono, dalla formazione fino all'estinzione, un lungo cammino che



Vasca evaporimetrica automatizzata

può essere seguito e descritto su apposite carte, nelle quali sono riportati i principali parametri che definiscono le condizioni del tempo: pressione, temperatura, velocità e direzione. Tale metodo non consentiva di fare previsioni oltre qualche giorno dalla data di realizzazione delle carte e la loro accuratezza era limitata.

A partire dagli anni settanta del secolo scorso, i nuovi mezzi di calcolo e la disponibilità delle nuove tecnologie di cui abbiamo parlato hanno messo a disposizione nuovi strumenti per il trattamento numerico delle informazioni. Dall'analisi delle carte del tempo siamo gradualmente passati, negli anni ottanta, alle previsioni mediante modelli numerici del comportamento dell'atmosfera, basati sulla conoscenza delle leggi che regolano i processi di scambio di energia, di vapor d'acqua e di moto dell'atmosfera. L'affidabilità di questi sistemi di previsione numerica è intorno ai sette giorni. Ormai i bollettini e le previsioni realizzate dai servizi meteorologici dei paesi industrializzati, e in parte anche di quelli in via di sviluppo, si basano su queste tecniche.

Informazioni su INTERNET

Sia nel campo della meteorologia che in quello della climatologia, ai fini delle applicazioni concrete, è necessario poter reperire le informazioni e i dati necessari, effettuare l'elaborazione e presentare i risultati nella forma più consona alle esigenze degli utenti. Lo sviluppo di INTERNET e l'organizzazione delle informazioni nel sistema World Wide Web permette oggi di accedere in tempo reale a una quantità d'informazioni che fino a pochi anni fa era impensabile.

Inoltre sono stati realizzati una serie di servizi di consultazione sul Web delle previsioni meteorologiche relative ad aree di diversa estensione, fino ad arrivare al livello regionale.

Di seguito sono elencati dei siti di servizi agrometeorologici italiani nei quali è possibile reperire previsioni meteorologiche e dati climatici, nonché dei siti dedicati che forniscono informazioni specifiche per il settore agricolo:

- ARSIA, Regione Toscana - <http://www2.arsia.toscana.it>
- Associazione Italiana di Agrometeorologia - <http://www.agrometeorologia.it>
- Centro Agrometeorologico Regionale Regione Abruzzo - <http://www.arssa.abruzzo.it/car>
- Centro Meteo-Idrologico della Regione Liguria - <http://www.cmirl.ge.infn.it>
- Centro Operativo Agrometeorologia Regione Marche - <http://meteo.regione.marche.it/assam>
- Consorzio per la Ricerca e le Applicazioni di Tecnologie Innovative (Calabria) - <http://www.crati.it>

- LAMMA (Lab. Meteorologia, Climatologia e Modellistica Ambientale) (Toscana) - <http://www.lamma.rete.toscana.it>
- Servizio Agrometeorologico Regionale per la Sardegna - <http://www.sar.sardegna.it>
- Servizio Agrometeorologico Regione Basilicata - <http://www.alsia.it/servizi.htm>
- Servizio Agrometeorologico Regione Campania - <http://www.sito.regione.campania.it/agricoltura/meteo/agrometeo.htm>
- Servizio Agrometeorologico Regione Friuli Venezia Giulia - <http://agm.csa.fvg.it>
- Servizio Agrometeorologico Regione Lombardia - <http://www.ersaf.lombardia.it/suoliagrometeo>
- Servizio Agrometeorologico Regione Molise - <http://www.ersam.molise.it/meteo>
- Servizio Agrometeorologico Regione Piemonte - <http://www.regione.piemonte.it/agri/ita/agrometeo>
- Servizio Agrometeorologico Regione Puglia - <http://www.agripuglia.it>
- Servizio Agrometeorologico Regione Veneto - <http://www.arpa.veneto.it/cmt/agrometeo>
- Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano - <http://www.sias.regione.sicilia.it>
- Servizio Meteorologico Regionale dell'ARPA Emilia Romagna - <http://www.arpa.emr.it/smr>
- UCEA - Ufficio Centrale di Ecologia Agraria - <http://www.ucea.it>

Bibliografia

1. BENINCASA F., MARACCHI G., ROSSI P. (1991). *Agrometeorologia*. Patron Editore, Bologna.
2. FASANO G., MATERASSI A., ZARA P. (1999). *Sensori e strumenti elettronici per la meteorologia*. Quaderno n. 8, Collana tecnico-scientifica INAPA, CNR, Roma.
3. JONES H.G. (1983). *Plants and microclimate*. Cambridge University Press.
4. MARACCHI G. (1998). *Elementi di climatologia applicata. Parte I*. Manuale Tecnico n. 19, Ce.Sia, Accademia dei Georgofili, Firenze.
5. MARACCHI G. (2000). *La meteorologia in pratica*. Libro-agenda delle Capitanerie di Porto, Guardia costiera.
6. PAVARI A. (1916). *Studio preliminare sulla coltura di specie forestali esotiche in Italia. I. Parte generale*. In "Annali del Regio Istituto superiore Agrario e Forestale", Firenze.

4. Elementi di ecofisiologia vegetale

Sergio Mugnai

Introduzione

L'acqua gioca un ruolo cruciale nella vita di qualsiasi pianta. Per ciascun grammo di sostanza organica prodotta da una pianta, approssimativamente 500 g di acqua sono assorbiti dalle radici e traspirati. L'acqua tipicamente costituisce l'80-95% del tessuto vegetale. Il legno ne contiene meno (35-75%), i semi, che sono fra i tessuti vegetali più poveri d'acqua, ne contengono fra il 5 e il 15%, ma comunque, per poter germinare, hanno bisogno di assorbirne quantità considerevoli. Di tutte le risorse di cui le piante hanno bisogno per crescere e funzionare, l'acqua è la più abbondante e allo stesso tempo è la più limitante per la produzione agricola.

L'acqua e la pianta

Il confronto con l'atmosfera rappresenta una formidabile sfida per le piante. Da una parte, l'atmosfera è la sorgente di anidride carbonica, necessaria per il processo della fotosintesi, dall'altra l'atmosfera è relativamente secca rispetto ai tessuti vegetali e può facilmente deidratare e disseccare le piante. Per rendere efficace la limitazione nella perdita di acqua pur massimizzando l'assorbimento di anidride carbonica (CO_2) le piante hanno sviluppato adattamenti tali da poter riuscire a controllare la perdita di acqua dalle foglie, e sostituire contemporaneamente quella perduta nell'atmosfera.

Il problema è aggravato dall'ampia superficie delle foglie, necessaria per massimizzare l'intercettazione della radiazione solare e per avere una continua possibilità di assorbimento di anidride carbonica. Esiste perciò un conflitto fra il bisogno di conservazione dell'acqua e il bisogno di assimilazione di CO_2 .

Per risolvere questo conflitto vitale, le piante terrestri si sono strutturate nel modo seguente:

- un sistema radicale estremamente ramificato ed esteso per estrarre acqua dal suolo;
- un percorso fra apparato radicale e foglie all'interno di un tessuto conduttore denominato xilema, caratterizzato da una scarsa resistenza;
- una cuticola idrofoba che riveste la superficie delle foglie per ridurre l'evaporazione;
- microscopiche aperture nella foglia (*stomi*, vedi *fig. 1*) per permettere gli scambi gassosi con l'esterno (soprattutto CO_2 , O_2 , H_2O);
- cellule altamente specializzate (*cellule di guardia*, vedi *fig. 1*) aventi lo scopo di regolare il diametro dell'apertura stomatica.

Il risultato di questo adattamento morfo-fisiologico è un organismo che trasporta acqua dal suolo verso l'atmosfera solamente in risposta a forze di tipo fisico. Nessun tipo di energia viene direttamente spesa dalla pianta per trasportare acqua, sebbene lo sviluppo e il mantenimento delle strutture sopra elencate richiedano un certo consumo energetico.

Il *continuum* suolo-pianta-atmosfera

La pianta può essere considerata un sistema idraulico continuo, che mette in connessione l'acqua presente nel suolo con il vapore acqueo contenuto nell'atmosfera. In ogni punto del sistema, lo stato idrico può venire descritto attraverso la misura termodinamica del "potenziale idrico" (Ψ_w), che esprime lo stato energetico dell'acqua. Convenzionalmente, Ψ_w dell'acqua pura a 25°C e 0,1 MPa di pressione atmosferica è pari a zero. Il Ψ_w nei tessuti vegetali può venire differenziato in due componenti principali: potenziale di turgore (Ψ_p) e po-

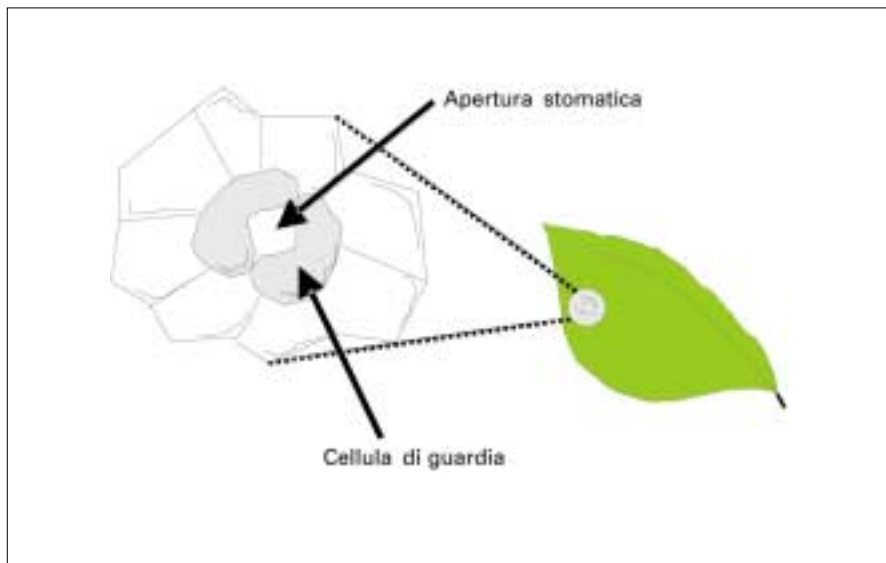


Fig. 1 - Visualizzazione di uno stomato sulla lamina fogliare

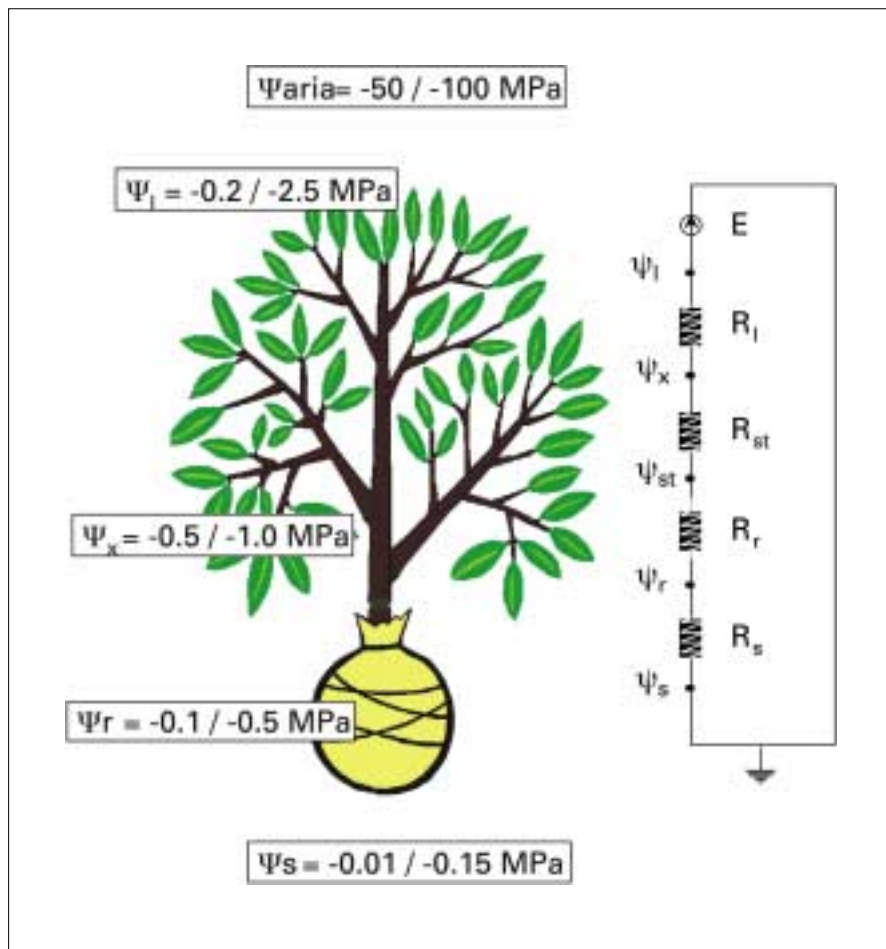


Fig. 2 - Descrizione del *continuum* suolo-pianta-atmosfera attraverso l'analogia con un circuito elettrico.

Ψ_s = potenziale idrico del suolo;

Ψ_r = potenziale idrico radicale;

Ψ_x = potenziale idrico xilematico;

Ψ_l = potenziale idrico fogliare;

Ψ_{aria} = potenziale idrico dell'atmosfera;

R_s = resistenza suolo;

R_r = resistenza radicale;

R_{st} = resistenza del fusto;

R_l = resistenza fogliare;

E = ambiente esterno

tenziale osmotico (Ψ_o). Il Ψ_p rappresenta la componente di pressione del potenziale idrico cellulare ed è il risultato della pressione idrostatica nelle cellule. Normalmente assume valori positivi e l'inten-

sità di Ψ_p dipende dall'elasticità della parete cellulare (ϵ). Il Ψ_o , invece, è basato sulla concentrazione dei soluti nell'acqua. L'acqua intracellulare contiene elevate quantità di soluti, che possono far

arrivare il potenziale osmotico fino a valori estremi di -5 MPa (due volte circa quello dell'acqua marina). I componenti del potenziale idrico si legano fra loro mediante la seguente equazione:

$$\Psi_w = \Psi_p + \Psi_o \quad \text{Eq. 1}$$

Anche lo stato dell'acqua presente nel suolo può venire descritto attraverso il concetto di "potenziale matriciale" (Ψ_s). Ad esempio, l'ambiente radicale in una coltura fuori suolo ha un Ψ_s pari al potenziale osmotico della soluzione nutritiva, con un range tipico da -0,03 a -0,3 MPa (soluzione nutritiva con EC pari a 1 oppure 8 mS/cm). Passando a una coltivazione in substrato, il Ψ_s tende a divenire sempre più negativo.

Analogamente ai circuiti elettrici, il flusso idrico nella pianta può venire descritto attraverso una rete di potenziali, di resistenze e di capacitance (vedi fig. 2). Il movimento dell'acqua nella pianta è governato da regole analoghe a quelle per il flusso di elettricità, come descritto dalla legge di Ohm. Il gradiente di potenziale nel *continuum* suolo-pianta-atmosfera è la forza che guida il trasporto attraverso la pianta: il flusso idrico partirà da un punto del sistema ad alto (meno negativo) potenziale idrico a un altro punto a basso (più negativo) potenziale idrico. Normalmente il flusso seguirà la direzione dal suolo ($\Psi_s = -0,01 \div -0,15$ MPa) verso l'atmosfera ($\Psi_{atm} = -50 \div -100$ MPa) passando attraverso la pianta.

Funzioni dell'acqua nella pianta

L'acqua ha tre funzioni principali nella pianta:

1. **Raffreddamento.** È la funzione fondamentale del volume di acqua perduto per traspirazione dalla pianta, soprattutto durante i periodi caldi: circa il 99% dell'acqua traspirata svolge tale funzione. È noto come la superficie dalla quale l'acqua evapora tenda a raffreddarsi. In questo modo, la pianta tende a raffreddare i propri tessuti.
2. **Trasporto dei nutrienti.** Dato che l'acqua muove dal suolo verso i tessuti vegetali attraverso le radici e i tessuti di conduzione, anche i nutrienti disciolti nella soluzione circolante del suolo vengono trasportati con il flusso di acqua.
3. **Idratazione.** Una piccola porzione dell'acqua traspirata rimane nei tessuti (meno dell'1%). Il dato potrebbe risultare sorprendente se pensiamo al fatto che il 90% dei tessuti vegetali è composto da acqua, ma rende l'idea di quanta acqua viene utilizzata per altri scopi.

L'evapotraspirazione

Il termine evapotraspirazione (ET) combina l'evaporazione dal suolo con la traspirazione dalle piante così da descrivere la perdita di acqua totale di una coltura.

L'acqua evapora da una superficie umida verso l'atmosfera finché quest'ultima non diviene satura. Il processo di evaporazione è tanto più rapido quanto maggiore è la differenza fra la pressione di vapore della superficie evaporante e quella dell'atmosfera (*deficit di pressione di vapore*, o VPD). L'evaporazione dalle piante, tuttavia, assume un nome specifico, *traspirazione*, e avviene attraverso gli stomi.

Si distinguono due tipi di evapotraspirazione:

- evapotraspirazione potenziale o di riferimento (ETP o ET_0), cioè la perdita di acqua calcolata attraverso equazioni e modelli matematici oppure misurata da una coltura di riferimento (normalmente *Festuca arundinacea*);
- evapotraspirazione effettiva (ETE), cioè la reale perdita di acqua dalla coltura in oggetto, in genere inferiore al valore precedente.

La relazione fra i due tipi di evapotraspirazione è la seguente:

$$ETE = ET_0 K_c \quad \text{Eq. 2}$$

dove il termine K_c (coefficiente colturale) riflette le differenze nella specie, nella copertura vegetale e nello stadio di sviluppo.

L'ET viene generalmente espressa in millimetri per unità di tempo: considera quindi la perdita di acqua come unità di altezza. L'ET può tuttavia venire espressa anche in relazione al volume evaporato per unità di superficie per unità di tempo (ad esempio, m³/ha giorno), oppure per unità di energia necessaria per far evaporare l'acqua ricevuta per unità di superficie (ad esempio, MJ/m² giorno). Questa energia è chiamata *calore latente di vaporizzazione* (λ , circa 2,5 MJ/kg di acqua). I fattori di conversione fra le diverse unità di misura sono riportati in tab. 1.

Tab. 1 - Fattori di conversione fra le unità di misura correntemente utilizzate per l'evapotraspirazione (ET)

	mm/g	m ³ /ha	MJ/m ²
mm/g	1	10	2,45
m ³ /ha	0,1	1	0,245
MJ/m ²	0,408	4,082	1

Influenza del clima su ET

Diversi elementi climatici influenzano l'ET.

- **Temperatura dell'aria.** Viene classificata come temperatura del bulbo secco o ambientale (T_a), del bulbo umido (T_w) e di rugiada (T_d). L'unità di misura è il grado Celsius ($^{\circ}\text{C}$). T_a è quella comunemente riportata, e viene misurata attraverso il termometro. T_w è la temperatura alla quale un oggetto può venire raffreddato attraverso l'evaporazione dell'acqua dalla sua superficie; è il parametro fondamentale per il *cooling system* impiegato per raffreddare l'atmosfera all'interno delle serre. La contemporanea lettura dei due termometri, secco e bagnato, determina univocamente l'umidità. T_d , invece, è la temperatura alla quale un campione di aria deve venire raffreddato per divenire saturo di umidità al contatto con una superficie. Alla saturazione, la temperatura del bulbo secco, del bulbo umido e il punto di rugiada sono uguali; altrimenti la temperatura del punto di rugiada è minore della temperatura del bulbo umido che a sua volta è minore della temperatura del bulbo secco.

- **Radiazione solare netta (R_n).** È il livello netto di radiazione solare alla superficie della coltura. Viene misurata attraverso sensori chiamati piranometri. Le unità di misura utilizzate sono unità di energia, generalmente calorie (cal), joule (J) o watt ($1\text{W} = 1\text{J}/\text{sec}$). Livelli istantanei di radiazione su una superficie vengono misurati come flusso di energia per unità di superficie (W/m^2). Normalmente, per il calcolo dell'ET si utilizzano livelli cumulati di radiazione come cal/cm^2 giorno oppure MJ/m^2 giorno.

- **Pressione di vapore.** L'aria contiene vapore acqueo, e questo può renderla più o meno satura. L'ammontare di vapore acqueo che può essere trattenuto dall'aria è temperatura-dipendente: all'aumentare della temperatura, aumenta anche la quantità massima di vapore acqueo. Per la stima dell'evapotraspirazione è più importante un altro parametro: la pressione di vapore (e), che rappresenta la pressione esercitata dal vapore acqueo su una superficie. Esistono due pressioni di vapore: la pressione di vapore reale (e) e la pressione di vapo-

re a saturazione o massima (e_s). La differenza ($e_s - e$) è il deficit di pressione di vapore (VPD), mentre il loro rapporto (e/e_s) è l'umidità relativa.

- **VPD.** È un fattore ambientale molto importante perché regola il funzionamento stomatico nelle piante (vedi *fig. 3*). L'aumento di VPD, legato all'aumento di temperatura dell'aria e alla radiazione solare, provoca un aumento nella traspirazione fogliare, con conseguente abbassamento del potenziale idrico fogliare e chiusura stomatica. La misura del VPD diviene perciò essenziale per la stima dell'evapotraspirazione, anche perché il valore di VPD entra in numerose equazioni per il calcolo dell'ET.

- **Vento.** Il vento ha due ruoli ben definiti nell'evapotraspirazione: può trasportare calore che provoca l'innalzamento della temperatura in una vegetazione; accelera l'ET mediante l'incremento della turbolenza a livello della superficie fogliare, con trasferimento del vapore acqueo dalla vegetazione all'atmosfera. Così facendo, provoca l'aumento del VPD fra superficie fogliare e micro-atmosfera fogliare.

Nella *tab. 2* viene riportato un quadro riassuntivo con gli effetti dei diversi parametri climatici sull'entità di evapotraspirazione nelle piante.

La stima di ET_0

L'evapotraspirazione può venire misurata attraverso metodi diretti oppure calcolata mediante metodi indiretti.

• Metodo diretto o della vasca evaporimetrica

Il metodo evaporimetrico consiste nel calcolare il valore di ET_0 per mezzo della evaporazione osservata da un evaporimetro a bacinella di classe A del US Weather Bureau:

$$ET_0 = ke E \quad \text{Eq. 3}$$

dove E è il tasso di evaporazione (espressa in mm/giorno) osservato all'evaporimetro; ke è un coefficiente il cui valore dipende dalla umidità relativa media, dalla velocità del vento e dal tipo di copertura vegetale circostante. Le *tabb. 3 e 4* forniscono i valori da attribuire al coefficiente ke a

Tab. 2 - Influenza dei parametri climatici sull'entità dell'evapotraspirazione

Fattore climatico	Evapotraspirazione	
	Alta	Bassa
Radiazione solare	Cielo sereno	Cielo nuvoloso
Temperatura	Alta	Bassa
VPD	Alto (clima secco)	Basso (clima umido)
Vento	Si	No

Tab. 3 - Valori del coefficiente k_e per il metodo evaporimetrico con condizioni di terreno coperto, riferite all'Equazione 3

Caso A: evaporimetro in terreno coperto da erba bassa

UR_{media} : umidità relativa media (%)

V_v : velocità media del vento nelle 24 ore (km/giorno)

L : estensione della copertura verde dalla parte sopra vento (m)

V_v	L	UR_{media}		
		Bassa (< 40%)	Media (40 - 70%)	Alta (> 70%)
< 175 (vento leggero)	1	0,55	0,65	0,75
	10	0,65	0,75	0,85
	100	0,70	0,80	0,85
	1000	0,75	0,85	0,85
175 - 425 (vento moderato)	1	0,50	0,60	0,65
	10	0,60	0,70	0,75
	100	0,65	0,75	0,80
	1000	0,70	0,80	0,80
427 - 700 (vento forte)	1	0,45	0,50	0,60
	10	0,55	0,60	0,65
	100	0,60	0,65	0,70
	1000	0,65	0,70	0,75
> 700 (vento fortissimo)	1	0,40	0,45	0,50
	10	0,45	0,55	0,60
	100	0,50	0,60	0,65
	1000	0,55	0,60	0,65

Tab. 4 - Valori del coefficiente k_e per il metodo evaporimetrico con condizioni di terreno spoglio, riferita all'Equazione 3

Caso B: evaporimetro in terreno spoglio e asciutto

UR_{media} : umidità relativa media (%)

V_v : velocità media del vento nelle 24 ore (km/giorno)

L : estensione della copertura verde dalla parte sopra vento (m)

V_v	L	UR_{media}		
		Bassa (< 40%)	Media (40 - 70%)	Alta (> 70%)
< 175 (vento leggero)	1	0,70	0,80	0,85
	10	0,60	0,70	0,80
	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,50	0,60	0,70
175 - 425 (vento moderato)	1	0,65	0,75	0,80
	10	0,55	0,65	0,70
	100	0,50	0,60	0,65
	1000	0,45	0,55	0,60
427 - 700 (vento forte)	1	0,60	0,65	0,70
	10	0,50	0,55	0,65
	100	0,45	0,50	0,60
	1000	0,40	0,45	0,55
> 700 (vento fortissimo)	1	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,50	0,55
	100	0,40	0,45	0,50
	1000	0,35	0,40	0,45

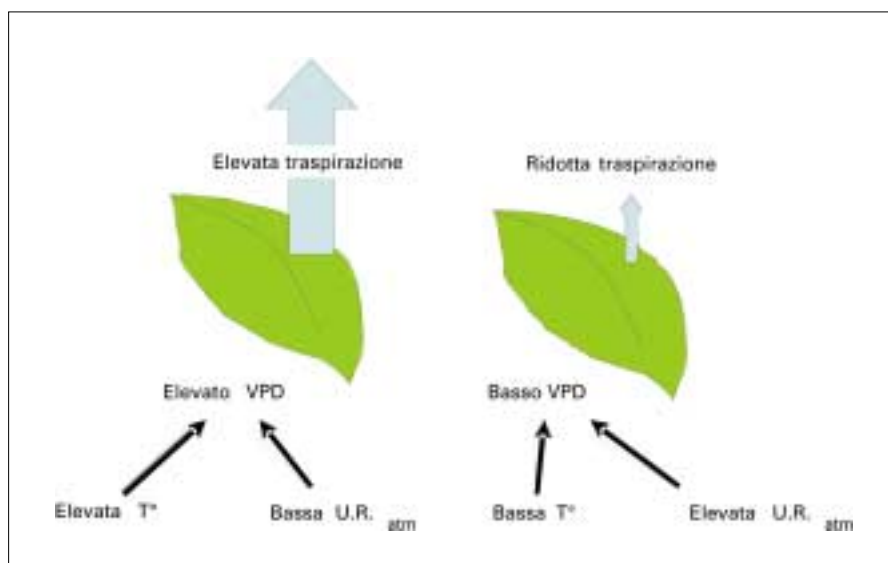


Fig. 3 - Influenza della temperatura (T°) e dell'umidità atmosferica ($U.R._{atm}$) sul deficit di pressione di vapore (VPD), e di quest'ultimo sulla traspirazione fogliare

seconda della copertura vegetale (evaporimetro su prato o evaporimetro su terreno nudo), della distanza sottovento da copertura vegetale (in m) ovvero del terreno spoglio (sopravvento rispetto alla zona di riferimento), dell'umidità relativa calcolata come media del valore massimo e minimo, e della velocità del vento calcolata come vento sfilato nelle 24 ore (km/giorno).

• *Metodi indiretti.* Tra i metodi indiretti esistono numerose equazioni matematiche, più o meno complesse, che mettono in relazione l' ET_0 con parametri climatici e/o fisiologici.

Tra le equazioni più utilizzate troviamo:

a) equazione della radiazione solare:

$$ET_0 = a + b (W R_s) \quad Eq. 4$$

dove a e b sono fattori di correzione per l'umidità e il vento, W un fattore di altitudine e temperatura media, R_s la radiazione solare media giornaliera (in mm/giorno).

Esistono altre equazioni di tipo radiativo, empiriche, che determinano immediatamente l' ETE . Ad esempio, una delle più utilizzate è la seguente:

$$ETE = K_c R_G / \lambda \quad Eq. 5$$

dove ETE è l'evapotraspirazione effettiva (in L/m^2), K_c il coefficiente colturale, R_G la radiazione globale interna (MJ/m^2) e λ il calore latente di vaporizzazione.

b) equazione di Thornthwaite. La formula di Thornthwaite consente la stima della evapotraspirazione potenziale di riferimento, espressa in centimetri, su base mensile con il ricorso alla sola informazione sull'andamento delle temperature medie mensili T :

$$ET_0 = c T_i^a \quad Eq. 6$$

T_i rappresenta la temperatura media del mese, espressa in gradi centigradi, mentre c e a sono due parametri che dipendono dal clima del luogo considerato.

I parametri possono essere espressi in funzione dell'indice termico annuale (I) con la formula:

$$I = \sum_{i=1,12} (T_i / 5)^{1,514} \quad Eq. 7$$

dove T_i indica la temperatura media mensile. I parametri a e c nella formula 6 assumono la forma:

$$a = 0,016 I + 0,5 \quad Eq. 8$$

$$c = 1,6 (10 / I)^a \quad Eq. 9$$

I è l'indice calorico annuo.

$$ETP = 16 * \left(\frac{10 + T_i}{I} \right)^a * \rho$$

dove:

$$a = 0,000000675 \cdot I^3 - 0,0000771 \cdot I^2 + 0,01792 \cdot I + 0,49239$$

ρ è il fattore di correzione per la latitudine che può essere calcolato come numero medio giornaliero di ore di luce diviso le ore del giorno.

Tab. 5 - Valore medio mensile N del numero di ore giornaliero di insolazione teorica per le diverse latitudini italiane (vedi Equazioni 10 e 11)

Lat.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
48°	8,8	10,2	11,8	13,6	15,2	16,0	15,6	14,3	12,6	10,9	9,3	8,3
46°	9,1	10,4	11,9	13,5	14,9	15,7	15,4	14,2	12,6	10,9	9,5	8,7
44°	9,3	10,5	11,9	13,4	14,7	15,4	15,2	14,0	12,6	11,0	9,7	8,9
42°	9,4	10,6	11,9	13,4	14,6	15,2	14,9	13,9	12,6	11,1	9,8	9,1
40°	9,6	10,7	11,9	13,3	14,4	15,0	14,7	13,7	12,5	11,2	10,0	9,3
35°	10,1	11,0	11,9	13,1	14,0	14,5	14,3	13,5	12,4	11,3	10,3	9,8

Tab. 6 - Valori del coefficiente k per il metodo di Blaney-Criddle (vedi Equazione 11)

UR_{min} : minima umidità relativa (%)

V_v : velocità del vento nelle ore diurne (m/sec)

r_i : rapporto fra la durata effettiva e la durata teorica dell'insolazione

r_i	V_v	UR_{min}		
		Bassa (< 20%)	Media (20 - 50%)	Alta (> 50%)
0,45 (bassa)	Bassa (0 - 2)	1,29	1,13	0,93
	Media (2 - 5)	1,47	1,25	1,00
	Alta (5 - 8)	1,62	1,38	1,12
0,70 (media)	Bassa (0 - 2)	1,43	1,26	1,06
	Media (2 - 5)	1,66	1,43	1,14
	Alta (5 - 8)	1,90	1,56	1,24
0,90 (alta)	Bassa (0 - 2)	1,60	1,43	1,15
	Media (2 - 5)	1,82	1,57	1,25
	Alta (5 - 8)	2,06	1,75	1,36

c) equazione di Blaney-Criddle. Anche il metodo di Blaney e Criddle basa essenzialmente la stima della evapotraspirazione potenziale di riferimento sui valori di temperatura. Il metodo consente di valutare l' ET_0 su base mensile ma esprimendola in millimetri al giorno e assume la forma:

$$ET_0 = c [p (0,46 T_{media} + 8)] \quad Eq. 10$$

dove T_{media} è la temperatura media del mese considerato, c un fattore di correzione dimensionale, p la media mensile della durata astronomica del giorno, espressa come percentuale sul totale di ore diurne dell'anno (vedi tab. 5). Il valore di c viene attribuito sulla base di stime basate sul valore minimo di umidità relativa UR_{min} , al rapporto tra la durata effettiva e la durata teorica (astronomica) dell'insolazione, indicata con r_i , e alla velocità del vento nelle ore diurne V_v . Il valore di p dipende esclusivamente dalla latitudine e si può ricavare dalla tab. 5 che fornisce il valore medio mensile N della durata astronomica del giorno in ore, dividendo N per 4380 (totale delle ore diurne in un anno) e moltiplicando il risultato per 100.

Per valutare ET_0 secondo il metodo di Blaney-Criddle si può anche utilizzare la formula:

$$ET_0 = k p (0,46 T + 8) - 2 \quad Eq. 11$$

nella quale il coefficiente k assume i valori che possono essere ricavati dalla tab. 6.

d) equazione di Penman-Monteith:

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e - e_s)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 U_2)}$$

Eq. 12

dove:

ET_0 = evapotraspirazione potenziale (mm/giorno)

R_n = radiazione netta alla superficie della vegetazione ($MJ/m^2 \cdot$ giorno)

G = densità di flusso di calore del suolo ($MJ/m \cdot$ giorno)

T = temperatura media giornaliera dell'aria a 2 m di altezza dal suolo ($^{\circ}C$)

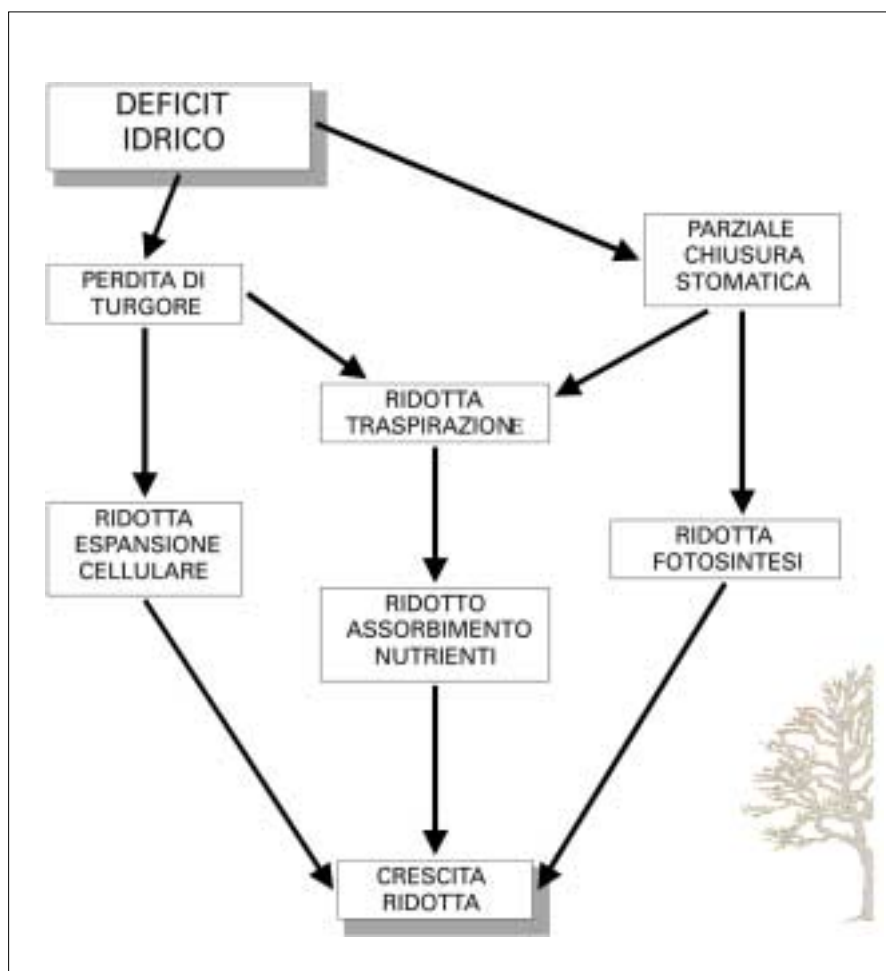


Fig. 4 - Effetto del deficit idrico sui processi metabolici della pianta con riduzione finale della crescita

U_2 = velocità del vento a 2 m di altezza dal suolo (m/sec)

e_s = pressione di vapore massima (kPa)

e = pressione di vapore reale (kPa)

$e - e_s$ = deficit di pressione di vapore (VPD, kPa)

Δ = pendenza della curva di pressione di vapore (kPa/°C)

γ = costante psicrometrica (kPa/°C).

Il metodo di Penman-Monteith è considerato il metodo più preciso fra quelli matematici per il calcolo dell' ET_o . Data la difficoltà di misurazione di alcuni parametri, però, viene raramente utilizzato a livello aziendale, preferendo a esso altri metodi illustrati in precedenza, più immediati e intuitivi.

Gli stress idrici e salini

Generalmente, con il termine stress si indica una sostanziale deviazione dalle condizioni ottimali di vita, con conseguenti cambiamenti e risposte

morfofisiologiche a ogni livello della pianta. Tali risposte possono essere reversibili o irreversibili.

Stress idrico

Lo stress idrico insorge nel momento in cui la richiesta di acqua da parte della pianta supera la sua reale disponibilità, data dall'ammontare di acqua presente nel suolo esplorato dalle radici. Le piante assorbono l'acqua dagli strati superficiali del suolo, dove è presente gran parte dell'apparato radicale. Data la sua importanza, l'apparato radicale deve avere adeguate densità, distribuzione e condizione sanitaria per permettere un efficiente assorbimento. Il lavoro necessario per rimuovere l'acqua dal suolo (o la forza con la quale l'acqua è trattenuta dalle particelle di suolo) prende il nome di potenziale idrico matriciale (Ψ_s , vedi paragrafo relativo al *continuum* suolo-pianta-atmosfera). Quando l'umidità del suolo è bassa, le piante necessitano di una maggiore energia per assorbire acqua, così il Ψ_s aumenta. Quando il suolo è asciutto e il Ψ_s è di conseguenza molto elevato, la pianta non riesce più ad assorbire

acqua e comincia a manifestare sintomi di stress. Questo è conosciuto come effetto matriciale.

La domanda di acqua è invece legata all'evapotraspirazione della coltura. La crescita e la funzionalità cellulare sono intimamente legate al turgore: quando il turgore diviene nullo, le cellule collassano e le foglie appassiscono. Gli stomi sono molto sensibili al grado di turgore cellulare, chiudendosi alla sua riduzione in modo tale da ridurre la traspirazione: in questo modo, però, la pianta abbassa la sua capacità di scambio con l'esterno, riducendo l'ingresso di CO_2 e, di conseguenza, la fotosintesi (vedi *fig. 4*). Altra conseguenza di una ridotta traspirazione a causa della chiusura stomatica susseguente uno stato di stress idrico è l'aumento della temperatura fogliare, con notevoli danni in condizioni di clima caldo. Il mantenimento del turgore e la traspirazione sono perciò due fattori cruciali in condizioni di stress idrico.

La pianta può comunque mettere in atto meccanismi per minimizzare gli effetti dello stress idrico, mediante, ad esempio, l'aggiustamento osmotico (aumento della concentrazione di soluti nel vacuolo per rendere più negativo il potenziale osmotico), incrementando o decrementando l'elasticità della parete, diminuendo il volume cellulare, favorendo l'accrescimento radicale, incrementando la conduttanza idraulica dei tessuti.

Le specie vegetali, tuttavia, non necessitano di identiche quantità di acqua per poter esprimere al massimo le loro potenzialità di crescita; si riscontrano infatti specie con esigenze idriche elevate, e specie con moderate esigenze idriche (vedi *tab. 7* per

quanto riguarda le specie ornamentali). Tuttavia, specie con elevate esigenze idriche possono benissimo superare periodi con scarsa disponibilità idrica, grazie a particolari accorgimenti morfologici e/o fisiologici. L'esempio classico per quanto riguarda le specie ornamentali è dato dal *Nerium oleander*, specie a esigenze idriche medio-alte ma capace di resistere anche a prolungati periodi di stress grazie alla particolare struttura delle foglie: strato ceroso sopra l'epidermide e cavità stomatiche ricche di peli e tricomi all'interno delle quali gli stomi sono protetti contro l'eccessiva traspirazione.

Stress salino

La presenza di sali nella soluzione circolante può inibire la crescita per due ragioni:

1. la presenza di sali nel suolo riduce la capacità delle piante di assorbire l'acqua, con conseguente ridotta crescita. Questo fattore viene chiamato *effetto osmotico*;
2. se un'eccessiva quantità di sali entra nel flusso traspiratorio della pianta, ci saranno danni alle cellule a causa di un *effetto fitotossico* dei sali.

L'effetto osmotico riduce lo sviluppo fogliare e l'estensione dell'apparato radicale, diminuendo la conduttanza stomatica e, di conseguenza, la fotosintesi. I processi metabolici e cellulari sono simili a quelli relativi allo stress idrico. Normalmente i sali non vengono assorbiti nei tessuti in crescita a concentrazioni che possono inibire la crescita: i tessuti meristemati, infatti, vengono largamente riforniti di sostanze nutritive attraverso il floema dal quale i sali vengono esclusi, e le cellule in fase

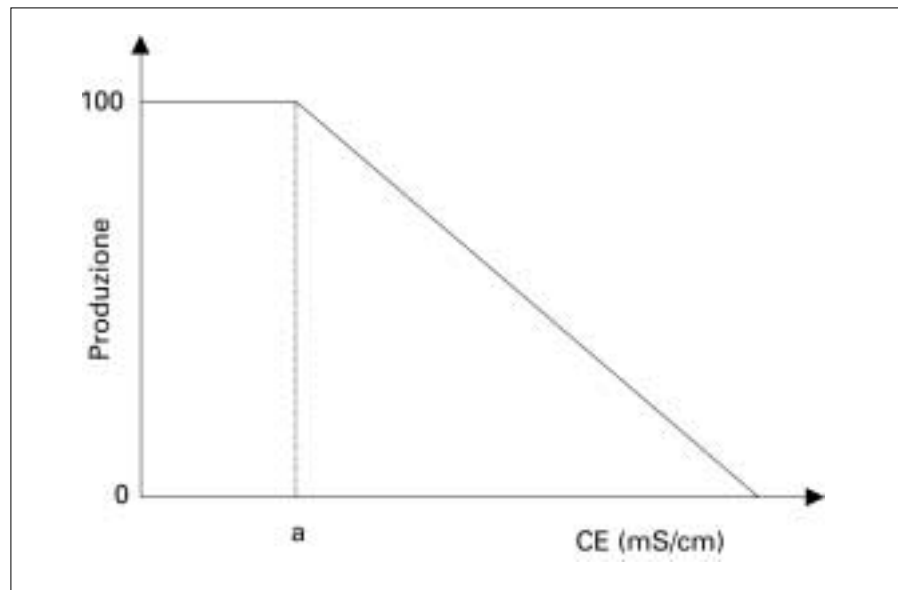
Evidente fenomeno di stress idrico provocato dall'otturazione del gocciolatore: la filtrazione dell'acqua irrigua è di fondamentale importanza per le colture ornamentali in contenitore



Tab. 7 - Classificazione di alcune specie ornamentali in funzione delle esigenze idriche

Esigenze idriche ridotte	Esigenze idriche moderate
<i>Arctostaphylos</i> spp.	<i>Abelia x grandiflora</i>
<i>Aucuba japonica</i>	<i>Acca sellowiana</i> (Feijoa)
<i>Aspidistra elatior</i>	<i>Buxus microphylla</i>
<i>Berberis thunbergii</i>	<i>Callistemon</i> spp.
<i>Butia capitata</i>	<i>Camellia japonica</i>
<i>Chamaerops humilis</i>	<i>Chaenomeles speciosa</i>
<i>Cornus</i> spp.	<i>Cortaderia selloana</i>
<i>Cycas revoluta</i>	<i>Crataegus</i> spp.
<i>Cytisus scoparius</i>	<i>Cuphea hyssopifolia</i>
<i>Dietes vegeta</i>	<i>Eriobotrya japonica</i>
<i>Euonymus japonicus</i> 'Albo marginata'	<i>Fatsia japonica</i> (<i>Aralia</i>)
<i>Hedera helix</i>	<i>Forsythia</i> spp.
<i>Juniperus chinensis</i> 'Blue Vase'	<i>Galphimia glauca</i>
<i>Juniperus chinensis</i> 'Parsonii' (<i>J. davurica</i> 'Expansa')	<i>Gardenia jasminoides</i>
<i>Juniperus chinensis</i> 'Torulosa'	<i>Hemerocallis</i> spp.
<i>Juniperus conferta</i>	<i>Hibiscus syriacus</i>
<i>Juniperus horizontalis</i> 'Blue Rug' ('Wiltonii')	<i>Ilex x attenuata</i>
<i>Leucophyllum frutescens</i>	<i>Ilex cornuta</i>
<i>Mahonia fortunei</i>	<i>Ilex crenata</i>
<i>Rhaphiolepis indica</i>	<i>Ilex crenata</i> 'Compacta'
<i>Tilia</i> spp.	<i>Ilex crenata</i> 'Helleri'
<i>Trachycarpus fortunei</i>	<i>Ilex vomitoria</i>
<i>Washingtonia robusta</i>	<i>Illicium parviflorum</i>
Esigenze idriche elevate	<i>Ixora coccinea</i>
<i>Acer rubrum</i>	<i>Juniperus chinensis</i> var. <i>sargentii</i>
<i>Betula</i> spp.	<i>Lantana montevidensis</i>
<i>Buddleia davidii</i>	<i>Ligustrum japonicum</i>
<i>Cercis</i> spp.	<i>Ligustrum sinense</i>
<i>Cotoneaster</i> spp.	<i>Liriope muscari</i>
<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>	<i>Magnolia grandiflora</i>
<i>Hydrangea macrophylla</i>	<i>Malus</i> spp.
<i>Juniperus chinensis</i> var. <i>procumbens</i>	<i>Myrica cerifera</i>
<i>Juniperus chinensis</i> 'San Jose'	<i>Nandina domestica</i>
<i>Juniperus horizontalis</i> 'Plumosa Compacta'	Esigenze idriche medio-alte
<i>Juniperus virginiana</i> 'Grey Owl'	<i>Nerium oleander</i>
<i>Lagerstroemia indica</i>	<i>Pennisetum setaceum</i>
<i>Pyracantha</i> spp.	<i>Philadelphus coronarius</i>
<i>Rhododendron</i> spp.	<i>Photinia x fraseri</i>
<i>Salix</i> spp.	<i>Pittosporum tobira</i>
<i>Spiraea</i> spp.	<i>Platanus</i> spp.
<i>Viburnum odoratissimum</i>	<i>Plumbago capensis</i>
<i>Viburnum plicatum</i> var. <i>tomentosum</i> 'Shasta'	<i>Podocarpus macropylus</i>
<i>Vitex agnus-castus</i>	<i>Pyrus</i> spp.
	<i>Quercus laurifolia</i>
	<i>Rhododendron</i> spp.
	<i>Spiraea</i> spp.
	<i>Ternstroemia gymnanthera</i>
	<i>Thuja</i> spp.
	<i>Trachelospermum asiaticum</i>
	<i>Ulmus parvifolia</i>
	<i>Viburnum suspensum</i>
	<i>Zelkova</i> spp.

Fig. 7 - Modello di Maas-Hoffmann dell'effetto della salinità sulla diminuzione di produzione



di estensione possono escludere i sali che giungono attraverso il flusso xilematico mediante compartimentazione vacuolare. In questo modo, i sali che arrivano alla pianta non inibiscono direttamente la crescita di nuovi tessuti. Tuttavia, la presenza di sali incrementa la senescenza fogliare. Un trasporto continuo in foglie pienamente traspiranti porta a un elevato accumulo in ioni quali Na^+ e Cl^- , con precoce morte dei tessuti. Il tasso di mortalità fogliare è cruciale per la sopravvivenza delle piante. Se nuove foglie riescono comunque a sostituire le vecchie foglie morte, il processo fotosintetico rimane inalterato e la pianta può produrre normalmente. In caso contrario, la pianta non potrà giungere alla piena produzione.

La riduzione della crescita consta di due fasi. Nella prima fase, la riduzione è apparente ed è dovuta alla presenza di ioni all'esterno delle radici, legata a un effetto osmotico. La seconda fase, invece, conduce a un danno dei tessuti, ed è geneticamente determinata. Il tasso al quale le vecchie foglie muoiono dipende dal tasso con il quale gli ioni vengono accumulati.

Il controllo del trasporto di ioni avviene in quattro siti della pianta. Il controllo avviene a livello della corteccia radicale, nei tessuti xilematici, e nel punto di contatto fra questi due siti. Questi tre processi servono a ridurre la quantità di ioni trasportati nella parte superiore della pianta. Il controllo a livello fogliare avviene tramite l'esclusione dei sali presenti nella linfa floematica. Un meccanismo addizionale avviene in numerose alofite: esistono cellule specializzate per eliminare i sali in eccesso. L'esclusione è particolarmente importan-

te per le specie perenni nelle quali le foglie possono vivere per più anni.

Tra la salinità del suolo e la produzione delle piante esiste una relazione lineare, che si può esprimere con la seguente equazione (modello di Maas e Hoffman, fig. 7):

$$P = 100 - b (EC - a), \text{ con } EC > a \quad \text{Eq. 13}$$

dove P è la produzione della coltivazione rispetto alla massima possibile in condizioni ottimali, EC è la salinità del suolo (in mS/cm), a è la EC massima oltre la quale si assiste a un decremento della produzione, b è la pendenza della retta.

Ovviamente, esisteranno specie maggiormente tolleranti di altre alla presenza di sali. La definizione di tolleranza alla salinità è solitamente legata alla percentuale di biomassa prodotta nei suoli salini rispetto ai suoli non salini, dopo aver permesso la crescita per un periodo di tempo esteso. Per le specie ornamentali, la produzione considerata sarà quella data dalla quantità di fiori, oppure dalla presenza di foglie esteticamente perfette. Esistono diversi studi che hanno tentato di classificare il grado di tolleranza delle specie coltivate alla salinità. Nella *tab. 8* viene riportato il grado di tolleranza alla salinità in diverse specie ornamentali arbustive e arboree.

Le relazioni minerali delle piante

Nel terreno i nutrienti minerali si trovano in tre diverse forme:

1. disciolti nell'acqua interstiziale del suolo (meno dello 0,2%);

Tab. 8 - Grado di tolleranza alla salinità in diverse specie ornamentali arbustive e arboree

Grado di sensibilità	Valore max EC (mS/cm) A	Valore max EC (mS/cm) B	Specie
Molto sensibili	1,0 - 2,0	0,7 - 1,3	<i>Cotoneaster congestus</i> , <i>Mahonia aquifolium</i> , <i>Photinia x Fraseri</i>
Sensibili	2,0 - 4,0	1,3 - 2,7	<i>Feijoa sellowiana</i> , <i>Ilex cornuta</i> , <i>Rosa</i> spp., <i>Hedera canadiensis</i> , <i>Hibiscus rosa-sinensis</i> , <i>Lagerstroemia indica</i> , <i>Platyclusus orientalis</i> , <i>Pittosporum tobira</i> , <i>Nandina domestica</i> , <i>Viburnum tinus</i> , <i>Arbutus unedo</i>
Moderatamente sensibili	4,0 - 6,0	2,7 - 4,0	<i>Lantana camara</i> , <i>Ligustrum</i> spp., <i>Magnolia grandiflora</i> , <i>Buxus</i> spp., <i>Dodonea viscosa</i> , <i>Pyracantha</i> spp., <i>Prunus</i> spp.
Moderatamente tolleranti	6,0 - 8,0	4,0 - 5,0	<i>Callistemon</i> spp., <i>Chamerops humilis</i> , <i>Euonymus</i> spp., <i>Nerium oleander</i> , <i>Cordiline indivisa</i> , <i>Liquidambar styraciflua</i> , <i>Pinus halepensis</i> , <i>Rosmarinus officinalis</i>
Tolleranti	8,0 - 10	5,3 - 6,7	<i>Syzygium paniculatum</i> , <i>Leucophyllum frutescens</i> , <i>Pinus pinea</i> , <i>Carissa grandiflora</i> , <i>Bougainvillea spectabilis</i>
Molto tolleranti	> 10	> 6,7	<i>Delosperma alba</i> , <i>Drosanthemum hispidum</i> , <i>Lampnathus productus</i> , <i>Hymenocyclus croceus</i>

Nota: A valore di EC riferito all'estratto saturo del terreno o del substrato; B valore di EC dell'acqua irrigua massimo tollerabile.
Fonte: Barbieri e De Pascale, 1992.

- legati al detrito organico, all'*humus*, e come composti inorganici relativamente insolubili. Questa parte, che è di gran lunga la maggiore (98%), costituisce una sorta di riserva che diventa disponibile alla pianta molto lentamente grazie ai processi di decomposizione e mineralizzazione dell'*humus*;
- adsorbiti su colloidali o su particelle minerali grazie a legami ionici. Questa parte è circa il 2%.

Queste tre parti sono in un equilibrio dinamico fra loro e complessivamente mantengono un certo livello di "rifornimento" alla vegetazione. Le piante terrestri acquisiscono i nutrienti minerali principalmente attraverso le radici, anche se piccole quantità di minerali (o fitofarmaci e inquinanti) possono essere acquisiti direttamente dalle foglie o dai rami.

I meccanismi con cui gli elementi minerali sono assorbiti dalle piante sono i seguenti:

- assorbimento dalla soluzione del suolo: alcuni ioni sono assorbiti direttamente dalle radici anche se la concentrazione è di solito molto bassa;
- scambio ionico di sostanze adsorbite: le radici rilasciano ioni H^+ e HCO_3^- che possono essere scambiati sulla superficie di particelle argillose o umiche e quindi assorbiti dalla pianta;
- mobilizzazione di nutrienti legati: attraverso l'escrezione di ioni H^+ e sostanze organiche

chelanti a basso peso molecolare che chelano con legami covalenti alcuni elementi (Fe, Mn e elementi in tracce) che altrimenti non sarebbero in grado di entrare nelle radici.

La velocità con la quale i nutrienti raggiungono le radici della pianta dipende dalla loro concentrazione nel suolo e dalla loro velocità di diffusione specifica (ad esempio, gli ioni nitrato sono molto più veloci degli ioni fosfato e potassio) e della superficie radicale. Le radici delle piante sono chemotropiche, cioè crescono e si estendono di più nella porzione di suolo dove i nutrienti sono più concentrati. Soprattutto aumentano la loro superficie cellulare aumentando la densità dei peli radicali o la membrana plasmatica delle cellule del rizoderma fino a 20 volte.

Traslocazione nella pianta

Una volta entrati nelle radici i minerali sono velocemente ridistribuiti attraverso i sistemi di vasi xilematici e floematici a tutta la pianta. Alcuni nutrienti come N, P, S sono organici e facilmente traslocati, così come alcuni ioni alcalini (soprattutto K^+) che sono dapprima concentrati nelle foglie giovani ma sono gradualmente traslocati in altri tessuti man mano che le foglie invecchiano. Gli ioni metallici come il Ca^{2+} sono invece meno mobili e tendono a stabilizzarsi nelle foglie.

Comunque c'è la tendenza della pianta a trasferire i nutrienti nei tessuti dove servono di più.

Bibliografia

1. AUTORI VARI (2000). *Evapotranspiration: What is it and Why is it Important?*
<http://www.marinwater.org/evapotranspiration.html>
2. BAKKER J.C., BOT G.P.A., CHALLA H., VAN DE BRAAK N.J. (1995). *Greenhouse climate control: an integrated approach*. Ed. Wageningen Pers, Olanda.
3. BARBIERI G., DE PASCALE S. (1992) - *Salinità dell'acqua di irrigazione e colture ortofloricole*. Colture Protette 2.
4. CLARK G.A., SMAJSTRLA A.G., ZAZUETA F.S. (1989). Atmospheric parameters which affect evapotranspiration. University of Florida.
<http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/ae/AE03700.pdf>
5. FAO (1977). *Crop water requirements*. DOORENBOS J., PRUITT W.O. (eds.) FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24. Roma.
6. FAO (1998). *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*. ALLEN R.G., PEREIRA L.S., RAES D., SMITH M. (eds.) FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Roma.
7. LARCHER W. (1995). *Physiological plant ecology*. Ed. Springer, Berlino, Germania.
8. MANKLIN K.R., ROGERS D.H. (1998). *What is ET?*. University of Kansas. <http://www.oznet.ksu.edu/library/ageng2/mf2389.pdf>
9. MUGNAI S., SERRA G., PARDOSSI A., TOGNONI F. (2002). *Controllo gestionale della coltivazione idroponica*. In: *Elementi tecnici per la coltivazione idroponica in floricoltura*. Progetto finalizzato MiPAF "Prodotti e tecnologie innovative sulle piante ornamentali", Ed. Ace international, Vernasca (PC).
10. RAVEN P.H., EVERT R.F., CURTIS H. (1984). *Botanica*. Ed. Zanichelli, Bologna, Italia.
11. SHARMA M.L. (1985). *Estimating evapotranspiration*. In: D. HILLEL (ed.), *Advances in irrigation*, Vol. III., 213-281 Ed. Academic Press, Orlando, Florida, USA.
12. SOUTHERN NURSERY ASSOCIATION (2000). *Best management practices guide for producing container-grown plants*. (Ver. 1). Atlanta, USA (www.sna.org).

5. Le colture fuori suolo per le produzioni floricole di serra

Fernando Malorgio

Introduzione

In questo capitolo sono sinteticamente illustrati i sistemi di coltivazione fuori suolo utilizzati su scala commerciale per la produzione di fiori e fronde recise in serra. Non viene affrontata, invece, la gestione della soluzione nutritiva, ampiamente trattata nei capitoli dedicati alla fertirrigazione, ai sistemi a ciclo chiuso e alla disinfezione delle acque irrigue.

Per trattazioni più ampie dell'argomento si rimanda il lettore ai numerosi testi, in italiano o in inglese, oggi disponibili (ad esempio, Cooper, 1979; Graves, 1983; FAO, 1990; Schwarz, 1995; Resh, 2001; Pimpini, 2001; Urrestarazu, 2001; Savvas and Passam, 2002), nonché agli atti dei numerosi congressi nazionali e internazionali organizzati negli ultimi 15-20 anni.

Breve storia delle colture fuori suolo

La coltura fuori suolo ha radici antiche. Gli egiziani, infatti, diversi secoli avanti Cristo, avevano già sperimentato la crescita delle piante in acqua. I giardini pensili dei Babilonesi e le zattere galleggianti sui fiumi degli Aztechi o dei Cinesi possono essere assimilati a delle vere e proprie coltivazioni fuori suolo. Queste ultime erano costruite con canne, giunchi o bambù su cui era predisposto uno strato di terreno fertile per la coltivazione di ortaggi; il vantaggio di queste coltivazioni galleggianti era il facile trasporto fluviale dei prodotti al mercato.

Boyle (1666) fu il primo sperimentatore a tentare di far crescere le piante in acqua, seguito dall'inglese John Woodward, che nel 1699 coltivando piante in acqua con un diverso grado di purezza aveva notato che quelle poste in acqua contenente del ter-

reno crescevano meglio di quelle mantenute in sola acqua distillata. Il merito di aver stabilito l'importanza dei sali minerali nella nutrizione della pianta va attribuito a Justus von Liebig (1803-73), ma furono due scienziati tedeschi, Sachs (1860) e Knop (1861), i veri fondatori dell'idroponica. I loro studi sull'influenza degli elementi minerali sulla crescita delle piante dimostrarono che lo sviluppo normale poteva essere conseguito aggiungendo all'acqua alcuni elementi minerali e in particolare azoto, fosforo, potassio, zolfo, calcio e magnesio. Negli anni che seguirono diversi ricercatori, Tollens (1882), Shive (1915), Hoagland (1919), Arnon (1938), svilupparono nuove soluzioni nutritive, alcune di queste ancora oggi in uso.

Le prime applicazioni su scala commerciale della coltura idroponica (*Deep Water Culture*) furono, comunque, quelle del Prof. W.F. Gericke, fisiologo della California Agricultural Experimental Station, nel periodo tra le due guerre mondiali del secolo scorso. Il sistema nacque come mezzo alternativo alla coltivazione a terra, afflitta notoriamente, allora come adesso, dai problemi di stanchezza del terreno (Jensen, 1997). Il lavoro di Gericke, su ortaggi perlopiù, suscitò un grande interesse in tutto il mondo, grazie a diversi quotidiani e riviste che propagandarono questo nuovo sistema di coltivazione esaltandone i pregi. Le continue richieste di informazioni da parte di coltivatori e hobbisti spinsero, nel 1938, Hoagland e Arnon, professori all'Università della California, a scrivere una circolare: *The Water-Culture Method for Growing Plants without Soil*. Nella circolare i due autori riportarono le informazioni necessarie per la preparazione della soluzione nutritiva, insieme, comunque, alla raccomandazione che la tecnica rimanesse nell'ambito sperimentale, ritenendola poco idonea per un'applicazione su vasta scala a

causa dei costi elevati di impianto e dei possibili fenomeni di ipossia radicale.

Durante la seconda guerra mondiale, l'esercito americano utilizzò l'idroponica per la produzione di ortaggi freschi da destinare alle sue truppe presenti in Giappone. Il motivo fu essenzialmente igienico in quanto, in quel paese, si utilizzavano liquami di origine umana per la concimazione degli ortaggi e questo ne consentiva l'uso solo dopo la cottura. La tecnica suscitò la curiosità degli sperimentatori giapponesi che, negli anni seguenti, perfezionarono la versione originale di Gericke e la diffusero tra gli orticoltori locali (*Deep Recirculating Culture*).

Per ovviare ai problemi del sistema di Gericke, nella Stazione Sperimentale per l'Agricoltura del New Jersey si sviluppò il sistema della coltivazione su sabbia o ghiaia (*Sand e Gravel Culture*) (Shive e Robbins, 1937), iniziando così lo sviluppo delle colture fuori suolo su substrato. Le modifiche apportate, pur stimolando l'interesse commerciale e rendendo la tecnologia più affidabile, non ne incrementarono la diffusione a livello commerciale perché i costi per la realizzazione dei bancali in cemento erano molto alti. Inoltre, le soluzioni nutritive acide corrodevano velocemente i componenti in ferro e/o zincati e lisciviavano i metalli contenuti come impurità nei letti di coltura con il conseguente sviluppo di fenomeni di fitotossicità.

L'introduzione della plastica in agricoltura, intorno agli anni sessanta, semplificò alcuni aspetti costruttivi (tubazioni, canalette ecc.), e suscitò nuovamente l'interesse degli operatori verso le colture fuori suolo. Negli anni sessanta e settanta grossi impianti idroponici furono sviluppati nei deserti della California, dell'Arizona e di Abu Dhabi.

I ricercatori continuarono a perfezionare la coltivazione in idroponica e nel 1965 Allen Cooper, ricercatore al Glasshouse Crops Research Institute a Littlehampton in Inghilterra, ideò il sistema NFT (*Nutrient Film Technique*). Il sistema prevede una serie di canalette in pendenza in cui scorre una soluzione nutritiva, nelle quali si sviluppano le radici delle piante. L'assenza di un significativo *buffer* idrico e nutritivo ne hanno, comunque, limitato la diffusione su larga scala di questa tecnica.

In Europa i primi impianti di colture senza suolo furono realizzati nel 1963, ma è solo negli anni settanta che possiamo parlare di una produzione commerciale fuori suolo significativa dal punto di vista statistico. L'utilizzo di nuovi substrati di natura organica (a base di torba) e di substrati artificiali o naturali (lana di roccia, perlite, pomice, lapillo vulcanico ecc.) con caratteristiche fisiche-chimiche migliori rispetto alla sabbia o alla ghiaia ha aperto la

diffusione su larga scala di queste colture.

Nel 2000 le colture senza suolo nel mondo si estendevano su circa 22.000 ettari, di cui oltre il 60% concentrati nell'Europa. I paesi del Nord-Europa presentano una percentuale significativa della loro superficie protetta già investita a colture senza suolo (20-50%), mentre nei paesi del Bacino del Mediterraneo questa percentuale non supera il 5%.

Per quanto riguarda l'Italia, nel 1990 esistevano meno di 50 ettari per lo più concentrati in Sardegna. Negli anni successivi si è avuta una certa diffusione delle colture senza suolo in Italia che, comunque, rimane poco utilizzata: oggi si stima che la superficie delle serre utilizzata per colture senza suolo non superi 700-800 ettari, pari a circa il 3% dell'intera superficie protetta italiana. Le tecniche più utilizzate sono quelle che prevedono l'impiego di un substrato, organico (fragola) o inerte (ortaggi e fiori recisi); una discreta diffusione ha avuto il *floating system* (descritto nel prossimo paragrafo) per la produzione di ortaggi da foglia. Quattro specie coprono da sole oltre il 90% della superficie totale e sono quelle in cui la coltivazione fuori suolo ha dato dei reali vantaggi: fragola (150 ettari), pomodoro (200 ettari), gerbera (80-100 ettari), rosa (180-200 ettari). Fra i substrati maggiormente utilizzati troviamo in ordine d'importanza la torba, la perlite, la lana di roccia, la pomice, il lapillo o altre rocce vulcaniche e la fibra di cocco. Sono, infine, da ricordare altri materiali legati a realtà locali come le vinacce e le alghe marine (utilizzate, ad esempio, in Sardegna).

I primi impianti italiani sono stati realizzati semplicemente trasferendo la tecnologia olandese o danese, senza tenere in debita considerazione le differenti condizioni climatiche ed economiche in cui si trovano a operare i nostri serricoltori. Ad esempio, in alcune aziende furono installati dei costosi impianti computerizzati chiaramente sovradimensionati rispetto alle esigenze aziendali.

Prevedere quanto le colture senza suolo si diffonderanno nel nostro Paese è certo difficile. Certo, non mancano elementi a favore di questa diffusione. L'ormai prossima proibizione dell'impiego del bromuro di metile e la limitazione del consumo di fitofarmaci e fertilizzanti imporranno agli agricoltori di rivedere profondamente le tecniche colturali. Le colture senza suolo, in questo senso, potrebbero giocare un ruolo importante, anche se limitatamente al settore ortoflorovivaistico (comunque, uno dei più importanti nel panorama dell'agricoltura italiana), un po' come già sta avvenendo in altri paesi del Mediterraneo come la Spagna.

Sistemi di coltura senza suolo per la floricoltura

Nelle “colture senza suolo” sono comprese tutte quelle tecniche di coltivazione che sono attuate in assenza del comune terreno agrario e nelle quali il rifornimento alle piante, di acqua e di elementi nutritivi, avviene generalmente attraverso la somministrazione di una soluzione nutritiva completa di macro- e micro-nutrienti. In alcuni casi la fertilizzazione è basata su una sorta di concimazione di fondo realizzata attraverso l'aggiunta al substrato di concimi a lenta cessione o impiegando delle resine a scambio ionico, come nel caso dell'idrocoltura in vaso.

Le colture senza suolo o idroponiche (dal greco *hydros*, acqua, e *ponos*, lavoro) si possono suddividere in due gruppi: le colture in soluzione nutritiva a radice nuda (senza substrato) e quelle in contenitore su substrato, naturale o artificiale.

Le colture idroponiche possono essere anche distinte in base alla presenza o meno del substrato e alla sua natura (artificiale o naturale), al sistema di irrigazione (irrigazione a goccia oppure subirrigazione) e al recupero o meno della soluzione nutritiva somministrata. Se la soluzione nutritiva drenata non è recuperata e riutilizzata si parla di *sistema aperto*; al contrario, se la soluzione è raccolta, reintegrata e somministrata nuovamente alla coltura si parla di *sistema chiuso*.

Il futuro delle coltivazioni senza suolo, vista la sempre maggiore sensibilità degli operatori verso l'ambiente, è quello di un progressivo passaggio dal sistema aperto a quello chiuso, in modo da ridurre al minimo l'impatto ambientale. Purtroppo,

po, la difficoltà nella gestione del rifornimento idrico e minerale e il maggior rischio di diffusione degli agenti di malattie del colletto e delle radici attraverso la soluzione nutritiva ricircolante, sono i fattori che hanno frenato e frenano tuttora la diffusione dei cicli chiusi. Recentemente, tuttavia, sono state introdotte nuove tecnologie che hanno reso il sistema chiuso più sicuro e quindi più facile da applicare su scala commerciale.

Di seguito si riporta una sintetica descrizione dei sistemi idroponici attualmente più diffusi a livello commerciale per la coltivazione delle specie ornamentali in serra.

Floating system

Questa tecnica prevede la coltivazione su soluzione nutritiva stagnante, senza substrato, di piante seminate o trapiantate in contenitori di polistirolo o altro materiale plastico.

Benché noto con il termine inglese “*Floating System*” (dall'inglese *float*, che significa galleggiare), il sistema fu usato per la prima volta dal Prof. Franco Massantini (Università di Pisa) nel 1976 per la coltivazione di lattuga e fragola.

Nel Floating System le piante sono allevate in un elevato volume di soluzione nutritiva (circa 100-300 litri per m²), che assicura un elevato potere tampone al sistema; riduce, ad esempio, le escursioni termiche a livello radicale ed consente di ridurre la frequenza del controllo e della reintegrazione della soluzione nutritiva.

L'estrema semplicità costruttiva è il principale motivo della notevole espansione commerciale di questo sistema in Italia (in particolare nel Veneto) per la coltivazione di specie a ciclo breve, ad esem-



Coltura del tulipano con la tecnica del *floating*

pio insalate da taglio e piante aromatiche (rucola, valerianella, basilico ecc.), soprattutto per il mercato degli ortaggi di IV gamma (prodotti freschi pronti al consumo). Nel settore del florovivaismo la tecnica del *floating* ha trovato notevole interesse nella coltivazione delle bulbose da fiore reciso. In Olanda, ad esempio, negli anni 1999-2000, circa 200 milioni di steli di tulipano (quasi il 20% della produzione totale) sono stati prodotti mediante questo sistema (Vidril, 2003).

Nel caso del tulipano vengono impiegati appositi contenitori in materiale plastico provvisti di chiodini di plastica alla base del contenitore stesso in grado di sostenere il bulbo. Le tipologie di contenitori maggiormente impiegate sono due: la prima (30 x 56 cm) può contenere da 78 a 126 bulbi calibro 10 e 10+; la seconda, 40 x 60 cm, può contenere circa 90 bulbi calibro 12-15. Per le altre bulbose (ad esempio, iris) possono essere impiegate cassette con supporti imbutiformi in plastica opportunamente sagomati, che si adattano alle diverse dimensioni dei bulbi. Nella maggior parte dei casi i contenitori, a fine coltura, possono essere sterilizzati e riutilizzati per almeno 3-4 anni; nel caso dell'iris i contenitori si usano 5-6 volte in un anno.

I vantaggi del *floating* per la coltivazione delle bulbose sono la riduzione del costo di produzione, la fioritura più precoce, la maggiore produttività annuale, la riduzione del consumo di energia e di fitofarmaci, il miglioramento delle condizioni di lavoro.

Nutrient Film Technique (NFT)

La tecnica, messa a punto da Cooper nel 1972 a Littlehampton in Gran Bretagna, prevede la coltivazione delle piante in canalette senza alcun substrato e in leggera pendenza (1,5-2,5%) entro le

quali scorre (con un flusso di 1-3 L/min) un sottile film di soluzione nutritiva. Il sistema NFT presenta non pochi inconvenienti che ne hanno limitato la diffusione su scala commerciale, ristretta praticamente agli ortaggi da foglia.

Aeroponica

In questo sistema le radici delle piante sono sospese in un contenitore dove un sistema di nebulizzazione le mantiene costantemente umide. Le piante sono sostenute da pannelli in materiale plastico (polistirolo) disposti orizzontalmente o su piani inclinati, e sostenuti a loro volta da una struttura portante inerte dal punto di vista chimico. La soluzione nutritiva viene spruzzata direttamente sulle radici, mediante nebulizzatori, con interventi che durano 30-60 secondi e con una frequenza variabile (40-80 interventi/giorno) in funzione delle condizioni climatiche di coltivazione, della specie, dello stato di crescita delle piante ecc.; la soluzione nutritiva è ricircolante.

In aeroponica i problemi di ipossia sono praticamente nulli, ma gli elevati costi di impianto (anche per la necessità di predisporre sistemi di allarme e di sicurezza) ne hanno assai limitato la diffusione. Alcune applicazioni commerciali sono state proposte per la coltivazione del crisantemo come fiore reciso o per la coltivazione di piante madri da cui prelevare talee per la moltiplicazione (crisantemo, impatiens, ibisco, poinsettia, fucsia ecc.).

La coltura su substrato artificiale

È sicuramente la tecnica di coltivazione più diffusa per la produzione di fiori recisi, oltre che ovviamente per le piante ornamentali in vaso (piante fiorite, da fogliame ornamentale, specie



Coltivazione di gerbera fuori suolo in bancali di cemento in una miscela di torba-sabbia; questo tipo di impianti è ormai commercialmente superato



Evoluzione nei sistemi di coltivazione su substrato: il caso della rosa. I primi impianti furono realizzati con canalette (*banquette*) in polipropilene opportunamente sagomate (A) e riempite con substrati a base di perlite, pomice o tufo. Negli ultimi anni si è andato diffondendo l'uso delle lastre di lana di roccia (B) o dei sacchi di perlite (C) che permettono di abbattere fortemente i costi per il montaggio e lo smontaggio dell'impianto

legnose per l'esterno ecc.).

Le prime coltivazioni su substrato, come già ricordato, furono realizzate utilizzando bancali di cemento riempiti con sabbia o ghiaia. Successivamente, l'introduzione di substrati a base di torba assicurò una maggiore riserva idrica e aerazione, facilitando così l'irrigazione.

L'evoluzione delle colture su substrato è stata determinata dalla necessità di diminuire il più possibile i costi di impianto (costi dei supporti e della manodopera necessaria per il montaggio degli impianti ecc.). L'introduzione della plastica ha permesso di passare dai costosissimi bancali di cemento alle canalette in polipropilene, opportunamente sagomate, quindi alle cassette o ai grossi vasi e infine ai sacchi o agli appositi profilati in polistirolo, che hanno determinato una sostanziale riduzione del volume di substrato a disposizione della pianta.

Per quanto riguarda i substrati si è assistito, specie negli ultimi anni, all'introduzione di molti materiali diversi (gli ultimi sono la fibra di cocco e i materiali ligno-cellulosici derivati dai residui della lavorazione del legno), ognuno con i suoi pregi e i suoi difetti. In realtà, il substrato ideale, con le caratteristiche fisico-chimiche ottimali (una buona capacità per l'acqua e per l'aria, una struttura stabile nel tempo ecc.), economico e facilmente riciclabile non esiste, o perlomeno non è stato ancora trovato.

Nelle colture in contenitore l'erogazione dell'acqua e/o della soluzione nutritiva è assicurata da impianti d'irrigazione per aspersione (nei vasi di pic-

cole-medie dimensioni), per nebulizzazione (contenitori alveolari) o a goccia. Particolarmente interessante è la tecnica della subirrigazione, detta anche a flusso e riflusso (dal termine inglese *'ebb and flow'*), per la produzione delle piante in vaso in serra.

Negli impianti a flusso e riflusso, il vaso è irrigato dal basso grazie a periodiche (ogni 1-4 giorni, a seconda dell'attività traspiratoria della coltura e della riserva idrica del vaso) inondazioni con soluzione nutritiva del bancale o della platea di coltivazione. L'irrigazione della pianta è effettuata per allagamento della platea in modo che l'acqua entri nella parte basale del contenitore per 1-4 cm (come regola empirica, lo spessore della lama deve essere intorno al 25% dell'altezza del contenitore) e da qui, per capillarità, in tutto il substrato (vedi Capitolo 19). Ciò comporta un maggior quantitativo di soluzione nutritiva ricircolante per unità di superficie coltivata. Infatti, se l'irrigazione a goccia richiede da 1 a 2 L/m², nel caso della subirrigazione si arriva a volumi compresi fra 20 e 30 L/m² (a seconda dell'altezza del vaso e della densità di coltivazione); tuttavia, il totale della soluzione recuperata può essere diminuita utilizzando settori di ridotta superficie da allagare in sequenza.

La tecnica del flusso e riflusso può essere attuata o utilizzando bancali costruiti appositamente oppure a terra (platea). Nel primo caso i bancali possono essere fissi oppure mobili e possono essere provvisti o meno di tappetino capillare. Nella coltivazione a terra è di fondamentale importanza



Coltura di rosa su perlite a ciclo chiuso in una serra in Olanda; da notare l'impianto di illuminazione artificiale. È evidente l'approccio "industriale" tipico delle serre olandesi



Coltivazione di piante fiorite in vaso sotto serra con la tecnica del flusso e riflusso su bancali estraibili

la pendenza della platea, in quanto è necessario che la soluzione nutritiva raggiunga rapidamente il livello adeguato per la bagnatura del vaso e possa poi rapidamente defluire verso i collettori di recupero e redistribuzione agli altri settori.

Mentre nell'irrigazione a goccia si crea un flusso di soluzione nutritiva che va dall'alto del vaso verso il basso per poi fuoriuscire dai fori di drenaggio, nella subirrigazione, invece, si ha un movimento quasi esclusivamente ascendente della soluzione, dal basso verso l'alto, per capillarità; il fenomeno può essere favorito dall'evaporazione di acqua dalla parte alta del vaso. Alcuni accorgimen-

ti sono importanti per il successo della tecnica: *i)* utilizzare substrati dotati di una buona risalita capillare (ad esempio, torba e cocco); *ii)* bagnare uniformemente dall'alto il substrato per avviare correttamente il fenomeno di risalita capillare.

I principali vantaggi della tecnica del flusso e riflusso sono la riduzione del rischio di diffondere eventuali malattie delle radici attraverso il riutilizzo delle soluzioni drenate, la maggiore stabilità della composizione della soluzione nutritiva e il risparmio di manodopera, soprattutto per le operazioni di movimentazione dei vasi.

Sistema per la movimentazione di contenitori alveolari in una serra dotata di impianti di coltivazione a flusso e reflusso su pavimento



Pianta di *Ficus* in idrocoltura. Si noti l'indicatore di livello dell'acqua sulla parte sinistra del vaso



Idrocoltura

La coltivazione delle piante ornamentali da appartamento in questi ultimi anni ha subito un considerevole e interessante incremento, anche in relazione al crescente impiego negli spazi interni, pubblici e privati (*interiorscaping*). Particolarmente interessante per la produzione di queste piante appare la tecnica dell'idrocoltura.

I costituenti essenziali di tale sistema di coltivazione sono i seguenti.

1. *Vaso di coltivazione*. È il vaso che contiene la pianta e il substrato di coltivazione (argilla espansa, in genere); è fessurato nella parte infe-

riore con fori non molto grandi, tali da impedire la fuoriuscita dell'argilla espansa, ma adatti invece a far passare l'acqua e quindi le sostanze nutritive in essa disciolte.

Il vaso di coltura presenta anche una scanalatura laterale per ospitare l'indicatore di livello. Le dimensioni dei portavasi sono variabili in funzione della specie coltivata e possono variare da 5 cm di altezza (Ø 5 cm) a 19 cm e oltre (Ø 32 cm o maggiore). Al vaso di coltivazione vero e proprio, al momento della vendita, vengono aggiunti l'indicatore di livello e il vaso esterno. L'indicatore di livello o idrometro serve a tene-

- re sotto controllo la quantità d'acqua presente all'interno del portavaso.
2. *Il portavaso o vaso esterno.* Realizzato in materiale plastico oppure in ceramica, con forme e colorazioni diverse, serve come contenitore per il vaso di coltura.
 3. *Il substrato.* Generalmente si impiega l'argilla espansa a granulometria variabile (4-16 mm secondo la tipologia di pianta). L'argilla espansa presenta notevoli vantaggi in quanto è un materiale inerte e inalterabile nel tempo e non si modifica al contatto con la soluzione nutritiva.
 4. *La soluzione nutritiva.* Per la coltivazione delle piante ornamentali e fino alla fase di commercializzazione può essere utilizzata una soluzione nutritiva standard, completa di macro- e microelementi. Nella fase post-vendita si ricorre generalmente all'impiego di resine a scambio ionico (*Levatit®*). Queste resine garantiscono il rifornimento minerale alla pianta per un periodo di 3-6 mesi, in maniera omogenea e graduale, come richiesto dalla pianta stessa, senza bisogno di altri interventi nel periodo se non quello di fornire l'acqua. Le resine a scambio ionico, formulate come microgranuli o come pastiglie (cialde), sono in grado di cedere gradualmente all'acqua (non deionizzata) le sostanze nutritive sotto forma di ioni.

Vantaggi e svantaggi delle colture fuori suolo

In linea di principio, le colture fuori suolo costituiscono uno strumento formidabile per controllare la crescita e lo sviluppo delle piante e quindi la produttività delle colture attraverso la

regolazione precisa dell'irrigazione e della fertilizzazione e grazie alla possibilità di ridurre drasticamente, se non proprio eliminare, i rischi di stress provocati da agenti biotici e abiotici (ad esempio, salinità o carenza idrica). In realtà, per ragioni prettamente economiche, le colture fuori suolo su scala commerciale sono ben lontane dal sistema colturale ideale ora descritto. Pertanto, i pro e i contro di questa tecnologia devono essere attentamente considerate quando le colture fuori suolo sono prese in considerazione come possibile opzione per la produzione ortoflorovivaistica, di serra o all'aria aperta.

Produttività della coltura

In generale, la tecnologia del fuori suolo può aumentare le rese, ad esempio, di fiori recisi, del 20-50%. I record produttivi delle serre olandesi sia di ortaggi che di fiori recisi, sono determinati anche, ma non solo, dall'impiego delle colture fuori suolo. Importante è anche l'effetto del fuori suolo sulla precocità della coltura. Nel caso della rosa, ad esempio, le raccolte dei fiori iniziano già poche settimane dopo l'impianto, al contrario di quanto avviene nelle colture tradizionali a terra. Il fatto che la coltura di rosa invecchi precocemente fuori suolo non rappresenta un grosso inconveniente, in quanto l'aggiornamento varietale imposto dal mercato rende poco convenienti gli impianti con più di 5-6 anni di vita.

Inoltre, le colture fuori suolo possono svincolare la coltivazione dal terreno rendendola possibile anche in condizioni estreme. Da questo punto di vista, il vantaggio principale è quello di eliminare la pratica della sterilizzazione del terreno prima dei trapianti. Così, le colture fuori suolo costituiscono una delle principali alternative all'uso del bromuro

Tab. 1 - Caratteristiche delle principali tecniche di coltivazione senza suolo

Caratteristiche	Colture in substrati			Colture idroponiche		
	Substrati organici + irr. goccia	Substrati inerti + irr. goccia	Flusso e riflusso	N.F.T.	Floating System	Aeroponica
Diffusione	++++	++++	++	++	+	+
Substrato	Torba	Perlite, pomice, argilla espansa	Torba, perlite	Assente	Assente	Assente
Costi di investimento	++	++	+++	+++	+	++++
Costi di gestione	++	+++	++	+++	+	+++
Difficoltà della gestione tecnica	+	++	++	+++	++	+++
Rischio di ipossia radicale	+	++	++	+++	+++	+
Rischio stress termici radicali	++	+++	+	+++	++	+++
Rischio di malattie radicali	+	+	++	++	+++	+
Produzione e qualità	++++	++++	++++	++++	+++	+++
Potere tampone del sistema	+++	++	++	Assente	Assente	Assente

di metile, il cui uso sarà proibito (quantomeno, fortemente ridotto) alla fine del 2004.

Il recente sviluppo scientifico e tecnologico nel campo dell'ortoflorovivaismo ha avuto come obiettivo principale la maggiore efficienza d'uso delle risorse (energia, lavoro e acqua). Le colture fuori suolo costituiscono uno degli elementi principali dell'ortoflorovivaismo sostenibile, potendo offrire ai coltivatori un mezzo assai efficace per ridurre gli effetti ambientali tipicamente associati alle colture intensive.

Non mancano, comunque, gli svantaggi. La tecnica richiede, infatti, una maggiore preparazione professionale dei coltivatori e/o una maggior dipendenza da consulenti esterni, invero non sempre all'altezza. Inoltre, almeno in serra, necessita di un miglior controllo del clima e, più in generale, di una migliore struttura dell'apprestamento. In passato, molti insuccessi registrati in aziende italiane che avevano deciso di passare alle colture fuori suolo erano causati anche dal fatto di non aver fatto interventi per migliorare la serra e la sua climatizzazione (soprattutto, la ventilazione).

Aspetti economico-finanziari

I metodi di coltivazione idroponica sono numerosi, ciascuno con i propri vantaggi e svantaggi (*tab. 1*); però, quelli più usati a livello mondiale per la produzione di ortaggi e fiori recisi su scala commerciale sono quelli su substrato. In generale, il passaggio dalla coltura a terra a quella fuori suolo sembra conveniente per colture a densità relativamente ridotta (inferiore a 10 p/m²), come gerbera e rosa (oltre a molti ortaggi), mentre è più difficile per colture più fitte (ad esempio, crisantemo programmato). La coltura 'floating' per il tulipano è tutto sommato un'eccezione.

L'ostacolo maggiore alla diffusione di questo sistema rimane l'alto costo degli impianti, variabili da 5-10 euro/m² fino a 40-50 euro/m², nel caso ad esempio, di impianti a flusso e riflusso su bancali mobili (estraibili).

Una maggior produzione unitaria e una miglior qualità dei prodotti possono rendere conveniente la scelta del fuori suolo, ma non è scontato che si produca di più e meglio con questa tecnica. Un'adeguata politica commerciale, che sfrutti la maggiore ecompatibilità dei sistemi di coltivazione fuori suolo a ciclo chiuso, potrebbe contribuire ad

umentare la competitività commerciale dei prodotti così ottenuti e costituire un incentivo agli investimenti in tal senso. Il Progetto MPS (*Milieu Project Sierteelt* - <http://www.st-mps.nl>) sviluppato in Olanda per i fiori recisi e le piante ornamentali in vaso è un ottimo esempio di certificazione di prodotto/processo in grado di valorizzare le colture fuori suolo (a ciclo chiuso!), in quanto attraverso un sistema di punti premia gli agricoltori che più riescono a ridurre l'impiego di risorse (energia, acqua, prodotti chimici) e la produzione di rifiuti.

Conclusioni

Sono passati circa ottanta anni dalle prime colture fuori suolo su scala commerciale, ma ancora a livello mondiale sono poco diffuse e rappresentano una porzione ridottissima della superficie destinata a colture ortoflorovivaistiche. Ciò significa che non è stato ancora risolto "il dilemma di trasformare un formidabile strumento per la ricerca nel campo della fisiologia vegetale in un sistema di coltivazione su scala commerciale tecnicamente affidabile ed economicamente conveniente".

Indubbiamente, la proibizione del bromuro di metile, la diminuzione in quantità e qualità delle risorse idriche e le politiche di stampo ambientalista dei governi centrali e locali, almeno nei paesi sviluppati, rappresentano fattori favorevoli alla diffusione di queste tecnologie nelle serre e nei vivai di piante ornamentali. D'altra parte, non si può dimenticare che, in Italia come in tutto il mondo, l'ortoflorovivaismo si basa su aziende di piccole dimensioni e che l'attuale scenario socio-economico internazionale è assai instabile con continui fenomeni di recessione e una crescente competizione da paesi emergenti, con conseguente diminuzione dei prezzi dei prodotti florovivastici (si pensi ai fiori recisi!). Tutto ciò rende assai rischioso l'investimento per queste nuove tecniche di coltivazione. Più che l'attività di ricerca, per sostenere la diffusione di queste tecniche, appaiono utili le azioni di trasferimento e lo sviluppo di una politica di marketing che premi in qualche modo gli sforzi di quei coltivatori che decidono di innovare tecnologicamente le proprie aziende nell'ottica di una maggiore ecompatibilità del processo produttivo.

Bibliografia

1. ARMSTRONG H. (2002). *Hydroponic tulips succeed at second attempt*. FlowerTech 5, 10-12.
2. BAILLE A. (2001). *Water management in soilless cultivation in relation to inside and outside climatic conditions and type of substrate*. Italus Hortus 8, 16-22.
3. COOPER A.J. (1979). *The ABC of NFT*. Grower Books Publisher, London.
4. DEUTSCHMANN G.V. (1998). *History of hydroponics*. <http://archimedes.galilei.com/raiar/histhydr.html>
5. FAO (1990). *Soilless culture for horticultural crop production*. Plant Production and Protection Paper n. 101, Roma.
6. GERICKE W.F. (1937). *Hydroponics: crop production in liquid culture medium*. Science 85, 177-178.
7. GRAVES C.J. (1983). *The nutrient film technique*. Horticultural Review 5, 1-44.
8. HOAGLAND D.R., ARNON D.I. (1950). *The water culture method for growing plants without soil*. California Agricultural Experimental Station, Circular 347.
9. JENSEN M.H. (1997). *Hydroponics*. Hortscience 32, 1018-1021.
10. JOUËT J.P. (2002). *Plastics in the world*. Plasticulture 2 (12), 108-126.
11. LEMAIRE F. (1995). *Physical, chemical and biological properties of growing medium*. Acta Horticulturae 396, 273-284.
12. PIMPINI F. (2001). *Principi tecnico-agronomici della fertirrigazione e del fuori suolo*. Veneto Agricoltura, ARSAFA, Legnaro (PD).
13. RESH H.M. (1998). *Hydroponic food production: a definitive guidebook of soilless food-growing methods* (V ed.). Woodbridge Press Publishing Company, California.
14. RUNIA W.T.H. (1995). *A review of possibilities for disinfection of recirculation water from soilless cultures*. Acta Horticulturae, 382, 221-229.
15. SAVVAS D., PASSAM H. (2002). *Hydroponic production of vegetables and ornamentals*. Embryo Publications, Athens: pp. 463.
16. SCHWARZ M. (1995). *Soilless culture management*. Springer-Verlag, Berlin: 198 pp.
17. SONNEVELD C. (2000). *Effect of salinity on substrate grown vegetables and ornamentals in greenhouse horticulture*. Ph. D. Thesis, Wageningen University. <http://library.wur.nl/wda>
18. URRESTARAZU M. (2001). *Manual de cultivo sin suelo*. Servicio Publicaciones, Universidad de Almería, Almería.
19. VAN OS E., STANGHELLINI C. (2001). *Diffusion and environmental aspects of soilless growing systems*. Italus Hortus 8 (6), 9-15.
20. VIDRIL V. (2003). *Culture hydroponique de tulipe aux Pays-Bas: une technique qui emerge*. PHM Revue Horticole n. 443, 30-35.
21. VINCENZONI A. (1996). *Coltivazioni senza terra*. Edagricole, Bologna.
22. VOOGT W., SONNEVELD C. (1997). *Nutrient management in closed growing systems for greenhouse production*. In E. GOTO (ed.), *Plant production in closed ecosystems*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht (NL).

6. Le proprietà fisiche e idrauliche dei substrati di coltivazione

Carlo Bibbiani, Alberto Pardossi

Introduzione

La coltura in vaso, uno degli aspetti tecnologici più rilevanti del florovivaismo, si caratterizza per l'impiego di contenitori di varia forma e dimensione, e di un substrato artificiale, diverso dal terreno agrario e preparato con materiali di varia natura (torba, perlite, pomice, argilla espansa, compost, corteccia, tanto per citare quelli più diffusi). Per la produzione di piante ornamentali si preferiscono in genere dei miscugli (come quelli a base di torba e perlite, usati soprattutto in serra, o di torba e pomice, di largo impiego nei vivai di pien'aria), mentre per la coltivazione (in bancali o in sacchi) delle specie da fiore reciso molto spesso si impiega un unico materiale (fibra di cocco, perlite, lana di roccia...).

Del substrato, oltre alla sanità (cioè, l'assenza di patogeni, parassiti e sostanze fitotossiche), interessano una serie di caratteristiche chimiche e fisiche. Le prime (pH, contenuto salino e nutritivo, capacità di scambio ionico e di fissazione dell'azoto e del fosforo) condizionano gli interventi di fertilizzazione, realizzata attraverso l'aggiunta preventiva al substrato di concimi (idrosolubili e/o a lenta cessione) o per mezzo della fertirrigazione. Le caratteristiche fisiche, invece, determinano la capacità del contenitore di sostenere le piante e le sue proprietà idrauliche. In generale, oltre a un pH subacido e un ridotto contenuto di sali solubili, i substrati devono avere un'elevata porosità, un'adeguata capacità di ritenzione dell'acqua e dell'aria (cioè, una sufficiente capacità di drenaggio) e una buona stabilità, cioè la capacità di mantenere nel tempo le proprie caratteristiche, soprattutto quelle fisiche.

In questo capitolo sono esaminate le proprietà idrauliche dei substrati, in quanto la comprensione dei rapporti tra acqua e substrato diventa determi-

nante sia per la scelta dei materiali più idonei per una determinata coltura, sia per il controllo dell'irrigazione. Ad esempio, per colture con radici particolarmente esigenti in termini di ossigeno e/o condotte in contenitori di piccole dimensioni (come le celle, o *plug*, dei contenitori alveolari impiegati nella produzione di piantine da seme e di talee radicate) occorre impiegare dei substrati con un'elevata capacità di drenaggio dell'acqua.

Inoltre, la conoscenza di alcune proprietà idrauliche del cosiddetto sistema substrato-contenitore (*SSC*), quali la capacità di contenitore e il contenuto di acqua facilmente disponibile (illustrati più avanti nel testo), è alla base della determinazione del volume d'adacquamento.

Proprietà fisiche

Peso specifico o densità apparente

Il peso specifico (o densità) apparente (*PSA*) è il rapporto fra il peso del materiale essiccato (in stufa a temperatura di 105°C) e il volume occupato al momento del prelievo. Il *PSA* di un substrato di coltivazione è generalmente assai più basso (0,10-0,80 kg/L, comunque inferiore ad 1 kg/L; *tab. 1*) di quello di un terreno agrario (1,2-1,6 kg/L).

Il volume apparente di un materiale può variare sotto l'influenza di due cause fisiche: il costipamento e la tensione matriciale cui è ritenuta l'acqua del materiale.

Il costipamento è la conseguenza della variazione della posizione reciproca delle particelle verso una situazione di maggiore compattezza; può essere causato, ad esempio, dai carichi applicati, dalla somministrazione d'acqua d'irrigazione o dalla crescita dell'apparato radicale.

Tab. 1 - Valori indicativi del peso specifico (kg/L) apparente di alcuni materiali di largo impiego nella preparazione dei substrati

<i>Corteccia di pino</i>	<i>Lana di roccia</i>	<i>Perlite</i>	<i>Pomice</i>	<i>Sabbia</i>	<i>Torba</i>
0,15 - 0,18	0,10 - 0,20	0,09 - 0,20	0,65 - 0,90	1,5 - 1,6	0,07 - 0,40

Fonte: Autori diversi.

La tensione matriciale influenza la posizione delle particelle, perché essa è innescata da fenomeni di capillarità con la conseguente formazione di menischi acqua-aria fra le particelle stesse. I menischi sono caratterizzati dalla loro curvatura e quindi dalla loro tensione superficiale, che può instaurarsi solamente se le particelle su cui il menisco si appoggia sono in grado di esplicitare la reazione necessaria all'equilibrio della tensione del menisco. Sotto tali azioni, le particelle di materiale sono attratte le une verso le altre tanto più fortemente quanto maggiore è la tensione del menisco, ovvero quanto minore è il contenuto d'umidità del materiale. Il substrato deformabile quando si prosciuga contrae, perciò, il proprio volume poiché le particelle sono libere di muoversi relativamente.

La granulometria

La determinazione della granulometria di un materiale, o, più propriamente, la curva di distribuzione granulometrica, consente di caratterizzare la composizione dello stesso rispetto alle dimensioni delle particelle costituenti. Tale descrizione risulta molto utile nei confronti di uno studio analitico dell'influenza dei materiali rispetto ad alcune proprietà fisico-idrologiche, quali, ad esempio, il *PSA* e la curva di ritenzione idrica; inoltre permette la riproducibilità in tempi successivi, sempre rispetto alle dimensioni delle particelle, di qualsiasi miscela composta da più materiali.

I materiali utilizzati per la preparazione dei substrati di coltura si possono classificare sotto due grandi categorie, organica e minerale, a loro volta suddivisibili in naturali e artificiali. In ciascuna di queste classi troviamo dei materiali con le più disparate forme geometriche, da quella sferico-rotondeggiante a quella fibrosa. Le dimensioni minime delle particelle, comunque, difficilmente scendono al di sotto del decimo di millimetro, ad eccezione di alcuni materiali minerali artificiali, quali le sabbie fini o le fibre di lana di roccia, le quali però sono molto lunghe. Questo fatto consente di analizzare la distribuzione granulometrica tramite vagliatura a secco applicando le normali metodologie della geotecnica. Per la determinazio-

ne della granulometria delle particelle più piccole si ricorre alla sedimentazione, tramite degli appositi apparecchi (levigatori).

La porosità

La porosità (*P*) totale indica, per un determinato volume di substrato, il volume degli spazi vuoti ed è definita come la differenza fra l'unità e il volume totale occupato dalla materia solida, ed è fornita dall'equazione:

$$P = 1 - (DA / DR) \quad \text{Eq. 1}$$

dove *DA* indica la densità apparente, *DR* quella reale del materiale.

DA è facilmente calcolabile, a differenza di *DR*. Fortunatamente si può approfittare del fatto che i solidi minerali varino la loro densità reale nel campo abbastanza ristretto di 2,3 ÷ 3,0 g/cm³ con valore medio pari a 2,65, mentre i materiali organici presentano un valore attorno a 1,65 g/cm³. Per cui, avendo preventivamente calcolato il contenuto percentuale di materia organica (*SO*) e ceneri (*C*) presente nella miscela, si può porre:

$$DR = 100 / [(SO)/1,65 + (C)/2,65] \quad \text{Eq. 2}$$

La determinazione del contenuto di materia organica si effettua normalmente prelevando un campione di substrato e ponendolo in stufa a 450°C per 16 ore e facendolo poi raffreddare in un essiccatore [Metodo standard ISHS¹].

Per ovviare alla necessità di disporre di una stufa in grado di raggiungere tali temperature e per accelerare la misurazione, è stato messo a punto un metodo rapido di durata inferiore all'ora (Gabriels, 1993). Esso consiste nel prelevare un piccolo campione (alcuni grammi; peso *P1*) di materiale essiccato in forno a microonde per 10 minuti, e incenerirlo in un crogiuolo di peso *P2* riscaldato da un becco Bunsen per 24 minuti, raffreddare e pesare (peso *P3*). Risulta così individuata la percentuale di materia organica e di ceneri su base secca, pari a:

$$SO (\%) = 100 \cdot [P1(P3 - P2)] / P1 \quad \text{Eq. 3}$$

$$C (\%) = 100 \cdot (P3 - P2) / P1 \quad \text{Eq. 4}$$

La determinazione della porosità totale può essere stimata in base al *PSA* del materiale, secondo la seguente formula:

$$P = 98 - (36,2 \cdot PSA) \quad \text{Eq. 5}$$

L'equazione precedente consente una buona stima della *P* nel caso di substrati organici, mentre tende a sovrastimarla nel caso di substrati minerali.

P è costituita dalla somma di due classi di dimensioni di pori: i micropori e i macropori. Per micropori s'intendono i pori di dimensioni inferiori ai 30-50 μm (micron). Questa suddivisione risulta utile nei confronti delle proprietà idrauliche del materiale, in quanto solo la microporosità è responsabile della ritenzione 'stabile' dell'acqua dopo drenaggio libero, chiamando in causa i fenomeni di capillarità. La macroporosità è detta anche *porosità libera*, in quanto i macropori sono normalmente occupati dall'aria.

Un'altra suddivisione della porosità totale coinvolge la porosità 'aperta' e per contro quella 'chiusa', a seconda che i pori comunicano o meno con l'ambiente esterno. I pori chiusi sono interpretabili come bolle d'aria racchiuse entro la fase solida e perciò di nessuna influenza sulle proprietà idrauliche del materiale. Ad esempio, la pomice possiede una notevole porosità chiusa, mentre il tufo possiede un'elevata porosità aperta. Si giunge così alla definizione della porosità interparticellare, costituita dagli spazi fra le particelle, e della porosità intraparticellare, costituita dagli spazi presenti all'interno dei granuli o delle fibre dei materiali esaminati.

Rispetto al terreno agrario (talvolta, aggiunto in piccola quantità nei miscugli per vasetteria), i substrati utilizzati per il florovivaismo hanno un'elevata porosità (fino al 95% e più, come nel caso della lana di roccia, e in genere non inferiore al 70-75%) e anche una diversa ripartizione tra fase solida, liquida e gassosa (tab. 2).

Tab. 2 - Confronto fra la ripartizione delle tre fasi presenti in un terreno agrario e in un substrato ideale per colture in vaso		
% Volume	Terreno	Substrato
Fase solida	50	10
Fase liquida	25 - 30	60
Fase gassosa	20 - 25	30

I rapporti aria-acqua

La relazione fra aria e ritenzione idrica nel substrato dipende da cinque fattori principali:

1. il/i materiale/i utilizzato/i;
2. le caratteristiche geometriche del contenitore (volume, altezza e forma);
3. le procedure di preparazione del substrato e di invasatura;
4. la pratica irrigua;
5. la coltivazione stessa.

La curva di ritenzione idrica

Il potenziale idrico (Ψ_w) è l'energia potenziale dell'acqua per unità di massa. Se il contenuto idrico ci dice quanta acqua è contenuta da un certo materiale, il potenziale idrico ci dice quanto questa è disponibile; in altre parole, Ψ_w esprime il lavoro necessario per estrarre una quantità unitaria d'acqua ritenuta dal sistema. Il potenziale idrico Ψ_w è negativo in quanto assume valori negativi rispetto a quello dell'acqua libera e pura ($\Psi_w = 0$), presa come sistema di riferimento.

Nel caso del terreno e di un substrato, Ψ_w determina la suzione necessaria per estrarre l'acqua dal sistema, cioè la forza necessaria alla radice per assorbire acqua dal substrato. Più è asciutto il substrato, maggiore è la forza necessaria per estrarre acqua.

Il potenziale idrico comprende tre diversi componenti: 1) potenziale matriciale (Ψ_m), legato alla capillarità, per pori di diametro inferiore a 30-50 μm (micron); 2) potenziale gravitazionale (Ψ_g), legato alla forza di gravità; 3) potenziale osmotico (Ψ_o), determinato dal contenuto delle sostanze disciolte. La relazione tra il potenziale idrico e le sue componenti è descritta dalla seguente equazione:

$$\Psi_w = \Psi_m + \Psi_g + \Psi_o \quad \text{Eq. 6}$$

Per i valori di concentrazione salina tipici delle acque di irrigazione e fertirrigazione, Ψ_o può essere considerato trascurabile, pertanto l'Eq. 6 si riduce:

$$\Psi_w = \Psi_m + \Psi_g \quad \text{Eq. 7}$$

La curva di ritenzione idrica esprime la relazione esistente tra il potenziale idrico nel substrato (detto anche tensione o potenziale matriciale, dal termine 'matrice' che sta a indicare il materiale poroso dove l'acqua si accumula) e il contenuto di liquido stesso presente nel mezzo poroso, in genere espresso in rapporto percentuale volumetrico.

Studi di natura fisiologica hanno dimostrato che, fino a -25 ÷ -30 kPa di tensione, le piante non sono influenzate dalla tensione con cui l'acqua è

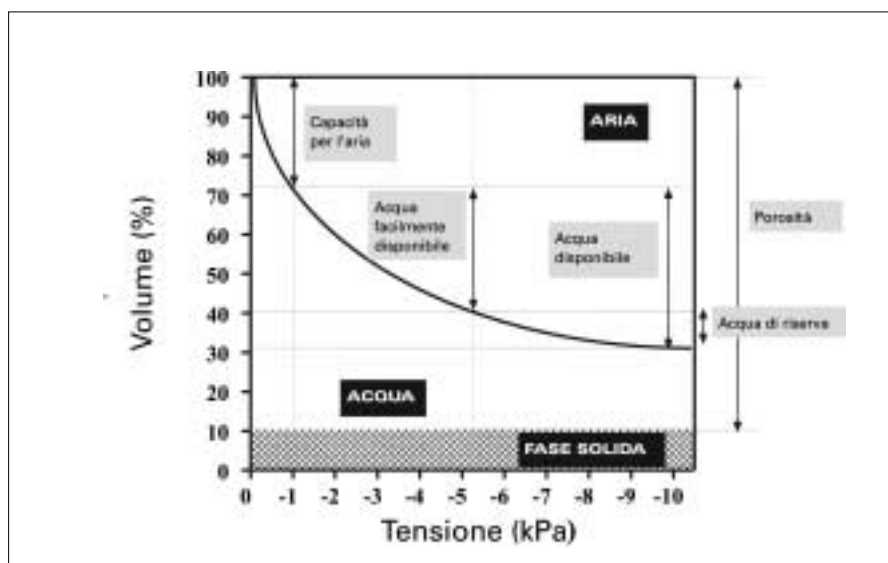


Fig. 1 - Curva di ritenzione idrica di un tipico substrato per colture florovivaistiche con l'indicazione dei principali parametri idraulici

Tab. 3 - Valori indicativi dei principali parametri fisici e idraulici di alcuni substrati per colture in vaso

	P (%)	Contenuto idrico (%) a			CA (%)	AFD (%)	AR (%)	AD (%)
		-1 kPa	-5 kPa	-10 kPa				
Torba di sfagno	95	57	36	24	38	21	12	33
Torba bruna I	84	71	52	44	13	19	8	27
Torba bruna II	90	63	36	33	27	27	3	30
Torba: perlite 50:50	94	62	40	35	32	22	5	27
Torba: pomice 50:50	82	57	43	39	25	14	4	18
Lana di roccia	97	82	5	4	15	77	1	78
Pomice	70	40	35	33	30	5	2	7
Perlite	95	35	28	22	60	7	5	12

Abbreviazioni: P = porosità; CA = capacità per l'aria; AFD = acqua facilmente disponibile; AR = acqua di riserva; AD = acqua disponibile.

Fonte: Autori diversi.

trattenuta dal substrato, ma piuttosto dal contenuto idrico. Pertanto, nel caso dei substrati di coltura, il campo di variazione della tensione per cui si suole individuare la curva è molto ristretto, in generale fra 0 e -30 kPa e più normalmente fra 0 e -10 kPa; -10 kPa equivale alla tensione che si riscontra a un metro (100 cm) di altezza dal fondo del substrato. Ricordiamo che:

$$1 \text{ kPa} = 10 \text{ hPa} = 10 \text{ cm H}_2\text{O} = pF 1 = 0,01 \text{ bar} = 7,5 \text{ mm Hg} = 0,145 \text{ psi} \approx 0,01 \text{ atm}$$

Si ricorda che il pF è meno logaritmo in base 10 della tensione dell'acqua espressa in cm di acqua.

Il valore nullo di tensione definisce lo stato di saturazione del mezzo e il relativo contenuto di acqua, che si avvicina al valore di P , rimanendone però al di sotto di un 10-15% e anche più, come nel caso di materiali poco porosi e con ridotta

ritenzione idrica (ad esempio, pomice), a causa della presenza di aria intrappolata durante la saturazione del materiale.

I valori del contenuto idrico a saturazione sono molto elevati per i substrati, arrivando fino all'80-85% del volume apparente occupato dal substrato stesso. Tali contenuti decrescono molto rapidamente all'aumentare² della tensione, tanto che in alcuni casi viene rilasciata più del 50% dell'acqua ritenuta passando dalla saturazione (0 kPa) alla tensione -5 kPa.

Nella *fig. 1* si riporta una tipica curva per un substrato a base di torba. Dai valori relativi alla curva di ritenzione idrica possiamo ricavare alcuni indici utili per la comprensione del comportamento idrico del substrato (De Boodt e Verdonck, 1972):

1) la capacità per l'acqua (contenuto idrico o ritenzione idrica) misurata a -1 kPa;

- 2) la capacità per l'aria (*CA*) alla tensione di -1 kPa, calcolata come differenza tra la porosità e il contenuto idrico a -1 kPa;
- 4) la differenza tra il contenuto idrico a -1 kPa e quello a -5 kPa, detta acqua facilmente disponibile (*AFD*);
- 3) la differenza tra il contenuto idrico a -1 kPa e quello a -10 kPa, detta acqua disponibile (*AD*);
- 5) la differenza tra il contenuto idrico a -5 kPa e quello a -10 kPa, detta acqua di riserva (*AR*) o tampone idrico.

Il tampone idrico indica la capacità del substrato di attenuare le variazioni di tensione (diminuzione al di sotto di -5 kPa) man mano che si asciuga e di consentire, conseguentemente, un certo adattamento fisiologico della pianta alla carenza idrica. Uno scarso potere tampone indica un maggior rischio di stress idrico per la pianta e suggerisce, quindi, una maggior cura nell'irrigazione.

Quelli ora descritti sono i parametri normalmente utilizzati nella caratterizzazione dei substrati. Alcuni autori (ad esempio, Lieth, 1996) usano anche un altro indice, l'acqua non disponibile (*AND*), definito come il contenuto idrico volumetrico a -30 kPa. *AND* può superare anche il 20-25% nei substrati a base di torba ed è invece bassissimo (< 3%) nelle lane minerali.

I valori ottimali per un substrato di coltivazione sono i seguenti:

$$P = 60-85\%; CA = 10-30\%;$$

$$AD = 45-65\%; AND = 25-35\%.$$

Ogni materiale è caratterizzato da una propria curva di ritenzione idrica: i dati relativi ad alcuni materiali e miscugli largamente impiegati nel florovivaismo sono riportati in *tab. 3*. Per la torba, il substrato per eccellenza in virtù dell'elevata porosità (oltre che della stabilità, del pH acido ma facilmente modificabile, e della sanità) esiste una stretta relazione tra *PSA* e proprietà idrauliche. In un lavoro con diversi tipi di torba, infatti, Verdonck (1995) ha osservato che all'aumentare di *PSA* (con le torbe di sfagno, bionde e brune in ordine crescente per questo parametro), *P* e *CA* tendono a diminuire e aumenta, quindi, la ritenzione idrica.

In laboratorio, la curva di ritenzione idrica è determinata solitamente come 'curva di drenaggio', cioè a partire dallo stato di saturazione equilibrando via via il campione a tensioni minori (maggiori in valore assoluto). Se invertiamo il processo a una qualsiasi tensione e umidifichiamo di nuovo il campione, otterremo delle curve ('di umidificazione') diverse dalle precedenti e situate più 'in basso' su un piano 'tensione-umidità percen-

tuale volumetrica', ovvero con minor contenuto idrico. Si tratta di un fenomeno d'isteresi dovuto principalmente alla presenza d'aria intrappolata e alla momentanea idrorepellenza di alcune superfici di materiali quali quelli torbosi. Risulta allora importante determinare le curve principali di drenaggio e di umidificazione poiché, secondo la tecnica irrigua utilizzata (irrigazione a goccia oppure subirrigazione), la determinazione dei parametri legati alla curva di ritenzione idrica deve essere effettuata su una o sull'altra curva, in relazione appunto al meccanismo di assorbimento dell'acqua (Bibbiani, 1996).

Relazioni idriche del SSC

Come per il terreno, anche per il *SSC* si può parlare di 'capacità di campo' o, meglio 'capacità di contenitore' (*CC*). *CC* rappresenta il massimo contenuto di acqua per un substrato posto in un particolare contenitore, cioè la quantità d'acqua che il sistema trattiene dopo un'irrigazione fino a saturazione e successivo drenaggio (sgocciolamento). L'argomento merita una trattazione più esauritiva.

In un contenitore, dopo irrigazione fino a saturazione e successivo drenaggio, quando l'acqua cessa di drenare significa che si è raggiunto un equilibrio di Ψ_w con $\Psi_w = 0$, perché sul fondo permane uno strato d'acqua libera (a tensione nulla, assumendo come detto $\Psi_w = 0$).

Quindi, se $\Psi_w = 0$, $\Psi_m = -\Psi_g$
 sul fondo del vaso $\Psi_m = -\Psi_g = 0$,
 ma a una altezza 'H', $\Psi_m = -\Psi_g = -H$ (vedi *fig. 2*).

Il contenuto idrico all'altezza H, cioè al potenziale matriciale (o tensione) pari a -H, è determinato dalla curva di ritenzione idrica caratteristica del substrato contenuto dal vaso. Ciò significa che a ogni strato di substrato situato ad altezza crescente dal fondo corrisponde un contenuto di umidità via via decrescente (quindi, un contenuto d'aria crescente) e pari al valore da leggersi sulla curva di ritenzione per la altezza (tensione) prescelta (*fig. 3*).

A seguito di questo fatto, per calcolare la capacità idrica del contenitore, basta pensare di sezionare il contenitore in 'fettine' orizzontali di 2 cm circa di altezza, trovare il volume di ciascuna 'fetta' (tronco di cono, di piramide o di prisma a seconda che il contenitore sia conico, a sezione circolare oppure piramidale, o prismatico) e moltiplicarlo per il contenuto volumetrico di acqua relativo alla altezza del suo baricentro dal fondo del contenitore. Nell'esempio di *fig. 3*, i valori dei volumi delle

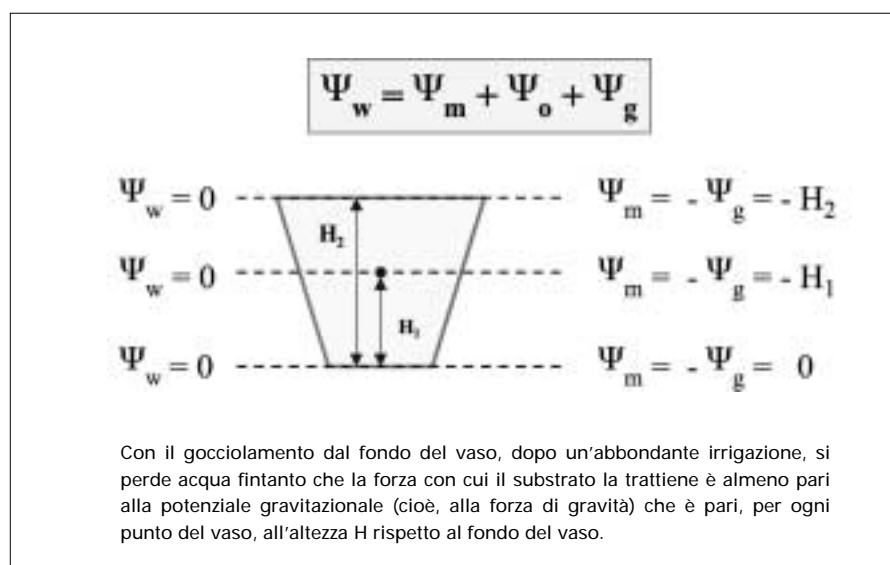


Fig. 2 - Illustrazione schematica dei valori di potenziale idrico in un ipotetico punto ad altezza H di un vaso di coltura (vedi il testo per simboli e termini)

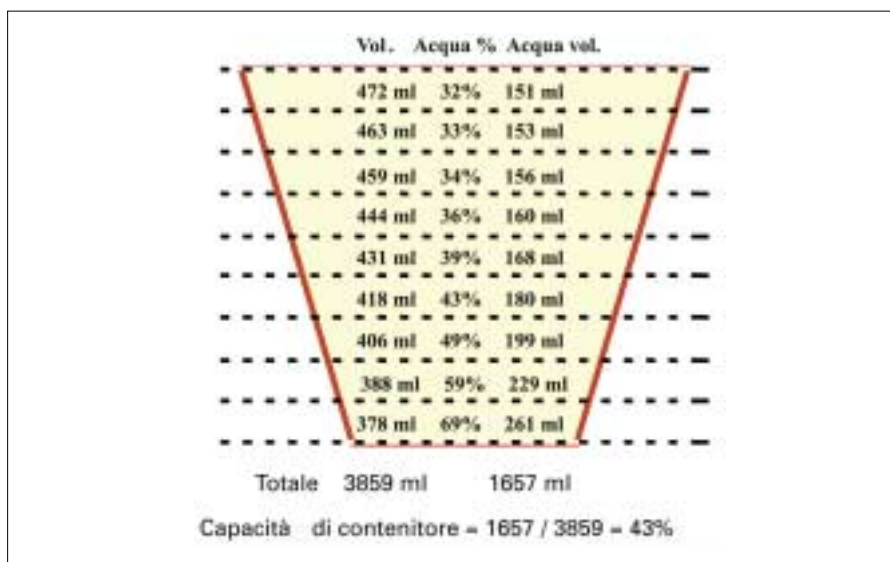


Fig. 3 - Esempio della variazione del contenuto idrico di un vaso con l'altezza rispetto al piano di riferimento

sezioni, del contenuto idrico volumetrico percentuale, e del loro prodotto, sono riportati all'interno delle sezioni stesse.

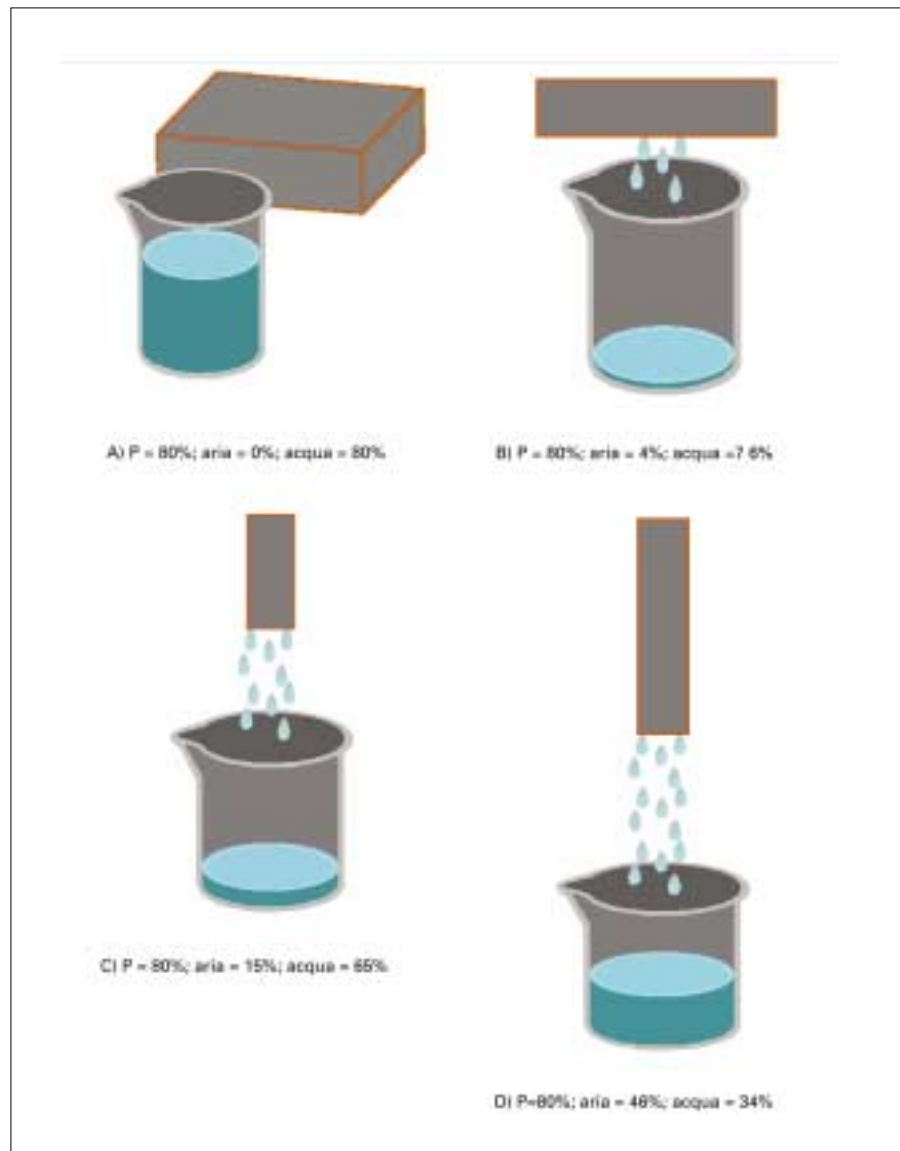
In termini analitici, si effettua l'integrale della funzione prodotto "ritenzione idrica (umidità volumetrica espressa in funzione della tensione) x area della sezione del contenitore (area espressa in funzione della altezza)", fra gli estremi di integrazione [0; altezza max. substrato]. Tale integrale, cioè CC, per contenitori prismatici di qualsiasi sezione (circolare, quadrata o rettangolare) è uguale al valore dell'area della sezione prismatica moltiplicata per il valore dell'area sottesa dalla curva di ritenzione idrica tra le ascisse [0; altezza max. substrato].

I rapporti aria/acqua nel SSC, quindi, dipendono sia dalle caratteristiche idrologiche del substrato

sia dalla dimensione e dalla forma del contenitore. In generale, per qualsiasi substrato, minore è l'altezza del contenitore, maggiore è il rapporto acqua/aria. Dunque, è l'altezza del contenitore che influenza la ripartizione fra aria/acqua dopo l'irrigazione. Un esempio chiarirà questo concetto (fig. 4).

Una spugna di lati 5 x 10 x 20 cm (quindi, 1000 cc o mL, cioè 1 L) ha una porosità di 80% del suo volume, quindi può contenere 800 cc di acqua e niente aria, quando è totalmente immersa (fig. 4A). Sollevandola di piatto fuori dall'acqua (H = 5 cm), essa comincia a gocciolare e il volume occupato dall'acqua scenderà al 76%, ovvero a 760 cc; 40 cc (4%) resteranno vuoti cioè occupati dall'aria (fig. 4B). Ruotando la spugna di testa (H = 10 cm), gocciolerà altra acqua, perché la quota

Fig. 4 - Illustrazione dell'influenza dell'altezza sul contenuto di acqua e di aria di un mezzo poroso come una spugna (P = porosità)



della sommità della spugna rispetto al fondo è aumentata: l'acqua occuperà il 65% del volume, 650 cc, e l'aria il 15%, 150 cc (fig. 4C). Infine, ponendo la spugna a coltello (H = 20 cm), la spugna riprenderà a gocciolare e porterà il proprio contenuto idrico al 34%, cioè 340 cc, lasciando così vuoto il 46% del volume totale, 460 cc (fig. 4D). L'esempio mostra chiaramente che, a parità di volume e di porosità, il rapporto volumetrico aria/acqua in un mezzo poroso, come una spugna o un substrato, tende ad aumentare con l'altezza del sistema.

Da quanto detto si capisce perché è più difficile coltivare piantine nelle celle (*plug*) dei contenitori alveolari che nei vasi. Se i *plug* sono troppo bassi, i problemi di asfissia radicale sono accentua-

ti. Nella *tab. 4* si nota il drastico cambiamento della capacità per l'aria nei piccoli contenitori rispetto a vasi di maggiore dimensione.

Anche la forma del contenitore ha degli effetti concreti. A parità di altezza del contenitore, essa influisce sostanzialmente sul volume di substrato contenuto e quindi sul volume reale di acqua a disposizione della pianta. Comparando due vasi – ad esempio, uno a tronco di cono e uno a piramide a base quadrata aventi lo stesso diametro di apertura e la stessa altezza – si nota che quello a piramide conterrà circa il 30% in più di substrato, mentre i rapporti aria/acqua sono i medesimi. Dunque, una volta bagnati, quello piramidale conterrà molta più acqua per la pianta e quindi la frequenza di irrigazione sarà o potrà essere più diradata.

Tab. 4 - Relazione tra le tre fasi in diversi contenitori* riempiti con lo stesso substrato (torba + vermiculite)

	Vaso Ø 16 cm	Plug I (48)	Plug II (288)
Fase solida	13	13	13
Fase liquida	37	79	84
Fase gassosa	20	8	3

* Vaso Ø 16 cm e celle o plug di contenitori alveolari; tra parentesi è riportato il numero di celle per contenitore.
Fonte: B. Fonteno, North Caroline State University, <http://www2.ncsu.edu:8010/unity/Lockers/project/hortsublab>

Tab. 5 - Contenuto di acqua (CC) e di aria alla cosiddetta capacità idrica di contenitore e contenuto di acqua disponibile (AD) per alcuni tipi di vaso in funzione del substrato impiegato e delle dimensioni del vaso stesso*

		12		15		18		22	
Diametro (cm)									
Volume Vt (mL)		980		1603		2896		7278	
Altezza (cm)		12,0		12,5		15,5		22,0	
		mL	% Vt	mL	% Vt	mL	% Vt	mL	% Vt
Torba	CC	678	(69)	1102	(69)	1937	(67)	4678	(64)
	Aria	204	(21)	340	(21)	670	(23)	1873	(26)
	AD	255	(26)	414	(26)	720	(25)	1684	(23)
Torba: pomice (1:1)	CC	616	(63)	1001	(62)	1765	(61)	4308	(59)
	Aria	188	(19)	313	(20)	610	(21)	1661	(23)
	AD	159	(16)	258	(16)	454	(16)	1083	(15)
Pomice	CC	452	(46)	733	(46)	1286	(44)	3138	(43)
	Aria	352	(36)	581	(36)	1090	(38)	2830	(39)
	AD	66	(7)	107	(7)	192	(7)	293	(4)
Perlite	CC	520	(53)	842	(53)	1448	(50)	3465	(48)
	Aria	284	(29)	473	(30)	927	(32)	2503	(34)
	AD	106	(11)	173	(11)	305	(11)	731	(10)
Torba: perlite (1:1)	CC	647	(66)	1054	(66)	1865	(64)	4545	(62)
	Aria	157	(16)	260	(16)	510	(18)	1423	(20)
	AD	234	(24)	380	(24)	665	(23)	1571	(22)

* Vedi tab. 3. I valori sono stati determinati con il foglio di calcolo SUBIDRO (Vedi Appendice D).

Nella *tab. 5* sono riportati i valori di alcune grandezze idrologiche per alcuni tipi di vaso e di substrato (quelli già descritti nella *tab. 3*). La CC non dovrebbe essere inferiore al 50% del volume del contenitore.

Influenza delle procedure di preparazione del substrato

Un altro fattore che influisce sui rapporti aria/acqua all'interno del SSC è la preparazione del substrato. In questo senso è opportuno conoscere quanto segue.

1. I vasi e i *plug* dovrebbero essere riempiti senza compattazione, evitando, ad esempio, di sovrapporli pieni uno sull'altro o di pressare il substrato dentro il contenitore. La compattazione può

dimezzare CA e diminuire anche AFD.

2. Prima di passare al riempimento dei contenitori, il substrato deve avere un giusto grado di umidità. Trattando di componenti di substrato che spesso sono discretamente secchi quando acquistati, quando essi si umidificano tendono a rigonfiare. Il rigonfiamento aiuta nel creare più spazi per l'aria e riduce la tendenza all'anidamento delle particelle l'una dentro l'altra. Questo effetto è molto importante nei *plug* e influisce meno sui vasi di una certa dimensione. Dunque si dovrebbe aggiungere acqua al substrato prima del riempimento dei contenitori. Ma quanta acqua?

Per i substrati a base di torba destinati ai vasi si può usare un rapporto in peso di 1:1 acqua/sub-

strato (seccato in stufa). Ciò equivale al 50% di contenuto di umidità sul peso totale. Le miscele destinate ai *plug* dovrebbero avere un rapporto 2:1 (67% di contenuto di umidità sul peso totale) prima di essere utilizzate. Questo livello di umidità sembrerà molto superiore al normale, ma migliorerà la aerazione di alcuni punti percentuali. Questo fatto è di estrema importanza: visti i valori di *CA* normalmente prossimi al 3-5%, essi potranno quantomeno raddoppiare.

La quantità di acqua da aggiungere si calcola come segue.

Il contenuto di umidità sul peso totale (rU_t) è espresso in percentuale e si calcola con la seguente formula:

$$rU_t = \text{peso } H_2O / (\text{peso } H_2O + \text{peso secco substrato}) \cdot 100 \quad \text{Eq. 8}$$

cioè il peso dell'acqua contenuta diviso il peso totale substrato+acqua, espresso in percentuale.

Per conoscere il (rU_t) iniziale del substrato da umidificare si applica la formula prendendo un peso iniziale (*PI*) di substrato (ad esempio, 1 kg); dopodiché si essicca il contenuto e si trova il peso secco (*PS*). Allora

$$(rU_t)_{iniz.} = (PI - PS) / (PI \cdot 100) \quad \text{Eq. 9}$$

La quantità di acqua da aggiungere (*AA*) a un peso equivalente al precedente, per raggiungere un determinato obiettivo del contenuto di umidità, sarà dunque:

$$(AA) = PS / [1 - (rU_t)_{obiettivo} / 100] - PI \quad \text{Eq. 10}$$

Nella *tab. 6* è riportato un esempio numerico per il calcolo di *AA*, rapportato a un peso iniziale di substrato pari a 30 kg. Ovviamente, per preparare una balla di torba basta sapere quanto pesa e fare la proporzione con quanto trovato.

3) È importante umidificare il materiale, miscelarlo bene e lasciarlo riposare per almeno 2 o 3 ore (meglio una notte intera) prima della invasatura. Riempire i contenitori con un materiale già umidificato elimina il problema di una pesante irrigazione dopo la semina o il trapianto. Per contro, è bene non lasciare seccare il materiale prima della semina, quindi non deve essere preparato con troppo anticipo.

La pratica irrigua

Per quanto riguarda la pratica irrigua ovviamente si rimanda ad altri capitoli e diamo solamente alcune indicazioni generali.

Seguendo una classificazione di L.M. Rivière, ripresa successivamente da R. Brun (1993), in base ai valori di *P*, *CA*, *AD* e *AR* si possono distinguere quattro tipi di substrati, per i quali l'irrigazione deve seguire criteri diversi:

Tipo 1: substrati a elevata *P* (> 85%), *CA* (> 20%), *AD* (> 25%) e *AR* (≈10), come le migliori torbe (quelle molto fibrose); per questi substrati, l'irrigazione non è un grosso problema, anche in considerazione del tampone idrico elevato.

Tipo 2: substrati poco porosi oppure molto porosi, ma con ridotta porosità aperta, caratterizzati da valori bassi di *CA* (< 20%) e medi di *AD* (< 20%) e *AR* (≈3-4), come le torbe brune o nere; questi materiali richiedono attenzione per ridurre i rischi di asfissia radicale;

Tipo 3: substrati con elevata *CA* (> 30%), ma con valori ridotti di *AD* (< 20-15%) e *AR* (< 5%); sono tutti i materiali grossolani, spesso usati in miscela con la torba, come la perlite (quella grossolana), la pomice, l'argilla espansa, la corteccia, che richiedono irrigazioni frequenti e in piccolo volume;

Tipo 4: substrati con elevata *AD*, sufficiente *CA* e

Tab. 6 - Esempio di calcolo della quantità di acqua da aggiungere (*AA*) a un substrato per portarlo a un prefissato livello di umidità percentuale rispetto al peso totale

Peso balla = 30 kg

(rU_t)_{obiettivo} = 50%

Peso iniziale del campione (*PI*) = 1 kg

Peso secco del campione (*PS*) = 0,8 kg

(rU_t)_{iniziale} = (1-0,8)/1 · 100 = 20%

$AA = 30 \cdot [0,8 / (1-50 / 100) - 1] = 30 \cdot [1,6 - 1] = 30 \cdot 0,6 = 18$ kg di acqua

Controllo: (rU_t)_{obiettivo} = [(1 + 0,6) - 0,8] / (1 + 0,6) · 100 = 0,8 / 1,6 · 100 = 50%

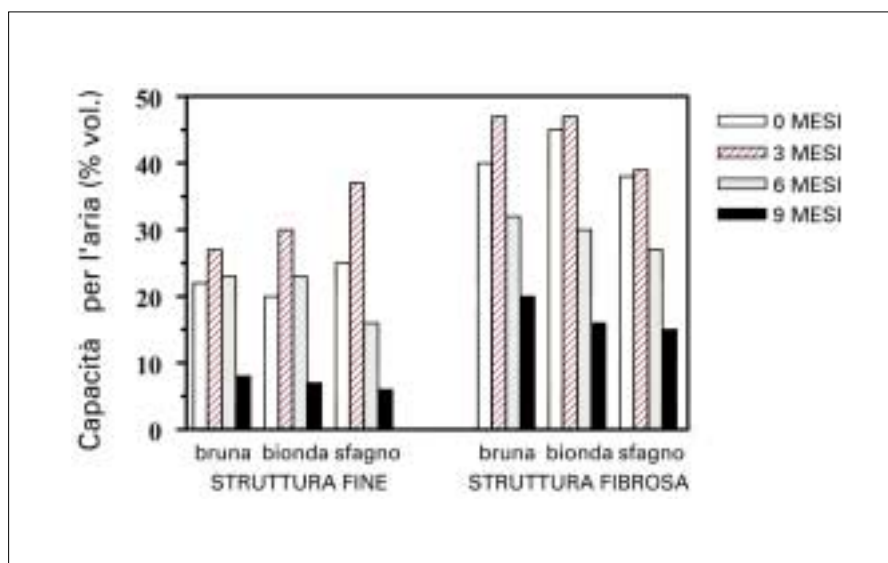


Fig. 5 - Cambiamenti nella capacità per l'aria di differenti tipi di torba dopo alcuni mesi di irrigazione a flusso-riflusso (da Michiels *et al.*, 1993)

ridottissima (pressoché nulla) *AR*, come le lane minerali (vedi lana di roccia in *tab. 3*); per questi substrati, in considerazione del ridottissimo potere tampone, occorre mantenere sempre un elevato valore del contenuto idrico volumetrico.

La relazione tra substrato e volume irriguo merita un approfondimento.

L'irrigazione giornaliera è data dal prodotto (volume di adacquamento) x (frequenza di irrigazione). Per avere una migliore aerazione e una buona disponibilità di acqua per la pianta, soprattutto per contenitori di piccole dimensioni, è bene applicare poca acqua ma più frequentemente. Bisogna fare attenzione alle dimensioni e alla velocità del flusso idrico per non rischiare dilavamenti o asportazioni di substrato.

Come tutti sanno (ma spesso dimenticano!) conoscere il momento giusto per l'irrigazione è una delle abilità più difficili da acquisire da parte dei coltivatori!

Nel caso dell'irrigazione a pioggia o a goccia, per calcolare il valore del volume di adacquamento (*VA*) si può operare i due modi distinti: uno teorico e uno pratico.

Nel primo caso, il *VA* è una frazione del volume di *AD* (o di *AFD*, per specie che non tollerano gli sbalzi di umidità) per un dato *SSC*, calcolato in base alla curva di ritenzione idrica del substrato e alle dimensioni del contenitore; la frazione oscilla, in genere, tra 0,30 e 0,50. Allo scopo di calcolare i valori di *CC*, *AD* e *AFD* di un determinato *SSC* (in pratica i valori del contenuto idrico con valori di tensione sul fondo del vaso, rispettivamente, di 0, -5 e -10 kPa), è stato sviluppato un foglio di calcolo (SUBIDRO) contenuto nel CD allegato e illu-

strato brevemente in *Appendice*.

Una via più semplice per stabilire il volume irriguo passa, invece, per la determinazione del peso di un contenitore portato alla sua *CC* (o altro valore) e del peso al momento dell'intervento irriguo, scelto in base dall'esperienza dell'operatore: la differenza fra i due valori fornisce il peso (volume) di acqua da somministrare, per il quale valgono le stesse considerazioni di cui sopra.

Resta, però, da determinare quale percentuale dell'acqua fornita viene effettivamente immagazzinata nel substrato: questo dipende sia dal tipo di substrato che dal sistema irriguo.

Da un punto di vista pratico, il substrato raramente raggiungerà le condizioni di saturazione dopo l'irrigazione, cosicché il valore dell'acqua ritenuta sarà inferiore a quella teorica calcolata. A questo riguardo, occorre ricordare l'importanza del sistema di irrigazione. Nel caso della subirrigazione, ad esempio, il contenuto idrico rimane al di sotto della *CC* del 20-30%. Infine, è bene ricordare che i substrati a base di torba, se lasciati asciugare troppo, sviluppano delle caratteristiche di idrorepellenza che ne rendono assai difficile la re-umidificazione; a tal scopo, potrebbero risultare utili degli agenti surfattanti.

Le modifiche delle proprietà idrauliche durante la coltivazione

I concetti fin qui esposti vanno esaminati anche sotto l'aspetto dei cambiamenti cui il substrato va incontro durante il ciclo colturale. Le modificazioni delle proprietà fisico-chimiche nel sistema sono provocate dall'irrigazione, dalla concimazione, dall'accrescimento delle radici e dalle escursioni

termiche. Tali trasformazioni consistono nel compattamento, nella perdita del materiale, nell'alterazione della dimensione delle particelle, nella modifica dei rapporti volumetrici tra i diversi materiali (deriva in basso delle particelle più piccole), nella diminuzione della capacità dell'aria (diminuzione della porosità libera) e nel conseguente aumento della capacità di ritenzione idrica, e nell'alterazione della dimensione delle particelle. Si hanno anche modifiche chimiche, costituite in genere da un aumento del pH e della salinità, che sono comunque più facili da correggere attraverso opportuni aggiustamenti del pH e della salinità dell'acqua di irrigazione o di fertirrigazione.

Nel grafico della *fig. 5* è riportata la variazione della capacità per l'aria (*CA*) registrata ogni tre mesi in substrati a base di torba. Come si può notare, dopo i primi nove mesi, *CA* diminuisce notevolmente fino a diventare troppo bassa con conseguente rischio di asfissia radicale. Di fatto, l'unico intervento correttivo capace di contrastare questi fenomeni è la re-invasatura. La *fig. 5* mostra anche che i materiali fibrosi tendono a mantenere meglio le proprie caratteristiche.

La determinazione delle caratteristiche fisiche e idrauliche

Una caratterizzazione dell'ambiente fisico che circonda le radici delle piante in vaso dovrebbe, invero, prendere in considerazione anche la distribuzione granulometrica e la curva di conducibilità idraulica, che esprime la predisposizione del mezzo a trasmettere l'acqua da un punto a un altro al variare del contenuto di umidità e del gradiente di potenziale presente. Nella pratica comune si suole trascurare queste due determinazioni, perché la prima è già fornita per alcuni substrati o ritenuta troppo specifica, mentre la seconda è difficile da eseguire (e anche sottovalutata).

Infine, tutte le proprietà fisiche e idrauliche dei substrati possono essere determinate in laboratorio secondo protocolli standard come quelli sviluppati e diffusi dall'ISHS (vedi Capitolo 7). I tempi lunghi e i costi elevati, però, le rendono poco diffuse tra i florovivaisti che certamente ricorrono maggiormente alle analisi dei parametri chimici. Nel caso di acquisto di materiali per la preparazione dei substrati o miscugli pronti per l'uso, pertanto, è fondamentale valutare i parametri derivati dalla curva di ritenzione idrica, che devono essere riportati nei cataloghi e sulle etichette degli imballaggi.



Contenitore alveolare per piantine da fiore. Lo scarso volume e soprattutto l'altezza ridotta delle celle (*plug*) aumentano i rischi di ipossia radicale se non si scelgono substrati con un'elevata 'capacità per l'aria'



Umidificazione non uniforme del substrato (torba e pomice) di un vaso. Da notare come le radici si siano sviluppate in modo asimmetrico, privilegiando ovviamente la parte più bagnata (a sx). Il problema può essere determinato da una cattiva gestione dell'irrigazione (volumi irrigui insufficienti e/o ridotta frequenza degli interventi). Questo provoca un'eccessiva disidratazione del miscuglio con conseguente sviluppo delle caratteristiche di idrorepellenza tipiche della torba asciutta; l'idrorepellenza è a sua volta responsabile della diminuzione della conducibilità idrica in senso orizzontale. La difficoltà del movimento orizzontale dell'acqua nei vasi è il motivo per cui, in quelli di notevole dimensione, si usano più gocciolatori

Conclusioni

Il substrato rappresenta uno dei fattori che più condizionano il risultato di una coltura in vaso.

Particolare importanza, soprattutto in relazione all'irrigazione, assumono le caratteristiche idrologiche che, in vero, sono quelle più difficili da modificare con specifici interventi come quelli uti-

lizzabili per aggiustare le caratteristiche chimiche e biologiche (correzione del pH, concimazione, disinfezione...).

Deve essere cura del florovivaista individuare i fornitori più qualificati da cui acquistare materiali e/o miscugli già pronti d'elevata qualità, includendo in questo termine anche la standardizzazione delle caratteristiche chimiche e fisiche.

Note

¹ International Society for Horticultural Science (www.ishs.org).

² Nel linguaggio comune un aumento della tensione significa l'aumento della forza con cui l'acqua è trattenuta dal sub-

strato man mano che questo si asciuga. Poiché, però, la tensione è una pressione negativa, la terminologia corretta sarebbe una diminuzione della tensione: ad esempio, -10 kPa è minore di -5 kPa (è maggiore il valore assoluto).

Bibliografia

1. AA.VV. (1992). *Metodi di analisi dei compost*. Regione Piemonte, Assessorato all'Agricoltura, Collana Ambiente.
2. BARTOLINI G., PETRUCELLI R. (1991a). *I substrati nel vivaismo. I*. Colture Protette 6, 46-64.
3. BARTOLINI G., PETRUCELLI R. (1991b). *I substrati nel vivaismo. II*. Colture Protette 7, 33-47.
4. BIBBIANI C. (1996). *Le proprietà fisiche e idrauliche dei substrati*. Floritecnica 3, 45-55.
5. BRUN R. (1993). *Pour choisir un substrat de culture hors-sol: connaître ses caractéristiques*. PHM 334, 1.
6. CASALICCHIO G., GRAZIANO P.L. (1985). *Caratteristiche chimiche dei substrati artificiali impiegati in orto-floricoltura*. L'Informatore Agrario 4, 28-35.
7. DE BOODT M., VERDONCK O. (1972). *The physical properties of the substrates in horticulture*. Acta Horticulturae 26, 37-44.
8. FERRARIS S.A., CARABELLI S. (1994). *Misura delle proprietà idrauliche dei substrati*. Colture Protette 2, 87-95.
9. FONTENO W.C. (1993). *Problems and considerations in determining physical properties of horticultural substrates*. Acta Horticulturae 342, 197-204.
10. FONTENO W.C. (1996). *Growing media: types and physical/chemical properties*. In *Water, media and nutrition for greenhouse crops* (ed. D.W. REED), Ball Publishing Book, Batavia, USA (pp. 123-140).
11. GABRIELS R., VAN KEIRSBULCK W., ENGELS H. (1993). *A rapid method for determination of physical properties of growing media*. Acta Horticulturae 342, 243-247.
12. HANAN J.J. (1998). *Greenhouses. Advanced Technology for Protected Horticulture*. CRC Press, Boca Raton.
13. HILLEL D. (1980). *Fundamentals of soil physics*. Academic Press. New York.
14. LEMAIRE F. (1995). *Physical, chemical and biological properties of growing medium*. Acta Horticulturae 396, 273-284.
15. LIETH J.H. (1996). *Irrigation systems*. In *Water, media and nutrition for greenhouse crops* (ed. D.W. REED), Ball Publishing Book, Batavia, USA (pp. 1-30).
16. MICHIELS P., HARTMANN R., COUSSENS C. (1993). *Physical properties of peat substrates in an ebb/flood irrigation system*. Acta Horticulturae 342, 205-219.
17. TESI R. (1994). *Substrati di coltivazione e contenitori*. In *Culture Protette - Ortoflorovivaismo*, Edagricole, Bologna.
18. VERDONCK O. (1995). *Requisiti dei substrati per la coltivazione di piante in contenitore*. Speciale Substrati. Floritecnica 4.
19. VERDONCK O.F., CAPPAERT I.M., DE BOODT M.F. (1978). *Physical characterization of horticultural substrates*. Acta Horticulturae 82, 191-200.
20. WILLUMSEN J. (1993). *Assessment of fluctuations in water and air contents of pot substrates during plant growth*. Acta Horticulturae 342, 371-378.

7. Le analisi chimico-fisiche dei substrati di coltivazione

Alessandro Pozzi, Massimo Valagussa

Introduzione

La valutazione delle caratteristiche qualitative dei substrati colturali è condotta mediante l'effettuazione di prove di laboratorio che hanno l'obiettivo di mettere in luce le caratteristiche fisiche e chimiche della matrice analizzata; tali prove sono portate a termine mediante metodologie differenti da nazione a nazione, con l'adozione di singoli metodi ufficiali, e, all'interno dello stesso paese, da un laboratorio all'altro, con sviluppo di metodi propri. Tale eterogeneità di valutazione provoca spesso problemi nella ripetibilità e comparazione delle prove, e le discrepanze nei valori analitici hanno generato contrasti tra fornitori e clienti provocando serie conseguenze economiche.

Tale problema è stato, negli scorsi anni, preso in considerazione a livello comunitario, ove all'interno del Comitato Europeo per la Standardizzazione (CEN) si è instaurata una Commissione Tecnica (TC 223) allo scopo di definire e sviluppare metodi di riferimento per la determinazione delle proprietà chimico-fisiche di materie prime e prodotti finiti utilizzati quali substrati di coltivazione. Tale commissione, una volta evidenziata la situazione caotica nella quale si muoveva l'intera filiera, ha formalizzato e ratificato dei documenti, che recepiti a livello locale già oggi permettono di uniformare le procedure, esprimere i risultati su una base comune, valutare la qualità dei prodotti in modo univoco.

Di seguito tali metodiche analitiche sono descritte e confrontate con quelle fino a ora utilizzate dai principali laboratori di analisi a livello nazionale; alcuni spunti sono poi forniti per guidare il lettore all'interpretazione dei risultati ottenuti con i diversi metodi e nel confronto tra essi.

Campionamento

Il campionamento, cioè la definizione di una quantità rappresentativa di prodotto da indirizzare ad analisi, costituisce la prima fase del processo analitico e richiede particolare attenzione da parte dell'operatore. In particolare tale operazione risulta assai delicata in quei casi in cui il prodotto finale risulta disomogeneo, cioè costituito da una miscela di materie prime di caratteristiche, granulometria e composizione percentuale diverse.

Per far fronte a tali difficoltà e garantire un grado di accuratezza sufficiente ad assicurare la rappresentatività del campione sono stati fissati alcuni standard prima a livello nazionale e, con la ratifica dei documenti CEN/TC 223, a livello europeo attraverso la norma *EN 12579*.

In Italia alcune indicazioni sono fornite per gli ammendanti compostati dall'Istituto per le Piante da Legno e l'Ambiente - Regione Piemonte nella pubblicazione *Metodi di analisi dei compost - Determinazioni chimiche, fisiche, biologiche e microbiologiche* (1998). Si procede operando il prelievo in almeno 7 punti diversi secondo uno schema di campionamento casuale (*random*) in relazione alle dimensioni della massa da campionare. I sottocampioni (ciascuno del peso di 1,5-2 kg) sono riuniti e miscelati; si ricava il campione per laboratorio, definito *campione composito*, della quantità di 3 kg circa.

Il *metodo EN 12579* prevede preliminarmente la definizione del numero di punti di campionamento in relazione al volume totale e la suddivisione della massa da campionare in un numero di parti eguale al valore trovato; in seguito si procede al prelievo di un volume sufficiente, indicativamente 0,5 litri, da ogni punto e si miscelano i subcampioni prelevati ottenendo il campione finale. La quantità da avviare al laboratorio è fissata in 5

litri per ognuna delle tipologie di analisi (chimica, fisica e microbiologica).

La determinazione del volume apparente

Un parametro non qualitativo ma certamente di primaria importanza, spesso controverso, legato alla commercializzazione di un substrato di coltivazione è la definizione del suo volume apparente (volume commerciale) espresso come peso per unità di volume.

Un substrato di coltivazione è formato da una fase solida, una sorta di trama di sostegno, e da una serie di spazi lacunari (porosità) al cui interno trovano spazio la fase acquosa e la fase gassosa. Tali prodotti sono pertanto costituiti da un sistema trifasico e dotati di un certo grado di comprimibilità, per cui il peso specifico non è una caratteristica intrinseca della matrice considerata, ma varia in funzione del grado di compattazione.

I metodi utilizzati consentono di determinare il peso specifico in condizioni standardizzate, applicando al materiale una compressione predefinita e ripetibile nel tempo. I fattori determinanti sono dunque i diversi gradi di compressione, la forma dei recipienti di misura e la densità di stratificazione del prodotto all'interno di questi ultimi.

La determinazione del volume apparente è stata portata a termine in Italia, fino al momento della ratifica a livello comunitario delle norme CEN, recependo quanto previsto dalla norma tedesca *DIN 11540 "Peats and peat products for horticulture and horticultural and agricultural engineering - Test methods, properties, specifications"*. Tale norma prevede per il dissodamento un setaccio con maglie da 16 mm e un recipiente di misura a forma di parallelepipedo retto della capacità di 40 litri.

Con la ratifica delle norme CEN la norma *DIN 11540* sarà col tempo sostituita dal metodo *EN 12580 "Soil improvers and growing media - determination of a quantity"*. Tale metodo prevede l'utilizzo di tre setacci con maglie differenti, 20, 40 e 60 mm, in funzione della granulometria del prodotto (fine, media e grossa), e un recipiente di misura cilindrico della capacità di 20 litri.

Le maglie di maggiori dimensioni utilizzate per il metodo EN provocano un minore dissodamento della matrice analizzata; inoltre, la forma cilindrica del recipiente misuratore provoca una densità di stratificazione maggiore e più omogenea nel corso del riempimento. La conseguenza dovrebbe essere

l'aumento del peso specifico apparente del prodotto e quindi la diminuzione del volume apparente rispetto a quello ottenuto con la norma DIN. Evidenti le ripercussioni di tale cambiamento sul mercato, ove l'utilizzatore finale vedrà modificata al ribasso l'indicazione sul sacco del volume, pur ritrovando all'interno di quest'ultimo la stessa quantità di prodotto fornita in precedenza. Per portare un esempio, se si dovesse misurare il sacco da 80 litri (DIN) comunemente utilizzato dall'operatore professionale con il metodo EN, la nuova indicazione del volume in etichetta sarebbe, a parità di peso (massa), di 70 litri (EN).

L'analisi fisica dei substrati colturali

La valutazione delle caratteristiche fisiche di un substrato di coltivazione è di fondamentale importanza per la corretta gestione del ciclo colturale e per il successo delle produzioni finali. Tali caratteristiche sono, a differenza di quelle chimiche, delle caratteristiche intrinseche della matrice considerata, difficilmente controllabili durante la fase di coltivazione. La scelta di una adeguata gestione della pratica irrigua e, in generale, l'esistenza di un ambiente idoneo allo sviluppo radicale sono strettamente legate alle caratteristiche fisiche del prodotto, il quale è, come detto, costituito tre diverse fasi: la fase solida che assicura l'ancoraggio all'apparato radicale e garantisce la stabilità della pianta, la fase liquida che assicura alla pianta l'approvvigionamento idrico e nutritivo, la fase gassosa che permette l'aerazione delle radici (respirazione radicale) e la vita della flora microbica.

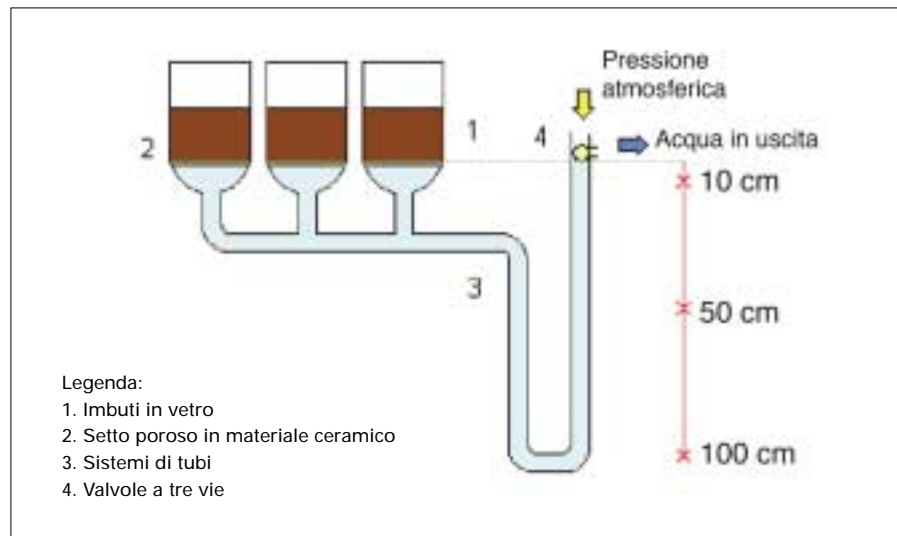
Due a oggi sono le metodiche utilizzate in laboratorio per la determinazione dei principali parametri fisici:

1. *metodo De Boodt (1974)*;
2. *metodo EN 13041 (Ammendanti e substrati colturali - Determinazione delle proprietà fisiche, densità apparente secca, volume d'aria, volume d'acqua, coefficiente di restringimento e porosità totale)*.

I due metodi basano le determinazioni analitiche sullo stesso principio fisico, quello per cui in un sistema trifasico si determina un equilibrio tra le forze agenti sulla massa liquida. Le differenze tra i metodi sono legate alla procedura e agli strumenti utilizzati; i risultati ottenuti sono pertanto identici.

Su di un campione di substrato imbibito di acqua fino a saturazione si applica una tensione esterna nota e significativa della capacità dell'apparato radicale di sottrarre acqua al sistema sino a rag-

Fig. 1 - Metodo De Boodt per l'analisi dei substrati



giungere la condizione di equilibrio e se ne determina il contenuto idrico.

Il *metodo De Boodt* prevede di sottoporre il campione precedentemente imbibito a una tensione crescente di 10, 50 e 100 centimetri di colonna d'acqua (pF 1, pF 1,7 e pF 2), consentendo di ottenere la curva di ritenzione idrica, curva che esprime il rapporto tra aria e acqua nelle differenti condizioni di pressione.

In tal modo è possibile valutare i seguenti parametri fisici:

- capacità di ritenzione idrica – volume occupato dall'acqua a pF 1;
- volume occupato dall'aria a pF 1;
- volume d'acqua facilmente disponibile – differenza tra il contenuto idrico a pF 1 e pF 1,7;
- volume d'acqua di riserva – differenza tra il contenuto idrico a pF 1,7 e pF 2;
- volume d'acqua utilizzabile – differenza tra il contenuto idrico a pF 1 e pF 2;
- volume d'acqua non utilizzabile – contenuto idrico residuo a pF 2.

Il *metodo EN 13041* già nella sua versione finale prevede di applicare al campione di substrato sempre precedentemente imbibito la sola forza di suzione di 10 centimetri di colonna d'acqua (pF 1), limitandosi a valutare la capacità di ritenzione idrica e il volume d'aria a pF 1. Tuttavia la Commissione Tecnica CEN/TC 223 nel maggio del 2003 ha riconosciuto l'importanza della curva di ritenzione idrica ampliando le misure del contenuto idrico del substrato a pF 1,7 e pF 2.

Il *metodo De Boodt* si applica mediante il ricorso a imbuto di vetro con setto poroso in materiale ceramico e rubinetto a tre vie, collegati a un sistema di tubi tramite il quale si imposta la forza di

suzione desiderata. Previa determinazione dell'umidità, si riempie l'imbuto con il substrato senza compattarlo e si satura lentamente con acqua demineralizzata per almeno 24 ore; in seguito agendo sul sistema di tubi si applica al substrato la tensione di colonna d'acqua stabilita. Si determinano i pesi alle tensioni crescenti di 10, 50 e 100 centimetri, dopo 8 e 24 ore dall'applicazione di ciascuna forza di suzione considerando il valore medio di tali due successive pesate.

In *fig. 1* si riporta l'illustrazione del sistema De Boodt e del suo funzionamento.

La determinazione della densità apparente e della porosità totale viene portata a termine mediante il ricorso a un apposito bacino di sabbia tensiometrico e due cilindri cavi di vetro o metallo o plastica, di cui uno di altezza maggiore e avente la base chiusa con tessuto di nylon con maglie di 0,1 mm. Si riempiono i cilindri sovrapposti di substrato, si satura lentamente con acqua demineralizzata per almeno 24 ore avendo cura di non bagnare il prodotto dall'alto. A saturazione si trasferiscono i cilindri sul letto di sabbia ove viene applicata e mantenuta per 48 ore una forza di suzione di 10 centimetri di colonna d'acqua (pF 1); in seguito si levano i cilindri dal bacino di sabbia, si separano livellando con una lama affilata la superficie del cilindro di base, si pesa, si determina il contenuto di acqua del substrato a pF 1 mediante essiccazione in stufa a 105°C.

Il valore di densità apparente (DA) in g/cm^3 è il risultato della formula:

$$DA = [(peso\ substrato\ contenuto\ nel\ cilindro) \cdot (100 - \% umidità)] / (volume\ del\ cilindro \cdot 100)$$

Eq. 1

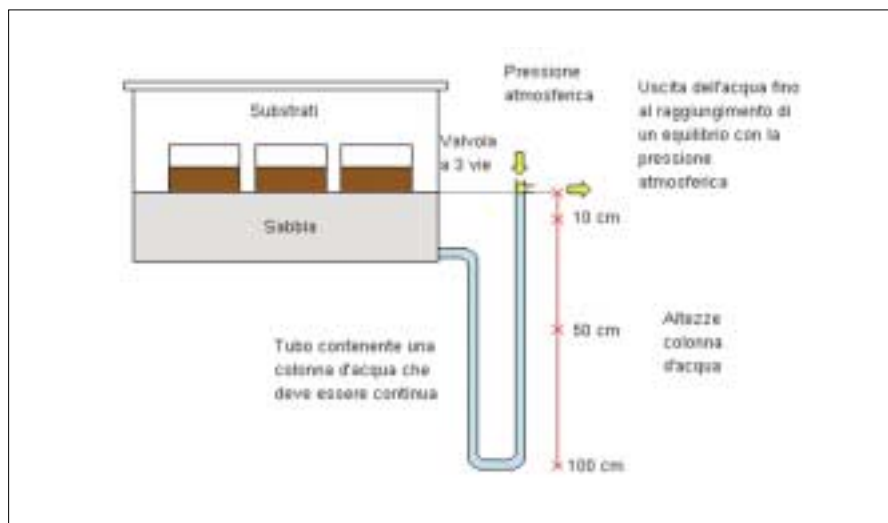


Fig. 2 - Metodo EN 13041 per l'analisi dei substrati

Il valore della porosità totale (P) viene espresso in percentuale sul volume totale ed è pari a:

$$P = 100 \cdot [1 - (DA / DR)] \quad \text{Eq. 2}$$

in cui:

- DR è la densità reale in g/cm^3 , calcolata partendo dal contenuto percentuale in ceneri (incenerimento in muffola a 450°C di una quantità nota di substrato) e in sostanza organica (complemento a 100 della percentuale di ceneri) assegnando una densità pari a $2,65 \text{ g}/\text{cm}^3$ alle prime e una densità pari a $1,65 \text{ g}/\text{cm}^3$ alla seconda;
- DA è la densità apparente in g/cm^3 .

Il metodo EN 13041 si applica facendo ricorso per la determinazione di tutti i parametri fisici a un apposito bacino di sabbia tensiometrico e due cilindri cavi di diametro interno di $100 \pm 1 \text{ mm}$ e altezza di $50 \pm 1 \text{ mm}$ per il cilindro di base e di $53 \pm 1 \text{ mm}$ per il cilindro superiore; il cilindro inferiore è inoltre munito alla base di una garza removibile di maglia $0,1 \text{ mm}$.

In fig. 2 si riporta illustrazione del sistema EN 13041 e del suo funzionamento.

L'analisi chimica dei substrati colturali

La determinazione dei principali parametri chimici di un substrato di coltivazione è essenziale per la valutazione delle capacità nutrizionali di un prodotto nei confronti della coltura che intende ospitare o già ospita. Gli elementi minerali indispensabili alla vita della pianta vengono sottratti dagli organismi vegetali alla fase liquida trattenuta nei pori della fase solida della matrice utilizzata come substrato.

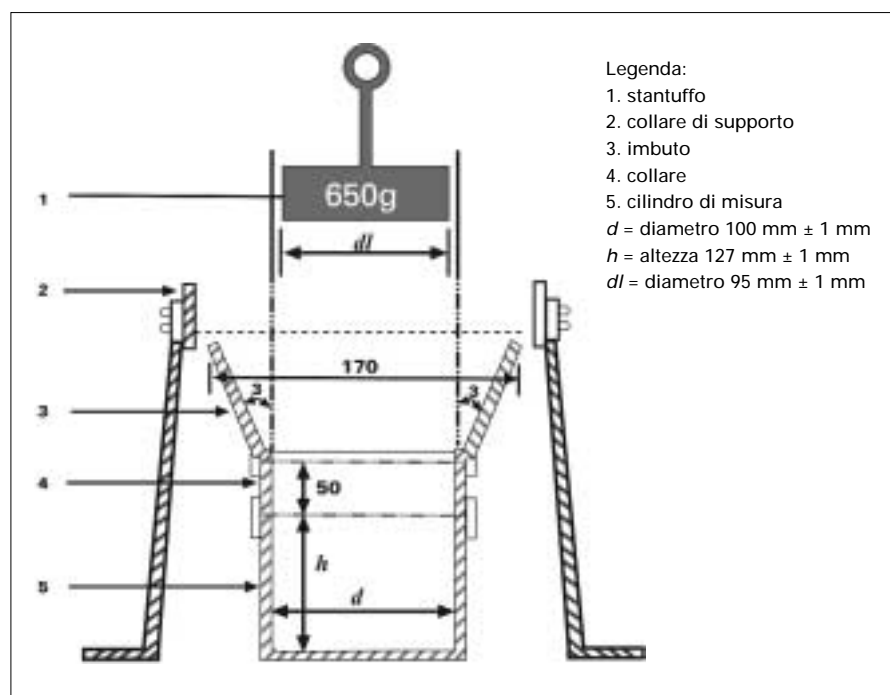
Attualmente per la determinazione dei parametri

chimici, come del resto per i fisici, sono due le metodologie analitiche principalmente utilizzate, una di vecchia introduzione (1974), il metodo di Sonneveld (Sonneveld e Ende, 1974) e una serie di norme di recente introduzione, per opera del CEN/TC 223, indicate successivamente in dettaglio:

1. EN 13037 - *Ammendanti e substrati colturali - Determinazione del pH*
2. EN 13038 - *Ammendanti e substrati colturali - Determinazione della conducibilità elettrica*
3. EN 13039 - *Ammendanti e substrati colturali - Determinazione del contenuto di sostanza organica e ceneri*
4. EN 13040 - *Ammendanti e substrati colturali - Preparazione del campione per le determinazioni chimiche e fisiche, determinazione del contenuto di sostanza secca, dell'umidità e della densità apparente a "compattazione di laboratorio"*
5. EN 13650 - *Ammendanti e substrati colturali - Estrazione degli elementi con acqua regia*
6. EN 13651 - *Ammendanti e substrati colturali - Estrazione degli elementi nutritivi solubili in cloruro di calcio/DTPA (CAT)*
7. EN 13652 - *Ammendanti e substrati colturali - Estrazione degli elementi nutritivi solubili in acqua*
8. EN 13654/1 - *Ammendanti e substrati colturali - Determinazione dell'azoto - Parte 1 metodo Kjeldahl modificato*
9. EN 13654/2 - *Ammendanti e substrati colturali - Determinazione dell'azoto - Parte 2 metodo Dumas.*

Il metodo di Sonneveld prevede dapprima la verifica del grado di umidità del campione, che deve risultare simile a quello del substrato sottoposto a una forza di suzione pari a $pF 1,5$ (empiricamente stringendo il campione in una mano non deve fuo-

Fig. 3 - Cilindro misuratore per la determinazione della densità apparente di laboratorio, secondo la norma EN 13040



riuscire acqua e parte di esso deve rimanere attaccato al palmo della mano); in caso contrario necessita umidificare o essiccare il campione fino al grado di umidità ideale. Si misurano 100 cm³ di campione in un becker graduato da 120 cm³, sottoponendo il substrato a una forza di compressione equivalente a una pressione di 100 g/cm³; si procede aggiungendo al volume di substrato misurato 150 cm³ di acqua demineralizzata (rapporto di diluizione di 1:1,5) in un barattolo per estrazione substrati, si agita per 15 minuti su agitatore rotativo a 40 RPM, si filtra su carta Whatman 40, ottenendo così l'estratto finale.

Il metodo EN 13652 prevede preliminarmente, per substrati di coltivazione con componenti di diametro non superiore a 20 mm, la determinazione della densità apparente di laboratorio ("laboratory compacted bulk density") secondo la norma EN 13040, la quale consente di determinare in condizioni standardizzate (i substrati sono materiali comprimibili) il peso specifico apparente del campione come pervenuto presso il centro di analisi che porta a termine le determinazioni previste.

La norma EN 13040 prevede dapprima l'omogeneizzazione manuale del campione (indicativamente 5 litri) in modo da rompere eventuali zolle e aggregati, senza tuttavia influire sulla granulometria del prodotto; si fa quindi ricorso a un cilindro misuratore di dimensioni e volume noti (cilindro metallico di volume pari a 1000 mL \pm 30 mL, di diametro interno di 100 mm \pm 1 mm e altezza 127 \pm 1 mm, provvisto di un collare removibile di

diametro interno uguale al cilindro di base e altezza pari a 50 mm e di un imbuto superiore di apertura angolare di 60° e diametro superiore di 170 mm); si riempie il sistema cilindro-collare-imbuto di substrato; si rimuove l'imbuto livellando la superficie con una lama tagliente; si applica uno stantuffo (con diametro di 5 mm inferiore rispetto a quello del cilindro e avente massa di 650 g); si lascia a riposo per 180 \pm 10 secondi; si rimuovono stantuffo e collare; si livella come sopra; si pesa il cilindro con il suo contenuto.

La densità apparente di laboratorio (*DAL*), una volta calcolato il peso netto del materiale contenuto nel cilindro, è ottenuta mediante il calcolo:

$$DAL = M / V_l \quad \text{Eq. 3}$$

in cui M è il peso in grammi del substrato e V_l è il volume in litri del cilindro.

La misura va ripetuta tre volte, usando nuovo materiale, prendendo al termine in considerazione il valore medio.

L'estratto acquoso è ottenuto trasferendo in un barattolo per substrati il peso equivalente a 60 mL di campione e aggiungendo 300 mL di acqua demineralizzata (rapporto di estrazione in volume v/v di 1:5). Si agita per 60 minuti su agitatore rotativo a 40 RPM, si filtra su carta Whatman 40. La soluzione ottenuta risulta stabile per 3 giorni in un barattolo di polietilene ermeticamente chiuso stoccato in frigorifero a una temperatura compresa tra 0° e 5°C; la conservazione per un periodo più lungo è possibile in freezer a -18°C.

In *fig. 3* si riporta l'illustrazione del cilindro misuratore secondo le norme *EN 13040* per la determinazione della densità apparente di laboratorio.

Determinazione della reazione del substrato (pH)

Si rileva il valore di pH dell'estratto acquoso mediante il ricorso a un pH-metro con elettrodo a vetro, correttamente tarato. La norma CEN di riferimento per tale determinazione analitica è il *metodo EN 13037*.

Determinazione della conducibilità elettrica del substrato

Il valore di conducibilità elettrica dell'estratto acquoso si rileva mediante il ricorso a un conduttivimetro, aggiustando il dato ottenuto in relazione alla temperatura. La norma CEN di riferimento per tale determinazione analitica è il *metodo EN 13038* (unità di misura mS/cm – il dato è fornito senza cifre decimali).

Determinazione del contenuto di elementi minerali solubili

Tutti gli elementi minerali solubili vengono rilevati a partire dall'estratto acquoso mediante cromatografia ionica, spettrofotometria (fosforo, boro, azoto nitrico, solfati e cloruri) assorbimento atomico (potassio, calcio, magnesio, sodio, microelementi). La determinazione dell'azoto ammoniacale è ottenuta mediante distillazione Kjeldahl e successiva titolazione.

Determinazione del contenuto in sostanza organica e ceneri

La percentuale del contenuto in sostanza organica è ottenuta come complemento a 100 del valore percentuale di ceneri, mediante incenerimento in muffola a 450°C del campione seccato in stufa a 105°C.

Determinazioni analitiche previste dalla Legge n. 748/84 per la registrazione dei substrati in Italia

Quanto precedentemente illustrato ha lo scopo di caratterizzare i substrati dal punto di vista agronomico, cioè di valutare quei parametri che concorrono in stretta connessione con le tecniche di coltivazione a garantire il successo di una coltura fuori suolo.

La registrazione di un prodotto per la commercializzazione prevede tuttavia il rispetto dei requisiti di idoneità previsti dalla normativa per la disciplina dei fertilizzanti (Legge n. 748/84) fissati mediante limiti imposti sui valori di parametri ana-

litici chimici e microbiologici, diversi a seconda della categoria di ammendante nella quale il prodotto è registrato (ammendante vegetale semplice non compostato, ammendante compostato verde, ammendante compostato misto, ammendante torboso composto, torba acida, torba neutra ecc.).

In dettaglio sono elencati i parametri generalmente richiesti:

- *parametri chimici*: umidità, pH, salinità, carbonio organico totale, acidi umici e acidi fulvici, azoto organico, azoto totale, percentuale di azoto organico sull'azoto totale, rapporto carbonio/azoto, rame totale, zinco totale, piombo totale, cadmio totale, nichel totale, mercurio totale, cromo esavalente, diverse frazioni del contenuto in plastica e inerti;
- *parametri microbiologici*: salmonelle, enterobatteriacee totali, streptococchi fecali, nematodi, trematodi, cestodi.

Interpretazione dei risultati e confronto tra i metodi

L'interpretazione dei risultati analitici è un'operazione complessa che richiede un buon grado di competenza ed esperienza da parte del tecnico preposto.

Particolarmente delicata risulta l'interpretazione dei parametri fisici, poiché la qualità di un substrato, cioè la capacità del prodotto di ospitare una coltura garantendo non solo l'ancoraggio ma anche il normale sviluppo e funzionamento dell'apparato radicale, dipende da diversi fattori tra cui la specie coltivata e la tecnica di coltivazione, con particolare riferimento alle modalità di irrigazione e fertirrigazione. L'eterogeneità di tali fattori pone un problema di approccio all'interpretazione dei risultati analitici. Due le possibili soluzioni: una più complessa che tiene in considerazione i fattori sopra indicati valutando sempre il sistema vaso/coltura, e una più semplice che valuta il substrato indipendentemente dagli altri fattori di produzione e lascia a posteriori altre considerazioni.

Un esempio di approccio complesso "sistema vaso/coltura" è fornito dalla pubblicazione olandese "*International Substrate Manual – Analysis, Characteristics, Recommendations*" (2000), nel capitolo "*Physical guidelines*", dove in relazione alla tipologia di substrato, alla modalità di somministrazione della soluzione nutritiva, al sistema colturale e all'altezza del contenitore, sono indicate diciassette differenti classi di interpretazione dei valori analitici ottenuti.

Nella *tab. 1* si riporta invece una griglia indica-

Tab. 1 - Guida all'interpretazione dei principali parametri fisici dei substrati colturali determinati con il metodo De Boodt o il metodo EN 13041

Parametro	Basso	Normale	Alto
Densità apparente (g/cm ³)	< 0,06	0,06 - 0,25	> 0,25
Porosità totale (% v/v)	< 80	80 - 95	> 95
Volume d'aria a pF 1 (% v/v)	< 15	15 - 35	> 35
Volume d'acqua a pF 1 (% v/v)	< 50	50 - 80	> 80
Volume acqua facilmente disponibile (% v/v)	< 30	30 - 40	> 40

Fonte: MAC - Minoprio.

Tab. 2 - Guida all'interpretazione dei principali parametri chimici dei substrati colturali determinati con il metodo di Sonneveld

Parametro	Basso	Normale	Alto
EC mS/cm	< 0,6	0,6 - 1,5	> 1,5
N-NO ₃ (mg/L)	< 40	40 - 80	> 80
N-NH ₄ (mg/L)	< 25	25 - 35	35
K (mg/L)	< 12	12 - 43	43 - 70
Na (mg/L)	< 40	40 - 60	> 60
Ca (mg/L)	< 40	40 - 80	> 80
Mg (mg/L)	< 25	25 - 45	> 45
Cl (mg/L)	< 60	< 60 - 100	> 100
SO ₄ (mg/L)	< 115	115 - 150	> 150
P ₂ O ₅ (mg/L)	< 50	50 - 70	> 70
Fe (mg/L)	< 0,1	0,1 - 1,4	> 1,4
Mn (mg/L)	< 0,01	0,01 - 0,3	> 0,3
Zn (mg/L)	< 0,01	0,01 - 0,3	> 0,3
B (mg/L)	< 0,01	0,01 - 0,3	> 0,3
Cu (mg/L)	< 0,01	0,01 - 0,06	> 0,06
Mo (mg/L)	< 0,01	0,01 - 0,05	> 0,05

Fonte: MAC - Minoprio.

tiva di una proposta di interpretazione dei parametri fisici, esempio di approccio meno complesso; si vuole sottolineare il fatto che tale approccio non preclude la valutazione a posteriori del sistema "vaso/coltura", ma permette di semplificare l'attività del laboratorio che spesso non ha informazioni relativamente al tipo di coltura e alle tecniche di coltivazione.

Come anticipato nel paragrafo relativo alle analisi fisiche l'applicazione dei due metodi indicati, il *metodo De Boodt* e il *metodo EN 13040*, restituisce valori identici, essendo entrambi i metodi basati sullo stesso principio.

Di più semplice interpretazione l'analisi chimica dei substrati di coltivazione, legata a minori fattori variabili (sostanzialmente alla coltura e alla materia prima, torba, compost ecc.), anche se il differente rapporto di diluizione dei due metodi

indicati, il *metodo di Sonneveld* e il *metodo EN 13652*, pone un problema di confronto dei risultati ottenuti.

L'approccio olandese è quello di distinguere i substrati a base prevalente in torba, tipicamente matrice con basso contenuto in elementi minerali solubili, dagli altri, con particolare riferimento a quelli a base di compost, matrice tipicamente ricca. Per i primi propone quattro classi di interpretazione in relazione all'apporto di elementi minerali dall'esterno (non concimato, leggermente, moderatamente e fortemente concimato); per i secondi tre classi in relazione alla dotazione del substrato (basso, normale, alto contenuto).

Come per i parametri fisici si riportano due griglie interpretative indicative (*tabb. 2-3*) valide per tutte le tipologie di substrati indipendentemente dal tipo di coltura (estrazione in acqua secondo il

Tab. 3 - Guida all'interpretazione dei principali parametri chimici dei substrati colturali determinati con il metodo EN 13652

Parametro	Basso	Normale	Alto
EC mS/cm	< 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5
N-NO ₃ (mg/L)	< 11	11 - 23	> 23
N-NH ₄ (mg/L)	< 8	8 - 12	12
K (mg/L)	< 4	4 - 14	14 - 23
Na (mg/L)	< 11	11 - 16	> 16
Ca (mg/L)	< 10	10 - 19	> 19
Mg (mg/L)	< 6	6 - 10	> 10
Cl (mg/L)	< 18	18 - 30	> 30
SO ₄ (mg/L)	< 35	35 - 45	> 45
P ₂ O ₅ (mg/L)	< 14	14 - 19	> 19
Fe (mg/L)	< 0,1	0,1 - 0,5	> 0,5
Mn (mg/L)	< 0,01	0,01 - 0,1	> 0,1
Zn (mg/L)	< 0,01	0,01 - 0,1	> 0,1
B (mg/L)	< 0,01	0,01 - 0,1	> 0,1
Cu (mg/L)	< 0,01	0,01 - 0,03	> 0,03
Mo (mg/L)	< 0,01	0,01 - 0,02	> 0,02

Fonte: MAC - Minoprio.

metodo di Sonneveld e il metodo EN 13652) formulate in relazione alla dotazione del substrato di coltivazione in elementi minerali solubili.

Dall'analisi dei valori inseriti nelle due precedenti tabelle si evidenzia una buona correlazione tra i metodi di estrazione. Il metodo EN, che prevede un

rapporto di diluizione più alto rispetto a quello del metodo di Sonneveld, si mostra, come è ovvio, meno sensibile e potrebbe, pertanto, essere meno preciso per substrati relativamente poveri di elementi nutritivi e in generale per i microelementi.

Bibliografia

1. AA.VV. (1998). *Metodi di analisi dei compost - Determinazioni chimiche, fisiche, biologiche e microbiologiche. Analisi merceologica dei rifiuti*. Collana Ambiente, Regione Piemonte, Assessorato all'Ambiente.
2. AA.VV. (1999-2001). *CEN/TC 223 Ammendanti e substrati colturali*. Norme UNI-EN.
3. AA.VV. (2000). *International Substrate Manual-Analysis, Characteristics, Recommendations*. Elsevier International Business/PBG.
4. AA.VV. (2002). *Confronto tra metodi di analisi dei substrati a base di compost - Regione Lombardia - Agricoltura; Fondazione Minoprio - Quaderni della Ricerca n. 22*.
5. DE BOODT M., VERDONCK O., CAPPAERT I. (1974). *Method for measuring the Waterrelease curve of organic substrates*. Acta Horticulturae, 37, 2054-2062.
6. PERELLI M. (2002). *Norme per la disciplina dei fertilizzanti*. Arvan Edizioni.
7. SONNEVELD C., ENDE J. (1974). *Analysis of growing media by means of a 1:1,5 volume extract*. Communications in Soil Science and Plant Analysis 5, 183-202.

8. L'acqua irrigua: campionamento, analisi chimico-fisiche e interpretazione dei risultati

Stefano Landi, Paolo Baroncelli

Introduzione

L'analisi dell'acqua irrigua¹ è un presupposto fondamentale per la produzione florovivaistica: è necessaria per evitare eventuali fenomeni di fitotossicità per le coltivazioni, per razionalizzare la concimazione (soprattutto nel caso della fertirrigazione) e decidere se installare o meno un particolare impianto di trattamento per l'acqua.

Di seguito si illustra come prelevare correttamente un campione, come orientarsi sul tipo di analisi più adatta alla specifica situazione e come interpretarne i risultati.

Il campionamento

L'analisi può essere fatta in qualsiasi periodo dell'anno, ma si deve tenere presente che le caratteristiche dell'acqua possono variare sensibilmente in funzione della piovosità stagionale, in particolare nel caso di fonti idriche superficiali. Se non si conosce il comportamento del proprio pozzo è quindi opportuno fare inizialmente almeno due analisi per indagare eventuali variazioni della composizione dell'acqua: una in un periodo piovoso e l'altra in uno siccitoso. In seguito sarà sufficiente ripetere il controllo in laboratorio ogni 1-3 anni, eseguendo comunque delle verifiche periodiche del pH e della conducibilità elettrica (*EC*) con l'ausilio di strumenti portatili facili da usare e poco costosi, che ogni azienda non può non possedere.

Il campionamento di acqua a uso irriguo è molto semplice, ma è necessario rispettare alcune norme fondamentali:

1. il pozzo deve essere stato realizzato da almeno alcune settimane e deve essere utilizzato regolarmente; se fosse a riposo da tempo, occorre metterlo in funzione per alcuni giorni prima del campionamento;
2. prima di prelevare il campione, l'acqua deve scorrere per alcuni minuti;
3. si deve usare una bottiglia pulita in polietilene della capacità di almeno 1 litro (da riempire completamente); poiché per alcune determinazioni può essere necessaria una quantità superiore, si consiglia di contattare preventivamente il laboratorio per avere informazioni più dettagliate.

Il campione deve essere inviato rapidamente al laboratorio con un'etichetta che riporti i dati fondamentali dell'azienda e della coltura, il nome o il numero che identifica la fonte idrica, e il tipo di analisi da eseguire. È opportuno ridurre al minimo i tempi di conservazione; se, per particolari motivi, si dovessero superare 1-2 giorni si consiglia di contattare il laboratorio per farsi indicare le modalità più opportune per la conservazione, che sono diverse secondo i parametri che dovranno essere ricercati.

I parametri analitici rilevanti

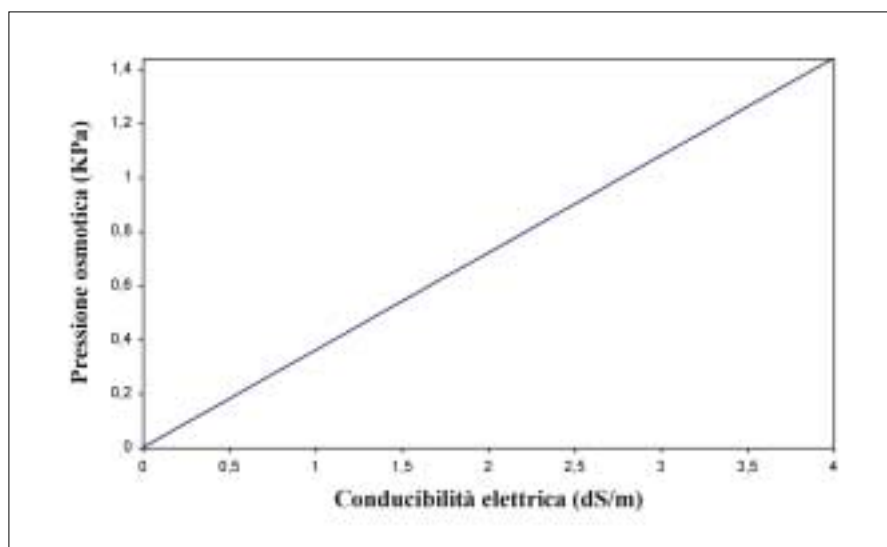
La scelta dei parametri da richiedere al laboratorio (*tab. 1*) è il risultato di un compromesso tra la necessità di raccogliere più informazioni possibili e il loro costo. Tanto per dare un'idea, un'analisi piuttosto completa (quella suggerita per la fertirrigazione in *tab. 3*) può costare da 90 a 250 euro

¹ I "Metodi ufficiali di analisi delle acque per uso agricolo e zootecnico" sono stati introdotti con il D.M. del 23 marzo 2000 e pubblicati sul Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 87 del 13 aprile 2000.

Tab. 1 - Analisi chimiche dell'acqua irrigua: significato dei parametri analitici principali

Parametro	Simbolo chimico o sigla	Significato
		<i>Acidità o basicità</i>
pH		Esprime l'acidità o basicità dell'acqua; il valore 7,0 corrisponde alla neutralità, valori inferiori indicano acidità mentre valori superiori indicano basicità.
Conducibilità elettrica o residuo fisso o sali totali disciolti	EC STD	<i>Salinità</i> Indicano la quantità complessiva di sali presenti. Il più semplice da determinare è la EC che consente una prima valutazione della qualità dell'acqua (per la conversione vedi <i>tab. 5</i>).
		<i>Sostanze caratterizzanti</i>
Calcio	Ca ²⁺	Vengono assorbiti in quantità notevole dalle piante e non sono tossici nemmeno ad elevate concentrazioni; tuttavia – se presenti in notevole quantità – reagiscono con carbonati e bicarbonati a formare il calcare che si deposita nelle tubazioni, sugli ugelli e sulle foglie.
Magnesio	Mg ²⁺	La somma delle concentrazioni di Ca e Mg rappresenta la durezza totale (vedi <i>tab. 5</i>).
Sodio	Na ⁺	Viene assorbito dalle piante – e addirittura indispensabile a basse concentrazioni – ma in genere rappresenta un problema perché tende ad accumularsi nel suolo/substrato e provoca effetti tossici sulla vegetazione e un peggioramento delle caratteristiche fisiche del suolo.
Cloruri	Cl ⁻	Vengono assorbiti dalle piante – per le piante superiori sono addirittura indispensabili a basse concentrazioni – ma nella quasi totalità dei casi rappresentano un problema perché tendono ad accumularsi nel suolo o nel substrato e provocano effetti tossici sulla vegetazione.
Carbonati e Bicarbonati	CO ₃ ²⁻ HCO ₃ ⁻	Un progressivo accumulo nel suolo o nel substrato provoca un aumento del pH. In presenza di calcio e magnesio il carbonato forma composti insolubili (calcare) che possono provocare problemi agli impianti idraulici e incrostazioni sulle lamine fogliari. Vengono indicati anche con il termine "alcalinità". I carbonati sono presenti solo se il pH è superiore ad 8,0-8,3.
Solfati	SO ₄ ²⁻	Lo zolfo (S) è un elemento indispensabile per la vita delle piante e viene assorbito – come solfato – in notevoli quantità, tuttavia talvolta la concentrazione presente nell'acqua è eccessiva e possono verificarsi accumuli nel suolo o nel substrato con conseguente aumento della salinità; possono formarsi depositi fogliari.
		<i>Macro- e micro-nutrienti</i>
Azoto nitrico	NO ₃ ⁻ -N	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, soprattutto se si usa la fertirrigazione.
Azoto ammoniacale	NH ₄ ⁺ -N	
Fosfati	PO ₄ ³⁻	
Potassio	K ⁺	
Ferro	Fe	Sono elementi importanti per la vita delle piante ma in concentrazione eccessiva formano precipitati di colore rossastro o bruno-rossastro che possono danneggiare gli impianti e sporcare le foglie provocando, a bassi livelli, un decadimento commerciale del prodotto e ad alti livelli, una pronunciata riduzione dello sviluppo fogliare e quindi dell'intera pianta.
Manganese	Mn	
Rame	Cu	Indispensabili – a bassa concentrazione – per la vita delle piante, possono facilmente raggiungere concentrazioni tossiche, variabili a seconda della specie. Possono causare danni anche per accumulo sulla superficie fogliare.
Zinco	Zn	
Boro	B	
Molibdeno	Mo	
		<i>Sostanze tossiche</i>
Tensioattivi anionici	MBAS, BIAS	Sono contenuti nei detersivi, possono essere tossici per le piante.
Altri metalli:		
Cadmio, Cromo, Nichel, Piombo, Mercurio	Cd, Cr, Ni, Pb, Hg	Sono alcuni dei cosiddetti "metalli pesanti", oltre certi limiti tossici per l'uomo e per le piante.
Fluoruri	F ⁻	Può essere tossico oltre determinate concentrazioni.
		<i>Parametri legati al rischio di occlusione dei gocciolatori</i>
Solidi totali sospesi o materiali in sospensione totali	STS TSS	Sono materiali inorganici (sabbia, limo, argilla) o organici che possono creare problemi di occlusione negli impianti idraulici.
Colonie a 22°C		(vedi <i>tab. 2</i>)

Fig. 1 - Relazione approssimativa tra EC e pressione osmotica



e anche più a seconda dell'area geografica e del tipo di laboratorio. La scelta, perciò, non è sempre facile e deve essere fatta in funzione di:

- dati analitici precedenti;
- motivo per il quale si richiede l'analisi;
- caratteristiche aziendali (specie coltivate, tecnica colturale ecc.);
- caratteristiche del territorio.

Semplificando, possiamo dire che le caratteristiche dell'acqua possono essere classificate in quattro gruppi (tab. 1):

pH - conducibilità elettrica (EC)

Permettono una prima valutazione dell'acqua; sono molto importanti, ma non sufficienti per un giudizio accurato. La EC è in relazione con il contenuto complessivo di sali che, a sua volta, è legato alla pressione osmotica (fig. 1).

Concentrazione di sostanze caratterizzanti

Consentono di classificare l'acqua per i suoi effetti sul suolo/substrato, sulla coltivazione e sugli impianti idraulici; è sempre consigliabile chiedere la determinazione di questi parametri.

Concentrazione di macro- e microelementi

Ci informano sul "potere fertilizzante" dell'acqua e indicano i possibili rischi di tossicità legati alla concentrazione dei microelementi, dipendente anche dal pH dell'acqua (i rischi aumentano al diminuire del pH). Questi parametri sono da determinare se si vuole gestire la concimazione in modo accurato o se il territorio presenta particolari rischi. Ad esempio, in alcune zone delle province di Livorno e Grosseto, spesso si riscontrano elevate concentrazioni di boro. In questo senso i dati messi a disposizione da aziende vicine con pozzi a profondità simili può essere molto utile.

Tab. 2 - Altri parametri da considerare nelle analisi delle acque irrigue

Parametro	Significato
Coliformi totali, coliformi fecali e streptococchi fecali	Sono i principali indicatori di contaminazione microbiologica dell'acqua, in quanto generalmente legati a inquinamento di origine fognaria. La loro consistente presenza nell'acqua irrigua (> 1000 UFC/100 mL) viene considerata un problema solo se le colture sono destinate a uso alimentare; ci sembra comunque prudente valutare i possibili rischi igienici-sanitari legati alla distribuzione anche nel caso di colture florovivaistiche.
Colonie a 22°C	Indica il numero totale dei batteri presenti nell'acqua, valori superiori a 10.000 UFC/mL possono indicare un rischio di occlusione degli ugelli.
COD (Chemical Oxygen Demand; mg/L)	Rappresenta la quantità di ossigeno necessaria per ossidare - per azione chimica - le sostanze organiche presenti nell'acqua, è quindi un indicatore della quantità di sostanze organiche presenti. Molto utilizzato nelle analisi degli scarichi.
BOD (Biochemical Oxygen Demand; mg/L)	Rappresenta la quantità di ossigeno necessaria per ossidare - per azione batterica - le sostanze organiche presenti nell'acqua, è quindi un indicatore della quantità di sostanze organiche biodegradabili presenti. Molto utilizzato nelle analisi degli scarichi.

Tab. 3 - Linee guida per la scelta del tipo di analisi chimica dell'acqua irrigua

Parametro	Valutazione iniziale	Colture intensive	Fertirrigazione	Progettazione impianti di trattamento acque
<i>ACIDITÀ O BASICITÀ; SALINITÀ</i>				
pH	•	•	•	•
EC o residuo fisso	•	•	•	•
<i>SOSTANZE CARATTERIZZANTI</i>				
Calcio	•	•	•	•
Magnesio	•	•	•	•
Sodio	•	•	•	•
Cloruri	•	•	•	•
Carbonati/bicarbonati (alcalinità)	•	•	•	•
Solfati	•	•	•	•
<i>MACRO- E MICRO-NUTRIENTI</i>				
Azoto nitrico			•	•
Azoto ammoniacale			•	•
Fosfati			•	•
Potassio			•	•
Ferro	•	•	•	•
Manganese		•	•	•
Rame		•	•	•
Zinco		•	•	•
Boro	o	•	•	•
Molibdeno	o	o	o	o
<i>SOSTANZE TOSSICHE</i>				
Tensioattivi	o	o	o	o
Cadmio, Cromo, Nichel, Piombo, Mercurio	o	o	o	o
Fluoruri	o	o	o	o
<i>PARAMETRI LEGATI AL RISCHIO DI OCCLUSIONE DEI GOCCIOLATORI</i>				
Solidi sospesi				•
Colonie a 22°C (tab. 2)				o

Legenda: • = sempre necessario; o = necessario in zone a rischio.

Concentrazione di sostanze tossiche

Si tratta di sostanze generalmente non presenti in quantità pericolose nelle acque, ma che talvolta possono rappresentare un problema; si consiglia di determinarle solo se si sospettano inquinamenti. I metalli pesanti possono essere di origine geologica, ma talvolta sono frutto di attività umane. Ci sono anche altri parametri che possono essere indagati, ma sono poco considerati per le acque irrigue. Alcuni di questi sono riportati nella *tab. 2*.

Il significato dei vari parametri è riportato in modo schematico nella *tab. 1*. Non è comunque possibile indicare a priori una tipologia di analisi valida per ogni situazione e in genere è preferibile ricorrere al consiglio di un tecnico. La *tab. 3* propone dei criteri per scegliere, nelle diverse situazioni, il tipo di analisi; sono, ovviamente, suggerimenti di carattere generale, che devono essere adattati alla singola realtà aziendale.

La valutazione dei risultati

L'interpretazione di un certificato di analisi può apparire complessa ai non addetti ai lavori, per diversi motivi.

Una prima difficoltà risiede nell'individuare i "valori limite", cioè le concentrazioni oltre le quali una certa sostanza può divenire dannosa. Le specie coltivate, infatti, hanno diversa tolleranza e inoltre la tecnica colturale influisce in modo determinante su questa soglia. Un certo contenuto di sali, ad esempio, può essere pericoloso per una coltivazione in serra, ma non per una in pien'aria che viene periodicamente dilavata dalle piogge.

In secondo luogo, la valutazione della qualità di un'acqua irrigua deve essere fatta valutando le relazioni che intercorrono tra i vari parametri. Ad esempio, un determinato contenuto di sali può essere tollerabile se gli ioni presenti sono soprattutto

Tab. 4a - La valutazione dei risultati dell'analisi

Parametro	Unità di misura	Limiti per colture di serra	Limiti per colture di pieno campo	Accumulo in suolo o substrato	Rischi in caso di superamento dei limiti			Altri	Possibili interventi
					Otturazione ugelli	Depositi sulle foglie	Tossicità		
pH		6,0 - 8,0	6,0 - 8,0		• per pH elevati		pH elevato: riduzione dell'efficacia dei fitofarmaci. pH basso: effetti corrosivi	• Acidificazione	
EC	dS/m (25°C)	< 0,75	< 1,50	•				• Osmosi inversa • Taglio con acqua migliore	
Calcio	ppm	< 150			•			• Osmosi inversa • Acidificazione	
Magnesio	ppm	< 35						• Taglio con acqua migliore	
Sodio	ppm	< 50	< 150	•				• Osmosi inversa • Taglio con acqua migliore	
Cloruri	ppm	< 50	< 200	•				• Osmosi inversa • Taglio con acqua migliore	
Carbonati e Bicarbonati	ppm	< 250		•				• Acidificazione	
Solfati	ppm S	< 50	< 300	•				• Osmosi inversa • Taglio con acqua migliore	
Ferro	ppm	< 1,0	< 3,0		•		Intasamento delle membrane per osmosi inversa	• Osmosi inversa • Taglio con acqua migliore • Vasche di ossidaz. • Defertizzatori	
Manganese	ppm	< 0,6	< 2,0	•			Intasamento delle membrane per osmosi inversa	• Osmosi inversa • Taglio con acqua migliore • Vasche di ossidaz. • Demanganizzatori	
Rame	ppm	< 0,3	< 1,0	•				• Osmosi inversa • Taglio con acqua migliore	

Tab. 4b - La valutazione dei risultati dell'analisi

Parametro	Unità di misura	Limiti per colture di serra	Limiti per colture di pieno campo	Accumulo in suolo substrato	Rischi in caso di superamento dei limiti			Altri	Possibili interventi
					Otturazione ugelli	Depositi sulle foglie	Tossicità		
Zinco	ppm	< 0,3	< 3,0	•			•	• Osmosi inversa • Taglio con acqua migliore	
Boro	ppm	< 0,3	< 2,0	•			•	• Osmosi inversa • Taglio con acqua migliore	
Molibdeno	ppm	< 0,05	< 0,05	•			•	• Taglio con acqua migliore	
Tensioattivi	ppm	< 0,5	< 0,5	•			•		
Cadmio	ppm	< 0,01	< 0,01	•			•		
Cromo	ppm	< 0,1	< 0,1	•			•		
Nichel	ppm	< 0,2	< 0,2	•			•		
Piombo	ppm	< 5,0	< 5,0	•			•		
Mercurio	ppm	< 0,002	< 0,002	•			•		
Fluoruri	ppm	< 1,0	< 1,0	•			•	• Osmosi inversa	
Solidi sospesi	ppm	< 30	< 30		•	•		• Filtrazione	

Tab. 5 - Fattori di conversione tra le unità di misura più frequentemente utilizzate per i parametri presi in considerazione nelle analisi chimiche delle acque irrigue

Parametro	Unità di misura più utilizzate	Conversioni
Concentrazione di sali, ioni e nutrienti	1 ppm = 1 mg/L = 1 g/m ³	STD (g/L) = residuo fisso (g/L) ≈ 0,64 • EC (dS/m)
Conducibilità elettrica (EC)	µS/cm; mS/cm; dS/m	1000 µS/cm = 1 mS/cm = 1 dS/m
Calcio (Ca ²⁺)	ppm; mmoli/L; meq/L	mmoli/L = ppm / 40 meq/L = ppm / 20
Magnesio (Mg ²⁺)	ppm; mmoli/L; meq/L	mmoli/L = ppm / 24,3 meq/L = ppm / 12,15
Sodio (Na ⁺)	ppm; mmoli/L; meq/L	mmoli/L = meq/L = ppm / 23
Durezza totale	ppm di CaCO ₃ °F (gradi francesi): 1 °F = 10 mg/L di Ca + Mg (come CaCO ₃) °dH (gradi tedeschi): 1 °dH = 10 mg/L di Ca + Mg (come CaO)	ppm di CaCO ₃ = ppm Ca • 2,5 + ppm Mg • 4,1 °F = ppm CaCO ₃ / 10 °dH = °F / 1,79
Cloruri (Cl)	ppm; mmoli/L; meq/L	mmoli/L = meq/L = ppm / 35,45
Bicarbonati (HCO ₃ ⁻)	ppm; mmoli/L; meq/L	mmoli/L = meq/L = ppm / 61
Solfati (SO ₄ ²⁻ -S)	ppm di S; ppm SO ₄ ²⁻ ppm; mmoli/L; meq/L	ppm S = ppm di SO ₄ ²⁻ / 3 mmoli/L = ppm S / 32 meq/L = ppm S / 16
Azoto nitrico (NO ₃ ⁻ -N)	ppm N; ppm NH ₄ ⁺ ; mmoli/L; meq/L	ppm di N = ppm di NO ₃ ⁻ / 4,43 mmoli/L = meq/L = ppm N / 14
Azoto ammoniacale (NH ₄ ⁺ -N)	ppm N; ppm NH ₄ ⁺ ; mmoli/L; meq/L	ppm N = ppm NH ₄ ⁺ / 1,28 mmoli/L = meq/L = ppm N / 14
Fosfati (PO ₄ ³⁻ -P)	ppm P; ppm P ₂ O ₅ ; ppm PO ₄ ³⁻ ; mmoli/L	ppm P = ppm P ₂ O ₅ / 2,29 ppm P = ppm PO ₄ ³⁻ / 3,07 mmoli/L = ppm P / 30,97
Potassio (K ⁺)	ppm K; ppm K ₂ O; moli/L; meq/L	ppm K = ppm K ₂ O / 1,2 mmoli/L = meq/L = ppm K / 39,1
Ferro (Fe)	ppm; µmoli/L	µmoli/L = ppm / 0,0558
Manganese (Mn ²⁺)	ppm; µmoli/L	µmoli/L = ppm / 0,0549
Rame (Cu ²⁺)	ppm; µmoli/L	µmoli/L = ppm / 0,0635
Zinco (Zn)	ppm; µmoli/L	µmoli/L = ppm / 0,0654
Boro (B)	ppm; µmoli/L	µmoli/L = ppm / 0,010
Molibdeno (Mo)	ppm; µmoli/L	µmoli/L = ppm / 0,0959

Legenda: µS/cm: microSiemens per centimetro; mS/cm: milliSiemens per centimetro; dS/m: deciSiemens per metro;
ppm: parti per milione; mg/L: milligrammi per litro; mmoli/L: millimoli per litro; µmoli/L: micromoli per litro;
meq/L: milliequivalenti per litro.

to calcio e magnesio e invece pericoloso se a prevalere sono sodio e cloruri.

I “valori limite” riportati nella *tab. 4* (differenziati tra coltivazione in serra e coltivazione in pien’aria) sono quindi semplicemente indicativi e rappresentano uno strumento sufficiente solo per una prima valutazione: il parere di un tecnico, che conosca nel dettaglio la realtà aziendale, può certamente essere più accurato

Infine, le unità di misura utilizzate per esprimere i risultati possono essere diverse, rendendo difficoltosa la comparazione tra più analisi o tra una analisi e una serie di “valori limite”; la *tab. 5* ripor-

ta le formule per la conversione tra le unità di misura più frequentemente utilizzate e per i parametri più importanti.

pH, alcalinità e acidificazione dell’acqua

Nella pratica irrigua, in particolare nella fertirrigazione, si ricorre spesso all’acidificazione dell’acqua per ridurre le incrostazioni e mantenere il pH del substrato entro valori ottimali, in genere compresi tra 5,5 e 6,5 (< 7,0) (*tab. 3*). Per quanto in genere questa operazione venga realizzata in modo automatico da appositi apparati, è importante poter calcolare la quantità di acido necessaria a raggiunge-

re il pH desiderato, in quanto gli acidi usati (nitrico, fosforico e solforico) sono anche dei fertilizzanti ed è necessario conoscere la quantità di nutrienti apportati con l'operazione di acidificazione.

Come più ampiamente trattato nel Capitolo 11, più che il pH dell'acqua irrigua interessa la sua alcalinità, cioè, la concentrazione (equivalente, meq/L) di ione bicarbonato (HCO_3^-), e carbonato (CO_3^{2-}); infatti, come suggerisce del resto il termine, è l'alcalinità che determina il fabbisogno di acido per la correzione del pH.

Indici calcolati

La necessità di considerare le relazioni tra le concentrazioni dei diversi ioni ha stimolato l'introduzione di vari indici che vengono calcolati a partire dai dati analitici; ne esistono diversi, riportiamo solo quelli che hanno un qualche interesse nel florovivaismo.

SAR

Il sodio viene adsorbito dai colloidi del suolo e ne determina la deflocculazione con importanti effetti sulla permeabilità; tuttavia il rischio che il sodio contenuto nell'acqua venga effettivamente adsorbito dal suolo è diminuito dalla presenza di calcio e magnesio. Il SAR (acronimo di *Sodium Adsorption Ratio*) è un indice che intende valutare questo rischio e viene calcolato attraverso la seguente formula:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}} \quad \text{Eq. 1}$$

dove le concentrazioni sono espresse in meq/L. Comunemente si considerano rischiose solo acque con valore del SAR superiore a 10 (a 5, per le colture florovivaistiche, assai più sensibili).

Alcuni autori hanno cercato di rendere ancora più raffinata la valutazione del rischio sodico introducendo altri parametri nella formula sopra riportata e dando origine ad altri due indici denominati *adjSAR* e *NadjSAR* che esulano dagli scopi di questa trattazione.

Rapporto cloruri/bicarbonati

I valori di salinità delle acque sotterranee variano durante l'anno, essendo in genere più alti durante la stagione siccitosa. Una possibile causa di questa variazione può essere l'intrusione di acqua di mare nelle falde idriche, fenomeno questo presente in molte aree costiere italiane dove ingenti

sono i consumi idrici (per attività agricole, industriali, turistiche ecc.). L'acqua marina è ricchissima in ioni cloruro, poco presente nelle acque di sottosuolo, che invece contengono concentrazioni relativamente elevate di carbonati e bicarbonati. Un aumento del rapporto di concentrazione tra ioni cloruro e ioni carbonato/bicarbonato può indicare una possibile contaminazione dell'acqua di falda da parte di quella marina (Mecella, 2001).

Bilancio ionico

In un'acqua irrigua la somma delle concentrazioni in meq/L degli ioni carichi positivamente (cationi) è uguale a quella degli ioni carichi negativamente (anioni); è dunque possibile fare un "bilancio ionico" esprimendo in meq/L (*tab. 5*) le concentrazioni dei principali cationi (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) e facendone la somma; ripetendo l'operazione con i principali anioni (CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-) si dovrebbe ottenere un valore molto simile. Se invece i valori fossero sensibilmente diversi, significa che uno ione presente in quantità importante non è stato ricercato, oppure che c'è stato un errore nelle analisi.

Occorre ricordare che la somma delle concentrazioni (in meq/L) dei cationi C (o degli anioni A) è empiricamente legata alla EC dalla seguente espressione:

$$EC \text{ (dS/cm)} = 0,1 \cdot C \quad \text{Eq. 2}$$

Le analisi da fare in azienda

Non molte aziende possono dotarsi di un separatore piccolo laboratorio e comunque molte non ne hanno la necessità; riteniamo però indispensabili almeno un pHmetro e un conduttimetro per verificare con frequenza i valori del pH e della EC; si tratta di strumenti portatili comunemente presenti sul mercato in una ampia gamma di costi che – nelle versioni più economiche – sono alla portata di ogni azienda. L'uso di questi strumenti deve seguire alcune norme fondamentali, pena la scarsa attendibilità delle letture eseguite.

Norme generali per l'uso del pHmetro

- Leggere attentamente il manuale d'uso allegato allo strumento;
- il bulbo di lettura (elettrodo) deve rimanere costantemente umido; per la conservazione, va quindi mantenuto immerso in acqua (non usare acqua distillata) o nell'apposita soluzione di conservazione (può essere sufficiente inseri-

re nel cappuccio di protezione del bulbo un batuffolo di cotone umido);

- la taratura deve essere verificata frequentemente immergendo l'elettrodo nelle apposite soluzioni tampone a pH noto (in genere pH 7,0 e 4,0); se la lettura si discosta sensibilmente dal valore nominale (per misure di campo può essere tollerabile un errore di 0,1-0,2), è necessario procedere a una nuova taratura seguendo le istruzioni riportate sul manuale d'uso;
- nel caso fosse necessario molto tempo per raggiungere una lettura stabile si consiglia di pulire accuratamente l'elettrodo con carta imbevuta di acqua e di lavarlo con abbondante acqua (esistono in commercio anche apposite soluzioni di lavaggio); se dopo queste operazioni le letture fossero ancora insoddisfacenti è possibile che sia necessario sostituire l'elettrodo;
- conservare lo strumento al riparo dall'umidità e dal caldo.

Norme generali per l'uso del conduttimetro

- Leggere attentamente il manuale d'uso allegato allo strumento;
- il valore di EC è fortemente dipendente dalla temperatura dell'acqua (*tab. 6*), tanto che nell'esprimere i risultati si deve indicare il valore della temperatura di riferimento (solitamente 20 o 25°C). Gran parte degli strumenti in commercio – anche relativamente economici – sono dotati di un dispositivo di “compensazione automatica”: in sostanza vengono rilevati sia il

Tab. 6 - Fattori di correzione del valore di conducibilità elettrica (CE) per la temperatura del campione di acqua irrigua*

Temperatura (°C)	Fattore di correzione
5	1,61
10	1,41
15	1,25
18	1,16
20	1,11
22	1,06
25	1,00
24	1,02
26	0,98
28	0,94
30	0,91

* La temperatura di riferimento è solitamente 25°C.

valore della EC che della temperatura e – in modo automatico – si riporta la lettura alla temperatura di riferimento. Se lo strumento è dotato di questo dispositivo le letture possono essere utilizzate senza ulteriori calcoli; diversamente è necessario rilevare manualmente la temperatura ed effettuare una “conversione” utilizzando la *tab. 6*, anche in fase di taratura;

- la taratura deve essere verificata frequentemente immergendo l'elettrodo nelle apposite soluzioni standard (ne esistono a varie concentrazioni); se

Strumentazione portatile per la misura del pH e della conducibilità elettrica dell'acqua di irrigazione o di fertirrigazione. Questi strumenti, di costo contenuto e di facile impiego, sono assolutamente necessari per una corretta gestione dell'irrigazione e della concimazione delle piante ornamentali, in special modo di quelle in contenitore



la lettura si discostasse sensibilmente dal valore nominale (per misure di campo può essere tollerabile un errore di 0,1-0,2 mS/cm) è necessario procedere a una nuova taratura seguendo le istruzioni riportate sul manuale d'uso;

- l'elettrodo deve essere periodicamente pulito;
- conservare lo strumento al riparo dall'umidità e dal caldo.

Conclusioni

Una coltivazione razionale non può prescindere dalla verifica analitica dell'acqua irrigua, che deve essere costantemente ripetuta nel tempo per escludere variazioni di composizione che talvolta si verificano e possono comportare effetti negativi sulla coltivazione. Un ausilio molto importante in questa direzione è il controllo periodico in azienda del pH e della conducibilità elettrica dell'acqua.

Bibliografia

1. CNR-IRSA (1994). *Metodi analitici per le acque*. Quaderno 100 - Roma.
2. FAO (1985). *Water quality for agriculture*. <http://www.fao.org/DOCREP/003/T0234E/T0234E00.HTM>
3. GIARDINI L., BORIN M., GRIGOLO U. (1993). *La qualità delle acque per l'irrigazione*. L'Informatore Agrario 20, 29-77.
4. IOWA STATE UNIVERSITY (1999). *Irrigation water quality for container-grown plants*. <http://www.extension.iastate.edu/Publications/PM1699.pdf>
5. ISTITUTO NAZIONALE DI ECONOMIA AGRARIA (1999). *I principali criteri di classificazione di qualità dei corpi idrici superficiali e delle acque utilizzate in ambito agricolo*. Quaderni Irrigazione - Roma.
6. MECCELLA G. (2001). *Metodi di analisi delle acque per uso agricolo e zootecnico*. Franco Angeli, Milano.
7. MORRIS R., DEVITT D. (2002). *Sampling and interpretation of landscape irrigation water*. <http://www.unce.unr.edu/publications/FS02/FS0291.pdf>
8. NELSON P.V. (1998). *Watering*. In "Greenhouse operation and management". 5 Ed., Prentice-Hall.
9. REED D. WM. (1996). *Water, media and nutrition for greenhouse crops*. Ball Publishing. Batavia, Illinois, USA.
10. UNIVERSITY OF TENNESSEE (2003). *Irrigation water quality for greenhouse production*. <http://www.utextension.utk.edu/publications/pbfiles/pb1617.pdf>
11. WESTERN AGRICULTURAL LABORATORIES (2001). *Irrigation and water analysis guidelines*. <http://www.al-labs-west.com/pdf/waterguidelines0502.pdf>

9. Metodi rapidi per le analisi chimiche dell'acqua irrigua e del substrato di coltivazione

Rita Maggini, Luca Incrocci

Introduzione

L'adozione su sempre più larga scala delle tecniche colturali fuori suolo, sia a ciclo aperto che chiuso, richiede, per una corretta gestione della fertirrigazione, il monitoraggio dei substrati di coltura utilizzati e della soluzione nutritiva che viene fatta circolare attraverso il sistema, con la necessità di eseguire frequenti misure di pH, conducibilità elettrica e contenuto di elementi nutritivi. I metodi tradizionalmente usati per le determinazioni dei vari parametri sono le analisi di laboratorio, sia chimiche che strumentali, che forniscono dati altamente affidabili, ma allo stesso tempo prevedono costi elevati e tempi tecnici spesso lunghi per ottenere il risultato. I metodi di diagnostica rapida consentono di ovviare a entrambi questi inconvenienti, poiché sono poco costosi, veloci, di facile impiego, e consentono di eseguire l'analisi, direttamente sul luogo di produzione. Per questi motivi essi sono stati sviluppati e sempre più largamente adottati. Le attrezzature impiegate sono caratterizzate da brevissimi tempi di risposta e permettono la determinazione di un numero estremamente elevato di parametri, garantendo la possibilità, quando necessario, di intervenire in maniera tempestiva sul sistema colturale.

I test rapidi possono essere eseguiti, direttamente in campo o in serra, tramite i cosiddetti "kit", piccole attrezzature consistenti nei reagenti pronti per l'uso, eventualmente corredati dalla vetreria opportuna (ad esempio, una provetta graduata) e dallo strumento portatile di misura. Tutto l'occorrente si trova generalmente incluso in una valigetta per il trasporto. Attraverso i test rapidi le varie sostanze possono essere determinate in completa autonomia dal laboratorio chimico, anche da personale privo di una formazione scientifica speci-

fica, in modo semplice, veloce e con risultati affidabili.

L'analisi della soluzione nutritiva e quella dei substrati presentano essenzialmente le stesse problematiche; infatti per il controllo rapido dei substrati è previsto uno stadio preliminare consistente nella preparazione di un estratto acquoso del mezzo di coltura. Si ottiene quindi anche in questo caso una fase liquida, su cui si vanno a eseguire, con modalità identiche, le stesse determinazioni necessarie per la soluzione nutritiva. Questo tipo di pretrattamento del substrato richiede pochi minuti e può essere eseguito direttamente sul luogo di prelievo del campione. Un protocollo di estrazione per l'analisi rapida dei substrati e la semplice attrezzatura necessaria sono riportati nel Capitolo 17.

Il tipo di materiale per la diagnostica rapida presente sul mercato è estremamente vario e permette di eseguire analisi qualitative (rivelazione della presenza o assenza della sostanza cercata), semiquantitative (indicazione della quantità di sostanza presente, entro un intervallo di concentrazioni piuttosto ampio) o quantitative (determinazione della concentrazione), mentre i costi variano da pochi euro per i test più semplici a 1000-2000 euro per la strumentazione portatile (fotometro, pHmetro, conducimetro).

Dalla loro comparsa sul mercato, i kit sono stati notevolmente migliorati nel tempo per semplificare in misura sempre maggiore l'esecuzione delle analisi di routine. A ogni kit è allegato un foglietto illustrativo in cui sono riassunte le informazioni relative a modalità di impiego, principio della reazione utilizzata, interferenza di altri componenti della soluzione, campo di applicazione e accuratezza del risultato. L'etichetta riporta, come per tutti i prodotti chimici, le indicazioni di pericolo e i consigli per la sicurezza d'uso.

Tab. 1 - Principali test rapidi utilizzabili nelle analisi on-line

Tipo di test	Procedura	Risultato	Determinazioni
TEST COLORIMETRICI			
Strisce reattive	• Immergere la striscia nella soluzione	• Confronto del colore del campione con scala cromatica di riferimento • Lettura con riflettometro	Concentrazione di ioni (ad esempio, Na ⁺ , K ⁺ , Mg ⁺⁺ , Ca ⁺⁺ , NO ₃ ⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻ , Cl ⁻)
Reattivi predosati	• Aggiungere il campione	lettura con fotometro	Concentrazione di ioni (ad esempio, Na ⁺ , K ⁺ , Mg ⁺⁺ , Ca ⁺⁺ , NO ₃ ⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻ , Cl ⁻)
Set di reagenti	• Mescolare i reagenti come da istruzioni	• Confronto del colore del campione con scala cromatica di riferimento • Lettura con fotometro	Concentrazione di ioni (ad esempio, Na ⁺ , K ⁺ , Mg ⁺⁺ , Ca ⁺⁺ , NO ₃ ⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻ , Cl ⁻)
TEST TITRIMETRICI			
Con contagocce / flacone contagocce	• Aggiungere reagenti come da istruzioni • Aggiungere il titolante con contagocce o flacone contagocce	• Calcolo concentrazione da n. gocce come da istruzioni	Concentrazione di ioni (ad esempio, Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺)
Con siringa dosatrice	• Aggiungere i reagenti come da istruzioni • Aggiungere il titolante con siringa dosatrice	• Lettura concentrazione su siringa	Concentrazione di ioni (ad esempio, Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺)
USO DI STRUMENTI PORTATILI			
Misure fotometriche	• Inserire striscia/cella/provetta nell'apposito alloggiamento	• Lettura concentrazione su display	Concentrazione di ioni (ad esempio, Na ⁺ , K ⁺ , Mg ⁺⁺ , Ca ⁺⁺ , NO ₃ ⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻ , Cl ⁻)
Misure elettrochimiche	• Immergere il sensore nella soluzione	• Lettura concentrazione su display	pH, EC, ioni (ad esempio, Na ⁺ , F ⁻ , K ⁺ , NO ₃ ⁻ , Ca ⁺⁺ , Cl ⁻), gas (ad esempio, O ₂ , CO ₂ , NH ₃), potenziale redox

Tab. 2 - Nomi e indirizzi di alcune ditte produttrici e/o distributrici di strumenti e kit per analisi chimiche rapide

1. MERCK, Darmstadt, Germany; www.merck.de
2. BRACCO, Divisione Chimica, Milano; www.bracco.com
3. HACH Europe, Namur, Belgium; www.hach.com
4. MACHEREY-NAGEL, Düren, Germany; www.macherey-nagel.com
5. HANNA Italia, Sarreola di Rubano (PD); www.hanna.it
6. VELP Scientifica, Usmate (MI); www.velp.it

I dispositivi per la diagnostica rapida possono essere raggruppati nel modo seguente:

- Kit test colorimetrici:
 - strisce reattive (strip-test);
 - reagenti predosati in provetta;
 - set di reagenti.
- Kit test titrimetrici:
 - con contagocce di precisione o flacone contagocce;
 - con siringa titolatrice.
- Strumentazione portatile:

- per misure fotometriche;
- per misure elettrochimiche.

Uno schema riassuntivo dei vari tipi di test rapidi è riportato in *tab. 1*.

L'assortimento dei test kit presenti sul mercato rispecchia le esigenze pratiche degli utilizzatori e viene costantemente ampliato. Praticamente tutte le maggiori case produttrici di reagenti e strumentazione da laboratorio commercializzano anche test kit di vario tipo. Alcune ditte produttrici o distributrici di dispositivi per analisi rapide sono

elencate in *tab. 2*. Il Research Institute dell'AoAC (*Association of Analytical Communities*) dispone di un archivio aggiornato dei test kit presenti in commercio sia per l'analisi di acque che di altri tipi di campioni. I produttori sono incoraggiati a segnalare i nuovi kit immessi sul mercato per poterli inserire nel database.

Molte ditte forniscono dei veri e propri "laboratori portatili" per il monitoraggio completo dei vari parametri, comprendenti in una sola valigetta trasportabile diversi strumenti (ad esempio, pHmetro, conducimetro, fotometro), reagenti, vetreria e accessori, manuale con le metodiche analitiche eseguibili con l'attrezzatura contenuta nella confezione. Ulteriori kit possono essere aggiunti anche in un secondo tempo, acquistando di volta in volta il set di reagenti necessario.

Esistono infine analizzatori on-line automatici in grado di eseguire il monitoraggio della soluzione nutritiva, correggendone eventualmente la composizione. A seconda dei valori di concentrazione riscontrati nella soluzione ricircolante, questa viene, infatti, automaticamente arricchita con la quantità opportuna dei soli nutrienti che è necessario aggiungere. I requisiti fondamentali di queste apparecchiature sono la elevata stabilità derivante dall'automazione delle operazioni, il risparmio economico che si realizza tramite l'ottimizzazione del consumo di energia e di sostanze chimiche, la sicurezza nella gestione dell'impianto di fertirrigazione dovuta al monitoraggio continuo dei parametri fondamentali.

Test colorimetrici

La grande maggioranza dei test rapidi è basata su metodi colorimetrici. Al campione si aggiungono uno o più reagenti che a contatto con la sostanza da analizzare determinano la formazione di un composto colorato; il colore sviluppato indica la quantità di sostanza presente. La determinazione può essere effettuata per confronto visivo con una scala cromatica di riferimento presente nella confezione, oppure attraverso una lettura strumentale, che viene eseguita sul campo con uno strumento portatile.

Strisce reattive

I test rapidi più semplici prevedono l'uso di strisce reattive. Le più note sono quelle per la determinazione del pH. Le strisce vengono utilizzate immergendole per qualche secondo nella soluzione nutritiva o nell'estratto acquoso da analizzare; sono impregnate di un opportuno reagente,

che in presenza della sostanza in questione assume una particolare colorazione, ed hanno le necessarie caratteristiche di rapidità, convenienza, specificità e alta conservabilità; possono infatti essere mantenute tre anni a temperatura ambiente (sulla confezione è riportata la data di scadenza).

Sono disponibili in commercio cartine indicatrici con le quali si possono eseguire test qualitativi, rivelando la presenza della sostanza da individuare al di sopra di una certa concentrazione. Per una determinazione semiquantitativa si usano strisce analitiche, con le quali la colorazione che si osserva ha una diversa gradazione in funzione della concentrazione di sostanza presente. Dopo un



Riflettometro per analisi chimiche rapide. In basso le strisce reattive utilizzate per il saggio colorimetrico (nitrati, in questo caso). Lo strumento prevede una particolare procedura di calibrazione (v. striscia con codice a barre in alto)



Kit test con comparatore visuale

tempo prestabilito, di solito inferiore a un minuto, il colore sviluppato sulla striscia viene confrontato visivamente con la scala cromatica di riferimento. Per determinazioni quantitative lo sviluppo del colore sulla striscia viene misurato tramite un riflettometro dedicato. Il riflettometro è provvisto di codice a barre allegato a ogni confezione di strisce, che serve per la rapida calibrazione dello strumento; infatti i dati riferiti a ogni specifico lotto di strisce sono determinati durante la fase di produzione e vengono impressi direttamente sul codice a barre. Si ottengono risultati quantitativi che si leggono direttamente sul display senza bisogno di una ulteriore elaborazione e che possono essere memorizzati.

Reagenti in provetta

I reattivi predosati sono già contenuti nella provetta che sarà utilizzata per la misura. Questa deve essere effettuata con un fotometro portatile dedicato, fornito dalla stessa casa produttrice. Il test si esegue semplicemente aggiungendo il campione di soluzione da saggiare nella provetta, che viene inserita nell'apposito alloggiamento del fotometro. Lo strumento spesso mostra direttamente sul display il valore della concentrazione della specie in esame. Una confezione di reattivi predosati è costituita da qualche decina di provette contenenti i reagenti, ognuna delle quali è utilizzata per una singola analisi. I reagenti possono anche trovarsi predosati allo stato solido, sotto forma di pastiglia. Il saggio in provetta viene eseguito aggiungendo una pastiglia a un volume di campione fissato ed eseguendo la lettura strumentale dopo completa dissoluzione, a un tempo prestabilito.

Set di reagenti

I reattivi pronti all'uso si trovano in contenitori separati, corredati dal protocollo che illustra il metodo analitico da seguire. Miscelando le dosi dei vari reattivi secondo le istruzioni riportate sulla confezione si ottiene la soluzione da analizzare. Nelle confezioni che non prevedono lettura strumentale, il kit è generalmente dotato di due provette, una per il bianco e una per il campione, che vengono riempite con un volume prefissato di soluzione da analizzare. In una soltanto delle due provette vengono aggiunti i reagenti necessari per la reazione di formazione della sostanza colorata. In alcuni kit è a disposizione un apposito comparatore con scala cromatica. Spostando le due provette di reazione contenenti il campione e il bianco lungo la scala cromatica si individua il corrispondente valore di concentrazione.

La soluzione può anche essere analizzata con un fotometro portatile. Le confezioni di reagenti pronti all'uso permettono generalmente di eseguire diverse centinaia di analisi.

Test titrimetrici

L'analisi titrimetrica o volumetrica si basa sulla reazione tra la sostanza da determinare e un reagente (titolante) a concentrazione nota. La reazione avviene in presenza di un indicatore visuale, una sostanza per la quale si verifica una variazione di colore (viraggio) quando la reazione è giunta a completezza. La concentrazione della sostanza incognita si calcola in base alla quantità di titolante aggiunto; non è quindi prevista una lettura strumentale. I kit per analisi volumetrica, il più noto dei quali è quello per la determinazione della durezza delle acque (somma delle concentrazioni degli ioni calcio e magnesio presenti, espressa di solito in gradi francesi), prevedono diversi sistemi di dosaggio.

Contagocce di precisione o flaconi contagocce

Si impiegano per determinazioni rapide a consumo ridotto di reagente. Utilizzando contagocce di precisione e flaconi contagocce si conta il numero delle gocce dosate e si ottiene una indicazione della concentrazione della sostanza ricercata.

Siringa titolatrice

Si utilizza quando le esigenze di sensibilità e precisione sono più elevate. Si aspira la soluzione titolante finché il pistone della siringa non va a coincidere con lo zero della scala graduata, si aggiunge il titolante al campione fino al viraggio dell'indicatore e si legge il risultato direttamente come concentrazione sulla scala graduata della siringa.

Strumentazione portatile

Il mercato offre una vastissima gamma di strumenti di misura tascabili e portatili di basso costo e di facile utilizzazione, comprendente non solo vari tipi di fotometri (che possono essere impiegati in associazione ai test rapidi), ma anche strumenti per misure elettrochimiche. La strumentazione portatile può essere alimentata a batteria o a batterie ricaricabili, oppure può funzionare ad alimentazione mista (batteria e corrente di rete). In questo caso è possibile l'uso sia come strumenti portatili che come strumenti da banco da usare in laboratorio.

Strumentazione per misure colorimetriche

Queste misure devono essere eseguite a una lunghezza d'onda fissa, diversa a seconda della sostanza da determinare. Alcuni fotometri sono predisposti per lavorare a una lunghezza d'onda singola, oppure consentono la scelta di pochi valori di lunghezza d'onda. Questi strumenti, analogamente ai riflettometri, permettono di determinare la concentrazione di una sola o di poche sostanze e forniscono il risultato direttamente come concentrazione di quella in esame. Vi sono anche strumenti portatili dotati di maggiore flessibilità, permettendo la selezione della lunghezza d'onda di lavoro da parte dell'operatore e la determinazione di più componenti.

Strumentazione per misure elettrochimiche

I progressi della miniaturizzazione in elettronica si sono avuti soprattutto in questo campo e attualmente vengono commercializzati strumenti portatili per misure on-line, che permettono di determinare i seguenti parametri:

- pH
- conducibilità elettrica (EC)
- potenziale redox
- gas disciolti (ad esempio, O₂, CO₂, NH₃)
- concentrazione di ioni (ad esempio, Na⁺, F⁻, K⁺, NO₃⁻, Ca⁺⁺, Cl⁻).

Gli strumenti sono costituiti da una unità di controllo (microprocessore) e da un sensore, di solito collegato a essa tramite un cavo. Alcuni combinano più di una funzione, ad esempio pH e conducibilità elettrica.

Oltre ai sensori più comunemente usati, come l'elettrodo a vetro combinato per la misura del pH, si trovano in commercio molti tipi di sensori elet-

trochimici per la misura di molecole neutre (ad esempio, anidride carbonica e ammoniaca) e di ioni specifici. In quest'ultimo caso i sensori vengono chiamati elettrodi ionoselettivi (*ISE*) e il loro costo medio è intorno ai 500 euro. Quando è possibile utilizzare questa metodica analitica, la determinazione dei componenti tramite elettrodi ionoselettivi è molto spesso conveniente, poiché non è soggetta a interferenze come la presenza di solidi sospesi nel campione, non richiede particolari pretrattamenti come la filtrazione e si presta quindi alle esigenze delle misure on-line.

Manutenzione degli strumenti

È sempre buona norma leggere il manuale a corredo degli strumenti e attenersi alle istruzioni riportate. In generale occorre adottare i seguenti accorgimenti:

- evitare l'uso improprio degli strumenti e porre attenzione a evitare urti e/o versamenti di liquidi su di essi;
- dopo l'uso (ed eventualmente tra una misura e la successiva) pulire con acqua distillata o con carta imbevuta tutte le parti che vengono a contatto con il campione;
- controllare periodicamente (almeno una volta ogni 15 giorni) la calibrazione con le apposite soluzioni standard presenti in commercio;
- alcuni elettrodi (ad esempio, quello per il pH) devono essere conservati con l'apposito cappuccio protettivo contenente una soluzione di mantenimento, differente a seconda del tipo di elettrodo;
- attenersi alle istruzioni di conservazione per lo stoccaggio dei vari reagenti utilizzati.

Bibliografia

1. LABORATORIO 2000 (1998). *Guida alla scelta - Strumenti e kit per analisi sul campo*. Agosto-Settembre 1999, 34-40.
2. CATALOGHI MERCK: a) *Merckoquant® Tests. Ion-specific test strips for the semi-quantitative determination of important secondary constituents*. E. Merck, Darmstadt, Germany; b) *Tests rapidi per analisi ambientali. Guida completa all'assortimento di analitica rapida*. MERCK, 1999, Bracco S.p.A, Divisione Chimica, Linea Reagenti, Milano.
3. CATALOGO BRACCO. *Test rapidi Merck per l'analisi dell'acqua*, Bracco Industria Chimica S.p.A., Divisione Chimica, Milano.
4. CATALOGO HACH. *Guida dei prodotti HACH*. Hach Europe S.A., Namur, Belgium.
5. CATALOGO RIEDEL-DE HAËN, AQUANAL®-PLUS. *Test sets per l'analisi rapida dell'acqua*. Istituto Behring SpA, Linea reagenti per la ricerca, Milano.
6. CATALOGHI VELP SCIENTIFICA, REAGENTI NANOCOLOR®, MACHEREY-NAGEL, DÜREN, GERMANY: a) *Analisi semplificate delle acque*; b) *Analisi delle acque. Sistemi rapidi per analisi fotometriche delle acque*; c) *Sistemi rapidi per analisi delle acque*. VELP Scientifica srl, Usmate (MI).
7. AOAC - *Association of Analytical Communities*. www.aoac.org/testkits/Tkdata1.html

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

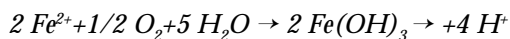


Filtro a dischi

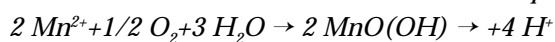
che è spesso adottata dalle aziende, è quella di installare una pompa di aerazione nell'invaso di raccolta delle acque di irrigazione. Questa pompa, mediante un'energica agitazione della superficie dell'acqua, favorisce l'aerazione e l'aumento di ossigeno disciolto in questa.

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:

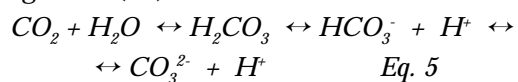
$$pH = -\log_{10} [H^+] \quad \text{Eq. 4}$$

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 $pK1 = 6,35$

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

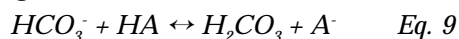
quindi $pK2 = 10,32$.

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

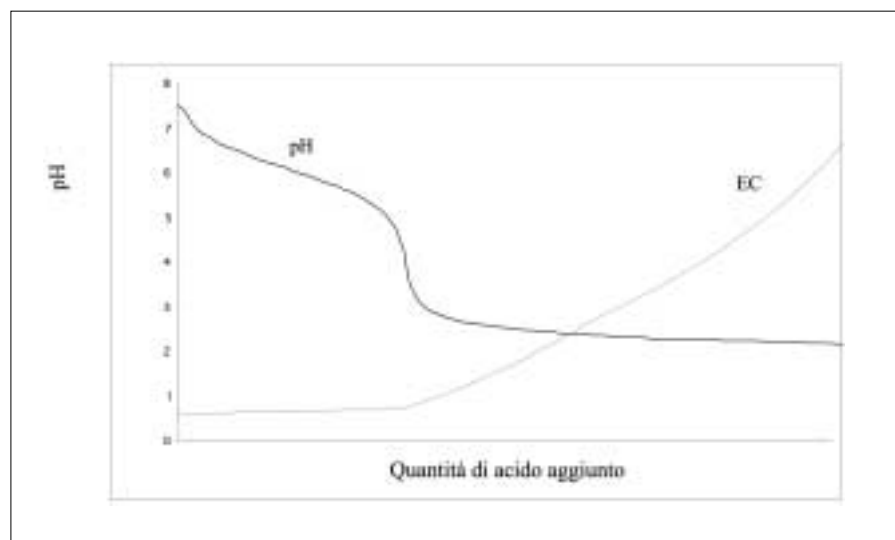


Fig. 1 - Variazione del pH e della EC di un'acqua all'aggiunta di un acido

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.

11. Impianti per l'irrigazione e per la fertirrigazione

Luca Incrocci, Ernesto Riccò

Introduzione

Il capitolo illustra sinteticamente gli impianti per l'irrigazione e per la fertirrigazione utilizzabili nelle colture florovivaistiche di serra o di piena aria. Non è certamente nelle intenzioni degli autori mettere in condizione il lettore di progettare 'in casa' un sistema irriguo per colture commerciali, ma più semplicemente fornire le nozioni fondamentali per una gestione corretta degli impianti e anche una valutazione critica dei progetti e delle descrizioni dei vari dispositivi (non dei preventivi!) forniti dalle ditte che operano nel settore.

La trattazione separa gli impianti irrigui (erogatori) dai gruppi di fertirrigazione.

Impianti per l'irrigazione

I sistemi irrigui si possono suddividere in base al metodo di erogazione dell'acqua.

Irrigazione per sommersione

Si basa sulla somministrazione di grossi volumi di acqua tali da inondare tutta l'area coltivata; necessita di speciali sistemazioni e non è mai utilizzata nel settore florovivaistico.

Irrigazione per scorrimento e infiltrazione laterale

In questo sistema si ha una lama di acqua che, scorrendo sulla superficie da irrigare, penetra nel terreno; è una tecnica ormai non più utilizzata nel florovivaismo (tranne poche eccezioni).

Irrigazione per aspersione (a pioggia)

Comprende tutti quei sistemi in cui l'acqua viene distribuita per via aerea, sopra o sotto chio-

ma. È un sistema con una buona efficienza idrica, minore o maggiore a seconda della densità di impianto della specie irrigata, e ancora uno fra i più diffusi nel settore florovivaistico.

Irrigazione per subirrigazione

È adottata solo in alcune serre appositamente attrezzate con bancali o pavimenti a tenuta stagna; presenta notevoli vantaggi per la coltivazione delle piante in vaso, ma richiede grossi investimenti.

Irrigazione localizzata (microirrigazione o irrigazione a goccia o a sorsi)

È caratterizzata da un'alta efficienza irrigua e comprende i sistemi maggiormente utilizzati dove è necessario risparmiare acqua. Questi sono molto diffusi nel settore del florovivaismo, anche per la facilità d'impiego per la fertirrigazione.

Ogni sistema presenta una serie di vantaggi e svantaggi schematicamente illustrati nelle *tabb. 1 e 2*. Di seguito ci limiteremo a trattare solo i sistemi di irrigazione per aspersione e per microirrigazione.

Irrigazione per aspersione

In questo tipo di irrigazione si usano impianti in cui l'acqua viene distribuita uniformemente su tutta la superficie coltivata.

I principali vantaggi di questo sistema irriguo sono la semplicità di montaggio, la completa bagnatura della superficie coltivata con conseguente innalzamento dell'umidità dell'aria. A questi si contrappongono alcuni svantaggi come la bagnatura della parte aerea della pianta (maggiori rischi di malattie), il pericolo di ustioni o macchie fogliari nel caso di acque di scarsa qualità e una bassa efficienza (rapporto tra l'acqua erogata e quella

Tab. 1 - Vantaggi e svantaggi di diversi sistemi d'irrigazione

Tab. 1 - Vantaggi e svantaggi di diversi sistemi d'irrigazione			
IRRIGAZIONE MANUALE			
<i>Vantaggi</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Costi bassi • Flessibile per tutte le specie 	<i>Svantaggi</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Irrigazione irregolare • Alti costi di manodopera • Uso eccessivo di acqua • Ridotta qualità delle piante
IRRIGAZIONE PER ASPERSIONE			
<i>Vantaggi</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Costi d'installazione relativamente contenuti • Basso fabbisogno di manodopera • Può essere usata per rinfrescare le piante e mantenere l'umidità dell'aria 	<i>Svantaggi</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Irrigazione non uniforme • Può comportare un consumo eccessivo di acqua e un dilavamento dei fertilizzanti
BARRE MOBILI			
<i>Vantaggi</i>	<ul style="list-style-type: none"> • L'irrigazione e la fertirrigazione sono accurate • L'apertura degli ugelli provvede al controllo delle gelate e all'irrigazione durante la germinazione 	<i>Svantaggi</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Costi elevati per i piccoli vivai
IRRIGAZIONE A GOCCIA			
<i>Vantaggi</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Minimo <i>runoff</i> • Riduzione delle malattie fogliari • Permette un eccellente controllo del bilancio aria-acqua nel substrato • Può essere usata per irrigare più specie di piante anche di dimensioni diverse 	<i>Svantaggi</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Costi alti • Manutenzione più frequente

effettivamente resa disponibile per l'assorbimento della pianta), soprattutto nel caso delle colture in contenitore con diametro del vaso superiore a 18 cm (sopra a questa dimensione la densità colturale è bassa e maggiori sono le perdite per mancato intercettamento da parte delle piante).

Per una buona progettazione di un impianto di irrigazione per aspersione occorre valutare i seguenti parametri:

1. la velocità di infiltrazione del terreno e/o del substrato: infatti, l'intensità di pioggia non deve mai superare la velocità di infiltrazione, pena il ruscellamento superficiale e il costipamento del terreno;
2. l'incidenza del vento: in ambiente protetto ciò è ininfluenza, ma all'aperto può compromettere seriamente l'uniformità di distribuzione dell'irrigazione; in caso di vento occorre utilizzare irrigatori a portata medio-alta e con gittata medio-corta, tale che la dimensione delle gocce prodotte sia abbastanza grande da non risentire troppo della deriva provocata dal vento;
3. la qualità dei materiali da utilizzare nella realiz-

zazione dell'impianto, soprattutto per quanto riguarda il coefficiente di uniformità degli irrigatori utilizzati;

4. la qualità dell'acqua, in particolare il contenuto di bicarbonati, ferro, manganese e cloruri (per le specie sensibili): infatti, poiché viene a essere bagnata la parte aerea, la presenza in quantità eccessive di questi ioni può comportare macchie fogliari, decolorazioni, e nei casi più gravi ustioni sulle foglie, in questi casi potrebbe essere necessario predisporre dei trattamenti specifici (vedi Capitolo 10);
5. il tipo di coltivazione da irrigare: ad esempio, nel caso di colture delicate come quelle da fiore reciso, occorre utilizzare ugelli con portata medio-bassa per evitare danni.

Gli impianti per aspersione si dividono in fissi o mobili.

Nel primo caso si hanno delle linee in PVC rigido o in ferro zincato su cui sono avvitate degli ugelli; le linee sono posizionate in numero e modo tale che tutta la superficie da irrigare sia bagnata contemporaneamente.

Tab. 2 - Vantaggi e svantaggi dei sistemi di subirrigazione			
FLUSSO E RIFLUSSO SU BANCALE			
<i>Vantaggi</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Usa minori quantità d'acqua e di fertilizzanti rispetto agli altri sistemi • Il ricircolo dell'acqua minimizza le perdite per lisciviazione • Bassi rischi di diffusione dei patogeni 	<i>Svantaggi</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Costi elevati • Alti costi d'installazione • Insetticidi, fungicidi e erbicidi devono essere somministrati con molta cura per evitare un aumento della tossicità nell'acqua di irrigazione • Accumulo eccessivo di sali se l'acqua utilizzata è di scarsa qualità
FLUSSO E RIFLUSSO SU PAVIMENTO			
<i>Vantaggi</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Adatto per la coltivazione di grossi gruppi di piante • È possibile incorporare nel pavimento sistemi di riscaldamento • Minori richieste di fertilizzanti rispetto ai sistemi dall'alto • Il ricircolo d'acqua minimizza le perdite per lisciviazione 	<i>Svantaggi</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Gli stessi del flusso e riflusso su bancale
SCORRIMENTO			
<i>Vantaggi</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Permette di utilizzare i bancali esistenti • Garantisce un microclima meno favorevole alle malattie • Permette un migliore utilizzo dello spazio • Buon controllo del rendimento dell'acqua 	<i>Svantaggi</i>	<ul style="list-style-type: none"> • I soliti del flusso e riflusso • Più favorevole alla diffusione dei patogeni
TAPPETI CAPILLARI			
<i>Vantaggi</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Per ambienti caratterizzati da UR elevata • Adatto per specie a ciclo breve • Il livello dell'acqua nel contenitore rimane costante • Sullo stesso tappeto possono essere sistemati piante e vasi di diverse dimensioni 	<i>Svantaggi</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Accumulo sali • Il ristagno di soluzione nutritiva può creare problemi di diffusione di alghe
LETTI SABBIOSI (A RISALITA CAPILLARE)			
<i>Vantaggi</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema di subirrigazione più economico • Caratteristiche simili ai tappeti capillari 	<i>Svantaggi</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Vasi più grandi di 9 litri non sono adatti in modo efficiente • Crescita delle radici sopra i letti di sabbia

Nel secondo caso, gli ugelli sono montati su una apposita struttura semovente di larghezza pari al lato minore del settore da irrigare: con questi sistemi la quantità di acqua fornita per m² dipende sia dalla portata oraria dell'ugello sia dalla velocità di avanzamento della barra mobile. Le ali piovane mobili sono utilizzate per la maggior parte in ambienti protetti, dove si utilizzano, oltre che per l'irrigazione, anche per l'umidificazione e per la somministrazione di trattamenti fitosanitari.

La parte fondamentale in un impianto per aspersione è l'ugello. Sul mercato ne esistono molte tipologie e di diverso materiale. Fondamentalmente questi si suddividono in statici (nel caso che l'energia cinetica dell'acqua sia sfruttata solo per frantumare in gocce più o meno piccole il getto d'acqua) o dinamici (in questo caso parte dell'energia cinetica dell'acqua è utilizzata per azionare una girante che "lancia" letteralmente le gocce intorno all'ugello).

Tab. 3 - Tipi di ugelli e loro caratteristiche utilizzati nei sistemi irrigui per aspersione

<i>Tipo di ugello</i>	<i>Caratteristiche</i>	<i>Tipi di applicazione</i>
STATICI		
Ad alta portata	Portata: 4 - 20 L/min Gittata: 3 - 8 metri	Per serra e vivai in pien'aria, per colture poco delicate e su terreni di medio-impasto e/o sabbiosi
A media portata	Portata: 2 - 4 L/min Gittata: 1 - 4 metri	Per serra e vivai in pien'aria; uso per colture delicate o da fiore e su terreni di medio-impasto/argillosi; usati anche per umidificare
A bassa portata	Portata: 0,5 - 2 L/min Gittata: 0,5 - 3 metri	Solo per serre, per colture delicate, per umidificare e per la radicazione di talee
DINAMICI		
Mini-irrigatori (per ali piovane)	Portata: 1 - 5 L/min Gittata: 1 - 6,5 metri	Per serre e, montati su aste, anche per vivai di piena aria
A schiaffo o a battuta (da montarsi su aste)	Portate: 10 - 70 L/min Gittata: 8 - 20 metri con pressioni di esercizio di 3 bar	Per irrigazioni a pieno campo o vaste aree, possibilità di selezionare l'angolo del settore di irrigazione

Di un ugello è importante conoscere la portata (espressa in litri/minuto o litri/ora), la gittata (e cioè il raggio del settore che riesce a bagnare, espresso in metri) e l'uniformità di distribuzione.

Nella *tab. 3* sono riportati in dettaglio i vari tipi di ugello con le caratteristiche fondamentali di portata e gittata.

Gli ugelli statici si suddividono ancora in base alla portata (alta, media e bassa) e lavorano a pressioni di esercizio comprese fra i 2 e i 6 bar.

Gli ugelli dinamici si suddividono in mini-irrigatori (da montare su ali piovane o su piccole aste) e irrigatori a schiaffo (detti anche a impatto o a martelletto). I primi si stanno molto diffondendo grazie alle basse pressioni di esercizio (1,5-2,5 bar) richieste e grazie alle buone gittate (fino a 6-7 metri): ciò permette di semplificare l'impianto, ponendo sulla stessa area un numero inferiore di barre (in serra si può posizionare anche una sola barra per capriata). La bassa pressione di esercizio e di portata permette di utilizzarli montandoli direttamente su delle aste porta-irrigatori e collegandoli con del tubo flessibile a una linea idrica.

In pieno campo si utilizzano molto gli irrigatori dinamici a schiaffo o a battuta. Il getto di questo si frantuma su un battente collegato a un ingranaggio che permette una rotazione su sé stesso dell'irrigatore: in questo caso, grazie ad appositi cavalieri è possibile anche impostare l'angolo di rotazione dell'irrigatore.

Microirrigazione

In questa categoria si annoverano tutti quegli impianti caratterizzati da basse portate e funzionanti con basse pressioni di esercizio (non superiori a 1,5-2 bar), e in cui l'acqua viene distribuita solo su una parte della superficie interessata dalle radici.

I principali vantaggi di questi sistemi irrigui sono:

- l'elevata efficienza irrigua (basso pericolo di ruscellamento);
- il minor sviluppo delle malerbe;
- la maggiore sanità delle colture per il basso incremento della umidità ambientale;
- la possibilità di irrigare anche durante le ore calde;
- l'assenza di costipazione del terreno;
- il funzionamento con basse pressioni di esercizio con conseguente riduzione dei costi di esercizio (energia per la pressurizzazione) e di investimento (materiale plastico a bassa densità);
- la possibilità di utilizzare la fertirrigazione con il minimo spreco di concimi.

Il principale svantaggio di detti impianti è la grande facilità all'intasamento, dovuta principalmente al ridottissimo diametro degli ugelli utilizzati e alle basse pressioni di esercizio. Per questo motivo, pena la rapida occlusione dell'impianto, è sempre indispensabile montare a monte di tutto un buon filtro a maglia della dimensione di 50-120 mesh, (a seconda del tipo di gocciolatore utilizzato) e di un riduttore di pressione che eviti sbalzi pericolosi per l'integrità dei componenti degli impianti.

Nell'ambito della microirrigazione si possono identificare quattro principali categorie:

1. impianti ad ala gocciolante (pressioni di esercizio: 0,5-2,0 bar; portate da 0,5 a 4 litri/ora);
2. impianti con gocciolatori (pressioni di esercizio da 1 a 4 bar; portate da 2 a 20 litri/ora);
3. impianti con erogatori (pressioni di esercizio 1-3 bar; portate da 6 a 30 litri/ora);
4. impianti con tubi capillari (pressioni di esercizio 1-2,5 bar; portate da 0,7 a 7 litri/ora).

Impianti ad ala gocciolante

In questa categoria sono comprese anche le comuni manichette forate, costituite da un tubo molto sottile di polietilene con dei semplici fori a distanza prestabilita. Le manichette forate non hanno un sistema di controllo sulla portata erogata da ogni singolo foro e quindi non danno garanzie sull'uniformità di distribuzione, che risulta assai bassa anche per la facilità di intasamento dei fori.

Le ali gocciolanti vere e proprie (in cui esiste un sistema per il controllo della portata) si dividono in ali gocciolanti leggere e con gocciolatore. Le prime, spesso utilizzate per coltivazioni annuali sistemate a filari, sono dotate o di uno speciale dispositivo interno o di una doppia camera: in entrambi i casi, nel punto di erogazione esiste un labirinto che ne riduce la pressione e la velocità in modo da rendere uniforme la distribuzione dell'acqua. Le ali gocciolanti con gocciolatore, grazie a un maggiore spessore del tubo, hanno una lunga durata, consentono un'irrigazione più uniforme, e si adattano a coltivazioni pluriennali.

Esistono anche sistemi di ali gocciolanti con gocciolatori autocompensanti, che si utilizzano per terreni in pendenza e/o per tratti molto lunghi. In questi casi, la pressione all'inizio e alla fine della linea gocciolante presenta notevoli differenze e ciò si ripercuoterebbe notevolmente sulla portata dei singoli gocciolatori. I gocciolatori autocompensanti, invece, grazie a particolari membrane interne, riescono ad avere una erogazione costante in un intervallo abbastanza ampio di pressione (da 0,8 a 2 bar); ciò permette un'ottima uniformità di distribuzione.

Molto spesso questi speciali gocciolatori sono dotati anche di un dispositivo di autopulizia contro gli intasamenti.

Impianti con gocciolatori

In questo caso si ha una linea di polietilene a bassa densità (di diametro compreso fra 16 e 25 mm) su cui sono inseriti, alla distanza più congeniale, dei gocciolatori. Si possono avere gocciolatori del tipo a bottone o a freccetta.

Il gocciolatore a bottone presenta al suo interno uno speciale labirinto, che opera una riduzione della velocità e della pressione dell'acqua: ciò permette una certa uniformità nell'erogazione e al tempo stesso crea un flusso autopulente. Inoltre, nei modelli autocompensanti, una membrana permette di ottenere un flusso costante indipendentemente dalle variazioni della pressione di esercizio.

I gocciolatori a bottone possono essere montati o direttamente sulla linea e da qui erogare l'acqua alla pianta tramite un tubicino di polietilene, oppure all'estremità dello spaghetto. Per l'utilizzo nelle coltivazioni in contenitore è possibile fermare il gocciolatore con l'apposita astina portagocciolatore. Inoltre, esistono speciali derivazioni che permettono con un unico gocciolatore collegato direttamente sul tubo di polietilene di avere più uscite (fino a 8), in modo da abbattere gli alti costi di questi gocciolatori.

Infine, occorre ricordare anche un ultimo tipo di gocciolatore, quello antidrenaggio (detto CNL, *Compensated Non Leakage*). In questo caso, il gocciolatore è dotato di una speciale membrana che chiude completamente la fuoriuscita di acqua quando la pressione scende sotto un valore predeterminato (da 0,3 a 1 bar, a seconda dei modelli), impedendo lo svuotamento della linea. Ciò è vantaggioso nel caso delle colture fuori suolo caratterizzate da interventi irrigui brevi e numerosi, dove c'è il rischio di un'eccessiva somministrazione di acqua nelle parti finali della linea per lo svuotamento di questa (vedi *fig. 1*).

I gocciolatori a freccetta sono delle astine che presentano sulla parte alta uno speciale labirinto che regola la fuoriuscita di acqua: questi si collegano alla linea tramite tubicini di polietilene e hanno il vantaggio di essere facilmente ispezionabili (a differenza di quelli a bottone) e quindi di facile pulizia. Questi gocciolatori si possono facilmente chiudere inserendo l'asta alla rovescia nel tubicino di adduzione.

Impianti con erogatori

Questi tipi di impianti sono anche detti a sorsi e sono caratterizzati da portate unitarie elevate (6-24 litri/ora, con pressioni di esercizio di 1-1,5 bar). Il principale vantaggio è, oltre a quello di una ridotta incidenza di intasamento per la maggiore portata, di avere una superficie bagnata superiore ai sistemi con gocciolatore classico, grazie sia alla distribuzione dell'acqua in un piccolo ventaglio, sia alla maggiore portata. Tutto ciò favorisce una migliore distribuzione dell'acqua e la riduzione di gradienti di umidità all'interno del vaso, favorendo così una

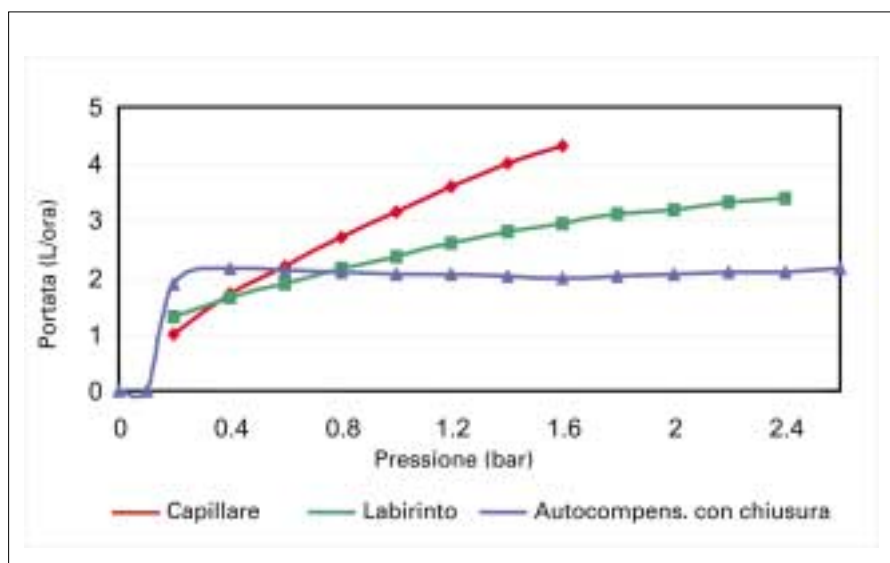


Fig. 1 - Variazione della portata di diversi tipi di gocciolatori con la pressione di esercizio

crescita dell'apparato radicale più uniforme. Sono molto usati per vasi di grande dimensione (per l'allevamento di alberi ornamentali di grossa taglia).

Impianti con capillari

Il sistema di irrigazione localizzata con capillari (o a spaghetti) si è molto diffuso per il basso costo e per la possibilità di avere già delle linee pre-montate direttamente dal costruttore, con un notevole risparmio di manodopera. Il sistema è costituito da un tubo in polietilene di diametro 20 o 25 mm su cui vengono inseriti dei tubi con ridotto diametro (da 0,5 a 1,5 mm di diametro interno) detti capillari, con lunghezza adeguata per raggiungere il punto di erogazione. In questi casi, a parità di pressione, la portata è direttamente proporzionale al diametro del capillare e inversamente proporzionale alla sua lunghezza. Nella *tab. 4* sono riportate le portate tipiche in funzione di questi due parametri. L'impianto è corredato da astine da avvitare all'estremità del capillare, per il giusto posizionamento nel vaso o vicino alle radici

delle piante. Questo tipo di impianto, seppur economico, presenta il principale svantaggio di essere poco uniforme, a causa delle perdite di pressione che si hanno lungo la linea. Occorre quindi non montare linee con un grosso numero di punti gocciola e conviene sempre utilizzare impianti irrigui a doppia testata a circuito chiuso, in modo da fornire acqua in pressione a entrambe le estremità della linea con i capillari: in questo modo il gradiente di pressione lungo la linea risulta di entità ridotta.

Impianti per la fertirrigazione

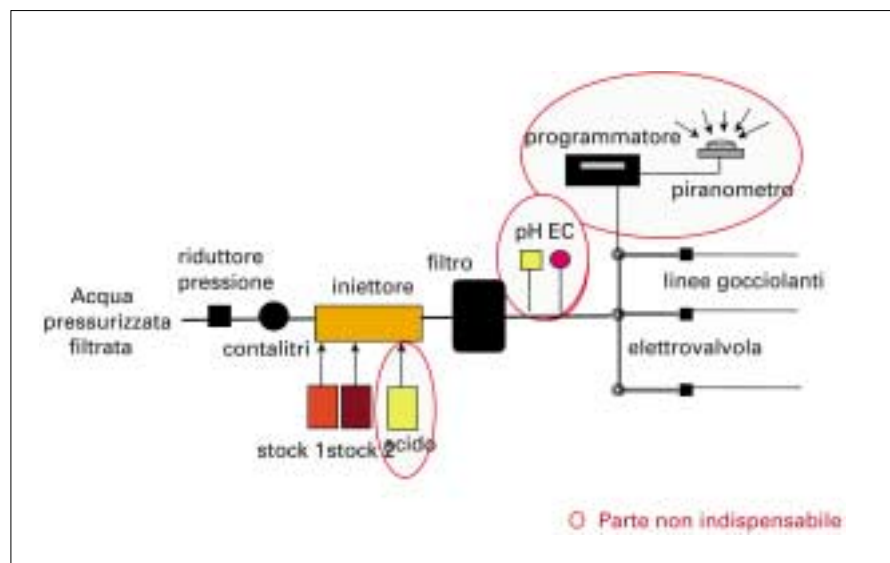
Con il termine fertirrigazione si intende la pratica della somministrazione dei fertilizzanti utilizzando l'acqua di irrigazione. Negli ultimi 20 anni la fertirrigazione si è andata sempre più diffondendo, incentivata dallo sviluppo della microirrigazione.

La fertirrigazione offre numerosi vantaggi, primi tra tutti quelli del frazionamento della concimazione e della possibilità di soddisfare rapida-

Tab. 4 - Portata dei singoli punti gocciola (pressione costante di 1,4 bar) in funzione della lunghezza del tubo capillare e della sua sezione

Portata (L/h per capillare)	Lunghezza capillare (cm)						
	40	50	60	70	80	90	100
0,6	1,5	1,3	1,2	1,1	0,9	0,8	0,7
0,8	2,6	2,2	2	1,9	1,6	1,4	1,2
1	3,8	3,2	3	2,8	2,6	2,5	2,2
1,2	5,2	4,7	4,2	4	3,8	3,6	3,4
1,5	6,9	6,1	5,8	5,7	5,5	5,4	5,3

Fig. 2 - Schema di un impianto di fertirrigazione con indicazione delle componenti non assolutamente indispensabili



mente particolari esigenze della coltura (ad esempio, interventi curativi di carenze). A fronte di una maggiore efficienza d'uso dei fertilizzanti, la fertirrigazione presenta alcuni svantaggi, legati ai costi degli impianti e dei concimi idrosolubili (superiori a quelli dei concimi tradizionali) e alle maggiori difficoltà della sua gestione.

Sul mercato sono attualmente disponibili numerose soluzioni impiantistiche, un po' per tutte le tasche e ciascuna con i propri pregi e difetti. Qui non saranno trattati gli aspetti relativi alla gestione degli impianti e all'automazione degli interventi irrigui, perché trattati da altri autori.

Un impianto di fertirrigazione ha bisogno, a monte, di un sistema di pompaggio e filtraggio adeguato per fornire acqua costantemente pressurizzata e priva di quelle impurezze che possono occludere tubazioni, erogatori ed elettrovalvole.

I componenti tipici di un sistema di fertirrigazione sono illustrati nella *fig. 2*:

1. riduttore e stabilizzatore di pressione;
2. filtro;
3. contenitori per le soluzioni-madre (*stock*) e per la soluzione dell'acido e/o della base;
4. dispositivo di dosaggio delle soluzioni stock, in linea o in vaso di espansione/miscelazione;
5. dispositivo di dosaggio della soluzione di acido;
6. filtro, per aiutare il rimescolamento e bloccare eventuali particelle solide date dai precipitati;
7. dispositivi per il controllo della EC e del pH;
8. programmatore e altri sistemi di automazione dell'intervento irriguo.

Alcuni di queste componenti, come la 5, 7 e 8, non sono assolutamente indispensabili (ad esempio, l'acido potrebbe essere aggiunto a uno degli

altri due stock), ma sono comunque consigliate.

Occorre sottolineare che, nelle regioni italiane, le acque irrigue sono generalmente alcaline e pertanto richiedono un intervento di acidificazione; un dosatore della base, per aumentare il pH, non è generalmente necessario e può eventualmente essere sostituito dall'aggiunta di una piccola concentrazione di bicarbonati nell'acqua irrigua, quando questa ne è priva, come nel caso delle acque piovane o deionizzate.

Caratteristiche tecniche di un impianto per la fertirrigazione

Un impianto di fertirrigazione deve immettere una soluzione concentrata di concimi idrosolubili nella condotta irrigua in modo che, dopo una opportuna miscelazione, alle piante sia somministrata una soluzione nutritiva con le caratteristiche chimiche (pH, conducibilità elettrica o EC, concentrazione di nutrienti) prestabilite.

Numerose sono le soluzioni disponibili sul mercato per il dosaggio di concimi nell'acqua irrigua: si va da semplici dispositivi del costo di qualche centinaio di euro fino a complesse stazioni computerizzate, capaci di variare la composizione della soluzione nutritiva nei diversi settori irrigui e di automatizzare la gestione dell'irrigazione, del costo di alcune decine di migliaia di euro. Occorre chiarire bene quali sono le esigenze che il fertirrigatore deve soddisfare, per poter scegliere la soluzione tecnica migliore (anche dal punto di vista economico) e dimensionare correttamente i dispositivi di diluizione e i contenitori degli stock.



Impianto di irrigazione a pioggia a barra fissa con ugelli dinamici (microirrigatori).
A sinistra barra in funzione su colture ornamentali. A destra, particolare del microirrigatore



Valvola antigocciolamento, montata alla fine dell'ala piovana. La valvola permette il rapido scarico dell'acqua residua nella linea alla fine dell'intervento irriguo, in modo da evitare il prolungato sgocciolamento dell'acqua residua nella linea stessa sulle piante sottostanti l'ala piovana; questo fenomeno favorisce lo sviluppo di attacchi fungini



Microirrigatore posizionato su un'asta porta-ugelli. Questa soluzione, alternativa all'ala piovana, permette una semplificazione dell'impianto per la minore pressione necessaria al suo funzionamento rispetto agli irrigatori a battuta

Nella fase di progettazione è fondamentale conoscere:

- a) la tipologia di colture da fertirrigare, allo scopo di stabilire:
 - se la fertirrigazione deve essere continua o discontinua;

- se il fertirrigatore deve preparare soluzioni nutritive diverse;
- la portata (in L/min o m³/h) massima (pur approssimativa) dell'impianto, determinata in base all'evapotraspirazione della coltura, al tipo di substrato e di contenitore impiegato e all'e-



Irrigatore dinamico in ottone a battuta, posizionato su un'asta porta-irrigatore. È questa una soluzione molto utilizzata nel vivaismo ornamentale



Ala piovana mobile. Questo tipo di impianto è adottato spesso in serra e può essere utilizzato anche per effettuare trattamenti antiparassitari e fertirrigazioni

ventuale suddivisione dell'area di coltivazione in settori irrigui indipendenti (sempre consigliabile);

- il grado di precisione richiesto nella preparazione della soluzione.

b) le caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua a disposizione e in particolare l'EC, il contenuto di bicarbonati (alcalinità), di calcio e di ioni non-essenziali (Na^+ , Cl^-), al fine di stabilire:

- la reale necessità di due contenitori per le soluzioni madri: infatti, nel caso di acque molto ricche in calcio, potrebbe non essere necessario usare i sali di questo nutriente e, pertanto, tutti i sali e/o concimi idrosolubili potrebbero essere disciolti in un unico contenitore;
- la quantità di acido necessaria per correggere il pH (in funzione del contenuto di bicarbonati) e, in base alla portata dell'impianto irriguo, la portata della pompa dosatrice dell'acido.

c) il tipo di impianto irriguo (a goccia, micro-aspersione, aspersione soprachioma, subirrigazione) utilizzato, al fine di stabilire:

- la portata dei vari settori (il più possibile uniforme);
- la necessità o meno di controllare l'irrigazione mediante elettrovalvole;

Ad esempio, nelle aziende che coltivano più specie ed hanno più settori irrigui può essere conveniente l'acquisto di un fertirrigatore computerizzato, in grado di preparare soluzioni nutritive diverse e irrigare in sequenza i vari settori sulla base della stima del fabbisogno idrico delle piante.

La valutazione di tutti questi fattori porterà a



Impianto microirriguo ad ala gocciolante per una coltura su bancale in serra (sopra) o in un vivaio in campo (sotto)





Sezione di ala gocciolante con gocciolatore interno (colore blu). Esistono anche linee con gocciolatori autocompensanti, i quali garantiscono una migliore uniformità di distribuzione, specialmente su terreni non pianeggianti



Gocciolatore a bottone autocompensante, con derivatore a 4 vie. Questo tipo di gocciolatore, grazie a una speciale membrana interna, permette un'uniformità di erogazione indipendente dalla pressione (nel range 0,8 - 2 bar). Il derivatore ha lo scopo di poter collegare contemporaneamente 4 punti goccia, al fine di abbattere i costi di impianto



Gocciolatore a freccetta: la disposizione sul vaso

definire i due elementi fondamentali per una corretta scelta dell'impianto:

- la portata e la pressione di esercizio nella condotta principale dell'impianto e di conseguenza le portate dei dosatori delle soluzioni stock;
- il grado di precisione nella miscelazione richiesta dall'impianto, dipendente anche dalle caratteristiche dell'acqua irrigua.

La precisione della miscelazione è una caratteristica sempre desiderata in un fertirrigatore, ma ha naturalmente un costo. Il grado di precisione necessario dipende da:

- il sistema culturale adottato: ad esempio, la coltura fuori suolo, caratterizzata da un ridotto volume idrico-nutritivo, necessita di sistemi più precisi rispetto alla coltura in terreno, il quale riesce a tamponare eventuali errori nella preparazione della soluzione nutritiva;
- il tipo di sistema irriguo: per evitare problemi di fitotossicità, nel caso di sistemi per aspersione soprachioma sono richieste precisioni maggiori nella miscelazione rispetto a sistemi a goccia o a manichetta, dove non sono bagnate le foglie;
- l'acidificazione: un piccolo sovradosaggio non comporta grossi problemi nel caso dei sali, ma nel caso di un acido può portare a un eccessivo abbassamento del pH e causare gravi danni alla coltivazione, soprattutto con la tecnica dell'aspersione soprachioma.

Dispositivi per il dosaggio dei concimi

I dispositivi per l'immissione di fertilizzanti (concimi idrosolubili e sali semplici, in ogni caso



Gocciolatore a freccetta: la particolare conformazione del gocciolatore, con il labirinto nella parte alta

caratterizzati da elevati valori di purezza e di solubilità) possono essere classificati in base al tipo di energia impegnata per il movimento della pompa iniettrice (energia meccanica ricavata dalla pressione dell'acqua in condotta o energia elettrica) e in base al tipo di controllo del dosaggio (volumetrico o proporzionale a un valore di pH o EC pre-impostato). La *tab. 5* riporta le principali tipologie di dosatori più diffusi riassumendone i principali vantaggi e svantaggi.

Tube di Venturi

È il dispositivo più semplice ed economico: si basa sul principio che un flusso costante di acqua, quando attraversa una strozzatura seguita da un repentino aumento di sezione, induce a valle di questa una depressione che può essere utilizzata per aspirare una soluzione esterna.

Il dispositivo presenta i seguenti vantaggi:

- non comprende parti in movimento e quindi ha bisogno di poca manutenzione;
- non necessita di energia elettrica;
- è facile da montare ed ha un costo contenuto.

Tuttavia, il dispositivo presenta anche alcuni svantaggi, tali da consigliarne l'utilizzo principalmente (se non esclusivamente) su impianti dedicati alla fertirrigazione di pieno campo o in serra su colture a terra, e comunque dove si abbia una portata costante:

- il rapporto di diluizione non è costante; questo è in funzione della portata e della differenza di pressione che si ha nella condotta, per cui si possono avere notevoli variazioni nei valori istantanei di EC e di pH della soluzione preparata;
- la regolazione del rapporto di diluizione è difficoltosa, ed è possibile solo grazie all'uso di



Esempio di erogatore per l'irrigazione a sorsi. Questo tipo di microirrigazione si caratterizza per un'alta portata e per un microgetto che permettono una più uniforme bagnatura del vaso, difetto spesso riscontrato nel sistema a goccia classico (a più bassa portata)



Dosatore tipo tubo di Venturi



Impianto di microirrigazione con capillare (spaghetto): due capillari con astina e con la fustella utilizzata per forare la linea irrigua



Impianto di microirrigazione con capillare (spaghetto): esempio di linea con capillari pre-montati

Tab. 5 - Principali tipi di fertirrigatori, con relativi vantaggi e svantaggi, possibili applicazioni e loro costo di massima

Tipo di dispositivo	Vantaggi	Svantaggi	Applicazioni	Costo indicativo (euro)
Tubo di Venturi	Semplicità	Miscelazione poco precisa, difficile regolazione	Fertirrigazione di pieno campo, uso su carrelli fertilizzanti mobili; impianti fino a portate di 1000 L/min	100-200
Pompa dosatrice meccanica volumetrica	Facile scelta del fattore di diluizione; buona precisione; costo contenuto (solo per portate inferiori a 8 m ³); non richiede energia elettrica	Difficile manutenzione; dosaggio esclusivamente proporzionale; inadatta a impianti con elevate portate; perdite di carico	Fertirrigazione di pieno campo e di serra; fertirrigazione di piccoli impianti di coltivazione fuori suolo; uso su carrelli fertilizzanti mobili; adatto fino a portate di 900 L/min	500-2000
Pompa elettrica a membrana con dosaggio volumetrico	Buona precisione; costo contenuto, facilità di riparazione e sostituzione dei pezzi usurati	Richiede un compressore nel caso di un'elevata pressione in condotta (> 4 atm.), e di un contaltri a impulsi; non adatta a impianti con portate elevate.	Fertirrigazione di serra, adatta a impianti di fertirrigazione per colture in vaso o fuori suolo con portate non superiori a 250 L/min	1000-2500
Pompa elettrica a pistone con dosaggio volumetrico	Ottima precisione; elevata affidabilità; ampia scelta di portate e di rapporti di diluizione; adatto per grossi impianti (portata elevata)	Costo elevato; necessita di quadro elettronico con contaltri a impulsi	Fertirrigazione di serra e pieno campo (solo se presente energia elettrica); adatta comprese fra 80 e 3000 L/min	2500-5000
Pompe elettriche (a pistone o membrana) con dosaggio proporzionale	Buona precisione, indipendentemente dalla qualità dell'acqua irrigua	Imprecisione elevata nel caso di settori irrigui con portata assai differente; costo elevato	Fertirrigazione in serra e su impianti a coltura fuori suolo con riutilizzo delle soluzioni drenate	2500-7000
Fertirrigatore computerizzato	Ottima precisione; possibilità di gestire più colture e/o settori di coltivazione	Costo elevato, necessità di personale capace	Fertirrigazione in aziende con differenti prodotti in coltura	10000 - 25000



Pompa dosatrice meccanica per fertirrigazione con controllo volumetrico (tipo Dosatron)

valvole e flussimetri installati sul tubo di aspirazione e sulla condotta principale, che naturalmente aumentano i costi dell'impianto;

- si verifica una caduta di pressione fra l'acqua in entrata e quella in uscita; inoltre, se la differenza di pressione non è sufficiente, è necessario inserire una piccola pompa ausiliaria sul *by-pass*, in modo da effettuare una immissione forzata della soluzione miscelata nella condotta principale.

Pompe meccaniche a dosaggio volumetrico

Nei sistemi che prevedono questo tipo di dosatori, una vera e propria pompa a stantuffo sfrutta la pressione della condotta idrica per movimentare un secondo pistone in un cilindro più piccolo, con cui si aspira e si inietta nella condotta un determinato volume di stock. La pompa può essere montata in linea o in *by-pass*, con rapporto di dosaggio abbastanza ampio (da 0,2 - 0,3% fino al 2%) e con portate di esercizio variabili da 0,5 a 40 m³/h. Il sistema presenta i seguenti vantaggi:

- non necessita di energia elettrica;
- ha una buona precisione, poiché le variazioni di pressione e di portata sono ininfluenti sulla percentuale di dosaggio;
- è facile variare il rapporto di dosaggio grazie a un'apposita ghiera graduata direttamente colle-



Pompa dosatrice elettrica a membrana. La pompa può essere utilizzata su impianti a controllo volumetrico o proporzionale. Si noti l'interruttore on/off e il regolatore della velocità di aspirazione



Contaltri a impulsi, necessario per la regolazione delle pompe dosatrici su impianti a controllo volumetrico



Quadro di controllo di EC per la regolazione di pompe dosatrici in impianti dotati di controllo proporzionale. Si nota, in alto a sinistra, il gain per la calibrazione della sonda, e in basso a destra il regolatore del *set-point* di EC affiancato sempre a destra dal regolatore della velocità di aspirazione della pompa dosatrice



Impianto con pompe dosatrici a membrana con controllo di EC e pH, i due contenitori per le soluzioni stock, quello (bianco) per la soluzione acida (entrambi provvisti di agitatore ad asta), il filtro a sabbia autopulente (sul fondo) e la centralina di controllo con le tre pompe dosatrici



Elettrovalvola per il sezionamento dei settori irrigui. Questo modello di valvola ha una saracinesca per una preventiva riduzione della portata; ciò può essere utile per ottimizzare il funzionamento del fertirrigatore nel caso di coltivazioni con più settori irrigui di diversa superficie

gata alla camera di iniezione.

I principali svantaggi sono rappresentati da:

- elevata usura di alcuni componenti, specie con acque ricche di limo e non ben filtrate;
- difficoltà nella automazione (ad esempio, esclusione della pompa, modifica del rapporto di dosaggio);
- perdite di carico nell'impianto (fino a 0,6-0,8 bar).

Appartengono a questo gruppo anche le pompe d'iniezione a motore idraulico (tipo turbina), che sfruttano l'energia ricavata dalla differenza di pressione tra la condotta idrica e la pressione atmosferica, per aspirare e iniettare della soluzione stock nella condotta principale. In questo caso non si hanno perdite di carico, ma si ha un consumo di acqua derivante dal funzionamento della pompa stessa, compresa fra 2 e 3 volte il volume delle soluzioni stock iniettate; l'acqua tuttavia può essere raccolta e riutilizzata.

Pompe elettriche a membrana o a pistone a dosaggio volumetrico

Le pompe elettriche presentano il vantaggio di non produrre perdite di carico, di essere modulari e di avere portate molto grandi. Si adattano, quindi, a impianti con portate elevate, dove risultano più economiche e possono essere automatizzate. In questo caso la precisione di dosaggio è affidata a un contaltri meccanico o elettronico, il quale produce degli impulsi proporzionali alla portata istantanea; gli impulsi opportunamente elaborati da una scheda elettronica si traducono in un segnale di intensità 4-20 mA, proporzionale al flusso idrico, che viene utilizzato per modulare la velocità

di pompaggio delle pompe dosatrici.

Esistono due tipi fondamentali di pompe elettriche: quelle *a membrana* e quelle *a pistone*.

Le *pompe a membrana* hanno costi inferiori, però la loro portata è ridotta (di solito non superano mai i 70-100 L/ora) ed, inoltre, è inversamente proporzionale alla contropressione (cioè alla pressione nella condotta idrica dove si deve iniettare); per questo motivo, in certi casi, si ricorre all'utilizzo di aria compressa (7 atm) per aumentarne la portata. La regolazione del dosaggio avviene attraverso dei potenziometri posti sulla pompa stessa, che variano la velocità di battute in base all'intensità di corrente ricevuta.

Le *pompe dosatrici a pistone* sono caratterizzate dalla maggiore robustezza, dalla relativa indipendenza della portata dalla contropressione e dall'ottima precisione: la regolazione della portata avviene tramite la riduzione della camera del pistone stesso (fino al 10%) e attraverso il controllo della velocità di rotazione della pompa.

Indipendentemente dal tipo di pompa utilizzata, questo sistema di fertirrigazione è abbastanza economico, parzialmente automatizzabile attraverso apposite centraline, ma non molto preciso nel controllo del pH e della EC della soluzione finale. Ciò costringe l'operatore a continui controlli della soluzione nutritiva in uscita dagli erogatori e a continui aggiustamenti del rapporto di diluizione delle pompe; per questo motivo non si adatta a impianti in cui si utilizzano fonti di approvvigionamento idrico con caratteristiche chimiche variabili (ad esempio, acque di drenaggio o acque di superficie).

*Pompe elettriche a membrana
o a pistone a dosaggio proporzionale*

Il funzionamento è identico a quello descritto nel precedente paragrafo, ma in questo caso le pompe dosatrici sono comandate da una scheda elettronica con uscita di una corrente elettrica di 4-20 mA, utilizzata per controllare la velocità di battute delle pompe, proporzionale alla differenza tra il valore di pH o di EC impostato e quello misurato dalle sonde in linea, posizionate a valle del punto di iniezione delle soluzioni stock. In questo sistema si riesce a produrre una soluzione nutritiva finale con caratteristiche di EC e di pH pre-stabilite, indipendentemente dal tipo di acqua utilizzato e (entro certi limiti) dalla concentrazione delle soluzioni stock.

Questo rappresenta il sistema più sicuro per la fertirrigazione di colture fuori suolo a ciclo aperto e diviene insostituibile e indispensabile nel caso di colture a ciclo chiuso, dove la soluzione recuperata, con caratteristiche chimiche molto variabili a seconda dell'assorbimento dalle piante, deve essere opportunamente reintegrata (correzione dei valori di pH e di EC). Sono comunque necessari alcuni accorgimenti, come quelli di seguito illustrati.

1. Le sonde devono essere poste in linea abbastanza lontane dal punto di iniezione e soprattutto fra il punto di iniezione e quello di misura occorre inserire un filtro con la funzione di diffusore per facilitare la miscelazione fra l'acqua e le soluzioni stock iniettate; inoltre, poiché le sonde forniscono letture più precise a bassa velocità del liquido, è utile porre le sonde su un *by-pass* collegato alla condotta principale.
2. Occorre utilizzare sonde di EC e di pH, dotate di display LCD (per rendere più facile la periodica calibrazione e il continuo monitoraggio del sistema), resistenti alle pressioni presenti in condotta e soprattutto con risposte lineari e stabili in un ampio range di valori. Le sonde di EC devono essere autocompensanti per la temperatura; è preferibile installare quelle a quattro anelli conduttivi rispetto a quelle a due elettrodi in carbonio.
3. È necessario assicurarsi dell'omogeneità delle portate dei vari settori. Infatti, le pompe dosatrici devono funzionare con una certa regolarità, pari al 60-70% della velocità massima di iniezione. Se si hanno settori irrigui in cui la variazione di portata è contenuta e non superiore al 10-15%, l'impianto riuscirà abbastanza facilmente a uniformarsi alle differenti portate dei settori irrigui, mentre se la variazione è superiore, si avranno soluzioni nutritive o con valori inferiori a quelli pre-impostati (nel caso di portate note-

volmente superiori a quella media), oppure soluzioni con ampie oscillazioni intorno al valore pre-impostato (nel caso di settori con ridotte portate rispetto a quelle medie).

4. Per una maggiore precisione nella preparazione della soluzione nutritiva, è necessario adottare un sistema di miscelazione a vaso aperto, dove l'iniezione degli stock salini e della soluzione acida verrà effettuata in vaso di espansione, di capacità proporzionale alla portata istantanea dell'impianto, dove continuamente una pompa rimescola e rilancia nell'impianto irriguo la soluzione preparata. L'utilizzo di sistemi di iniezione in linea (vaso chiuso) non è consigliabile se il contenuto di bicarbonati nell'acqua irrigua è particolarmente elevato; in questo caso il vaso chiuso non garantisce un'efficace acidificazione. Infatti la CO₂ prodotta nell'operazione di neutralizzazione, non potendo allontanarsi dalla condotta irrigua, blocca la reazione di neutralizzazione dei bicarbonati da parte dell'acido e quindi in linea si ha un valore di pH più basso di quello che si avrebbe se la reazione fosse condotta a pressione atmosferica (in un vaso aperto, appunto). Così, però, la soluzione erogata ha ancora un notevole contenuto di bicarbonato e provoca un aumento del pH nel mezzo di coltura.
5. Per evitare il problema dell'oscillazione dei valori di pH e di EC della soluzione nutritiva, si può utilizzare un sistema a doppio controllo, cioè sia volumetrico che proporzionale: in questo caso,



Fertirrigatore computerizzato. Questi sistemi permettono di gestire diverse soluzioni nutritive nei vari settori irrigui

una scheda integra il segnale proveniente da un contaltri a impulso e i valori letti dalle sonde. Le piccole modifiche nel flusso vengono intercettate dal flussometro che corregge in tempo reale il tasso di dosaggio delle pompe: se il pH e la EC non sono quelli pre-impostati, il sistema interviene nuovamente.

Recentemente sono state messe a punto delle schede elettroniche capaci di memorizzare le portate di ciascun settore e quindi gestire direttamente alla partenza del singolo settore la velocità di pompaggio più adeguata per raggiungere il più velocemente possibile un valore stabile di pH o EC prestabilito.

Altro accorgimento interessante, applicabile solo su certe pompe a pistone, è quello di variare, oltre alla velocità, anche il volume d'iniezione mediante una modifica elettronica del volume della camera di aspirazione del pistone. In questo modo si può mantenere più o meno costante la velocità di battute, prerogativa per un'elevata uniformità di miscelazione, cambiando invece il volume di stock erogato per la singola iniezione.

Fertirrigatori computerizzati

Sono fertirrigatori studiati per poter preparare soluzioni nutritive con caratteristiche chimiche differenti per ogni settore irriguo. Il loro costo può superare anche i 20-25 mila euro, ma appaiono insostituibili nel caso di grandi aziende dove si praticano colture diverse. I vantaggi relativi ai fertirrigatori di questo tipo sono:

1. possibilità di gestire contemporaneamente l'irrigazione e la fertilizzazione di colture differenti;
2. maggiore uniformità e precisione nella preparazione della soluzione nutritiva;
3. possibilità di variare il pH e la EC durante la giornata;
4. possibilità di utilizzare diversi tipi di acqua (piovana, di falda, di drenaggio ecc.), anche miscelate in base a un preciso programma (EC prestabilita);
5. gestione della frequenza e della durata dell'intervento irriguo su base temporale o sulla stima, realizzata in vario modo (solarimetro, vasca evaporimetrica, tensiometro ecc.), dell'evapotraspirazione della coltura.
6. possibilità di registrare i dati relativi ai consumi idrici, alla traspirazione della coltura e a volumi delle soluzioni di drenaggio; queste informazioni sono fondamentali per modificare i regimi di fertirrigazione nell'ottica di una maggiore efficienza d'uso dell'acqua e dei fertilizzanti.

Schematicamente in un fertirrigatore computerizzato si possono riconoscere i seguenti componenti:

1. *Dispositivi di dosaggio.* Nella maggioranza dei fertirrigatori, si utilizzano dei comuni tubi di Venturi, dotati di flussimetri elettronici e con elettrovalvole di precisione per il controllo del flusso di soluzione stock da iniettare. Questo sistema è preferito alle normali pompe dosatrici, per la semplicità nella variazione della percentuale di stock da aggiungere e per la ridottissima manutenzione che presentano. Per poter gestire settori con ricette nutritive differenti, di solito queste macchine lavorano con stock monosalini; ciò permette, nei grandi complessi serra o vivaistici, l'acquisto da ditte esterne di soluzioni stock monosaline già pronte all'uso, le quali sono consegnate direttamente in azienda mediante autobotti, in modo da semplificare la preparazione delle soluzioni nutritive e aumentare la sicurezza per gli operatori.
2. *Gruppo di miscelazione.* Normalmente quasi tutti i costruttori adottano la miscelazione del tipo "a vaso aperto" (anche se più costosa), sia per la semplicità costruttiva, sia per le maggiori garanzie di uniformità e corretta neutralizzazione dei bicarbonati che questa soluzione fornisce rispetto all'iniezione in linea. In pratica, si ha un contenitore delle dimensioni di 100-300 litri dove continuamente entra acqua (tramite una valvola comandata da un galleggiante) e soluzioni stock; una pompa di adeguata potenza rimescola la soluzione e la rilancia nell'impianto irriguo;
3. *Sensori di controllo.* Solitamente, il sistema presenta doppi sensori di pH ed EC, in modo da ridurre la percentuale di errore dovuta a un erroneo funzionamento di questi, e anche dei contaltri elettronici in uscita. Inoltre, quasi tutti i modelli sono predisposti anche per il collegamento con altri sensori quali:
 - solarimetro per il controllo della frequenza irrigua;
 - sonda di EC e di pH della soluzione drenata ed eventualmente del substrato (nelle colture fuori suolo);
 - tensiometri per il controllo dell'umidità radicale richiesta.
4. *Software di gestione.* È questo un componente molto importante. Oltre al semplice controllo delle caratteristiche chimiche della soluzione preparata per ogni settore irriguo, il software deve verificare il corretto funzionamento dell'intero sistema e fornire un ausilio agli operatori.

Contenitori per le soluzioni madre

I contenitori per le soluzioni stock devono presentare i seguenti requisiti:

- avere capienza adeguata alle esigenze dell'impianto, tale da assicurare l'autonomia dell'impianto per almeno 2-3 settimane;
- essere resistenti agli acidi e alle soluzioni saline corrosive: per questo motivo si utilizzano contenitori in plastica, i quali assicurano un'ottima resistenza agli acidi e non rilasciano sostanze fitotossiche;
- essere dotati di un sistema di rimescolamento (seppur discontinuo) sia per favorire la preparazione delle soluzioni, sia per evitare la stratificazione dell'acido e/o eventuali precipitazioni dei sali;
- avere dei rubinetti per il loro completo svuotamento e la pulizia in occasione di ogni nuova preparazione degli stock;
- avere tappi a chiusura ermetica (specialmente quelli che contengono soluzioni acide) per la sicurezza degli operatori e per evitare lo sviluppo di vapori pericolosi per gli operatori e le attrezzature (essendo corrosivi).

Di solito si utilizzano contenitori di polipropilene della dimensione di 100, 500, 1000 o 5000 litri. Nelle aziende dove si preparano volumi di soluzione superiore a 1000 litri, è buona norma predisporre una piccola vasca di miscelazione in cui sciogliere ogni singolo sale o concime, prima di travasarlo nel contenitore stock corrispondente. Infine, il volume del contenitore per la soluzione acida dovrebbe essere non inferiore ad 1,5 m³, poiché il rifornimento dell'acido, per ragioni di sicurezza degli operatori, dovrà avvenire tramite autobotti che consegnano in genere volumi non inferiori ad 1 m³.

Problemi di funzionamento dei fertirrigatori: cause e rimedi

Di seguito si riporta una breve guida utile per la diagnosi e il rimedio dei principali problemi di funzionamento degli impianti di fertirrigazione e delle conseguenti anomalie del valore di EC e di pH. Le istruzioni sono elencate in scala gerarchica, inserendo per prime quelle più semplici e veloci da eseguire (spesso, le più efficaci).

Cause di una eccessiva riduzione di EC e/o aumento del pH

- Pompe dosatrici spente: nel caso controllare l'interruttore on/off posto sulla pompa dosatrice stessa e il corretto funzionamento della

sonda per lo spegnimento della pompa, sotto il livello minimo di soluzione stock.

- Errata impostazione dei valori di EC e/o di pH nella centralina di controllo e/o errata impostazione del rapporto di diluizione: controllare e correggere il *set-point* e/o il rapporto di diluizione.
- Iniezione della pompa insufficiente: può essere dovuta a una insufficiente aspirazione a causa di sporcizia nella valvola di non-ritorno e sul filtro posizionato sul tubo di aspirazione della pompa dosatrice, a una eccessiva contropressione nella condotta idrica o a un cattivo funzionamento della pompa stessa.
- Soluzioni stock non sufficientemente concentrate, per errori nel dosaggio dei vari sali in fase di preparazione e/o per ragioni chimiche (formazione di precipitati). Talvolta gli stock non sono abbastanza concentrati rispetto alla portata massima della pompa dosatrice e alla portata della condotta idrica. In questo caso occorre aumentare la concentrazione degli stock fino a 250x (cioè, 250 volte più della soluzione finale); una concentrazione superiore può essere possibile ma occorre verificare il prodotto di solubilità dei vari sali per evitare precipitazioni.
- Sonde di EC e di pH sporche e/o fuori taratura: in questo caso gli interventi sono ovvi.
- Malfunzionamento del contalitri a impulsi (nel caso di dosatori volumetrici): controllare il funzionamento.
- Diminuzione della EC e/o aumento dell'alcalinità dell'acqua irrigua (nel caso di impianti a controllo volumetrico).
- Elevata alcalinità dell'acqua irrigua associata a un'acidificazione in linea: in questo caso, il metodo più efficace è l'installazione di un sistema di iniezione a vaso aperto.

Cause di un eccessivo aumento di EC e/o riduzione del pH

- Errata impostazione dei valori di EC e/o di pH nella centralina di controllo e/o errata impostazione del rapporto di diluizione: controllare e correggere il *set-point* e/o il rapporto di diluizione.
- Controllo proporzionale delle pompe dosatrici disattivato: su ogni pompa dosatrice esiste un interruttore per l'esclusione del controllo proporzionale; se questo controllo è escluso, la pompa funzionerà al suo massimo regime, iniettando una quantità di soluzione stock superiore a quella necessaria.
- Eccessiva aggiunta di acido in uno degli stock salini.
- Sonde di EC e di pH sporche e/o fuori taratura.

ra: in questo caso gli interventi sono ovvi.

- Malfunzionamento del contaltri a impulsi (nel caso di dosatori volumetrici): controllare il funzionamento.
- Aumento della EC e/o diminuzione dell'alcalinità dell'acqua irrigua (nel caso di un impianto a controllo volumetrico).
- Soluzioni stock troppo concentrate: in questo caso, negli impianti a dosaggio volumetrico si otterrà una soluzione nutritiva con EC troppo alta. Negli impianti con controllo proporzionale di EC, il problema sarà in parte attenuato, ma si potrebbe ottenere una soluzione nutritiva con valori assai variabili. Infatti, quando avviene l'iniezione della soluzione stock eccessivamente concentrata rispetto alla portata idrica, si avrà un eccessivo innalzamento della EC (o abbassamento del pH) rispetto a quello programmato: il sistema di controllo arresterà il funzionamento delle pompe e le riattiverà solo dopo che la EC (o il pH) è ritornata sotto il valore reimpostato: questo continuo blocco e sblocco delle pompe dosatrici porterà alla formazione di una soluzione nutritiva con valori variabili di pH e/o della EC, rispetto a quelli di *set-point*. Per un corretto funzionamento del fertirrigatore, le soluzioni stock dovrebbero avere un grado di concentrazione tale da raggiungere i valori pre-settati con il funzionamento delle pompe dosatrici al 60-70% della loro capacità massima.

Se dopo aver testato tutte le ipotesi di malfunzionamento qui elencate, il problema persiste è necessario chiamare l'assistenza tecnica, soprattutto per far controllare la funzionalità delle componenti elettriche ed elettroniche del fertirrigatore.

Aggiungiamo che è sempre buona norma farsi dare dal fornitore (e leggere con attenzione!) il manuale di istruzioni della macchina stessa, che

dovrebbe includere una guida dettagliata per la risoluzione dei principali problemi di funzionamento. Nell'impianto è necessario predisporre, subito a valle del fertirrigatore e comunque dopo il filtro di rimescolamento, un rubinetto per poter prelevare un campione di soluzione nutritiva preparata dall'impianto; ciò evita di andare nelle serre e nel vivaio a fare i necessari campionamenti. Occorre, inoltre, inserire uno o più gocciolatori-spia in contenitori (opportunamente schermati per impedire lo sviluppo delle alghe) per raccogliere campioni delle soluzioni erogate alle colture, in modo da controllarne il pH, la EC ed eventualmente la concentrazione di qualche elemento nutritivo (ad esempio, azoto). Periodicamente, infine, occorre controllare l'effettiva portata degli erogatori, soprattutto nel caso dell'irrigazione a goccia e, ancor più frequentemente, occorre pulire e calibrare le sonde di pH e di EC (almeno una volta ogni 1-2 mesi, meglio più frequentemente), nonché pulire i filtri posizionati sui tubi di aspirazione degli stock.

Conclusioni

I costi degli impianti di fertirrigazione sono molto variabili e sono direttamente proporzionali alla complessità delle operazioni svolte, passando dalla semplice miscelazione di soluzioni stock al completo controllo della fertirrigazione. È compito del coltivatore decidere, in base al budget disponibile e al tipo di coltivazione, l'impianto più adeguato: questo dovrà abbinare l'economicità alle reali esigenze di precisione e di controllo nella preparazione della soluzione nutritiva. Affidarsi a ditte con una lunga esperienza e una sicura professionalità rimane fondamentale.

Bibliografia

1. ENZO M., GIAQUINTO G., LAZZERIN R., PIMPINI F., SAMBO P. (2001). *Principi tecnico-agronomici della fertirrigazione e del fuori suolo*. Veneto Agricoltura, Padova.
2. SCARTABELLI. *Catalogo n. 3: Fertirrigazione*. http://www.scarabelli.it/agricola/fertirrigazione/fertirrigazione_home.html;
3. GUASTAPAGLIA. *L'irrigazione. Catalogo*. <http://www.guastapaglia.com/fertirrigazione.htm>
4. FAO (1990). *Soiless culture for horticultural crop production*. Plant production and protection paper 101.
5. *Catalogo generale Spagnol Automazioni*: <http://www.spagnolaut.com/index.html>
6. *Catalogo generale Priva*: <http://www.priva.nl>
7. RICCÒ E. (1998). *La fertirrigazione: panoramica dei di sistemi in uso*. Il Floricoltore 35, 42-47.
8. REED, D.WM. (1996). *Water, media, and nutrition for greenhouse crops*. Ball Publishing, Batavia, Illinois.
9. RESH H.M. (1998). *Hydroponic food production: a definitive guidebook of soiless food-growing methods*. Ed. Woodbridge Press Publishing Company, California.

12. Nozioni elementari e applicazioni pratiche di tecnica irrigua

Marcello Bertolacci

Introduzione

Cognizioni tecniche e impianti d'irrigazione opportunamente progettati e realizzati sono le basi fondamentali per attuare un'irrigazione efficiente ed efficace, in grado di aumentare la redditività delle colture. I tre passaggi basilari sono la valutazione dei fabbisogni irrigui delle colture, la conoscenza delle caratteristiche idrologiche specifiche del terreno e ultimo, ma non per importanza, l'impianto di irrigazione, che costituisce lo strumento operativo del processo.

In questo capitolo vengono ricordati gli obiettivi e i principi dell'irrigazione, partendo dall'esigenza delle colture e dal ruolo rilevante del terreno, per giungere alla definizione dei parametri fondamentali della tecnica irrigua. Viene poi presa in considerazione la fase di distribuzione dell'acqua alle colture sia con impianti d'irrigazione a pioggia, che a goccia, ponendo specifico riguardo all'efficienza degli adacquamenti e mostrando in particolare come la non uniforme distribuzione irrigua determini sprechi di acqua, fertilizzanti ed energia.

L'irrigazione: definizione e scopi

L'irrigazione consiste in un apporto artificiale d'acqua al "sistema suolo-piante-atmosfera", per migliorarne l'attitudine alla produzione vegetale e aumentarne la redditività. La definizione è del tutto generale, ma compendia in estrema sintesi, alcuni principi di particolare interesse anche per il florovivaismo, ricordando che:

- il soggetto dell'irrigazione non sono le singole piante, ma la coltura nel suo complesso, ovvero tutto quel microambiente, costituito dal siste-

ma "suolo-piante-atmosfera", che si crea anche in relazione alle tecniche di coltivazione adottate (coltura di pieno campo, protetta, pacciamata, su banchi, in vaso ecc.);

- è pertanto il sistema suolo-piante-atmosfera nel suo complesso che deve essere preso in considerazione per determinare le esigenze irrigue delle colture;
- l'irrigazione ha il compito di condizionare il microambiente per migliorarne l'attitudine alla produzione;
- l'obiettivo ultimo è aumentare la redditività e ciò si consegue sia attraverso il miglioramento della produzione, che nelle colture di pregio è principalmente connesso alla qualità, sia attraverso un minore impiego di acqua e di energia.

La definizione generale dell'irrigazione comprende anche le pratiche attuate principalmente con funzione climatizzante, come la nebulizzazione (*mist*), termoregolatrice (antibrina o per abbassare la temperatura nelle serre) o ausiliaria (per favorire lavorazioni, germinazioni, diserbo ecc.); tuttavia, la funzione di gran lunga prevalente è quella di provvedere all'alimentazione idrica delle piante e a questa faremo riferimento, privilegiando le colture a terra.

I consumi idrici e i fabbisogni irrigui delle colture

I consumi idrici di un sistema colturale sono essenzialmente costituiti dall'acqua traspirata dalle piante coltivate e da altre eventuali specie erbacee presenti per tecnica di inerbimento o come infestanti, a cui si deve aggiungere l'acqua che evapora direttamente dal terreno e dalla superficie delle piante, bagnate da piogge o irrigazione. Per que-

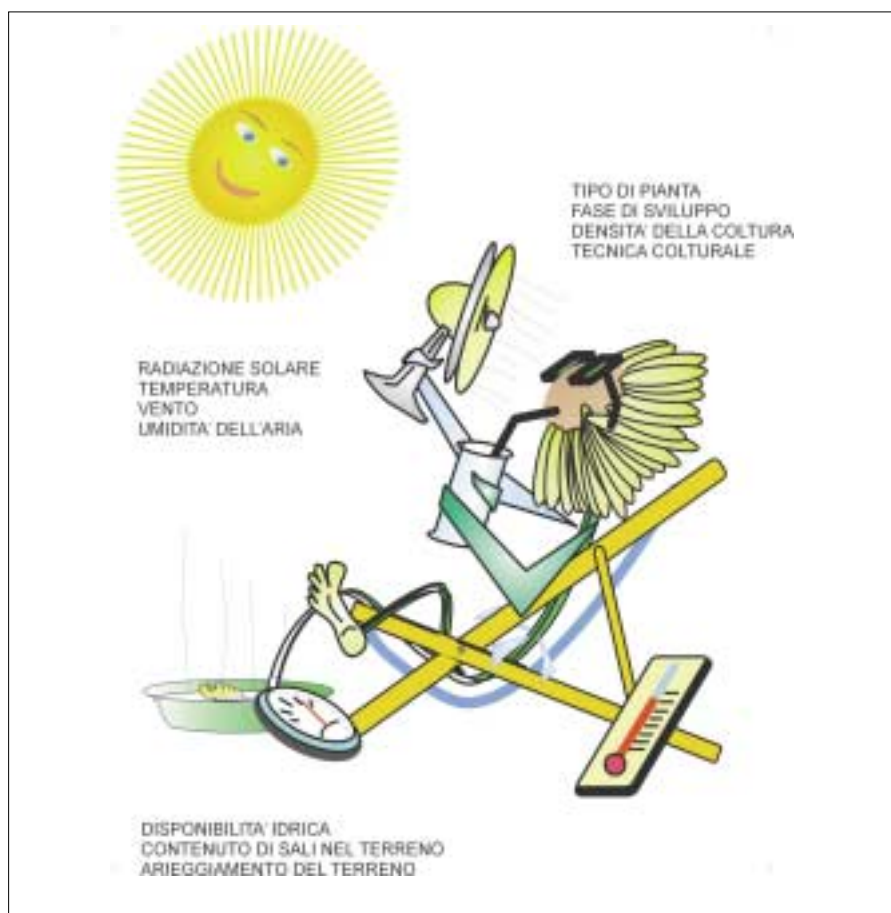


Fig. 1 - Parametri che influenzano il fabbisogno idrico delle colture (modificato da P.G. Megale)

sto, con uguale significato di consumo idrico, è spesso usato anche direttamente il termine di *evapotraspirazione effettiva (ETE)* della coltura.

Come graficamente rappresentato nella *fig. 1*, l'evapotraspirazione effettiva dipende da:

- fattori biologici (tipo di pianta e sua fase di sviluppo);
- fattori agronomici (densità della coltura e tecnica colturale);
- fattori climatici (radiazione solare, temperatura, ventosità e umidità dell'aria);
- fattori legati al suolo (contenuto di acqua, di sali e arieggiamento del terreno).

L'evapotraspirazione effettiva va riferita a un'unità di tempo, si può considerare pertanto la *ETE* mensile, la *ETE* settimanale, ma più frequentemente nella tecnica irrigua si fa riferimento alla *ETE* media giornaliera (o oraria, ad esempio nelle colture di serra).

Per avere un parametro di misura della richiesta di evapotraspirazione dell'ambiente svincolata dalle esigenze delle singole colture è stato introdotto il concetto di *evapotraspirazione potenziale*

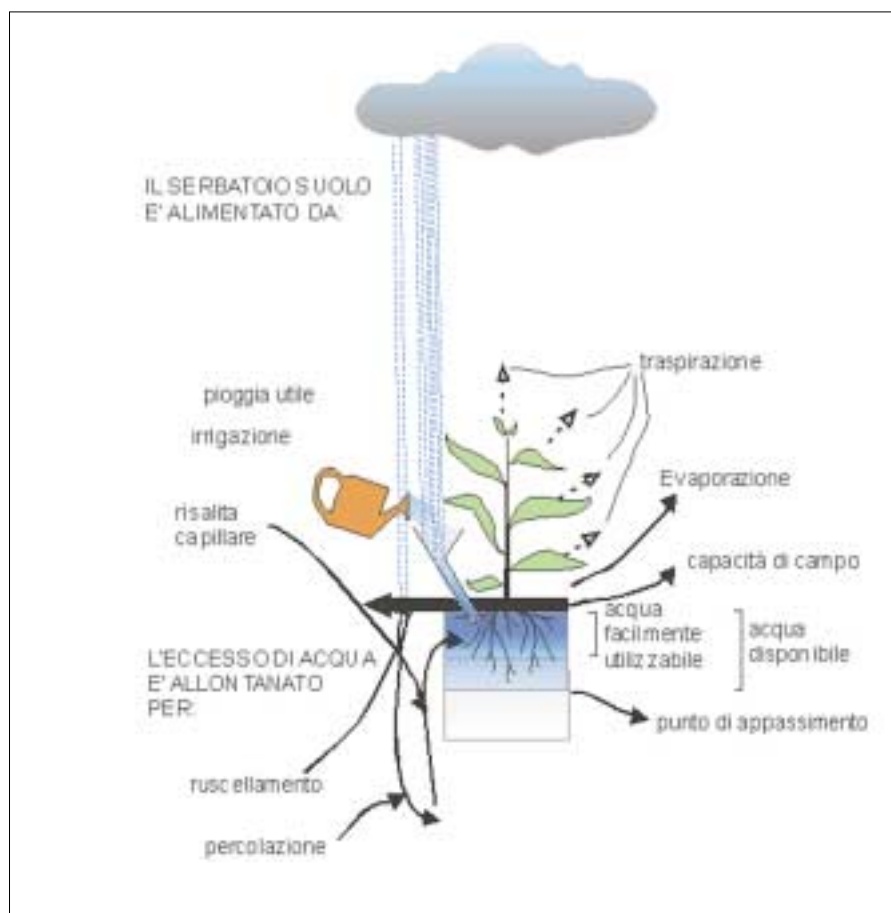
(*ETP*), detta anche di riferimento (*ETR*), che si riferisce a una coltura standard costituita da un prato di estesa superficie, in fase attiva di accrescimento, privo di manifestazioni patologiche, ben rifornito di acqua e di elementi della fertilità.

La *ETP* può essere speditamente stimata tenendo conto della sua correlazione con l'acqua evaporata da una vasca di dimensioni standardizzate (evaporimetro) o più accuratamente attraverso formule che tengano conto di misurazioni strumentali dei fattori climatici sopra ricordati.

Il parametro *ETP*, alla stessa stregua di un altro parametro climatico (come, ad esempio, la temperatura, l'umidità dell'aria ecc.), varia di ora in ora e da un giorno all'altro e ovviamente da a zona a zona del territorio. Nella gestione dell'irrigazione serve principalmente conoscere la *ETP* media giornaliera relativa alla zona dove si opera.

Moltiplicando la *ETP* relativa all'area dove si opera per coefficienti colturali (*Kc*) specifici del tipo di coltura e delle diverse fasi del ciclo di quest'ultima, si può stimare l'evapotraspirazione effettiva (*ETE*)¹.

Fig. 2 - Rappresentazione schematica del bilancio idrologico delle colture:
 • il serbatoio suolo è alimentato dalle piogge utili e dalla risalita capillare;
 • l'acqua che riceve in eccesso si perde per ruscellamento o percolazione profonda;
 • le radici delle piante traggono dal suolo con poca fatica l'acqua facilmente utilizzabile, tuttavia, impiegando maggiore energia, riescono a estrarre l'acqua finché il contenuto di umidità nel terreno non raggiunge il punto di appassimento;
 • la coltura consuma l'acqua per il processo di traspirazione delle piante e per evaporazione diretta



I fabbisogni irrigui risultano sostanzialmente dal deficit fra consumi idrici delle colture e gli apporti naturali, costituiti dalle piogge utili, dalla risalita capillare da falde superficiali e dalle riserve idriche del terreno (*fig. 2*).

In Toscana l'ARSIA, tramite apposite stazioni meteorologiche dislocate nelle diverse zone del territorio, rileva i parametri che consentono di stimare l'evapotraspirazione e i fabbisogni irrigui, offrendo un apposito servizio di supporto all'irrigazione per le aziende agricole (*fig. 3*). Queste ultime possono interagire con l'Agenzia per via telematica e ricevere, anche tramite "messaggi SMS" sul telefonino, informazioni su quando irrigare e quanta acqua somministrare².

I consumi idrici, i fabbisogni irrigui, le dosi irrigue sono commisurate in volumi di acqua per unità di superficie, pertanto possono essere espressi in m^3/ha , L/m^2 o, come si usa per le piogge, in "mm" di altezza. La misura in "mm" rappresenta l'altezza che assumerebbe lo strato di acqua se il volume considerato fosse distribuito su una superficie piana perfettamente impermeabile. In irriga-

zione è spesso molto comodo esprimere tutti parametri in "mm" per computare rapidamente consumi e dosi irrigue e passare successivamente ai volumi, tenendo conto delle superfici da irrigare. È utile pertanto ricordare che:

$$1 \text{ mm} = 1 \text{ L}/m^2 = 10 \text{ m}^3/ha$$

Il suolo

Il suolo riceve e immagazzina l'acqua per renderla disponibile all'assorbimento degli apparati radicali (*fig. 2*) ed è pertanto indispensabile tenere presente come l'acqua si rapporta con il suolo.

Il suolo è schematicamente costituito da una matrice solida con interstizi porosi. La parte porosa è formata da interstizi di grosse dimensioni, chiamati "macropori" e interstizi di piccole dimensioni, chiamati "micropori" (*fig. 4*). L'acqua percola per gravità attraverso i macropori, che, in assenza di ristagni, contengono l'aria necessaria a fornire ossigeno alle radici e alla flora microbica. L'acqua temporaneamente presente nei macropori

Agroambiente **info**

SERVIZI INTEGRATI PER L'AGRICOLTURA
L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

Defesa delle colture | Nestoring agroambientale | Controlli e certificazioni | **Meteo Servizi** | **Forum** | **Info**

Irrigazione



Attività di consulenza a disposizione delle aziende agricole e di tutti i tecnici impegnati nella **gestione agronomica della risorsa idrica**. Fornisce un supporto alla tecnica irrigua basandosi sulla redazione di un **bilancio idrico** volto ad individuare con una approssimazione accettabile il "quando" e "quanto" irrigare nell'ottica di una reintegrazione ottimale dei fabbisogni idrici del sistema terreno-pianta, al netto degli apporti naturali. Sono inoltre messi a disposizione ulteriori **prodotti di consultazione** che offrono indicazioni per una efficace reintegrazione dei fabbisogni idrici.

In questo ambito vengono offerti all'utente, attraverso la voce "Accesso ai servizi" alcuni prodotti ad **accesso libero diretto** (la consultazione e i bilanci idrici per utenti non registrati) ed altri (bilanci personalizzati per utenti registrati) per i quali occorre il **codice di accesso**.

Gli **operatori interessati** ad usufruire del servizio, potranno ricevere informazioni inviando una e-mail al seguente indirizzo: info@arsia.toscana.it, oppure telefonando al seguente numero: **050 8006207**

<http://www.agroambiente.info/meteoservizi/home.htm>

ARSIA - SERVIZIO AGROMETEOROLOGICO REGIONALE - Via Roma n. 3
Tel. 050/800611 - Fax 050/933228 - e-mail MeteoARSIA

Fig. 3 - Il servizio di supporto all'irrigazione dell'ARSIA. Pagina iniziale del sito "Agroambiente.Info - Irrigazione"

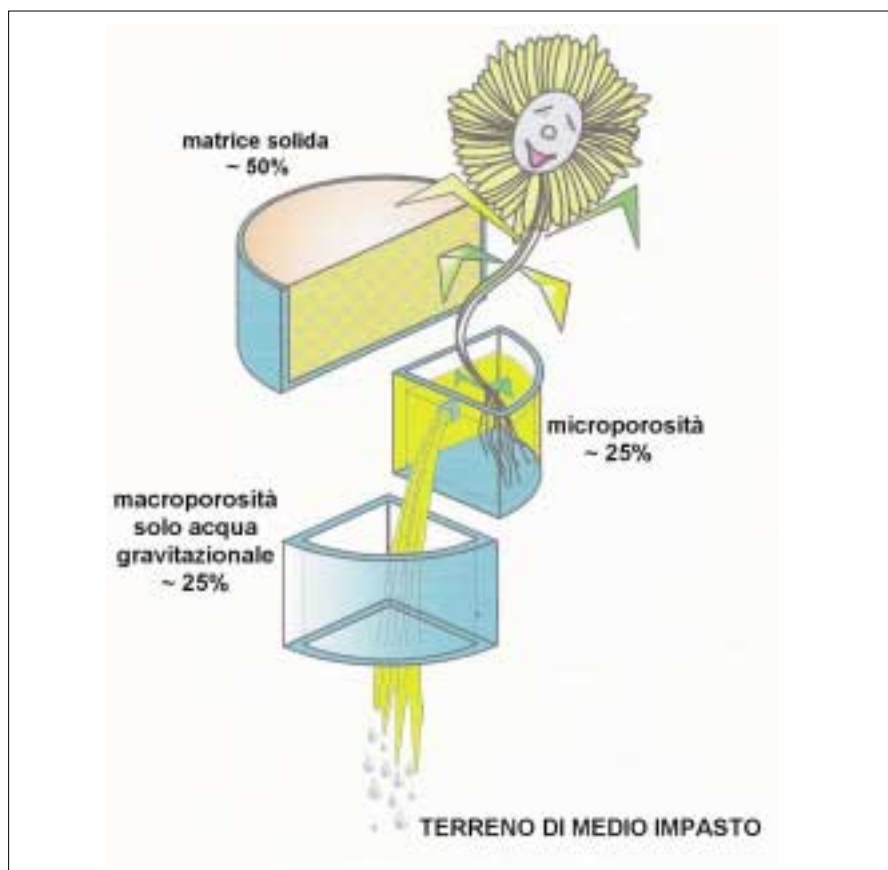
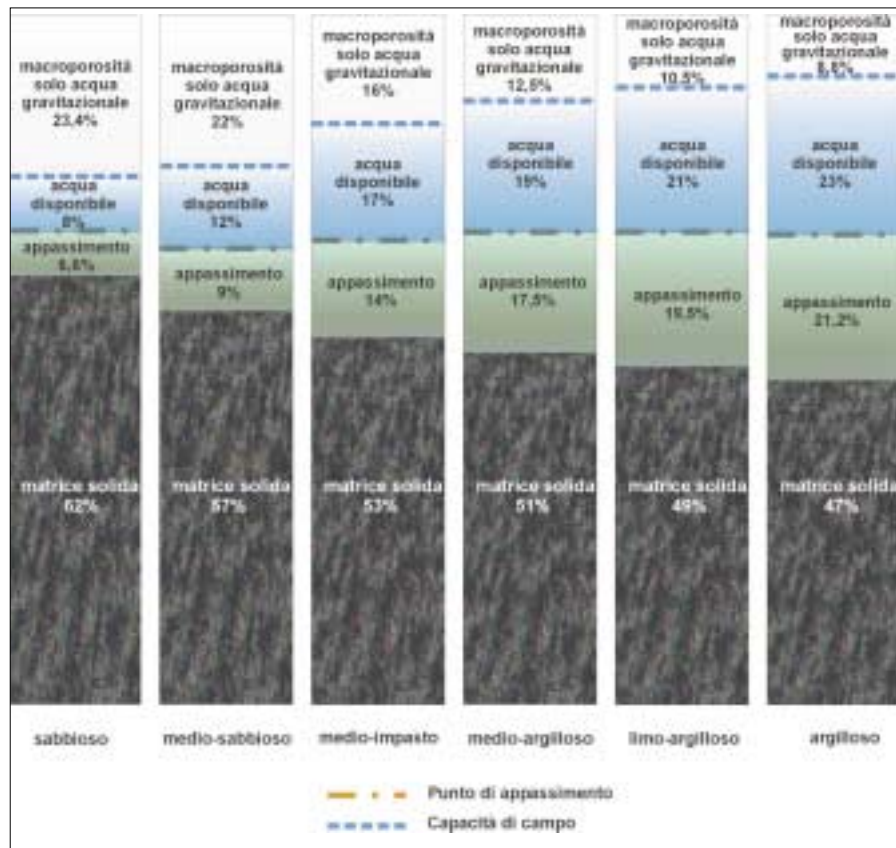


Fig. 4 - Rappresentazione schematica, per un terreno di medio impasto, dei rapporti fra matrice solida, micropori, che trattengono l'acqua per capillarità e macropori in cui l'acqua transita sotto l'azione della gravità (modificato da P.G. Megale)

Fig. 5 - Matrice solida, micropori, macropori, quantità di acqua trattenuta in diverse tipologie di terreno



è chiamata pertanto acqua gravitazionale e non ha praticamente nessuna utilità per le piante. I micropori invece, per il fenomeno fisico della capillarità, trattengono l'acqua, rendendola disponibile per gli apparati radicali, i quali devono tuttavia esercitare una energia di suzione per assorbirla. Man mano che l'acqua nei micropori diminuisce, il terreno la trattiene con maggior forza e le piante devono pertanto spendere sempre maggiore energia per estrarla. Oltre un certo limite, le piante non riescono più a vincere la forza con cui il terreno trattiene l'acqua e cominciano ad appassire.

Le proporzioni fra matrice solida, macropori e micropori variano a seconda del tipo di terreno e conseguentemente, le relazioni tra suolo e acqua assumono diversi rapporti quantitativi (fig. 5).

Il rapporto suolo-acqua nei vari tipi di terreno è caratterizzato dalle seguenti costanti idrologiche, di particolare interesse per l'irrigazione:

- *capacità di campo o capacità idrica capillare (CC)* è la quantità di acqua trattenuta, in un terreno in buone condizioni di drenaggio, dopo che l'acqua è percolata liberamente per effetto della gravità e resta solo l'acqua d'imbibizione capillare a occupare i micropori;
- *punto di appassimento permanente (PA)* è il

contenuto limite di acqua nel suolo oltre il quale la maggior parte delle piante non è più in grado di assorbire l'acqua in quantità sufficiente e inizia pertanto a subire il danneggiamento permanente dei tessuti vegetali;

- *acqua disponibile (AD)* è la quantità di acqua compresa fra la capacità di campo e il punto di appassimento e rappresenta la capacità del terreno di immagazzinare acqua utilizzabile dalle piante.

Le costanti idrologiche sono generalmente espresse in termini percentuali, che possono essere riferiti al volume o al peso. La percentuale in volume esprime quanti cm³ di acqua sono contenuti in 100 cm³ di terreno e consente pertanto di valutare direttamente l'acqua presente nel volume di terreno interessato dalle radici. La percentuale in peso esprime quanti grammi di acqua sono contenuti in 100 grammi di terreno secco. Per passare alla valutazione in termini di volume occorre moltiplicare la percentuale in peso per il peso specifico apparente del terreno, il quale può assumere mediamente valori compresi fra 1,25 kg/dm³ di un terreno argilloso e 1,65 kg/dm³ di un terreno sabbioso.

La fig. 6 mostra i valori che possono assumere mediamente il punto di appassimento e la capacità

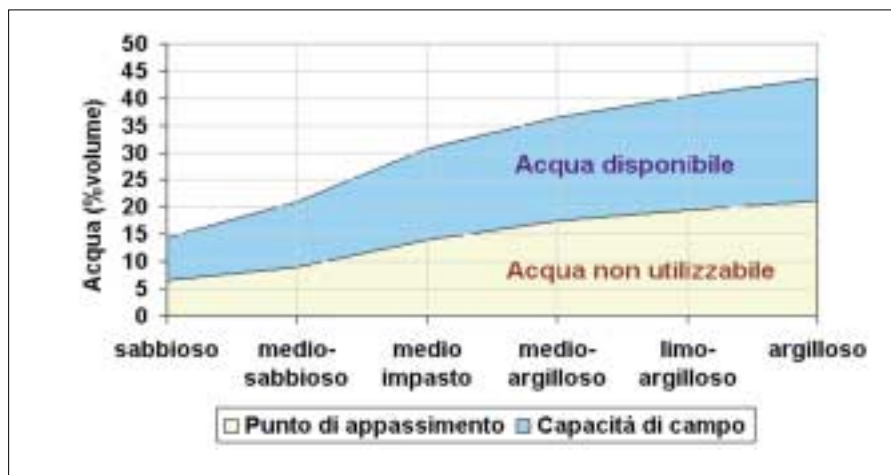


Fig. 6 - Diagramma indicativo dei valori medi delle costanti idrologiche, espresse come percentuali in volume delle diverse tipologie di terreno

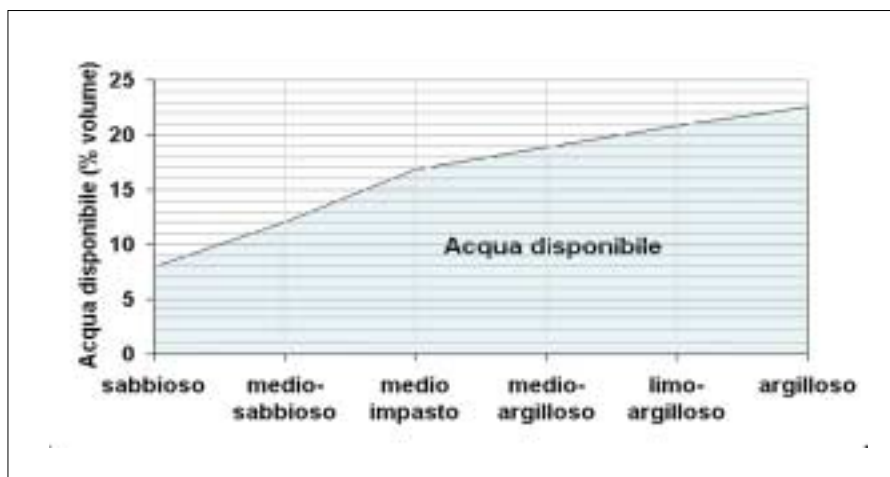


Fig. 7 - Diagramma indicativo delle percentuali in volume di acqua disponibile nelle stesse tipologie di terreno

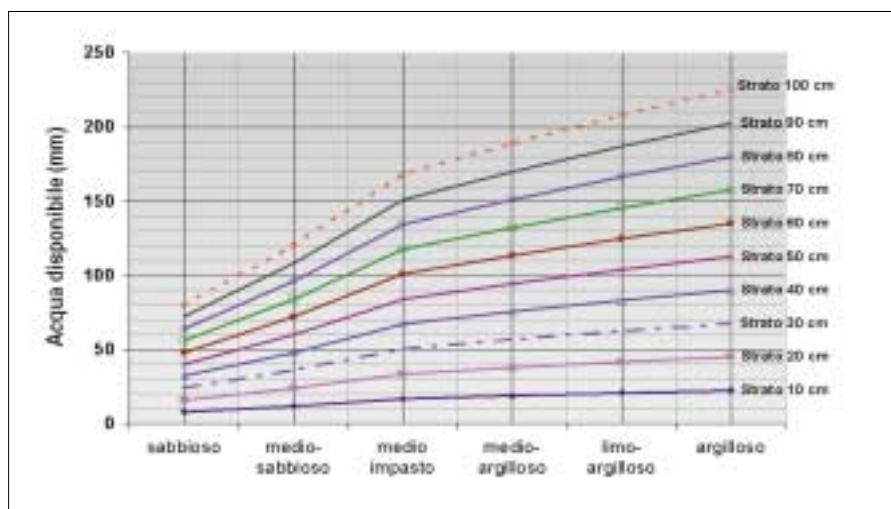


Fig. 8 - Valori medi indicativi della dose di acqua disponibile in "mm", che può essere contenuta in strati di terreno di diverse profondità, per varie tipologie di terreno

di campo, passando da un terreno sabbioso a uno argilloso, mentre la *fig. 7* consente di leggere più agevolmente le percentuali in volume di acqua disponibile nelle stesse tipologie di terreno. Per applicazioni pratiche, si può fare riferimento alla *fig. 8*, in cui sono riportati, per le varie tipologie di

terreno, i valori medi indicativi della dose di acqua in "mm", che può essere contenuta in strati di terreno di diversa profondità. Un'altra caratteristica del terreno d'interesse pratico per l'irrigazione è la *permeabilità*, vale a dire la proprietà del suolo a lasciarsi attraversare dall'acqua.

Fig. 9 - Valori medi indicativi, in diverse tipologie di terreno, della permeabilità ovvero della velocità di infiltrazione nel suolo saturo. Il parametro individua la quantità di acqua in "mm" (= L/m²) in grado infiltrare ogni ora nel suolo saturo, senza formare ristagni

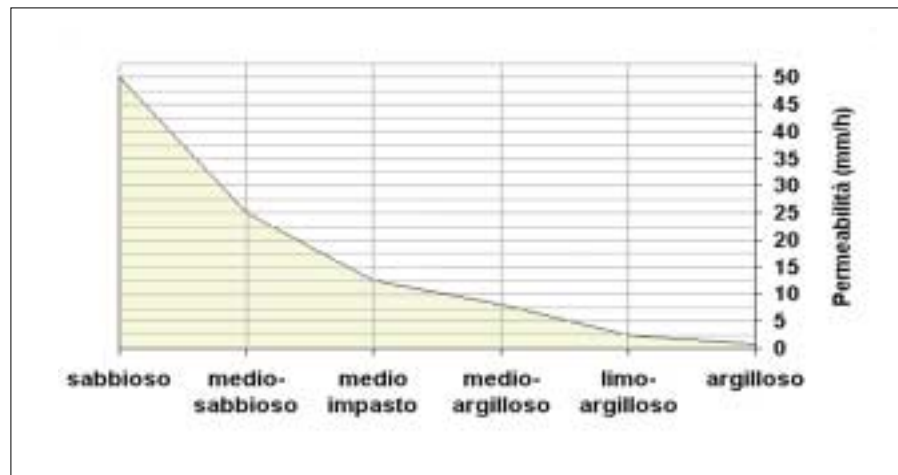
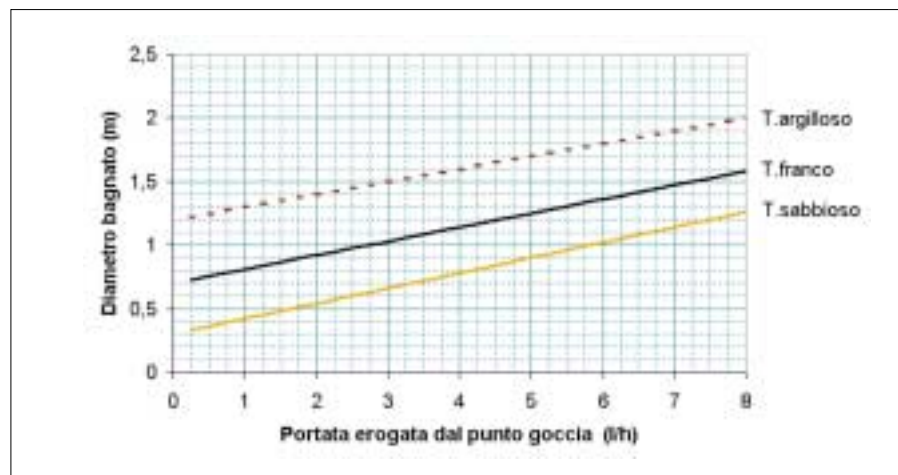


Fig. 10 - Forme indicative del fronte di inumidimento prodotte da un erogatore a goccia puntiforme



Fig. 11 - Diametro bagnato, in tre diversi tipi di terreno, in funzione della portata del punto goccia (da Karmeli *et al.*, 1985)



Le leggi che regolano l'infiltrazione e il movimento dell'acqua nel suolo sono piuttosto complesse, essendo in relazione anche alle quantità di acqua già presenti nel terreno. Per i nostri scopi, interessa principalmente conoscere come si muove l'acqua nel suolo saturo, condizione in cui, duran-

te l'irrigazione, viene a trovarsi lo strato superficiale di terreno che l'acqua deve attraversare, per raggiungere la profondità delle radici. Questo parametro si chiama, appunto, *permeabilità* (o velocità di infiltrazione del suolo saturo), è espresso in "mm/h" e indica la dose di acqua in "mm" che

riesce a infiltrarsi, ogni ora, in un terreno saturo, senza generare ristagni. Valori medi indicativi della permeabilità per diverse tipologie di terreno possono essere ricavati dal grafico in *fig. 9*.

Per quanto riguarda più specificamente la microirrigazione, è utile conoscere la modalità di penetrazione ed espansione nel suolo dell'acqua erogata da ogni punto goccia. Questa, oltre che dalle caratteristiche del terreno, dipende dalla portata del gocciolatore e dal volume erogato.

In relazione al tipo di terreno, l'area bagnata assume qualitativamente forme del tipo di quelle illustrate in *fig. 10*, allargandosi al crescere del contenuto di argilla e viceversa approfondendosi al crescere del contenuto di sabbia. In relazione alla portata erogata dal punto goccia, al crescere dei valori di questa, cresce il diametro dell'area bagnata. All'aumentare dei volumi erogati, l'acqua tende invece ad approfondirsi nel suolo, senza sostanzialmente aumentare il diametro dell'area bagnata. Nel grafico della *fig. 11* sono indicativamente riportati, per tre tipologie di suolo, i valori a regime del diametro di terreno bagnato, in funzione della portata erogata dal punto goccia.

I parametri della tecnica irrigua

L'obiettivo della tecnica irrigua è di evitare che, nello strato di terreno interessato dalle radici attive per l'assorbimento, venga a mancare un adeguato rifornimento idrico per le piante.

Come abbiamo visto, le piante sono in grado di estrarre acqua fintanto che il contenuto d'umidità del terreno non raggiunge il punto di appassimento. Tuttavia, ai fini agricoli non vogliamo solo fare sopravvivere le piante, ma vogliamo metterle nelle condizioni ottimali per una buona produzione.

Pertanto, in relazione alla cultivar, alla fase di sviluppo e agli obiettivi produttivi, si può con cognizione agronomica individuare un contenuto limite di umidità nel terreno, più elevato del punto di appassimento, oltre il quale è consigliabile non scendere. Questo contenuto di umidità rappresenta il *punto critico colturale (PCC)* e la quantità d'acqua contenuta fra questo punto e la capacità di campo viene indicata con il termine di *acqua facilmente utilizzabile (AFU)*.

Di solito il *PCC* si esprime come percentuale dell'acqua disponibile. Ad esempio, se per una coltura con radici superficiali, sensibile ai deficit idrici, il *PCC* consigliato è al 75% dell'acqua disponibile, solo il 25% di questa ultima costituisce l'*AFU*. Allo stesso modo, se per una coltura arborea o

arbustiva con radici profonde è indicato un *PCC* del 30%, l'*AFU* sarà il 70% di quella disponibile.

In una corretta tecnica irrigua, quando o comunque prima che il contenuto di umidità del suolo raggiunga il *PCC*, occorre operare un intervento irriguo, che ripristini la *CC*.

Il volume di acqua, per unità di superficie, necessario a riportare alla capacità di campo tutto lo strato di terreno interessato dalle radici costituisce il *volume di adacquamento netto (VA.netto)*. L'entità del *volume di adacquamento netto* corrisponde pertanto all'acqua necessaria a riempire tutti i micropori dello strato di terreno interessato e pertanto dipende da:

- le caratteristiche idrologiche del terreno;
- il *PCC*, ovvero il contenuto limite di umidità del terreno al momento dell'intervento;
- la profondità dello strato di terreno che, in relazione all'apparato radicale delle piante, si ritiene opportuno saturare o, per le colture in contenitore, il volume del substrato contenuto nel vaso.

Abbiamo già avuto modo di considerare come il suolo funzioni da serbatoio dal quale le piante traggono l'acqua. Questo concetto è schematizzato nella vignetta di *fig. 12*, in cui l'*AD* rappresenta la capacità utile del serbatoio. L'apporto del volume di adacquamento riempie completamente il "serbatoio" e l'ulteriore aggiunta di acqua va perduta, percolando in profondità.

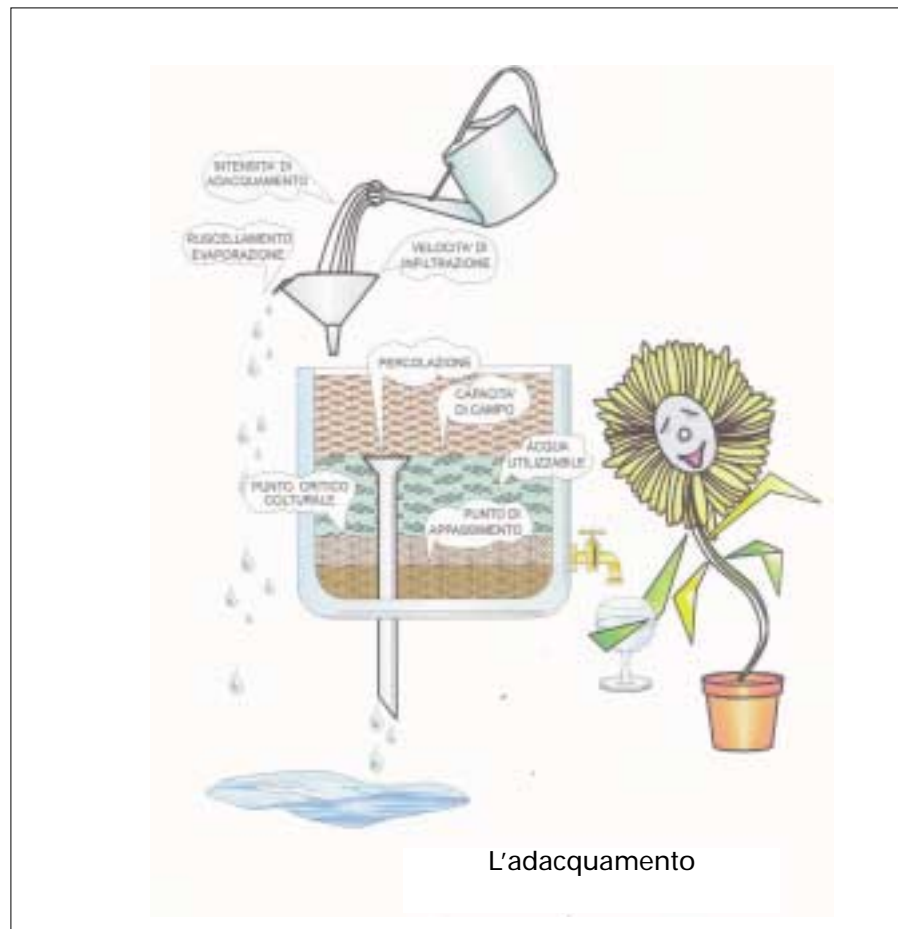
Inoltre, la stessa *fig. 12* mostra che anche altre porzioni dell'acqua somministrata possono andare perdute, ad esempio a seguito di evaporazione o di allontanamento dalla zona interessata per eventuali ruscellamenti. A queste si devono aggiungere anche altre cause, come ad esempio, nell'irrigazione a pioggia, le derive causate dal vento o l'acqua che cade negli interspazi fra i contenitori delle colture in vaso.

Il parametro che tiene conto di tutte le perdite sopra dette, è l'efficienza dell'adacquamento (*EA*), che esprime la percentuale dell'acqua somministrata che rimane immagazzinata nel terreno, in modo utile per la coltura.

$$\text{Efficienza di adacquamento } EA = \frac{\text{Volume utile alla coltura (mm)}}{\text{Volume erogato (mm)}} \cdot 100 \quad \text{Eq. 1}$$

L'altro importante parametro della tecnica irrigua, anch'esso richiamato nella *fig. 12* è l'*intensità di adacquamento* ovvero l'*intensità di applicazione irrigua (IA)*, che esprime il volume mediamente

Fig. 12 - Rappresentazione schematica delle regole dell'adacquamento in chiave umoristica (modificato da P.G. Megale)



erogato dall'impianto d'irrigazione, per unità di superficie, nell'unità di tempo ed è misurato in mm/h (= L/m²h).

L'intensità di applicazione si calcola facendo il rapporto fra la portata (*Q*) dell'erogatore, espressa in litri/ora e la porzione di superficie colturale da esso mediamente dominata, espressa in m².

$$\begin{aligned}
 \text{Intensità di applicazione IA (mm/h)} &= \\
 &= \frac{\text{Portata dell'erogatore Q (L/h)}}{\text{Area media dominata dall'erogatore (m}^2\text{)}} \\
 & \text{Eq. 2}
 \end{aligned}$$

Esempi relativi alle modalità di calcolo dell'intensità di applicazione in diverse tipologie di impianti irrigui sono illustrati nelle figg. 13, 14 e 15.

Con particolare riguardo alla fig. 15, si osservi che anche negli impianti di microirrigazione, in cui notoriamente la superficie è solo parzialmente bagnata, l'intensità media di applicazione si calcola facendo riferimento all'intera superficie della coltura e non alla superficie effettivamente bagnata. Ciò rende più agevole la comparazione con i

consumi idrici, anch'essi espressi per unità di superficie coltivata, ovvero in "mm".

Dopo un adacquamento, in assenza di piogge, i consumi per evapotraspirazione della coltura determinano un giornaliero abbassamento dell'umidità del terreno, che gradualmente ritornerà al punto critico colturale, rendendo necessario un nuovo intervento irriguo (figg. 16-17).

Il tempo che intercorre fra due adacquamenti successivi si chiama *turno irriguo (T)* e corrisponde ai giorni impiegati dall'evapotraspirazione della coltura a consumare il volume di adacquamento, immagazzinato nello strato utile del terreno:

$$\begin{aligned}
 \text{Turno T (giorni)} &= \\
 &= \frac{\text{Volume di adacquamento netto VA.netto (mm)}}{\text{Evapotraspirazione effettiva ETE (mm/giorno)}} \\
 & \text{Eq. 3}
 \end{aligned}$$

L'ultimo elemento tecnico della gestione irrigua è infine costituito dall'*orario* o *durata dell'adacquamento (O)*, in quanto indica esattamente il tempo necessario per eseguire questa operazione.

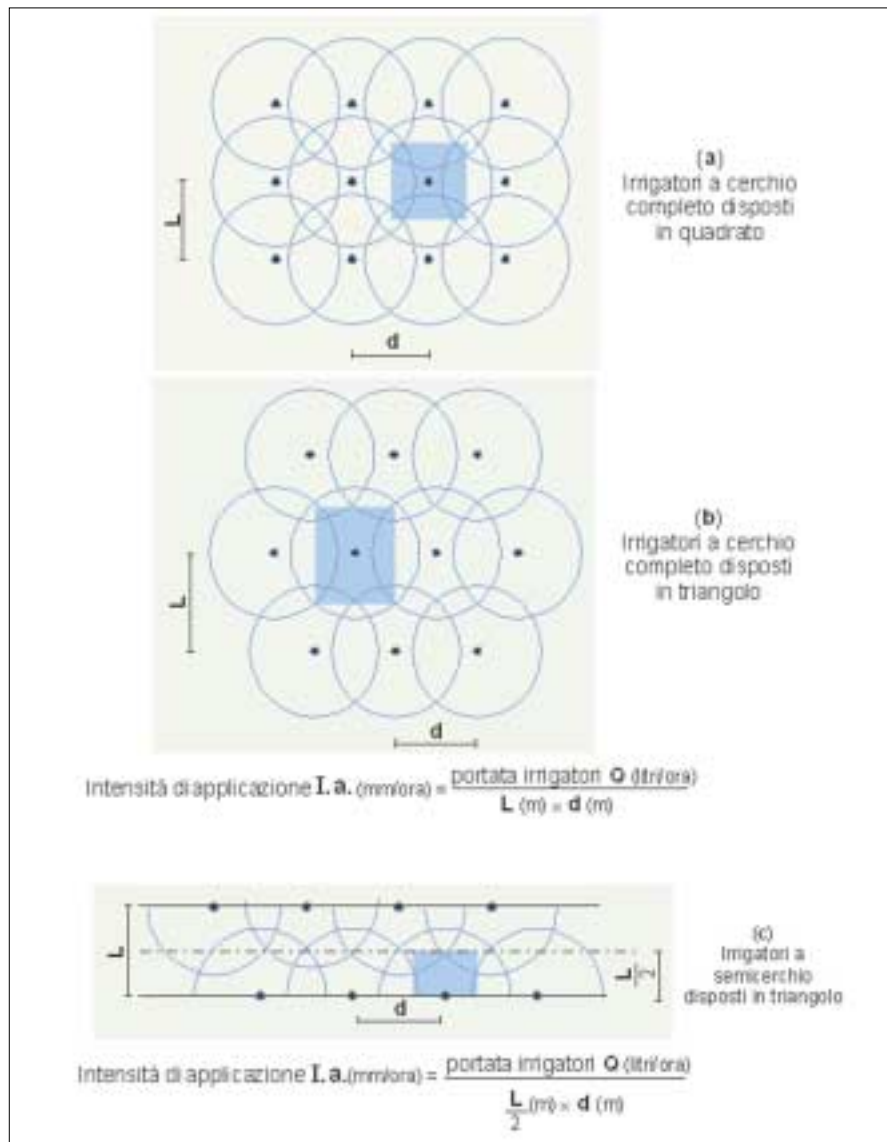


Fig. 13 - Irrigazione a pioggia con impianti stazionari. Calcolo dell'intensità media di applicazione, in questo caso detta anche intensità di pioggia

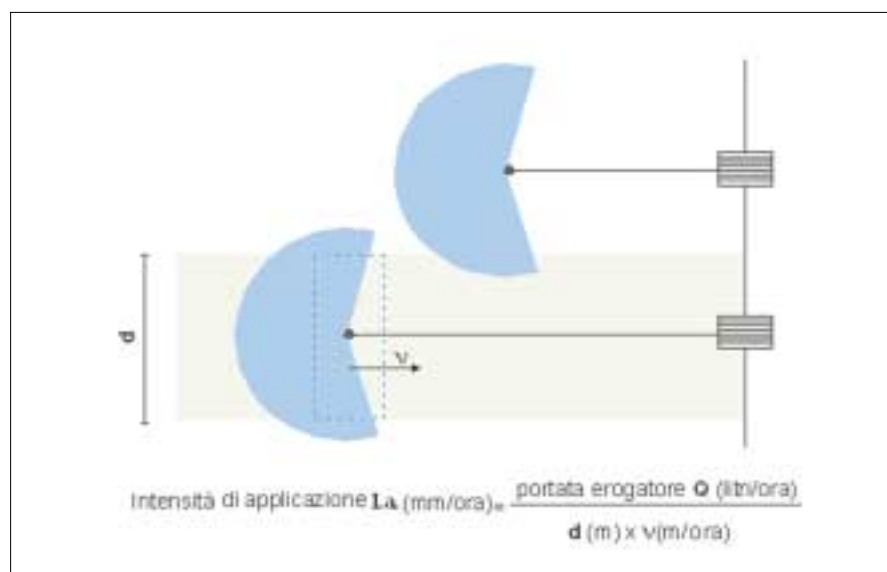


Fig. 14 - Irrigazione a pioggia tramite impianti in movimento, con erogatori con velocità di avanzamento "v". Calcolo dell'intensità media di applicazione o intensità di pioggia

Fig. 15 - Impianti di microirrigazione "a goccia" o "a spruzzi". Nonostante non venga bagnata l'intera superficie l'intensità media di applicazione si calcola facendo riferimento alla superficie della coltura e non alla superficie effettivamente bagnata. Ciò in coerenza con i consumi idrici, anch'essi espressi per unità di superficie coltivata (mm)

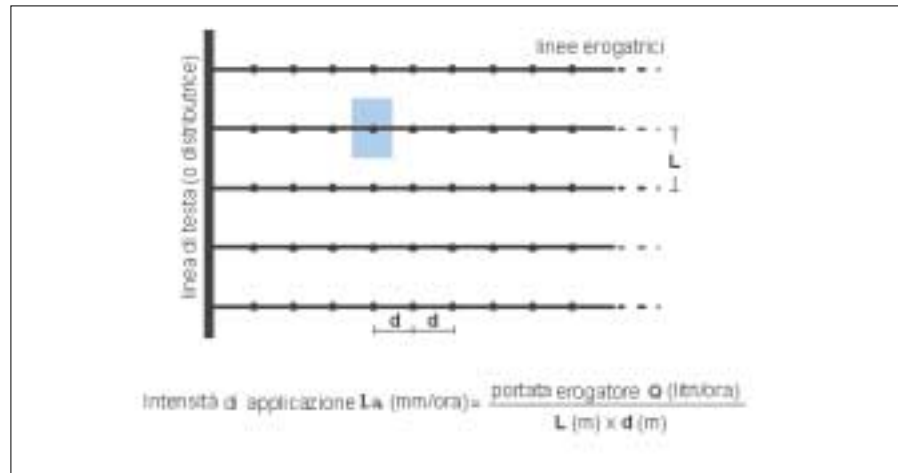


Fig. 16 - Andamento del contenuto medio di umidità nello strato interessato dagli apparati radicali, in una coltura con punto critico colturale al 30% dell'acqua disponibile

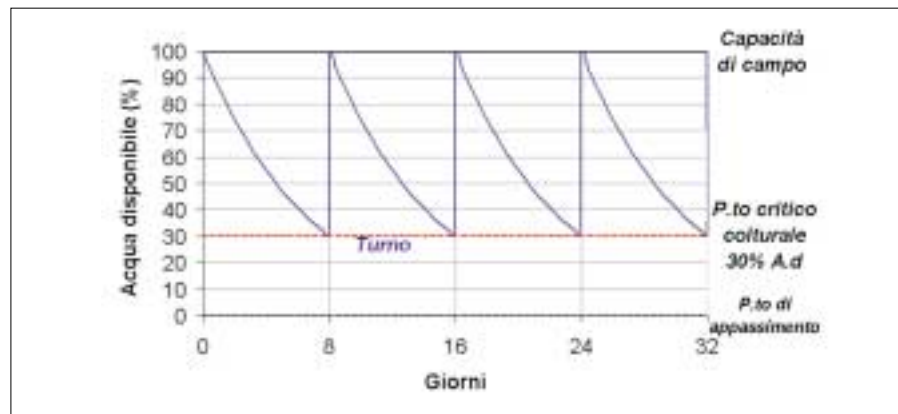
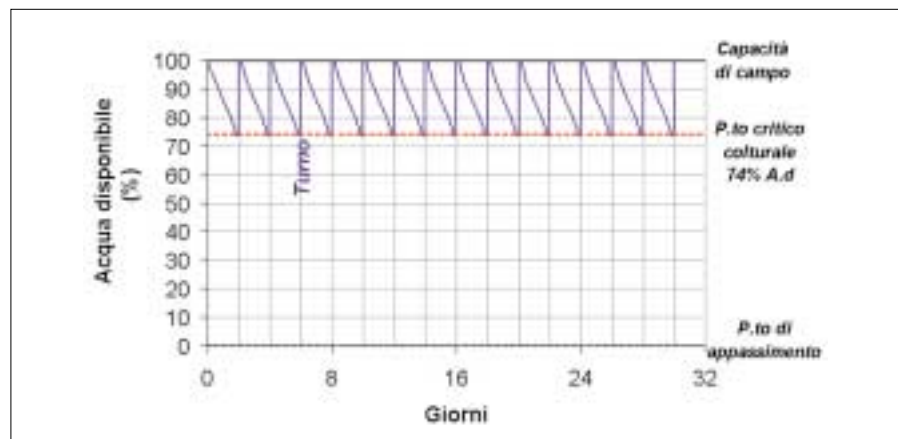


Fig. 17 - Andamento del contenuto medio di umidità nello strato interessato dagli apparati radicali, in una coltura con punto critico colturale al 74% dell'acqua disponibile



Nel calcolare *O* occorre tenere conto anche delle perdite di acqua che si verificano durante l'adacquamento; dovremo pertanto erogare un *volume di adacquamento lordo (VA.lordo)*, così definito:

$$VA.lordo (mm) = \frac{VA.netto (mm)}{EA (\%)} \cdot 100$$

Eq. 4

Il *volume di adacquamento lordo (VA.lordo)* indica pertanto il quantitativo di acqua che si deve erogare perché lo strato utile del terreno possa ricevere l'intero *VA.netto*³.

Così è possibile stabilire l'*orario*, che, corrispondendo al tempo necessario per erogare il volume di adacquamento lordo, si potrà calcolare dividendo questo per l'intensità di applicazione.

$$\text{Orario (O) (h)} = \frac{\text{Volume di adacquamento VA.lordo (mm)}}{\text{Intensità di applicazione IA (mm/h)}} \quad \text{Eq. 5}$$

Negli *Inserti I-V* sono riportate alcune applicazioni esemplificative.

La distribuzione dell'acqua alle colture

La conoscenza dei principi della tecnica irrigua, nonché la loro applicazione basata su specifiche caratterizzazioni idrologiche del terreno e sul supporto di un efficiente Servizio Agrometeorologico Regionale, consente una sempre più precisa definizione delle dosi e del momento d'intervento irriguo. A ciò contribuisce anche la crescente preparazione tecnica degli operatori e la possibilità di abbinare al metodo del bilancio idrico, sopra descritto, verifiche tramite strumenti di misura dell'umidità del terreno.

Resta a questo punto da considerare la fase successiva della pratica irrigua, che consiste nel distribuire l'acqua alle colture nelle quantità, nei tempi e nei modi previsti.

L'attuazione di questa fase è affidata all'impianto di irrigazione, al quale idealmente si chiede di mettere a disposizione di tutte le piante della coltura le dosi prestabilite di acqua, evitando sprechi. Ovviamente queste condizioni, che delineano un impianto ideale con 100% di efficienza, non potranno mai essere completamente raggiunte, ma sarà tanto più utile cercare di avvicinarle quanto più si mira ad alti livelli di qualità, quanto più le colture sono di pregio e sensibili alle condizioni idriche del terreno e ancor più quando la risorsa idrica è limitata.

Precedentemente, nel definire l'efficienza dell'adacquamento, avevamo visto le modalità del mancato immagazzinamento nel terreno, in modo utile per la coltura, di una parte dell'acqua erogata; vediamo ora di analizzarne le origini. Queste possono essere suddivise in due fattori, connessi rispettivamente al metodo di irrigazione e all'uniformità di distribuzione dell'acqua alla coltura (*fig. 18*).

Ogni metodo irriguo è caratterizzato da specifiche modalità di distribuzione dell'acqua, che ne condizionano le potenzialità di efficienza.

Ad esempio, irrigando col vecchio metodo a scorrimento superficiale, inevitabilmente una consistente parte dell'acqua erogata alla parcella andava perduta nelle scoline o in percolazioni negli strati profondi. Così pure, praticando un'irrigazione a pioggia in campo aperto, è inevitabile che parte dell'acqua vada perduta per evaporazione o perché finisce per cadere al di fuori dall'area interessata dalle piante.

Ovviamente le modalità di distribuzione dell'irrigazione a goccia, caratterizzata da precise localizzazioni dell'acqua e da limitate perdite per evaporazione, rendono questo metodo potenzialmente più efficiente, purché le portate dei punti goccia e i volumi erogati siano appropriati alle caratteristiche del terreno.

L'uniformità di distribuzione dell'acqua

Per comprendere come l'uniformità di distribuzione vada a incidere sull'efficienza, consideriamo ad esempio, un impianto di irrigazione a pioggia che distribuisca l'acqua in modo non uniforme, nella maniera illustrata in *fig. 19*, che si riferisce a una situazione reale e illustra la distribuzione dell'intensità di pioggia su una porzione di appezzamento irrigato a pioggia.

Se mediante questo impianto si eroga il volume di adacquamento, sia pure al lordo delle perdite per

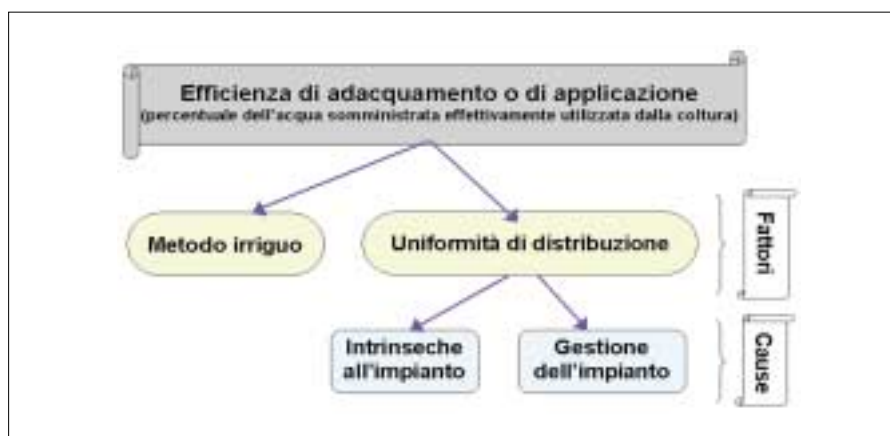


Fig. 18 - Efficienza di adacquamento (o di applicazione): schema dei fattori e delle cause da cui dipende

Fig. 19 - Distribuzione dell'intensità di pioggia in una porzione di appezzamento irrigato a pioggia

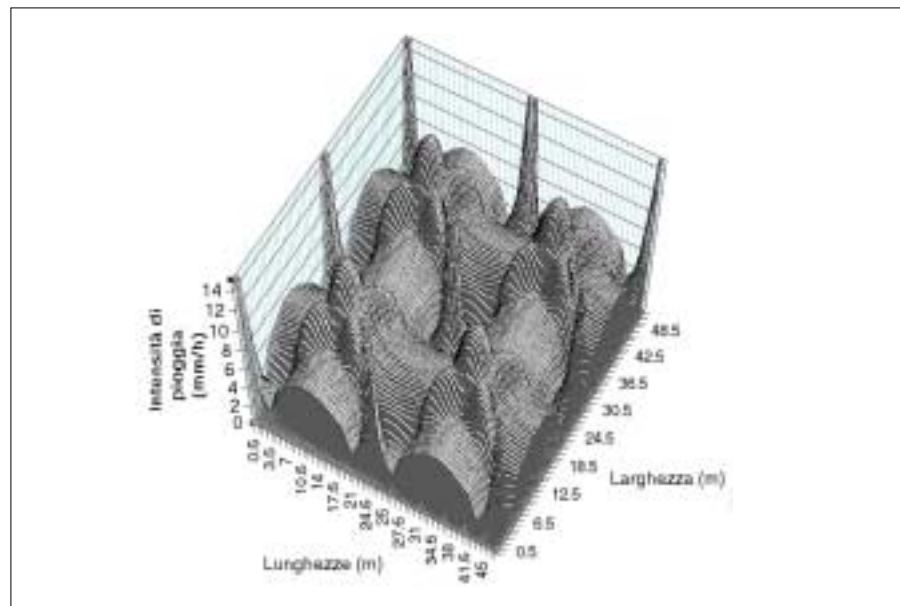


Fig. 20 - Andamento del fronte di inumidimento del suolo, nella stessa porzione di appezzamento considerata nella fig. 19, dopo l'erogazione del volume di adattamento, al lordo delle perdite per derive ed evaporazione

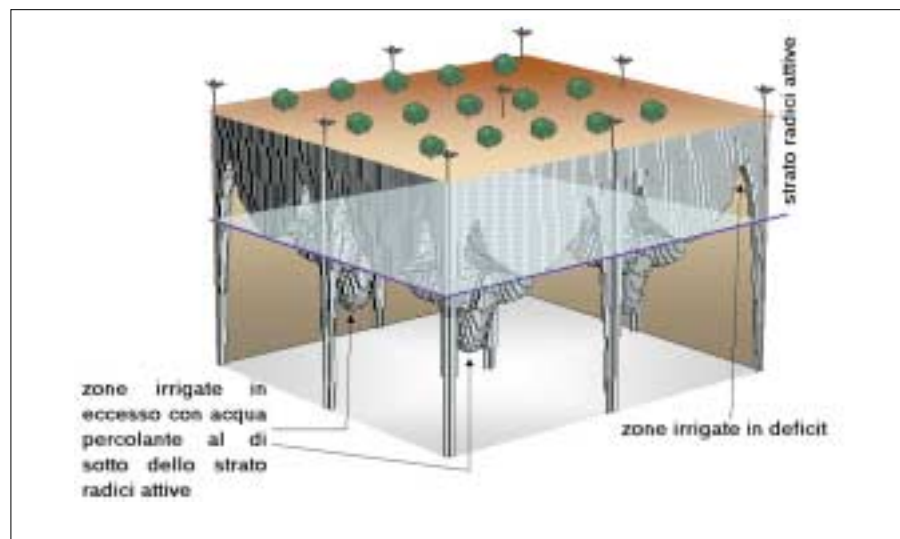
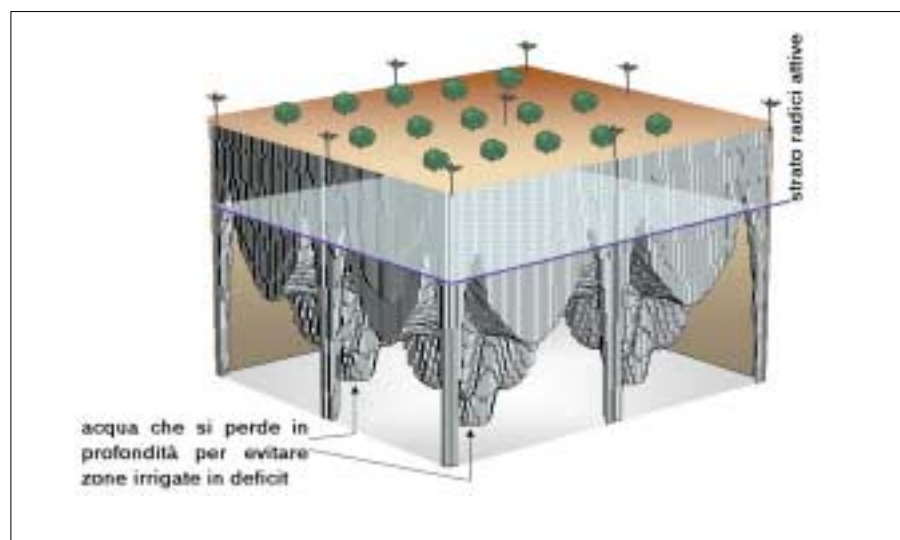


Fig. 21 - Andamento del fronte di inumidimento del suolo, nella stessa porzione di appezzamento considerata nella fig. 19, dopo l'erogazione di un volume tale da evitare la presenza di zone irrigate in modo deficitario



evaporazione e per deriva delle goccioline, al termine dell'intervento irriguo una porzione della coltura avrà ricevuto dosi di acqua inferiori a quella corrispondente al volume di adacquamento prestabilito, mentre la restante parte ne avrà ricevuto dosi superiori. Pertanto, come mostra la *fig. 20*, l'acqua in alcune zone non riesce a bagnare interamente lo strato interessato dalle radici attive, mentre nella restante parte percola al di sotto di questo strato.

Per evitare che porzioni del campo siano irrigate in modo deficitario, con ripercussioni negative sullo stato di salute delle piante e sulla produzione, si è costretti ad allungare il tempo di funzionamento dell'impianto, erogando un maggiore volume di acqua. In questo modo, come mostra la *fig. 21*, tutto lo strato interessato dalle radici attive viene a essere inumidito, ma notevoli quantità d'acqua vanno a finire anche al di sotto di questo strato e non sono utilizzate dalle piante.

Il problema si presenta anche nell'irrigazione a goccia per la disuniformità fra le portate erogate dai punti goccia, causata dalle inevitabili perdite di pressione lungo le linee gocciolanti e dell'altrettanto inevitabile disomogeneità costruttiva degli apparati erogatori. Nella *fig. 22* è illustrato un esempio del reale andamento del fronte di penetrazione dell'acqua al di sotto di una linea gocciolante non autocompensante lunga 260 m. Come si può vedere, per fornire anche alle piante che si trovano nella parte terminale della linea gocciolante un adeguato inumidimento dello strato interessato dalle radici, si devono subire evidenti perdite di acqua per percolazione profonda nella parte iniziale.

Indipendentemente dal metodo irriguo, una scarsa uniformità di irrigazione è pertanto causa di sprechi di acqua e anche di energia, per i maggiori volumi da erogare. In aggiunta l'acqua che percola in profondità dilava le sostanze nutritive solubili, allontanandole dalla zona di assorbimento delle radici e facendole confluire, più o meno rapidamente, nelle falde acquifere sotterranee. Ciò danneggia sia le aziende agricole, per il costo dei fertilizzanti sprecati, sia l'ambiente, per l'inquinamento delle falde acquifere.

La disuniforme distribuzione dell'acqua può essere provocata da cause intrinseche all'impianto e da cause legate alle modalità di gestione dell'impianto (*fig. 18*).

Le cause intrinseche dipendono dalle caratteristiche costruttive proprie dell'impianto. Ad esempio, le cause intrinseche di disuniformità per un impianto d'irrigazione a pioggia sono determinate dal tipo di irrigatori impiegati, dal loro posizionamento sul campo, dalla dimensione delle condotte

ecc. Così per un impianto a goccia esse sono determinate dal tipo e dalle caratteristiche di funzionamento degli apparati erogatori impiegati, dalla lunghezza e dal diametro delle condotte ecc.

Le cause di disuniformità legate alle modalità di gestione degli impianti possono, ad esempio nell'irrigazione a pioggia, essere il funzionamento dell'impianto in condizioni di ventosità o con non corrette pressioni di esercizio, il non tempestivo intervento di manutenzione a seguito di usura o guasti delle attrezzature ecc. Per l'irrigazione a goccia le cause di disuniformità possono essere ancora le pressioni di esercizio non adeguate, oltre che eventuali occlusioni parziali o totali dei gocciolatori per incrostazioni da sali disciolti, non tempestive riparazioni di rotture accidentali delle linee gocciolanti o delle altre condotte ecc.

La componente della disuniformità dovuta alle modalità di gestione può essere ridotta fino anche a termini trascurabili, semplicemente ponendo una maggiore attenzione alla conduzione e manutenzione degli impianti. Si tratterà, in pratica, di tenere sotto controllo e regolare opportunamente le pressioni in testa ai settori irrigui, di evitare la messa in funzione degli impianti a pioggia in condizioni di eccessiva ventosità e, specificamente per gli impianti a goccia, di far scorrere dopo le fertirrigazioni sufficienti quantità di acqua, di praticare frequenti espurghi delle linee, di riparare tempestivamente i guasti ecc.

È comunque evidente che l'applicazione di valide regole di conduzione e gestione potrà portare a conseguire livelli di efficienza soddisfacenti solo se le caratteristiche costruttive degli impianti saranno tali da assicurare buone proprietà intrinseche di uniformità. Per questo è indispensabile un'accurata progettazione e realizzazione degli impianti, resa possibile solo dalla conoscenza delle caratteristiche di funzionamento dei componenti di impianto e in particolare degli apparati di erogazione utilizzati, sia per l'irrigazione a pioggia, che per la microirrigazione.

Queste caratteristiche sono rilevate in modo obiettivo dal Laboratorio Nazionale dell'Irrigazione (LNI), che fornisce anche strumenti di supporto alla corretta progettazione degli impianti. In questi ultimi anni il LNI ha eseguito, per conto dell'ARSIA, prove su alcuni modelli di irrigatori a pioggia e su un ampio numero di linee gocciolanti integrali, queste ultime scelte fra i modelli più usati nell'ortoflorovivaismo. I risultati di queste prove sono stati pubblicati nei "Quaderni ARSIA" 2/2000 e 3/2002, dove le caratteristiche di funzionamento delle attrezzature provate sono riportate

Fig. 22 - Andamento del fronte di penetrazione dell'acqua nella sezione di suolo al di sotto di una linea gocciolante lunga 260 m, su un terreno pianeggiante

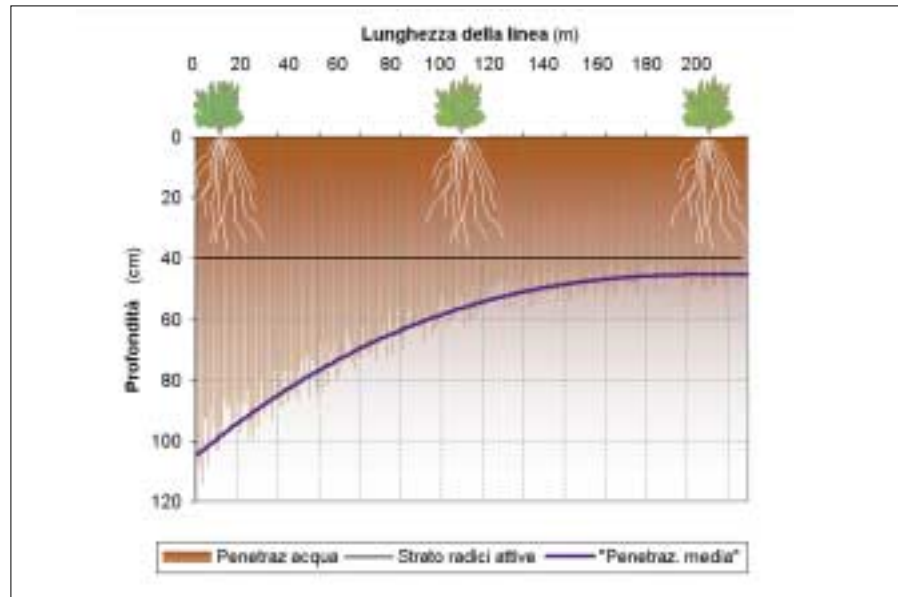


Fig. 23 - Uniformità di distribuzione, valutata mediante il coefficiente di Christiansen (CU), conseguibile in assenza di vento con diversi posizionamenti sul campo, in uno schema di avanzamento in triangolo

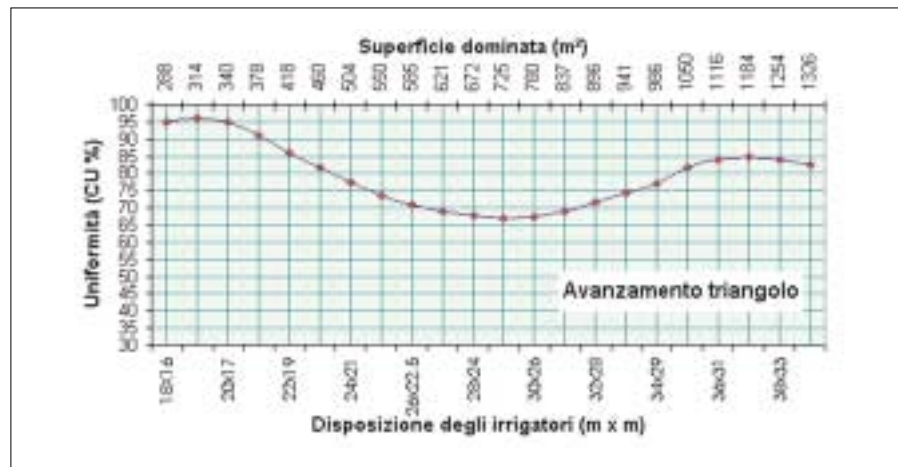


Fig. 24 - Tabella che fornisce la massima lunghezza ammissibile e la portata media, per vari gradi di uniformità di erogazione (EU) e per diverse pendenze del terreno

Legge delle perdite di carico nelle linee gocciolanti

Metodo standard	$J \text{ (m/m)} = 2,06E-07 \cdot Q \text{ (l/h)}^2$	L.c. (m) = 171
Legge sperimentale	$J \text{ (m/m)} = 7,844E-07 \cdot Q \text{ (l/h)}^{1,7638}$	[R ² 0,9989]

Lunghezza massime (L) e portata media (qm) delle linee per vari gradi di uniformità di erogazione (EU), applicando in testa una pressione di 10.5 m c.a.

EU (%)	Pizic (m c.a.)	Pend. 0.0%		Pend. +0.5%		Pend. +1.0%		Pend. +1.5%		Pend. +2.0%		Pend. -0.5%	
		L (m)	qm (l/h m)	L (m)	qm (l/h m)	L (m)	qm (l/h m)	L (m)	qm (l/h m)	L (m)	qm (l/h m)	L (m)	qm (l/h m)
95.0	10.5	128	4.12	146	4.06	157	4.04	164	4.06	168	4.09	184	4.22
92.5	10.5	159	3.88	178	3.79	191	3.76	200	3.75	205	3.78	135	4.01
90.0	10.5	182	3.68	203	3.57	217	3.52	227	3.51	233	3.53	159	3.81
87.5	10.5	203	3.49	224	3.38	240	3.32	250	3.31	257	3.32	177	3.65
85.0	10.5	220	3.33	244	3.20	260	3.14	271	3.13	279	3.14	193	3.58

in schede tecniche, corredate da grafici e tabelle di supporto alla corretta progettazione degli impianti. Questi supporti sono di facile impiego anche da parte di non specialisti del settore, come mostrano gli esempi nelle figg. 23 e 24, rispettivamente rela-

tive a un determinato tipo di irrigatore a pioggia e a un determinato modello di linea gocciolante.

Per l'irrigazione a pioggia, grafici come quello in fig. 23 forniscono l'uniformità, che si ottiene in assenza di vento, con diverse posizioni degli irriga-



Impianto di irrigazione a pioggia in un vivaio di arbusti ornamentali

tori, consentendo di scegliere quella più conveniente. L'uniformità è valutata mediante il *Coefficiente di Christiansen (CU)*⁴, parametro determinabile attraverso appositi rilevamenti pluviometrici sulla superficie irrigata, che indica una buona distribuzione dell'acqua quando si avvicina o supera il valore di 80%.

Per gli impianti di irrigazione a goccia, tabelle come quella in *fig. 24* consentono, una volta scelto il livello di uniformità (*EU*)⁵ desiderato, di conoscere la massima lunghezza ammissibile e la portata media delle linee gocciolanti, in diverse condizioni di pendenza del terreno.

Recentemente il LNI, sempre per conto dell'ARSIA ha prodotto anche un software, denominato *Ve.Pro.L.G.*, che costituisce uno strumento flessibile e interattivo per la verifica e la progettazione delle linee gocciolanti, finalizzato al risparmio di acqua e di energia. Il software consente di valutare

direttamente in azienda l'efficienza degli impianti di irrigazione a goccia già esistenti, indicando eventuali modifiche per migliorarne il funzionamento e di progettare correttamente nuovi impianti.

Per rendere più utili questi strumenti, è a volte necessario fornire anche supporti formativi a vario livello per sviluppare negli operatori le conoscenze tecniche e le professionalità, che consentano loro di ottenere la migliore efficacia possibile dell'acqua e dell'energia impiegata e migliorare la produttività. Per questo il LNI collabora anche con Organizzazioni territoriali per la divulgazione e la formazione tecnica. Ad esempio, nell'ambito di una queste collaborazioni con le Organizzazioni che operano l'assistenza tecnica all'agricoltura nella provincia di Livorno, è stato redatto un opuscolo divulgativo di guida all'irrigazione a goccia (Bertolacci e Delli Paoli, 2003).

Note

Ringraziamenti: l'Autore ringrazia la sig.ra Silvia Tagliacarne, per la collaborazione fornita.

¹ Sono disponibili tabelle con i coefficienti colturali per tutte le più comuni colture agricole; non altrettanto avviene per le colture florovivaistiche, perché non sono state fatte nel passato sperimentazioni, che potrebbe invece essere utile attuare.

² Per la già ricordata carenza di specifici Kc, il servizio già collaudato per molte colture agricole, potrebbe invece necessitare di un "rodaggio" per il florovivaismo. Tuttavia l'aggiornamento in tempo reale dei valori di ETP e l'eventuale uso per similitudine comparativa con dei Kc noti di altre colture potrà, da subito, essere di indubbia utilità.

³ Nel caso di irrigazione con acque salmastre il volume di adattamento lordo deve tenere conto anche dei maggiori quantitativi di acqua necessari per l'allontanamento dei sali dalla zona delle radici. Occorre comunque rimarcare che, specie per le colture a terra, le tecniche che prevedono l'impiego irriguo di acqua con anormali contenuti salini devono assolutamente essere valutate attentamente e prevedere costantemente degli accurati controlli.

⁴ Il "Coefficiente di uniformità di Christiansen" (CU), che è il parametro più usato per la valutazione dell'uniformità di distribuzione dell'acqua in impianti d'irrigazione a pioggia, tiene conto degli scarti fra le singole osservazioni di altezza di pioggia e della media e del numero delle osservazioni (l'equazione per il calcolo di CU è riportata da Bertolacci, 2000).

⁵ Il parametro "uniformità di erogazione" (EU), che in questo esempio è riferito ad una sola linea gocciolante, esprime, in termini percentuali, il rapporto fra la portata media del quarto delle erogazioni con le portate più basse sulla linea e la portata media di tutte le erogazioni della linea. In fase di progetto può essere stimato con la formula:

$$EU = 100 \cdot (1 - 1,27 \cdot Cv) \cdot q_{min} / q_{media}$$

dove Cv è il coefficiente di variazione tecnologica del sistema di erogazione, q_{min} è la portata di erogazione minima in L/h • metro, calcolata in corrispondenza del punto di minima pressione della linea, e q_{media} L/h • metro è la portata di erogazione media della linea.

Bibliografia

1. ANCONELLI S., BATTILANI A., GALLINA D., GENOVESI R., GUIDOBONI G., MANNINI P., PIETROSI I. (1995). *La Microirrigazione*. Regione Emilia-Romagna - Assessorato Agricoltura, dic. Bologna.
2. BERTOLACCI M. (1997). *È importante contenere le inefficienze e gli sprechi*. - Terra e Vita, 10 (suppl.).
3. BERTOLACCI M. (2000). *Risultati delle prove funzionali su linee gocciolanti integrali*. Quaderno ARSIA 2/2000, ARSIA Regione Toscana, Firenze.
4. BERTOLACCI M. (2002) - *Risultati delle prove funzionali su linee gocciolanti integrali e irrigatori a pioggia - Parte II*. Quaderno ARSIA 3/2002, ARSIA Regione Toscana, Firenze <http://www.lni.unipi.it/home.html>
5. BERTOLACCI M., DELLI PAOLI P. (2003). *Irrigazione a goccia su colture ortive di pieno campo. Conoscere gli impianti e farli funzionare correttamente, per conseguire buoni risultati produttivi e risparmiare acqua*. Editrice "Il Quadrifoglio", Livorno, dicembre 2003.
6. BERTOLACCI M., SOLINAS I. (2003). *Software Ve.Pro.L.G.: Verifica e Progettazione di Linee Gocciolanti per il risparmio di acqua e di energia*, ARSIA Regione Toscana, Firenze <http://www.lni.unipi.it/home.html>.
7. FINKEL H.J. (1982). *Handbook of Irrigation Technology*. CRC Press United States.
8. KARMELI D., PERI G., TODS M. (1985). *Irrigation systems: design and operation*. Oxford University Press. Cape Town, South Africa.
9. LANDI R. (1999). *Agronomia e ambiente*. Edagricole, Bologna.
10. LARRY G.J. (1988). *Principles of Farm Irrigation System Design*. John Wiley & Sons, Inc., USA.
11. MEGALE P.G. (1998). *Dispense delle lezioni di "Irrigazione e drenaggio"*. Facoltà di Agraria, Università di Pisa.

INSERTO I - Applicazioni esemplificative: esempio 1

Consideriamo una coltura irrigata con un impianto stazionario a pioggia, che si trovi nelle seguenti condizioni:

- terreno: medio impasto
- strato interessato dagli apparati radicali attivi: 40 cm
- Punto critico colturale (PCC): 40% dell'acqua disponibile
- impianto stazionario a pioggia, del tipo illustrato in *fig. 13 (b)*
- con irrigatori a cerchio completo disposti in triangolo: $L = 20$ m, $d = 18$ m
- portata degli irrigatori alla pressione media di esercizio: 0,5 litri/secondo
- ETE, nel periodo considerato: 5,7 mm/giorno
- Pioggia = 0.

Dai dati disponibili si può, in prima approssimazione, individuare i parametri necessari all'attuazione della tecnica irrigua nel modo che segue.

1. Volume di adacquamento (VA):

- dal diagramma di *fig. 8*, si può ricavare che per un terreno di medio impasto, l'acqua disponibile, in uno strato di 40 cm è circa 67 mm;
- tenendo conto del PCC si calcola rapidamente il

$$VA = 67 \times \left(1 - \frac{40}{100}\right) \cong 40 \text{ mm}$$

2. Turno irriguo (T):

$$T = \frac{40 \text{ (mm)}}{5,7 \text{ (mm / giorno)}} \cong 7 \text{ giorni}$$

3. Orario o durata dell'adacquamento (O):

- se l'impianto d'irrigazione a pioggia è stato correttamente progettato e realizzato ed è fatto funzionare in assenza di vento, si può ragionevolmente ipotizzare un'efficienza di adacquamento dell'80%;
- si passa pertanto a calcolare il

$$VA_{\text{lordo}} = \frac{40 \text{ (mm)}}{80 \text{ (\%)}} \times 100 \cong 50 \text{ mm}$$

- tenendo conto della disposizione degli irrigatori e della loro portata alla pressione media di esercizio, si calcola l'intensità di applicazione (IA):

$$IA = \frac{[0,5 \times 3600] \text{ (litri/ora)}}{[20 \times 18] \text{ (m}^2\text{)}} = \frac{1800 \text{ (litri/ora)}}{360 \text{ (m}^2\text{)}} \cong 5 \text{ mm/ora}$$

- si può quindi determinare l'orario o la durata dell'adacquamento (O):

$$O = \frac{50 \text{ (mm)}}{5 \text{ (mm/ora)}} = 10 \text{ ore}$$

Inserto II - Applicazioni esemplificative: esempio 2

Supponiamo di avere la stessa coltura dell'esempio 1, con la seguente differenza: l'impianto stazionario a pioggia è del tipo illustrato in *fig. 13* (c), con irrigatori della stessa portata (0,5 L/s), disposti in triangolo ($L = 20$ m, $d = 18$ m), ma operanti su settore di 180° .

In queste condizioni, restano invariati i parametri:

- volume di adacquamento (VA) = 40 mm
- turno (T) = 7 giorni
- volume di adacquamento lordo ($VA.lordo$) = 50 mm.

Mentre, in conseguenza della diversa superficie mediamente dominata dagli irrigatori, cambiano valore i seguenti parametri:

$$IA = \frac{[0,5 \times 3600] (\text{litri/ora})}{[10 \times 18] (\text{m}^2)} = \frac{1800 (\text{litri/ora})}{180 (\text{m}^2)} = 10 \text{ mm/ora}$$

$$O = \frac{50 (\text{mm})}{10 (\text{mm/ora})} = 5 \text{ ore}$$

Il raddoppio, rispetto all'esempio 1, dell'intensità di applicazione consiglia di verificare se il nuovo valore è compatibile con la permeabilità del terreno. Per questo si può utilizzare il diagramma in *fig. 9*, dal quale si vede che un terreno di medio impasto, ha indicativamente permeabilità di circa 12 mm/h. Quindi, dovrebbe essere in grado di sopportare l'intensità di pioggia di 10 mm/ora, senza che si formino ristagni o ruscellamenti. Il condizionale è d'obbligo perché la permeabilità suddetta non è stata ricavata da specifiche prove sul nostro terreno, ma è un valore indicativo.

INSERTO III - Applicazioni esemplificative: esempio 3

Supponiamo ora di avere lo stesso terreno e una coltura con le stesse esigenze dei due esempi precedenti, ma di voler utilizzare un irrigatore semovente, del tipo in *fig. 14*, con le seguenti caratteristiche:

- fascia di competenza di larghezza $L = 32$ m,
- irrigatore che alla pressione di esercizio eroga la seguente portata: $Q = 5,2$ m³/ora,

La velocità di avanzamento (V) dell'irrigatore semovente deve essere necessariamente regolata in funzione del volume di adacquamento lordo da erogare e può essere ricavata direttamente da apposite tabelle, generalmente incluse nei cataloghi di queste attrezzature o calcolate semplicemente con la relazione:

$$\text{velocità di avanzamento } v(\text{m/ora}) = \frac{\text{Portata dell'erogatore } Q(\text{litri/ora})}{\text{larghezza fascia di competenza } (m) \times \text{V.A.lordo } (mm)}$$

Volendo erogare lo stesso volume di adacquamento lordo stabilito nei precedenti esercizi (V.A.lordo = 50 mm):

$$V(\text{m/ora}) = \frac{5200(\text{litri/ora})}{32(m) \times 50(mm)} = 3,25 \text{ m/ora}$$

Occorre a questo punto valutare il valore che assume l'intensità di applicazione, dividendo la portata erogata dall'irrigatore (in litri/ora), per la superficie irrigata ogni ora di funzionamento. Quest'ultima è evidentemente data dal prodotto della larghezza della fascia di competenza media dell'irrigatore (32 m), per la distanza da esso percorsa in un'ora.

Nel nostro caso, con la velocità di 3,25 m/ora, l'irrigatore ovviamente percorre in un'ora 3,25 m, pertanto:

$$Ia = \frac{5200(\text{litri/ora})}{[32 \times 3,25](\text{m}^2)} = \frac{5200(\text{litri/ora})}{104(\text{m}^2)} = 50 \text{ mm/ora}$$

Dal diagramma in *fig. 9* risulta evidente che un'intensità di pioggia di 50 mm/ora è largamente superiore alla permeabilità di un terreno di medio impasto, per cui l'erogazione dell'intero volume di adacquamento lordo in un solo passaggio è sicuramente improponibile. Irrigando in queste condizioni, su appezzamenti in pendenza o ben baulati si avrebbero ruscellamenti, con il convogliamento di abbondanti quantità di acqua nelle scoline; mentre nelle aree di terreno prive di pendenza o depresse si verificherebbero ristagni, quindi zone di terreno periodicamente in condizioni asfittiche e soggette al disfacimento strutturale.

NOTA

Lo stesso metodo di calcolo esposto in questo esempio per definire la velocità di avanzamento e l'intensità di pioggia di un irrigatore, può essere applicato anche alle barre semoventi, facendo riferimento alla portata media erogata per metro lineare di barra e alla sua larghezza.

INSERTO IV - Applicazioni esemplificative: esempio 4

Passiamo ora a considerare una coltura irrigata a goccia nelle seguenti condizioni:

- terreno: medio-sabbioso
- strato interessato dalle radici attive: 40 cm
- PCC: 75% dell'acqua disponibile
- interdistanza fra i punti goccia: 40 cm
- interdistanza fra le linee gocciolanti: 1,2 m
- portata media dei punti goccia: 1,3 litri/ora
- ETE della coltura, nel periodo considerato: 5,0 mm/giorno
- Pioggia = 0.

L'irrigazione a goccia è notoriamente una irrigazione "localizzata", che non bagna cioè l'intera superficie della coltura. Per questo, nel valutare parametri come il volume di adacquamento e il turno, occorre tenere conto dell'area effettivamente bagnata, o più precisamente del volume di terreno che svolge effettivamente la funzione di serbatoio idrico per la coltura.

Nel nostro caso dal diagramma di *fig. 11*, per una portata del punto goccia di 1,3 litri/ora, si rileva l'indicazione che il diametro dell'area bagnata varia fra i 45 cm di un terreno completamente sabbioso e gli 85 cm di un terreno franco o di medio impasto. Assumiamo pertanto orientativamente un valore intermedio del diametro bagnato pari a 65 cm, salvo diretta verifica da effettuarsi in campo. Si può pertanto considerare che la linea gocciolante formi una striscia continua di terreno larga circa 60 cm. Perciò, tenendo conto della interdistanza fra le linee gocciolanti (120 cm), si stima la percentuale di area bagnata (*PAB*):

$$PAB = \frac{60(\text{cm})}{120(\text{cm})} \times 100 \cong 50\%$$

Dal diagramma di *fig. 8* si ricava che in uno strato di terreno medio-sabbioso profondo 40 cm, l'acqua disponibile è mediamente di 48 mm (ovvero 48 litri/m² di suolo bagnato), per cui, considerando la percentuale di area bagnata, per ogni m² della superficie colturale avremo:

$$AD = \frac{48 \times 50}{100} = 24 \text{ litri/m}^2 = 24 \text{ mm}$$

Tenendo conto del PCC (75% AD), nella porzione di terreno bagnato l'acqua utile immagazzinabile è = 24 (mm) x 0,25 = 6,0 mm. Risulta pertanto evidente, vista l'evapotraspirazione del periodo, che occorre irrigare tutti i giorni, quindi il turno è:

$$T = 1 \text{ giorno}$$

Valutando, che in una buona irrigazione a goccia l'efficienza sia almeno il 90%.

$$V_{Alordo} = \frac{5(\text{mm})}{90\%} \times 100 \cong 5,56 \text{ mm}$$

Quindi:

$$IA = \frac{1,3(\text{litri/ora})}{[0,4 \times 1,2](\text{m}^2)} = \frac{1,3(\text{litri/ora})}{0,48(\text{m}^2)} \cong 2,7 \text{ mm/ora}$$

Si può infine determinare la durata dell'adacquamento

$$O = \frac{5,56(\text{mm})}{2,7(\text{mm/ora})} \cong 2,06 \text{ ore} = 2 \text{ ore } 04 \text{ min}$$

NOTA

Cosa accadrebbe se effettuassimo invece l'irrigazione con un turno di 2 giorni, raddoppiando di conseguenza anche il volume di adacquamento? Evidentemente una parte dell'acqua si porterebbe al di sotto dello strato di 40 cm interessato dalle radici attive. Nella prima adacquata saturerebbe il terreno fino alla profondità di 80 cm, ma in quelle successive, trovando il terreno già saturo, l'acqua si porterebbe ancora più in profondità, andando definitivamente perduta. La produttività della coltura ne risulterebbe in vario grado danneggiata per:

- il maggiore sforzo richiesto alle piante per assorbire l'acqua di cui hanno bisogno;
- il dilavamento degli elementi nutritivi solubili dalla zona di attività radicale da parte dell'acqua che percola in profondità;
- lo spreco di acqua e lo spreco dell'energia impiegata per distribuire l'acqua che va perduta.

INSERTO V - Applicazioni esemplificative: esempio 5

Consideriamo una coltura di tipo arboreo o arbustivo irrigata a goccia nelle seguenti condizioni:

- terreno: medio-argilloso
- strato interessato dalle radici attive: 60 cm
- PPC: 50% dell'acqua disponibile
- interdistanza fra i punti goccia: 80 cm
- interdistanza fra le linee gocciolanti: 3,0 m
- portata media dei punti goccia: 4,0 litri/ora
- ETE della coltura, nel periodo considerato: 6,0 mm/giorno
- Pioggia = 0.

Dal diagramma di *fig. 11*, per una portata del punto goccia da 4,0 litri/ora, il diametro dell'area bagnata varia indicativamente fra i 115 cm di un terreno di medio impasto e i 170 cm di un terreno completamente argilloso. Assumiamo pertanto orientativamente un valore di diametro bagnato di 140 cm, salvo verifica da effettuarsi in campo. Si può pertanto considerare che in corrispondenza dei filari delle piante si formi una striscia continua di terreno bagnata larga circa 140 cm.

Pertanto, tenendo conto della interdistanza fra le linee (300 cm), si può stimare la:

$$PAB = \frac{140(\text{cm})}{300(\text{cm})} \times 100 \cong 46,67\% = 46\%$$

Dal diagramma di *fig. 8* si ricava che in uno strato di terreno medio-argilloso profondo 60 cm, l'acqua disponibile è mediamente di 114 mm, ovvero 114 litri/m² di suolo bagnato, per cui riferendoci alla superficie della coltura:

$$AD = \frac{114 \times 46}{100} = 52,44 \text{ litri/m} = 52,44 \text{ mm} = 52 \text{ mm}$$

Tenendo conto del PCC (50% AD), si può calcolare il

$$VA = 52 \times \left(1 - \frac{50}{100}\right) = 26,0 \text{ mm}$$

Quindi

$$T = \frac{26,0 (\text{mm})}{6,0 (\text{mm/giorno})} = 4,33 \text{ giorni}$$

Volendo mantenere per il turno un numero intero di giorni, occorre scegliere, anche in base a valutazioni agronomiche, se approssimare a 4 o a 5 giorni. Scegliendo l'approssimazione per difetto, la profondità dello strato bagnato sarà inferiore ai 60 cm prestabiliti; avverrà l'opposto approssimando per eccesso. Supponiamo di optare per l'approssimazione per difetto, assumendo un

$$T = 4 \text{ giorni}$$

Occorrerà a questo punto adeguare il volume da erogare in modo da reintegrare solo l'evapotraspirazione dei 4 giorni del turno, pertanto ricalcoleremo:

$$\text{Volume di adacquamento riadeguato} = 4 (\text{giorni}) \times 6 (\text{mm/giorno}) = 24 \text{ mm}$$

Attribuendo all'adacquamento con l'impianto a goccia un'efficienza del 90%:

$$VA_{\text{lordo}} = \frac{24 (\text{mm})}{90\%} \times 100 \cong 26,67 \text{ mm}$$

Considerando che:

$$IA = \frac{4,0 (\text{litri/ora})}{[0,8 \times 3,0] (\text{m}^2)} = \frac{4,0 (\text{litri/ora})}{2,4 (\text{m}^2)} \cong 1,67 \text{ mm/ora}$$

si può finalmente determinare la durata dell'adacquamento

$$O = \frac{26,7 (\text{mm})}{1,67 (\text{mm/ora})} \cong 15,97 \text{ ore} = 15 \text{ ore } 58 \text{ min}$$

13. Il pilotaggio dell'irrigazione nelle colture florovivaistiche

Laura Bacci, Elisabetta Checcacci

Introduzione

Le richieste idriche di un'azienda vivaistica sono essenzialmente determinate dai fabbisogni irrigui delle colture, a loro volta dipendenti dalle condizioni climatiche. Tuttavia, in conseguenza dell'uso di sistemi di controllo dell'irrigazione non efficienti dal punto di vista dell'ottimizzazione dell'uso dell'acqua e/o di un errato calcolo dei volumi irrigui da distribuire, si verificano elevati sprechi di acqua e spesso, di conseguenza, anche l'immissione di elevate quantità di fertilizzanti nell'ambiente.

In questo capitolo saranno fornite indicazioni utili per migliorare la gestione dell'irrigazione in particolare per quanto riguarda il sistema d'irrigazione, i volumi irrigui e la programmazione degli interventi.

Nelle *tabb. 1 e 2* sono riportati in modo sintetico alcuni consigli su come migliorare la distribuzione dell'acqua nei vasi e su come eseguire il controllo dell'irrigazione. Questi argomenti saranno trattati più dettagliatamente nei paragrafi seguenti.

Nel CD allegato è presentata una rassegna di alcuni sistemi di controllo e gestione dell'irrigazione utilizzabili in ambito vivaistico.

La determinazione del regime irriguo

Il regime irriguo varia in funzione della specie coltivata ed è caratterizzato dalla quantità d'acqua da distribuire complessivamente nella giornata e per ogni intervento, dalla modalità di distribuzione, se in un solo intervento o frazionata, e dalla definizione dei momenti della giornata in cui attivare l'irrigazione.

Prima di descrivere come determinare tale regime, si ritiene importante sottolineare come anche una corretta posizione delle piante all'interno del

vivaio possa contribuire a ottimizzare la gestione dell'irrigazione. Sarebbe, infatti, opportuno dividere le specie coltivate secondo le loro esigenze idriche; potrebbero essere distinte tre zone di produzione (ad alta, a bassa e a media esigenza idrica) in modo da prevedere, per ogni settore, irrigazioni *ad hoc* secondo la tipologia delle specie. Parlando di ottimizzazione dell'irrigazione è necessario introdurre il concetto di efficienza dell'irrigazione, definita come la frazione dell'acqua totale erogata che viene usata vantaggiosamente dalla pianta.

L'efficienza dell'irrigazione è strettamente legata al tipo di tecnica irrigua: è circa la metà per l'irrigazione manuale (0,4-0,5) rispetto a quella a goccia (0,9-0,95) che, insieme alla subirrigazione (0,95-0,98), risulta il metodo più efficiente; l'irrigazione a pioggia è caratterizzata da un'efficienza intermedia (0,6-0,7).

Nel caso di impianti di irrigazione a goccia l'efficienza può essere ulteriormente migliorata utilizzando irrigatori autocompensanti che, sebbene siano assai costosi, permettono di evitare problemi di difformità nella quantità d'acqua distribuita ai singoli vasi.

Il volume irriguo

La quantità di acqua da distribuire nella giornata è funzione della specie, della fase di sviluppo e delle condizioni ambientali. Una quantificazione accurata dell'acqua giornaliera da distribuire potrebbe essere fatta a partire dalla stima dell'evapotraspirazione (*ETE*) oppure, anche nel caso di interventi irrigui programmati mediante timer, potrebbe essere consigliabile dotarsi di un sistema, anche semplice, di misura dell'umidità del substrato in modo tale da verificare se si è distribuito un volume di acqua appropriato.

Nel caso di piante allevate in vaso, la quantità d'acqua da distribuire per ogni intervento irriguo

Tab. 1 - Accorgimenti per migliorare l'efficienza dell'irrigazione per colture in vaso*

SISTEMI DI IRRIGAZIONE CON UN BUON RAPPORTO EFFICIENZA/COSTO:

- Irrigazione a goccia (preferibile a quella ad aspersione)
- Irrigazione con aste per i semenzali
- Subirrigazione in ogni nuova area di produzione del vivaio

SISTEMI PER AUMENTARE L'EFFICIENZA DELL'IRRIGAZIONE PER ASPERSIONE:

- Utilizzo dei migliori ugelli distanziati correttamente in funzione dello spazio
- Utilizzo di linee in pressione
- Inserimento del maggior numero di vasi nell'area irrigata per aspersione
- Raggruppamento in zone omogenee delle specie con esigenze idriche simili

* Modificato da *Environmental Management Best Practice Guidelines for Nursery Industry*, 2002.

Tab. 2 - Consigli per un corretto controllo dell'irrigazione*

MODALITÀ DI PROGRAMMAZIONE DEGLI INTERVENTI

- Preferire la programmazione dell'irrigazione basata sulle condizioni ambientali e delle piante piuttosto che quella con un semplice timer

CONDIZIONI OPERATIVE DEGLI INTERVENTI

- Selezionare il sistema di irrigazione più appropriato al tipo di coltivazione
- Assicurarsi che le quantità d'acqua distribuite siano uniformi lungo tutto l'impianto utilizzando irrigatori autocompensanti e linee in pressione
- Assicurarsi che gli irrigatori siano posizionati correttamente rispetto alla collocazione delle piante
- Eliminare le eventuali perdite dell'impianto
- Disporre il numero massimo dei vasi nell'area di irrigazione

CARATTERISTICHE DEI SISTEMI DI CONTROLLO DEGLI INTERVENTI

- Flessibilità d'impostazione dei tempi di inizio e durata dell'irrigazione
- Possibilità di utilizzo indipendente delle valvole di erogazione
- Possibilità di interruzione dell'erogazione in caso di umidità elevata
- Presenza di un interruttore manuale
- Presenza di dispositivi di allarme in caso di malfunzionamento
- Possibilità di interfacciamento con sistemi computerizzati in grado di monitorare le condizioni meteorologiche e altre variabili utili per la gestione dell'irrigazione.

* Modificato da *Environmental Management Best Practice Guidelines for Nursery Industry*, 2002.

è funzione delle dimensioni del vaso e del tipo di substrato utilizzato.

Essa è facilmente determinabile in modo accurato utilizzando una bilancia con un adeguato fondo scala e seguendo la seguente procedura:

1. Numerare una serie di vasi scelti come campione.
2. Irrigare le piante nei vasi fino alla capacità di campo: i vasi devono essere annaffiati abbondantemente, più volte, in modo manuale, cer-

cando di distribuire l'acqua su tutta la superficie fino a bagnare completamente il substrato, aspettare alcuni minuti in modo che tutta l'acqua in eccesso venga drenata attraverso i fori alla base del vaso.

3. Pesare i vasi e annotare i valori.
4. Sistemare i vasi nello stesso ambiente in cui saranno posti durante il ciclo produttivo. Il substrato si asciugherà progressivamente, finché sarà necessaria una nuova irrigazione delle

piante. A questo stadio (che il coltivatore valuterà in base alla propria esperienza) pesare di nuovo tutti i vasi annotando i valori.

5. Calcolare per ogni vaso la differenza tra il peso iniziale e quello finale.
6. Calcolare la media dei valori ottenuti, che rappresenta la quantità d'acqua (E) necessaria, per ogni intervento irriguo, a ripristinare la capacità di campo del vaso senza che si abbiano perdite di acqua per lisciviazione (cioè, attraverso i fori alla base del vaso).

Un altro metodo prevede la stima del volume irriguo come frazione dell'acqua disponibile nel mezzo di crescita (substrato o terreno). In questo caso è opportuno tenere distinte le colture in contenitore da quelle in campo.

Per le colture in contenitore su substrato artificiale la frazione di acqua disponibile si può considerare variabile dal 5 al 20% in funzione del substrato, mentre nel caso di colture su terreno tale frazione risulta variare dal 30 al 50% anche in funzione della profondità delle radici.

Nei casi in cui si esegua la fertirrigazione è necessario prevedere una frazione di lisciviazione (LF) in modo da evitare problemi causati dall'accumulo di sali all'interno del substrato di coltivazione. In questo caso la quantità d'acqua determinata con la procedura precedente dovrà essere aumentata. La frazione di lisciviazione oscilla in genere tra 0,2 (20%) e 0,6 (60%), anche se si consiglia di non superare mai la soglia del 50%. Il volume totale di acqua da distribuire (I) per intervento irriguo è quindi dato da:

$$I = E (1 + LF) \quad \text{Eq. 1}$$

LF è calcolata in funzione della salinità (espressa dalla conducibilità elettrica o EC in mS/cm) dell'acqua irrigua (EC_w) e della resistenza alla salinità della coltura (espressa come valore massimo della EC del terreno o del substrato, nel caso delle piante in vaso EC_e)

$$LF = EC_w / 5 (EC_e - EC_w) \quad \text{Eq. 2}$$

I valori di EC_e dipendono dalla coltura; più è alto EC_e maggiore è la resistenza della coltura e minore può essere la LF , a parità di EC_w . Per le piante ornamentali allevate in vaso si può considerare un valore di EC_e di 1,5 mS/cm .

Modalità di distribuzione

Secondo molti studi riportati nella letteratura internazionale e in base all'esperienza derivante da prove sperimentali condotte dall'Istituto di Biometeorologia del CNR di Firenze, per assicurare un notevole risparmio idrico e migliorare la qualità

della produzione è opportuno frazionare la quantità di acqua, da distribuire per ogni intervento irriguo, in più dosi da somministrare a intervalli costanti di circa 10 minuti l'uno dall'altro.

Il numero di dosi può variare da 2 a 3 in funzione del volume d'acqua dell'intervento irriguo e delle caratteristiche tecniche dell'impianto.

I sistemi per la gestione degli interventi irrigui

I sistemi basati su temporizzatori

Il temporizzatore (*timer*) è attualmente il sistema più utilizzato per la programmazione dell'irrigazione in vivaio, in conseguenza del suo basso costo e della sua facile gestione.

Si tratta di un sistema di controllo e di programmazione dell'irrigazione utilizzabile con qualsiasi tecnica irrigua: a pioggia, micropioggia, a goccia ecc. Attualmente sul mercato se ne trovano molti modelli che principalmente si distinguono per il tipo d'alimentazione, per il numero di programmi che svolgono e per i settori che possono controllare. Il principale svantaggio di questi sistemi è costituito dal fatto che, per i modelli più semplici, l'irrigazione è attivata indipendentemente dalle condizioni esterne (meteorologiche o del substrato) e delle esigenze delle piante con, in genere, una cattiva gestione nell'uso dell'acqua. I modelli più recenti possono però essere utilizzati in combinazione con alcuni accessori che rendono il loro impiego più razionale; tra questi si ricordano il tasto esclusione pioggia o il sensore pioggia, il sensore temperatura e gli integratori solari.

Il tasto di esclusione in caso di pioggia deve essere attivato manualmente e permette la sospensione dei programmi previsti in caso di pioggia. Il sensore pioggia invece, in caso di un evento piovoso, interrompe automaticamente l'irrigazione a partire dal ciclo successivo.

I sensori di temperatura sono strumenti che prevengono l'irrigazione quando la temperatura esterna scende al di sotto di un certo valore, oppure la attivano per evitare l'effetto brina nei periodi primaverili.

Infine, l'integratore solare, è un sensore costituito da un contatore che si incrementa più o meno velocemente secondo la luminosità presente. Una volta raggiunto il valore d'integrazione impostato, il timer, attraverso un relè, attiva l'irrigazione.

A parte i timer equipaggiati con gli integratori solari, gli altri sono programmati in base all'esperienza del coltivatore, che decide quando e quante volte attivare l'irrigazione durante il giorno. Nei

periodi estivi, sarebbe consigliabile attivare l'irrigazione nelle ore più fresche della giornata.

Il numero di irrigazioni all'interno della giornata è funzione della specie e della fase di sviluppo. Con la crescita della pianta, infatti, in conseguenza dell'aumento della quantità di acqua traspirata (funzione della superficie fogliare) è, spesso, necessario aumentare il numero di interventi irrigui.

Un sistema di misura dell'umidità del substrato può risultare utile per verificare se il numero di interventi irrigui giornalieri impostati è corretto. Ad esempio, all'inizio della stagione può essere programmato un unico intervento irriguo mattiniero. Successivi controlli periodici dell'umidità del substrato permetterebbero di individuare quando è il momento di aumentare il numero d'interventi irrigui nella giornata (in conseguenza alla crescita delle piante e/o all'aumento della domanda traspirativa dell'atmosfera).

Sistemi basati sulla misura dell'umidità del terreno

Attualmente, in commercio, esistono diversi sensori per la determinazione dell'umidità del terreno che differiscono principalmente per la variabile misurata e per il metodo applicato per la sua misurazione.

L'umidità del suolo può essere espressa come potenziale idrico (tensione) o contenuto volumetrico. La misura del potenziale idrico è strettamente legata alla capacità delle piante di estrarre l'acqua dal terreno ed è quindi utile per valutare le loro reali necessità idriche. Questa può essere misurata, oltre che con il metodo tensiometrico descritto accuratamente in seguito, anche con sensori basati sul metodo della resistenza elettrica. Quest'ultimo metodo sfrutta il fatto che una variazione del contenuto idrico del substrato causa una variazione della resistenza elettrica tra due elettrodi. Questi sensori hanno un costo basso e necessitano di una ridotta manutenzione, tuttavia hanno tempi di risposta lunghi, in particolar modo dopo essere stati sottoposti a umidità elevate per periodi prolungati; inoltre le loro prestazioni sono influenzate dalla salinità del terreno.

La misura del contenuto volumetrico avviene principalmente mediante il metodo elettromagnetico, che sfrutta la proprietà di propagazione delle onde elettromagnetiche ad alta frequenza all'interno di un materiale. La misura può essere effettuata con due modi diversi quello *TDR* (*Time Domain Reflectometry*) e quello *FDR* (*Frequency Domain Reflectometry*). La differenza consiste nel fatto che *TDR* misura il tempo di transito di un



Un microtensiometro per il controllo dell'irrigazione: si noti la coppa porosa, il tubo riempito di acqua e il sensore/trasduttore della tensione

impulso lungo una sonda immersa nel suolo, mentre *FDR* esegue una misura di capacità o di impedenza di una sonda immersa nel terreno.

I sensori che usano questi metodi, se calibrati *ad hoc* per il tipo di terreno in cui sono inseriti, eseguono misure accurate anche in terreni salini. Questi sensori, come i precedenti, richiedono un'elevata cura nel posizionamento affinché siano a stretto contatto con il substrato e non si formino intercapedini d'aria.

Le sonde, presenti in un'ampia gamma di misure, possono essere utilizzate anche per colture in vaso e risultano adatte per essere impiegate nell'automazione dell'irrigazione.

In questo paragrafo tratteremo in particolare dei tensiometri che, attualmente, sembrano i più idonei a essere impiegati in ambito operativo e per i quali esistono modelli di dimensioni tali da poter essere utilizzati anche in vaso.

I tensiometri sono costituiti da un setto poroso di ceramica, collegato attraverso un tubo di vetro a un sensore di pressione collocato a stretto contatto con il terreno. Tutte le varie componenti sono riempite di acqua distillata.

Il passaggio d'acqua dal tensiometro al substrato e viceversa è funzione dell'umidità del substrato stesso. Infatti, quando il substrato è secco si ha il

Tab. 3 - Soglie tensiometriche utilizzate per l'irrigazione di alcune specie ornamentali			
Specie coltivata	Soglie di irrigazione (off-on)	Modalità di coltivazione	Autori
Crisantemo	10 - 40 hPa	Vaso	Lieth J.H. <i>et al.</i> (1991)
Rosa	10 - 50 hPa	Vaso	Oki L.R. <i>et al.</i> (1996)
Fragola	100 - 300 hPa	Terreni sabbioso-argillosi	Kruger E. <i>et al.</i> (1999)
Rosa hybrida	30 - 60 hPa	Vaso	Hansen R.C. <i>et al.</i> (1996)
Viburnum tinus	100 hPa	Vaso	Kehoe E. <i>et al.</i> (2000)
Corpus alba	30 - 70 hPa	Vaso	Bacci L. <i>et al.</i> (2003)
Cupressus Golden Crest	30 - 70 hPa	Vaso	Bacci L. <i>et al.</i> (2003)
Hypericum sp.	30 - 70 hPa	Vaso	Bacci L. <i>et al.</i> (2004)
Geranio	20 - 60 hPa	Vaso	Bacci L. <i>et al.</i> (2004)
Gerbera	10 - 50 hPa	Vaso	Newman J.P. <i>et al.</i> (1991)
Ortensia	10 - 50 hPa	Vaso	Newman J.P. <i>et al.</i> (1991)
Stella di Natale	10 - 50 hPa	Vaso	Newman J.P. <i>et al.</i> (1991)

passaggio d'acqua dal tensiometro al substrato tramite il setto poroso; il vuoto parziale che si crea all'interno del tubo di vetro determina una depressione che è visualizzata sul manometro o registrata dal sensore di pressione; al contrario, quando il terreno è umido, il vuoto all'interno dello strumento richiama acqua fino al suo riempimento.

La maggior parte dei tensiometri in commercio ha un intervallo di misura tra 0 e -1000 hPa (etto-Pascal) e un'accuratezza variabile tra 1 e 10 hPa. Valori di potenziale idrico alti (più negativi) indicano livelli di umidità del suolo elevati, al contrario più i valori scendono (aumenta, cioè, il valore assoluto), più il substrato sarà asciutto.

I tensiometri possono essere a lettura diretta (mediante manometro inserito direttamente sul sensore) o collegati a sistemi di lettura/immagazzinamento dati. La maggior parte dei sensori in commercio, con o senza sistemi di lettura, prevede l'attivazione dell'irrigazione in modo manuale dopo aver preso visione del potenziale idrico rilevato dal sensore stesso. Alcune ditte, però, recentemente, hanno sviluppato dei software in grado di

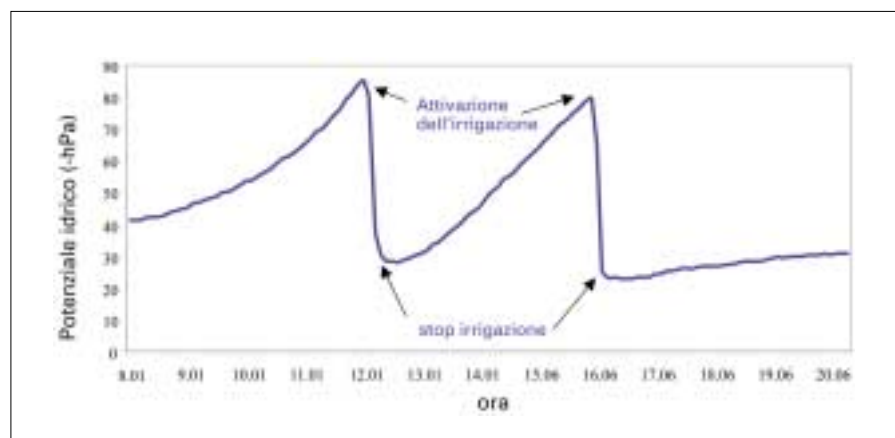
attivare automaticamente l'irrigazione in base alla misura di potenziale registrato dal sensore. In questo caso al raggiungimento del valore soglia impostato, il software comanda automaticamente l'apertura delle elettrovalvole.

Nel caso in cui questi sensori siano utilizzati per la gestione dell'irrigazione devono essere definiti:

- il numero dei sensori da utilizzare per vaso e per superficie coltivata;
- la loro collocazione (sia all'interno del vaso che all'interno dello spazio coltivato);
- i valori di attivazione e disattivazione dell'irrigazione.

In *tab. 3* si riportano le soglie di attivazione dell'irrigazione per alcune specie coltivate. In generale, comunque, per colture in vaso con substrato di torba e pomice, occorre considerare una soglia di 10-20 hPa come soglia di capacità di campo, e di 60-80 hPa come soglia di irrigazione per evitare condizioni di stress alla maggior parte delle specie coltivate (*fig. 1*). Tuttavia, per una corretta gestione dell'acqua, per ogni specie è comunque opportuno trovare le soglie *ad hoc* variabili in funzione

Fig. 1 - Variazione del potenziale idrico del suolo; superata la soglia di attivazione dell'irrigazione (circa 70 hPa) il potenziale decresce velocemente fino a raggiungere valori prossimi alla capacità di campo (circa 20 hPa)



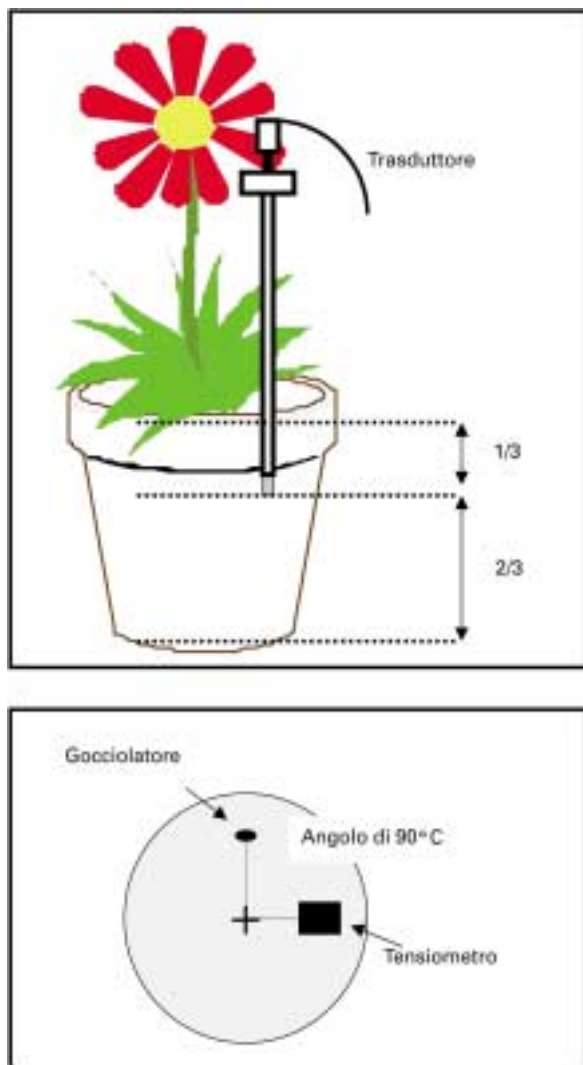


Fig. 2 - Posizione del tensiometro rispetto all'irrigatore; il sensore, inserito a un terzo della profondità del vaso partendo dall'alto, deve formare un angolo retto con l'irrigatore

delle loro esigenze idriche e di resistenza alla siccità.

Le misure del sensore devono essere il più possibile rappresentative delle variazioni di umidità del substrato; è stato osservato, in molte prove sperimentali, che se il sensore viene posizionato in prossimità della superficie risente troppo delle variazioni di umidità del substrato e di temperatura dell'aria, mentre se è inserito troppo in profondità non è in grado di percepire tali variazioni: quindi, in entrambi i casi, l'attivazione dell'irrigazione potrebbe non coincidere con le reali necessità della pianta. La posizione migliore, in cui inserire il sensore, risulta quella localizzata a una profondità intermedia del substrato, a non meno di 2-4 cm dal bordo laterale del vaso. In particolare:

- per vasi di diametro inferiore a circa 25 cm si può prevedere l'utilizzo di un solo tensiometro;
- nel caso si utilizzi l'irrigazione a goccia, la posizione migliore del tensiometro risulta quella che forma un angolo retto con l'irrigatore (fig. 2);
- la profondità di inserimento del tensiometro più rappresentativa, sempre nel caso di vasi di diametro fino a 25 cm, è quella di un terzo dell'altezza del vaso a partire dall'alto (fig. 2).

Come nel caso del posizionamento del sensore all'interno del vaso, anche il posizionamento del tensiometro all'interno del settore coltivato (scelta del contenitore nel quale posizionare il sensore) deve essere il più rappresentativo possibile delle condizioni idriche del settore stesso.

A una scelta preliminare, che può ad esempio prevedere la localizzazione del sensore in una zona centrale del settore, possono seguire spostamenti legati a verifiche successive, quali il rilevamento di zone del settore sofferenti per carenze idriche. Inoltre è opportuno posizionare i sensori all'inter-



Un microtensiometro per il controllo dell'irrigazione in una coltura in vaso di geranio

no di vasi con piante di dimensioni medio-grandi rispetto al totale in modo da assicurare un sufficiente rifornimento di acqua a tutte le piante.

Sarebbe sempre consigliabile avere più tensiometri per uno stesso settore e utilizzare, per l'attivazione dell'irrigazione, il valore medio delle letture.

Per la determinazione delle soglie di irrigazione occorre:

1. scegliere una serie di vasi;
2. inserire all'interno dei vasi campione il tensiometro e l'irrigatore come descritto sopra;
3. irrigare i vasi fino alla capacità di campo;
4. aspettare qualche minuto in modo che i valori dei tensiometri si stabilizzino e annotarli;
5. valutare, sulla base dell'esperienza, il momento in cui le piante avrebbero bisogno di essere nuovamente irrigate e quindi leggere i valori dei tensiometri;
6. calcolare la media dei valori letti sia alla capacità di campo che al momento dell'irrigazione; tali valori medi rappresentano la soglia inferiore e superiore da utilizzare per l'attivazione e la disattivazione e dell'irrigazione.

Questa procedura presuppone la disponibilità di più tensiometri. Nel caso che si abbia a disposizione un solo tensiometro, questo potrà essere spostato da un vaso all'altro facendo sempre attenzione ad assicurare una buona aderenza del terreno al setto poroso e la stessa posizione rispetto al gocciolatore.

Per evitare eventi irrigui contemporanei in più settori, nei vivai vengono comunemente fissate le fasce orarie in cui attivare l'irrigazione al raggiungimento del valore soglia impostato. Tuttavia questa pratica comporta il rischio che il valore soglia non venga raggiunto in una certa fascia oraria e che pertanto l'irrigazione non venga eseguita fino a quella successiva; di conseguenza si possono instaurare lievi condizioni di stress. È consigliabile impostare la sola soglia di attivazione dell'irrigazione e distribuire la quantità d'acqua prevista per l'intervento irriguo senza usare, per interrompere l'irrigazione, la soglia di disattivazione; infatti, nel caso in cui l'acqua trovi canali preferenziali, che la conducono verso il setto poroso del tensiometro, la disattivazione dell'irrigazione potrebbe essere anticipata provocando un ridotto rifornimento d'acqua alle piante.

Sistemi basati sul calcolo dell'evapotraspirazione

L'evapotraspirazione (*ET*) esprime i millimetri d'acqua persi dal sistema suolo-pianta in seguito all'evaporazione e alla traspirazione ed è strettamente legata alla temperatura, all'umidità dell'aria, alla radiazione solare e al vento. Essa dipende naturalmente anche dalla superficie fogliare, poiché

maggiore è la superficie fogliare maggiore è la quantità di acqua persa per traspirazione. Normalmente la superficie fogliare è espressa per unità di superficie coltivata come *LAI* (*Leaf Area Index*).

Si definiscono un'evapotraspirazione potenziale (*ETP* o ET_p), che esprime la quantità di acqua evapotraspirata da una coltura di riferimento e che può essere calcolata a partire dai dati meteorologici, e una reale (*ETE*) che rappresenta la quantità d'acqua effettivamente persa da quella specie in quell'intervallo di tempo. Questo parametro, rispecchiando i reali consumi della pianta, risulta quindi adatto a essere utilizzato per la gestione dell'irrigazione.

Allo stato attuale non esistono negli impianti commerciali dispositivi costituiti da sensori per il rilevamento delle variabili meteorologiche e dal software di elaborazione dati e attivazione dell'irrigazione, se si escludono quei sistemi sviluppati per la gestione dell'irrigazione del verde pubblico o per ampie superfici, o quelli finora utilizzati in campo sperimentale.

Nel caso di coltivazioni di pieno campo, la stima dell'*ETE* permetterebbe di definire il momento nel quale irrigare e la quantità d'acqua da distribuire. Nel caso di colture in vaso, la stima dell'*ETE* potrebbe essere utilizzata per decidere il momento in cui irrigare, mentre la dose d'acqua da fornire con ogni intervento dovrebbe essere decisa a priori secondo le procedure precedentemente illustrate.

L'irrigazione, infatti, potrebbe essere attivata tutte le volte che viene raggiunto un valore cumulato di acqua realmente persa dalle piante (*ETE*). Tale valore dovrebbe essere deciso a priori in funzione delle esigenze delle piante.

L'*ETE* può essere misurata oppure stimata.

Nel primo caso, la misura richiede la disponibilità di un sistema di pesata. Sarebbe, cioè, necessario che un campione di vasi fosse posto su di una bilancia elettronica, connessa a un sistema di acquisizione dei dati in grado di attivare l'irrigazione una volta raggiunto il valore soglia di *ETE* impostato. Allo stato attuale, ad esempio per colture idroponiche, in commercio esistono dei sistemi che eseguono la misurazione del peso di un contenitore con una o più piante e regolano di conseguenza in modo automatico la frequenza degli interventi irrigui. Nel caso di un ciclo chiuso, la stima dell'*ETE* potrebbe essere fatta semplicemente ponendo un contalitri a monte (misura della quantità d'acqua distribuita) e a valle (misura della quantità d'acqua lisciviata) del settore coltivato; la differenza tra i due volumi misurati rappresenta la quantità di acqua evapotraspirata, da reintegrare con la successiva irrigazione.

Tab. 4 - Formule per il calcolo dei fattori dell'equazione CIMIS Penman

Grandezza calcolata	Formula	Unità di misura
Radiazione netta	$Rn = (0,6252 \cdot (Rg) - 130794) / 1000000$	mm equivalenti di acqua evaporata (equazione calcolata dall'elaborazione di un set di dati)
Fattore adimensionale	$W = \lambda / (\lambda + \gamma)$	
Coefficiente psicrometrico	$\gamma = 0,066$	kPa °C
Pendenza della curva di variazione della pressione di vapor saturo in funzione di Ta	$\lambda = es \cdot (597,4 - 0,571 \cdot Ta) / (0,1103 \cdot (Ta + 273,16)^2)$	kPa /°C
Pressione di vapor saturo	$es = 0,6108^{(17,269 \cdot Ta / Ta + 237,30)}$	kPa
Pressione di vapore effettiva	$ea = es \cdot (RH/100)$	kPa
Deficit di pressione di vapore	$VPD = es - ea$	kPa
Coefficiente calcolato in funzione del vento	$FU = 0,03 + 0,0576 \cdot u$	m s ⁻¹
Temperatura dell'aria	Ta	°C
Umidità relativa dell'aria	RH	%
Radiazione globale	Rg	J m ⁻² h ⁻¹

Per la stima dell'*ETE* esistono diverse equazioni empiriche a seconda dell'ambiente di coltivazione (serra o pien'aria), dell'intervallo di tempo (orario, giornaliero, decadale, mensile) e delle grandezze misurate (meteorologiche e non). In ogni caso l'applicazione di queste equazioni richiede sempre la disponibilità di sensori per la misura di grandezze meteorologiche e la conoscenza, per la specie coltivata, dei valori di superficie fogliare, espressi o come *LAI* o come coefficiente colturale (*Kc*). Si riportano di seguito due metodi di stima dell'*ETE*, il primo valido per coltivazioni in serra e il secondo per coltivazioni in pien'aria.

La stima dell'*ETE* nelle coltivazioni in serra è sicuramente più facile. Poiché le variabili climatiche della temperatura, umidità relativa e radiazione solare, che controllano l'*ETE*, sono strettamente correlate tra loro (almeno in serra), si può applicare un semplice modello matematico che prende in considerazione soltanto la radiazione globale penetrata all'interno della serra stessa.

Sperimentalmente, si è visto che circa il 70% dell'energia radiante che penetra nella serra coltivata è trasformata in calore latente (vapor d'acqua). La seguente equazione consente la stima di *ETE* (mm):

$$ETE = a \cdot LAI \cdot (R_{est} \cdot K_t) / \lambda \quad Eq. 3$$

dove R_{est} è la radiazione globale esterna (MJ/m²), K_t è il coefficiente di trasmissione della serra (variabile tra 0,55 e 0,65 in funzione del grado di trasparenza del materiale di copertura della serra), a è un coefficiente empirico (variabile tra 0,25 e 0,35) e λ è il calore latente di vaporizzazione (2,5

MJ/kg H₂O). *LAI* (*Leaf Area Index*) varia da 0 (terreno nudo) a 3,5-4,0. Per quanto riguarda il K_t occorre, eventualmente, tener conto anche dell'ulteriore riduzione della trasmissione luminosa della serra a opera dell'ombreggiamento, della sporcizia o della tinteggiatura.

Nelle colture di piena aria, la stima dell'*ETE* può essere ottenuta a partire dalla conoscenza dell'*ETP* e del coefficiente colturale *Kc* mediante l'applicazione della seguente equazione:

$$ETE = ETP \cdot Kc \quad Eq. 4$$

Kc è legato alla specie e varia con la crescita della pianta. Questo coefficiente è conosciuto per tutte le colture agrarie (per le quali varia da 0 a 1-1,2) mentre per la maggior parte delle specie ornamentali comunemente coltivate in vivaio è ancora sconosciuto o in via di determinazione.

Per utilizzare i valori di *ETE* per l'attivazione dell'irrigazione è necessario che essa sia calcolata su base oraria e, conseguentemente, è necessario che sia calcolata su base oraria l'*ETP*. Questo richiede la conoscenza dei valori di temperatura, umidità, radiazione netta e velocità del vento che necessitano, per la loro misura, di una strumentazione abbastanza costosa. L'equazione da usare è quella di CIMIS-Penman (Snyder e Pruitt, 1985):

$$ETP = (W \cdot Rn) + [(1 - w) \cdot VPD \cdot FU] \quad Eq. 5$$

In tab. 4 sono riportate le formule di calcolo dei fattori dell'equazione. Tali formule sono state implementate anche su un foglio Excel (CIMIS-ETE) disponibile nel CD allegato.

Bibliografia

1. BACCI L., BATTISTA P., RAPI B., SABATINI F., CHECCACCI E. (2003). *Irrigation control of container crops by means of tensiometers*. Acta Horticulturae 609, 467-474.
2. BACCI L., BATTISTA P., CHECCACCI E., SABATINI F. (2004). *Irrigazione a timer e irrigazione gestita da tensiometro: due tesi a confronto nell'impianto pilota del CeSpeVi*. Notiziario Ce.Spe.Vi. 137.
3. BURGER D.W., PAUL J.L. (1987). *Soil moisture measurements in containers with solid-state, electronic tensiometers*. HortScience 22(2), 309-310.
4. FYNN R.P., HOITINK H.A.J., MCMAHON R.W. (1992). *Use of soil tensiometers for irrigation control on ebb and flood benches*. [Unpublished research].
5. GILLET J. (2000). *Tensiometers need periodic maintenance*. www.agric.nsw.govediau
6. HANSEN R.C., SHORT T.H., PASIAN R., FYNN P. (1996). *Precision control of microirrigation for container grown mini roses*. Annual Reports and Research Reviews, the Ohio State University.
7. HENSLEY D., DEPUTY J. (1999). *Using tensiometers for Measuring Soil Water and Scheduling Irrigation*. www.ctahr.hawaii.edu
8. KRUGER E., SCHMIDT G., BRUCKNER U. (1999). *Scheduling strawberry irrigation based upon tensiometer measurement and a climatic water balance model*. Scientia Horticulturae 81, 409-424.
9. KEHOE E., MAHER M.J., HUNTER A. (2000). *The use of digital tensiometer to control the irrigation of containerized nursery stock*. Project 4460, Teagasc Kinsealy Reserch Center, Dublin, 1-18.
10. LIETH J.H., BURGER D.W. (1989). *Growth of Chrysanthemum using and irrigation system controlled by soil moisture tension*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114 (3), 387-392.
11. LIETH J.H. (1991). *Tensiometer-base irrigation of potted plants*. <http://envhort.ucdavis.edu/jhl/tens/potirg.htm>
12. LIETH J.H. (1998). *Using tensiometers to make irrigation decisions in greenhouse production*. <http://lieth.ucdavis.edu/Research/tens>
13. MAHBUD A., ROGERS D.H. (2001). *Scheduling irrigation by electrical resistance blocks*. Kansas State University Agricultural Experiment Station And Cooperative Extension Service, Kansas.
14. NEWMANN J.P., LIETH J.H., FABER B. (1991). *Evaluation of an irrigation system controlled by soil moisture tension for container-grown plants*. Flower e Nursery Report. University of California.
15. OKI L.R., LIETH J.H., TJSVOLD S. (1996). *Tensiometer-based irrigation of cut-flower roses*. 1995 Project Report to the California Cut-flower Commission.
16. POGUE W.R., KLINE J.L. (1995). *Watermark moisture sensors - use with ET based scheduling models*. Proceedings of the Fifth International Microirrigation Congress, Orlando, FL. April 2-6, 969-974.
17. RIVIÈRE L.M., SINTÈS G., MADIOT S. (1995). *Pilotege tensiométrique de l'irrigation des cultures en conteneurs sur substrats organiques*. Étude et gestion des sols 2, 135-144.
18. SNYDER R., PRUITT W. (1985). *Estimating reference evapotranspiration with hourly data*. California Irrigation Management Information System Final Report. Vol. 1. Land, Air and Water Resources Paper #10013-A. Univ. of California-Davis. Chpt. VII.
19. TILT K. (2000). *Small Steps to improving your irrigation system, reducing labor and increasing your bottom line*. Newsletter: Something to grow on in American Nurseryman.
20. TJSVOLD S.A., SCHULBACH K.F. (1991). *How to reduce water use and maximize yields in greenhouse roses*. California Agriculture, 31-32.
21. VAN DER GULIK T. (1997). *Irrigation scheduling techniques*. Water Conservation Factsheet, British Columbia Ministry of Agriculture and Food.
22. ZAZUETA F.S. (1993). *New technologies in the management of microirrigation systems*. Acta Horticulturae 335, 305-312.

14. Nutrizione minerale delle piante e fertilizzanti

Paolo Baroncelli, Stefano Landi

Introduzione

La gamma dei fertilizzanti disponibili sul mercato è estremamente ampia in termini di tipologie e di costi, e orientarsi nella scelta dei prodotti più opportuni non è facile. Del resto si tratta di scelte che hanno ripercussioni importanti sull'azienda sia da un punto di vista tecnico sia da un punto di vista economico. In questo capitolo intendiamo affrontare i principali temi che possono aiutare in questo processo. Ciascuno dei paragrafi che segue affronta gli argomenti in modo estremamente sintetico: l'obiettivo non è una trattazione completa, ma fornire gli strumenti essenziali per scegliere in modo razionale il prodotto più opportuno nella specifica situazione. Per una trattazione più esauritiva si invita il lettore a consultare il Quaderno ARSIA 2/2004 dedicato appunto all'impiego dei fertilizzanti nel florovivaismo.

Gli elementi nutritivi

Gli elementi nutritivi che in genere vengono apportati con la concimazione sono 12 (*tab. 1*); in effetti ci sono altri elementi indispensabili che le piante assorbono attraverso le radici, come ad esempio il sodio, il cloro e il nichel, ma la loro naturale presenza nell'ambiente è in genere superiore alle necessità dei vegetali, tanto che per sodio e cloro si verificano spesso problemi di eccesso. Secondo la quantità necessaria per la vita delle piante, i nutrienti vengono convenzionalmente suddivisi in *macroelementi* (assorbiti in maggiore quantità) e *microelementi* (assorbiti in minore quantità), tutti comunque essenziali.

In termini generali possiamo dire che la caren-

za di uno o più di questi elementi comporta sintomatologie di vario tipo e gravità; all'opposto, la presenza in concentrazione eccessiva, sempre da evitare per ragioni ambientali ed economiche, produce manifestazioni di tossicità solo se si tratta di microelementi. Talvolta si osservano anche effetti negativi derivanti da un'elevata concentrazione di macroelementi che sono, però, in genere dovuti alla eccessiva salinità che si viene a creare nell'ambiente radicale e all'azione antagonista che alcuni nutrienti esercitano nei riguardi dell'assorbimento di altri elementi (*tab. 2*).

È opportuno ricordare che le manifestazioni di carenza ed eccesso spesso sono originate da condizioni anomale di pH, soprattutto nel caso dei microelementi (*tab. 3*).

Tab. 1 - Macro- e microelementi

<i>Macroelementi</i>	<i>Simbolo (ione)</i>	<i>Peso atomico</i>
Azoto	N (NO_3^- , NH_4^+)	14,0
Fosforo	P (H_2PO_4^-)	31,0
Potassio	K (K^+)	39,1
Calcio	Ca (Ca^{2+})	40,1
Magnesio	Mg (Mg^{2+})	24,3
Zolfo	S (SO_4^{2-})	32,0
<i>Microelementi</i>	<i>Simbolo (ione)</i>	<i>Peso atomico</i>
Ferro	Fe (Fe^{2+})	55,8
Manganese	Mn (Mn^{2+})	54,9
Rame	Cu (Cu^{2+})	63,5
Zinco	Zn (Zn^{2+})	65,4
Boro	B (H_2BO_3^- , HBO_3^{2-})	10,8
Molibdeno	Mo (MoO_4^{2-})	95,9

Tab. 2 - Relazione tra pH e disponibilità degli elementi nutritivi nel mezzo di crescita		
	pH inferiore a 5,0-5,5	pH superiore a 6,7-7,0
RISCHI DI TOSSICITÀ	Microelementi (Fe, B, Cu, Zn) N-ammoniacale Na	Ca N-ammoniacale
RISCHI DI CARENZA	Ca Mg P K S Mo	Microelementi (Fe, Mn, B, Cu, Zn) P Mg

Tab. 3 - Possibili fenomeni di antagonismo nutritivo*
Concentrazione alta dell'elemento X → deficienza dell'elemento Y
N-ammonio → Ca
K → N, Ca, Mg
P → Fe, Zn, Cu
Ca → Mg, B
Mg → Ca, K
Na → K, Mg, Ca
Cl → N (NO ₃)
Mn → Fe
Zn → Mn, Fe
Cu → Mn, Fe, Mo

* In genere, i fenomeni di antagonismo vedono coinvolti ioni con la stessa carica elettrica (ad esempio, il Ca²⁺ è antagonista del Mg²⁺).

Cenni sulla normativa dei fertilizzanti

Un sintetico esame della normativa è necessario per comprendere correttamente le informazioni contenute nell'etichetta. La legislazione sui fertilizzanti è piuttosto complessa: la legge di riferimento nazionale è la n. 748 del 19 ottobre 1984 che è stata però ripetutamente modificata e integrata con oltre venti provvedimenti. La legge suddivide i fertilizzanti in tre grandi gruppi: *ammendanti*, *correttivi* e *concimi* (tab. 4); questi ultimi sono suddivisi ulteriormente in concimi nazionali (minerali o organici) e concimi CE (solo minerali).

Recentemente (11 dicembre 2003) è entrato in vigore il Regolamento CE 2003/2003 che interviene, ovviamente nel solo ambito dei concimi CE, introducendo novità significative, tra le quali ricordiamo:

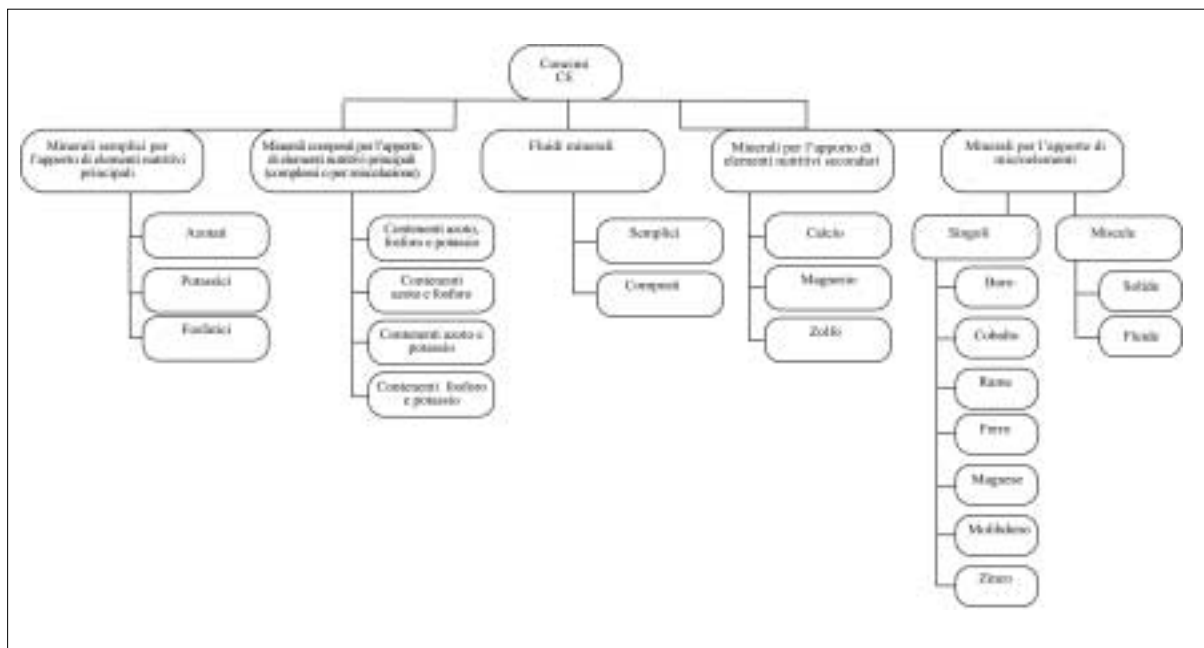


Fig. 1 - La classificazione dei concimi CE

Tab. 4 - Glossario dei termini usati nella recente normativa sui fertilizzanti

Termine	Definizione	Note
Fertilizzante	Sostanza che contribuisce al miglioramento della fertilità del terreno o al nutrimento delle specie vegetali.	Sono quindi compresi ammendanti, correttivi e concimi minerali e organici.
Concime	Sostanza la cui funzione principale è fornire elementi nutritivi alle piante.	
Concime minerale	Concime nel quale gli elementi nutritivi dichiarati sono presenti sotto forma di composti minerali ottenuti mediante estrazione o processi fisici e/o chimici industriali.	
Ammendante e correttivo	Qualsiasi sostanza, naturale o sintetica, minerale o organica, capace di migliorare le proprietà e le caratteristiche chimiche, fisiche, biologiche e meccaniche di un terreno.	Tra i correttivi sono inseriti i prodotti che modificano il pH del suolo (calce idrata, dolomite, zolfo); tra gli ammendanti quei prodotti che "migliorano" il suolo in senso più generale, ad esempio il letame (che quindi non è un concime) e la torba.
Elementi nutritivi principali	Azoto, fosforo, potassio	
Elementi nutritivi secondari	Calcio, magnesio, sodio e zolfo	
Microelementi	Boro, cobalto, rame, ferro, manganese, molibdeno, zinco	
Concime semplice	Concime per il quale sia dichiarabile il titolo di un solo elemento nutritivo principale.	
Concime composto	Concime per il quale siano dichiarabili i titoli di almeno due elementi nutritivi principali e che è stato ottenuto per via chimica o per miscelazione ovvero mediante una combinazione di questi due metodi.	
Concime complesso	Concime composto, ottenuto per reazione chimica, per soluzione o allo stato solido per granulazione, per il quale sia dichiarabile il titolo di almeno due degli elementi nutritivi principali. Per i concimi di questo tipo allo stato solido ogni granello contiene tutti gli elementi nutritivi nella loro composizione dichiarata.	
Concime ottenuto da miscelazione	Concime composto ottenuto per miscelazione a secco, senza che si producano reazioni chimiche. Ogni granello non contiene gli elementi nutritivi nella composizione dichiarata.	
Titolo dichiarato	Titolo di un elemento o di un suo ossido che a norma della legislazione comunitaria è indicato su un'etichetta o su un documento di accompagnamento di un concime CE.	
Tolleranza	La deviazione consentita del valore misurato del titolo di un elemento nutritivo dal suo valore dichiarato.	

1. il ripristino della distinzione tra concimi "complessi" e "miscele", rendendone obbligatoria la dichiarazione se si tratta di miscele;
2. l'obbligo di indicare il nome e l'indirizzo del fabbricante sull'etichetta;
3. la regolamentazione della "tracciabilità" dei concimi: il fabbricante deve conservare per almeno due anni la documentazione sull'origine dei concimi.

Di seguito viene utilizzata la terminologia (*tab. 4*) e la classificazione (*fig. 1*) contenute nel Regolamento CE 2003/2003 (13 ottobre 2003). In effetti, ci sarà un periodo transitorio perché fino all'11 giugno 2005 è consentito commercializzare concimi secondo le precedenti norme.

Tab. 5 - Concimi minerali di uso comune nella fertirrigazione (dati medi, i titoli possono variare leggermente a seconda del produttore)

Nome prodotto	Formula	Titolo (g di nutriente/100 g di concime)					Reazione ^a	Solubilità ^c (kg/100 litri di acqua)			Classificazione ^d			
		N ureico	NO ₃ -N	NH ₄ -N	P ₂ O ₅ (P) ^b	K ₂ O (K) ^b		Ca	Mg	S		0°C	20°C	100°C
Fosfato														
bi ammonico	(NH ₄) ₂ HPO ₄			18	48 (21)		AC	43	66	200				concime NP
Fosfato mono														
ammonico	NH ₄ H ₂ PO ₄			12	62 (27)		AC	23	27	173				concime NP
Fosfato														
monopotassico	KH ₂ PO ₄				53 (23)	35 (29)	ALC	14	22					concime PK
Nitrato	NH ₄ NO ₃		17				AC	118	190	871				concimi azotati solidi
ammonico 34%														
Nitrato di calcio	Ca(NO ₃) ₂		14	1		19	ALC	102	176	376				concimi azotati solidi
Nitrato di magnesio	Mg(NO ₃) ₂ • 6H ₂ O		11			10	-		72					concimi azotati solidi
Nitrato														
di potassio	KNO ₃		13			46 (38)	-	13	35	247				concimi NK
Solfato														
ammonico	(NH ₄) ₂ SO ₄			21			AC	71	76	104				concimi azotati solidi
Solfato														
di magnesio	MgSO ₄ • 7H ₂ O					9,9	-	26	71					concime minerale per l'apporto di elem. nutritivi secondari
Solfato di potassio	K ₂ SO ₄				50 (41)		-	7	12	24				concimi potassici solidi
Urea	CO(NH ₂) ₂		46				AC		100					concimi azotati solidi

^a Effetto sul pH del substrato: AC: acidificante ALC: alcalinizzante.

^b Fattori di conversione: da P₂O₅ a P, 0,437, da K₂O a K, 0,83.

^c Solubilità riferita alla soluzione di un solo prodotto, non è possibile prevedere con accuratezza il comportamento di soluzioni di più sali.

^d Secondo la legge 748/84 e successive modifiche.

I principali gruppi di concimi utilizzati nel florovivaismo

Le tipologie di concimi utilizzati nel florovivaismo sono numerose; non essendo questa la sede per una trattazione esaustiva ci sembra opportuno fare particolare riferimento ai prodotti utilizzati nella fertirrigazione (concimi idrosolubili e acidi), con l'aggiunta di qualche informazione sui microelementi e sui concimi a lenta cessione; questi ultimi sono più estesamente illustrati nel Capitolo 16.

L'apporto di nutrienti si realizza con concimi semplici o con concimi composti. Va subito chiarito che nell'uso corrente questi termini hanno un significato diverso da quello utilizzato nella normativa (*tab. 4*). Comunemente per concime semplice si intende un concime costituito da un singolo sale (ad esempio, il nitrato di calcio o il nitrato di potassio), mentre per la legislazione il concime semplice è quello che contiene un solo macroelemento, nel caso ne contenga due o più si parla di concime composto; quindi il nitrato di calcio è legalmente un concime semplice, il nitrato di potassio invece un concime composto (contiene azoto e potassio). Per semplicità useremo, di seguito, i termini semplice e composto nella comune accezione.

Concimi composti

Questo è il gruppo di concimi minerali nel quale esiste la gamma maggiore, anche in termini di prezzo. Per giustificare le differenze di prezzo, che spesso non sono evidenti dall'esame dell'etichetta, le industrie pubblicizzano caratteristiche di vario tipo. Si consideri, comunque, che gli aspetti che debbono essere effettivamente considerati in fase di scelta tra diversi prodotti sono:

- il titolo;
- la solubilità (verificare la presenza di residui insolubili);
- le forme di azoto presenti (nel caso di coltivazione fuori suolo elevate concentrazioni di azoto ammoniacale possono essere tossiche ed è bene evitare l'azoto ureico);
- la presenza della dicitura "con basso titolo in cloro";
- l'eventuale presenza di sodio (in genere non ne contengono), per la quale la legge non prevede diciture;
- il tipo: può essere un sale semplice oppure un prodotto ottenuto dalla miscela di più sali semplici o un vero complesso, ottenuto nel caso degli idrosolubili da un concime liquido con un

particolare procedimento di cristallizzazione (*spray-dry*). Questi ultimi sono molto costosi e in genere si usano solo per la concimazione fogliare. Nel caso di concimi per applicazioni al terreno, una miscela potrebbe creare problemi di uniformità di distribuzione.

Alcuni concimi complessi contengono tutti i nutrienti (macro- e micro-) necessari alla pianta, ad eccezione del calcio, che per i noti problemi di insolubilità con i fosfati e i solfati, non viene mai inserito nei complessi contenenti gli elementi fosforo e zolfo.

Concimi semplici

Rappresentano una valida alternativa, dal punto di vista economico e tecnico, ai concimi composti, ma richiedono un uso più oculato e sono in qualche modo più "scomodi" per la necessità di utilizzare più prodotti contemporaneamente. I più importanti sono riportati nella *tab. 5*.

Concimi idrosolubili

Nel caso della fertirrigazione, è evidentemente importante che i concimi utilizzati siano (molto) solubili in acqua.

È da notare che i concimi idrosolubili, semplici o composti, non sono in realtà una categoria prevista dalla normativa, la quale solo in alcuni casi consente di indicare semplicemente la solubilità in acqua dei soli nutrienti e non del concime nel suo complesso. Questo significa che, nella pratica, si potrebbero ottenere soluzioni di concime in cui i nutrienti sono completamente solubilizzati, ma che presentano un residuo insolubile (fastidioso per gli impianti) legato alla presenza di sostanze estranee. Generalmente, però, i produttori seri ovviano a questa lacuna normativa indicando la completa solubilità in acqua.

Alcuni concimi semplici (soprattutto il nitrato di potassio, il solfato di magnesio e il solfato di potassio) vengono prodotti dall'industria in una versione specifica per fertirrigazione con un costo superiore a quelli utilizzati per la concimazione del terreno; sono generalmente in forma cristallina anziché granulare, proprio per questo sono più facili da sciogliere. La differenza di costo è, generalmente, giustificata anche da una maggiore purezza (il titolo è però superiore solo di frazioni di punto percentuale) e soprattutto dall'assenza di residui insolubili. Si tenga comunque presente che la solubilità di un sale (e quindi di un concime) non è determinata dalla modalità di preparazione, ma è una caratteristica intrinseca del sale.

I microelementi

I microelementi vengono assorbiti in modesta quantità dalle piante e, diversamente dai macroelementi, possono produrre fenomeni di tossicità anche a concentrazioni relativamente basse; debbono quindi essere utilizzati solo laddove ci sia effettiva necessità.

Anche in questo caso il numero di prodotti presenti sul mercato è elevato e può essere difficile orientarsi. Il problema fondamentale della concimazione con microelementi è che la loro disponibilità per le piante è fortemente condizionata dalle caratteristiche del suolo o del substrato, in particolare dal suo pH (*tab. 2*). Ad eccezione del molibdeno, la disponibilità dei microelementi viene sensibilmente e progressivamente ridotta a pH superiori a 6,5-7,0. Spesso, dunque, si instaurano condizioni di carenza anche in presenza di quantità sufficienti dell'elemento, che però non è disponibile per l'assorbimento a causa del pH elevato. In questi casi un ulteriore apporto non costituisce una

soluzione; si preferisce allora utilizzare microelementi in "forma chelata" nei quali la presenza di un "agente chelante" ne impedisce la insolubilizzazione. Si tratta di prodotti più costosi rispetto a quelli che contengono la forma non chelata e il loro impiego deve essere valutato attentamente in relazione al tipo di coltivazione (suolo o fuori suolo), alle caratteristiche del suolo/substrato, alla specie coltivata ecc.. In termini molto generali, possiamo dire che nella fertirrigazione di colture fuori suolo è consigliabile l'uso del ferro in forma chelata, mentre per gli altri microelementi si può ricorrere alla forma non chelata, se il controllo del pH dell'acqua d'irrigazione/fertirrigazione è adeguato. In vero, la pratica di usare prodotti chelati anche per i microelementi diversi dal ferro è molto diffusa, nonostante il costo elevato; a torto o a ragione, i coltivatori si sentono più sicuri con i chelati!

Microelementi non chelati

Hanno un costo piuttosto contenuto; i prodotti di uso più comune sono riportati in *tab. 6*.

Tab. 6 - Concimi minerali per l'apporto di microelementi non chelati di uso frequente

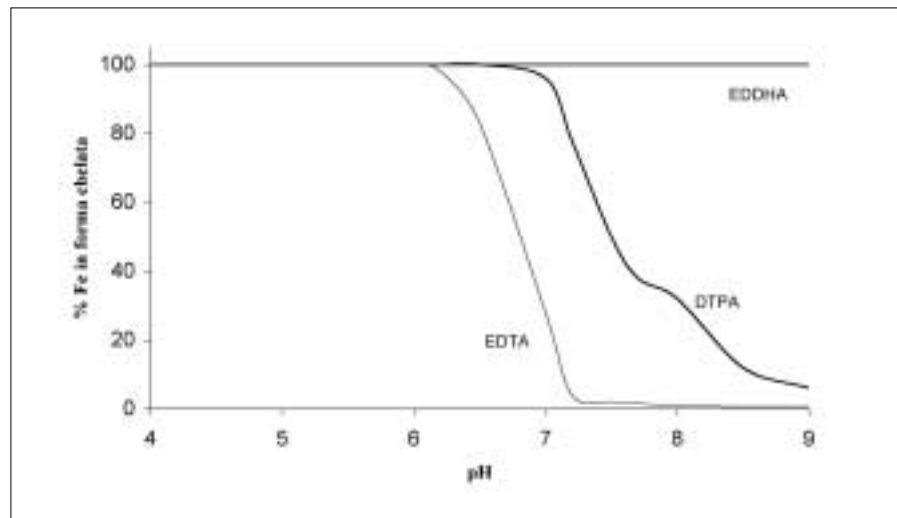
Nome prodotto	Formula e caratteristiche	Titolo (g di nutriente/100 g di concime)							Solubilità (kg/100 litri di acqua)			
		S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo	0°C	20°C	100°C	
Acido borico	H ₃ BO ₃							17		5	6	25
Borace	Na ₂ B ₄ O ₇ •10H ₂ O							11		1	6	167
Molibdato ammonico	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ •4H ₂ O								54			43
Molibdato di sodio	Na ₂ MoO ₄ •2H ₃ O								40	56	59	115
Solfato di ferro	FeSO ₄ •7H ₂ O eptaidrato	12	20							16	49 (50°C)	
Solfato di manganese	MnSO ₄ •H ₂ O monoidrato	19		32						105	110	167
Solfato di rame	CuSO ₄ •5H ₂ O pentaidrato	13			25					22	30	117
Solfato di rame	CuSO ₄ •H ₂ O monoidrato	18			36							
Solfato di zinco	ZnSO ₄ •7H ₂ O eptaidrato	11				23				75	167	
Solfato di zinco	ZnSO ₄ •H ₂ O monoidrato	18				37					30	

Tab. 7 - Stabilità dei chelati di vari agenti chelanti con diversi microelementi *

Agente chelante	Fe	Mn	Cu	Zn
EDTA	77	43	57	49
DTPA	83	49	66	57
EDDHA	100	non forma chelati stabili		51

* Fonte: Reed, 1996 (rielaborato). Viene attribuito valore 100 al Fe-EDDHA. Da notare che boro e molibdeno non formano chelati.

Fig. 2 - Stabilità di diversi chelati di ferro in relazione al pH del suolo (Reed, 1996)



Microelementi chelati

A questo gruppo appartengono numerosissimi prodotti commerciali che differiscono per due aspetti fondamentali: il titolo (possono contenere uno o più elementi) e il tipo di agente chelante. La normativa prevede diversi chelanti, ma i più diffusi sono EDDHA, DTPA e EDTA. Hanno un costo sensibilmente diverso e sono caratterizzati da una diversa affinità per i vari elementi (*tab. 7*) e soprattutto da una diversa stabilità a pH elevati (*fig. 2*). L'incidenza economica della scelta è piuttosto importante (vedi *Inserto*).

EDDHA

È stabile anche a pH superiori ad 8,0 ed è il chelante più costoso, molto usato nei preparati a base di ferro. È importante sapere che non tutti i prodotti contenenti EDDHA hanno le stesse caratteristiche (questo talvolta spiega la differenza di prezzo). Infatti, l'EDDHA esiste in forme (isomeri) diverse che in genere sono contemporaneamente presenti nello stesso prodotto commerciale; gli isomeri più attivi sono l'orto-orto (o-o-EDDHA) e l'orto-para (o-p-EDDHA) e il loro contenuto è un importante criterio per valutare la qualità del prodotto. Secondo le nuove norme (come detto, obbligatorie dal giugno 2005) la percentuale dei diversi isomeri dovrà essere riportata in etichetta.

DTPA

Meno costoso rispetto all'EDDHA non è però stabile a pH superiori a 7,0; molto utilizzato nei chelati di ferro, si impiega soprattutto in coltivazioni fuori suolo per piante non particolarmente sensibili alla carenza di ferro.

EDTA

Il campo di stabilità in relazione al pH è ancora minore, il costo contenuto. È molto utilizzato per i prodotti destinati a trattamenti fogliari perché viene facilmente assorbito dalle foglie. L'EDTA spesso si ritrova anche in prodotti a base di microelementi per uso radicale.

I concimi a lenta cessione

La concimazione, soprattutto quella azotata, dovrebbe essere quanto più frazionata possibile per evitare pericolosi aumenti della salinità e il dilavamento dei nutrienti in conseguenza delle piogge. Una possibile strategia, talvolta alternativa, altre volte complementare alla fertirrigazione, è quella dell'uso dei concimi a lenta cessione che liberano i nutrienti in modo graduale. Nel settore florovivaiistico se ne fa grande uso nella coltivazione di piante ornamentali in vaso, molto scarso invece nel settore del fiore reciso. Poiché l'argomento verrà approfondito nel Capitolo 18, ci limitiamo a una superficiale descrizione delle tre principali tipologie di concimi a lenta cessione: i concimi incapsulati, i derivati dell'urea, i concimi ammoniacali con inibitori della nitrificazione.

Nel primo caso si tratta di normali concimi idrosolubili ricoperti con una pellicola di materiale sintetico che permette un rilascio graduale dei nutrienti; vengono usualmente dichiarati in etichetta i tempi entro i quali avviene il rilascio, ma è importante sapere che questi tempi sono riferiti a una specifica temperatura (in genere prossima a 20°C) e che per temperature superiori la velocità di cessione aumenta sensibilmente.



Prese per il rifornimento delle soluzioni stock portate in aziende da autobotti. La foto è stata scattata in una grande azienda produttrice di rose fuori solo in Olanda, dove è molto diffuso questo sistema di approvvigionamento dei fertilizzanti

I derivati dell'urea sono composti organici azotati che non sono solubili e quindi non sono assorbiti dalle piante, ma vengono gradualmente degradati liberando forme di azoto utilizzabili dalle piante. I più diffusi sono l'isobutilendiurea (IBDU o ISODUR), l'urea formaldeide (UF) e la crotonilendiurea (CDU, Crotodur®). Anche in questo caso la velocità di degradazione è in relazione con la temperatura. Diversamente dai concimi incapsulati, in questo caso solo l'azoto viene liberato lentamente, gli altri elementi -se presenti- sono immediatamente disponibili.

I concimi ammoniacali contenenti gli inibitori della nitrificazione sfruttano la scarsa dilavabilità dell'azoto ammoniacale il cui processo di nitrificazione viene rallentato tramite l'aggiunta di specifici inibitori (ad esempio, il DMPP). Sono utilizzati perlopiù in coltivazioni di pieno campo.

I vantaggi e gli svantaggi di questo gruppo di concimi possono essere così riassunti:

- possono essere utilizzati con impianti irrigui sia

“a goccia” sia “a pioggia” senza dispersione di nutrienti;

- l'uniformità di distribuzione non è legata alla uniformità dell'impianto irriguo;
- possono essere utilizzati, in colture di pien'aria, anche in periodi in cui non si effettuano irrigazioni;
- il costo è sensibilmente superiore ai concimi tradizionali;
- il rilascio dei nutrienti è legato alla temperatura del substrato: temperature elevate possono condurre a pericolosi incrementi della salinità.

Gli acidi

La necessità di aggiustare il pH dell'acqua di irrigazione o di fertirrigazione ha diffuso l'uso degli acidi (nitrico, fosforico e solforico) nella fertirrigazione. Oltre a consentire un aggiustamento del pH rappresentano una fonte di nutrienti (tab. 8) senza aumentare la conducibilità elettrica (EC) della

Tab. 8 - Acidi di uso comune nella fertirrigazione

Nome prodotto	Formula	Densità (kg/L; °Bé)	Contenuto di nutrienti (g di nutriente/100 mL di acido)			Classificazione ^a
			NO ₃ -N	P ₂ O ₅	S	
Acido fosforico 75%	H ₃ PO ₄	d = 1,58 53°Bé		85		concime fosfatico fluido ^b
Acido fosforico 85%	H ₃ PO ₄	d = 1,73 61°Bé		105		concime fosfatico fluido ^b
Acido nitrico 67%	HNO ₃	d = 1,41 42°Bé	21			non previsto
Acido nitrico 53%	HNO ₃	d = 1,33 36°Bé	16			non previsto
Acido solforico 94%	H ₂ SO ₄	d = 1,83 66°Bé			56	non previsto

^a Secondo la legge 748/84 e successive modifiche.

^b Presente solo nella normativa nazionale.

soluzione nutritiva (vedi Capitolo 10), il loro utilizzo è quindi di estremo interesse. Si tratta di composti che possono provocare gravi ustioni e debbono quindi essere stoccati e manipolati con estrema attenzione, utilizzando i relativi dispositivi di protezione. Inoltre, esiste il rischio di immettere una quantità eccessiva di acido nella soluzione nutritiva con possibili danni alla coltivazione; il rischio, però, è molto basso se si opera un costante monitoraggio del pH della soluzione nutritiva e/o si usa un impianto di acidificazione automatica ben realizzato.

Bibliografia

1. MIELE S. (1996). *Nutrizione e ruolo dei microelementi*. L'Informatore Agrario 10, 43-46.
2. PERELLI M. (2002). *Norme per la disciplina dei fertilizzanti*. 6° ed. - ARVAN Mira Venezia.
3. BARONCELLI P., LANDI S., MARZIALETTI P., SCAVO N. (2004). *Uso razionale delle risorse nel florovivaismo: i fertilizzanti*. Quaderno ARSIA 2/2004, Firenze.
4. REED D.Wm. (1996). *Water, media and nutrition for greenhouse crops*. Ball Publishing. Batavia, Illinois, USA.

INSERTO - Il costo della fertirrigazione

Un aspetto importante nella gestione della concimazione è ovviamente il suo costo; con il software per i calcoli relativi alla formulazione delle soluzioni nutritive SOL-NUTRI (contenuto nel CD allegato a questo *Quaderno*) è possibile ottenere rapidamente questo dato per la soluzione elaborata.

Fornire informazioni di carattere generale è piuttosto difficile: anche riferendosi al solo campo della fertirrigazione la gamma dei concimi è estremamente ampia ed altrettanto numerosi possono essere i criteri con cui la concimazione viene gestita.

Per poter confrontare scelte diverse ipotizziamo il caso di una soluzione nutritiva tipica prodotta con acqua senza nutrienti in quantità apprezzabile e con la seguente composizione:

- 150 mg/L di N
- 40 mg/L di P
- 200 mg/L di K
- 120 mg/L di Ca
- 25 mg/L di Mg

<i>Intervento</i>	<i>Prodotti utilizzati</i>	<i>Costo euro/1000 L (con IVA)</i>	<i>Note</i>
Apporto macroelementi	Concimi semplici	0,50 - 0,60	• Con o senza uso di acidi
Apporto macroelementi	Concimi composti	1,00 - 2,00	• In questo caso non si apporta il Ca • Molti di questi prodotti contengono anche microelementi (ma non Fe quantità sufficiente)
Apporto di 1 mg/L di ferro	Chelati EDDHA	0,15 - 0,30	• In genere si utilizzano 1-2 mg/L di ferro • L'uso di chelati alternativi (ad esempio, DTPA) comporta sensibili risparmi
Apporto di microelementi	Chelati EDTA	0,20 - 0,40	
Apporto di microelementi	Composti non chelati	0,05 - 0,10	

15. I concimi a lento effetto per le colture vivaistiche

Francesco Paolo Nicese, Francesco Ferrini

Introduzione

È noto che i rapporti acqua-suolo-pianta, con i cicli della sostanza organica, dell'energia e degli elementi minerali rappresentano il cardine dell'esistenza (e della crescita) delle piante negli ecosistemi naturali così come negli agroecosistemi (Perelli e Pimpini, 2003). Questo è tanto più vero nel moderno vivaismo, nel quale si realizza un tipo particolare di agroecosistema con un'intensità di coltivazione spesso elevatissima e un notevole sfruttamento di risorse, che richiama un'attività di tipo industriale piuttosto che agraria. Si pensi al sistema-contenitore, frutto della stretta integrazione tra substrato, irrigazione, nutrizione, che è progettato per spingere la crescita delle piante al massimo e ridurre, di conseguenza, i tempi di produzione (Bilderback, 2001; Cabrera, 2003).

Nelle sue espressioni iniziali l'allevamento in vivaio era effettuato esclusivamente in piena terra e quindi le pratiche di fertilizzazione erano molto simili a quelle di un'agricoltura di pieno campo; di fatto, avendo il terreno agricolo una buona disponibilità organica e inorganica, la fertilizzazione non rappresentava in genere un fattore limitante la crescita.

A partire dagli anni settanta del Novecento, invece, si assiste (non solo in Italia) a una progressiva intensificazione delle coltivazioni e, in particolare, all'introduzione dell'allevamento in contenitore (Vezzosi, 1995), basato sull'impiego di substrati colturali "artificiali", costituiti in larga parte da materiali inerti (perlite, pomice, vermiculite, sabbia) e per la parte rimanente da materiali organici (in genere torba). I motivi di questo cambiamento risiedono essenzialmente nell'esigenza, molto sentita, di rendere più efficienti i cicli pro-

duktivati, di standardizzare i prodotti vivaistici attraverso uniformi e riproducibili condizioni colturali e di disporre di materiale vendibile tutto l'anno.

L'uso di questi nuovi materiali, vantaggiosi anche per le operazioni di spostamento e trasporto grazie al loro basso peso specifico, ha determinato una trasformazione profonda delle caratteristiche fisico-chimiche del substrato, ormai quasi ridotto a solo supporto fisico per la pianta, essendo dotato di una ridottissima disponibilità di nutrienti inorganici. La fertilizzazione ha assunto pertanto un ruolo centrale nelle pratiche di vivaio, poiché rappresenta, con l'irrigazione, il principale mezzo per ottenere una produzione di qualità.

Obiettivi e problematiche della fertilizzazione in vivaio

Gli effetti benefici della somministrazione di elementi minerali e di sostanza organica (ad esempio, ceneri, letame) ai suoli per incrementare la crescita delle piante sono noti da più di 2000 anni, ma fu solo con l'opera di von Liebig, meno di 200 anni fa, che fu superata la controversia scientifica sulla funzione nutritiva per le piante degli elementi minerali (Marschner, 1985).

La disponibilità di nutrienti nel sistema suolo-pianta è la risultante di interazioni complesse tra radici, microrganismi del suolo e reazioni chimiche; la maggior parte delle trasformazioni che i nutrienti subiscono nel suolo sono legate alla loro concentrazione. Ciò vuol dire, in sostanza, che livelli di fertilizzanti superiori alla capacità di assimilazione delle piante (Nissen, 1986) probabilmente attiveranno meccanismi di diminuzione del fertilizzante stesso, quali, ad esempio, la nitrificazione, l'immo-

bilizzazione, l'idrolisi, la precipitazione, il dilavamento, la volatilizzazione (Shaviv, 2001).

In pratica, ciò che si richiede a un'efficace fertilizzazione in vivaio è mantenere una costante e adeguata quantità di nutrienti nella soluzione circolante (del terreno o del contenitore) per sostenere una crescita ottimale delle piante allevate (Tattini, 1990; Cabrera, l.c.). Il raggiungimento di questo obiettivo non è facile. Infatti la necessità di irrigare spesso, specie per le piante in contenitore, provoca un continuo dilavamento di elementi nutritivi producendo una condizione di carenza nella soluzione circolante, carenza che viene prevenuta con la somministrazione di grosse (a volte eccessive) dosi di fertilizzanti.

Questo approccio colturale presenta una bassa efficienza nell'impiego dei fertilizzanti (spesso non superiore al 30-50% del prodotto impiegato nel caso dei prodotti tradizionali; Prasad, 1971), con il conseguente inquinamento delle falde acquifere per le perdite per percolazione (Ferrini e Nicese, 2003) e con possibili danni alle coltivazioni, a causa dell'aumento di salinità nel mezzo di coltivazione (sintomo caratteristico è l'ingiallimento fogliare accompagnato da un generale aspetto di sofferenza e da un disseccamento degli apici fogliari) (Bunt, 1988; Fernandez-Escobar *et al.*, 2003; Maust e Williamson, 1994).

L'introduzione della fertirrigazione in vivaio presenta certamente molti vantaggi di ordine pratico derivanti dal fatto di impiegare il sistema di irrigazione per veicolare i prodotti fertilizzanti alle piante, ma la sua efficienza è funzione diretta dell'efficienza del sistema di irrigazione adottato, spesso piuttosto bassa: ad esempio, nel caso di fertirrigazione accoppiata a sistemi di irrigazione sovrachioma la perdita di prodotti fertilizzanti può giungere fino al 70% (Cabrera, <http://aesop.rutgers.edu/~floriculture/publications/cbfsrfl.htm>).

Appare chiaro quanto sia difficile la questione della fertilizzazione di piante in vivaio, stretta tra l'esigenza di mantenere elevati i livelli nutritivi nella soluzione circolante e la necessità di non perdere prodotto nelle acque di percolazione con conseguenze negative sotto il profilo sia economico, sia ambientale. Il passaggio, ormai consolidato, verso l'impiego di prodotti a rilascio lento o controllato nella nutrizione di piante in vivaio rappresenta probabilmente la risposta migliore alle problematiche sopra citate.

Fertilizzanti a rilascio lento (FRL) o controllato (FRC)

È opportuno premettere che quando si parla di fertilizzanti a rilascio lento e/o controllato si fa riferimento, in pratica, alla loro capacità di ritardare il rilascio in forme solubili dell'azoto (N), di gran lunga l'elemento più importante per le piante, ma anche il più mobile e di difficile "bloccaggio".

La comparsa di questa tipologia di prodotti risale agli anni intorno al 1950 (Davidson *et al.*, 1994), quando una serie di sostanze a rilascio lento o controllato furono introdotte sul mercato come fertilizzanti. L'impiego di questo tipo di prodotti sembra in costante crescita, anche se, paragonato all'uso totale di prodotti fertilizzanti in agricoltura, siamo ancora su percentuali modeste, quasi irrisorie, intorno allo 0,15% nel 1997 con una forte prevalenza nei paesi più sviluppati (Trenkel, 1997). È però altrettanto vero che la maggior parte (circa due terzi) dei concimi a lento effetto utilizzati vengono impiegati nel settore vivaistico ornamentale (Shaviv, 2001).

Nell'uso comune i due termini "fertilizzanti a lento rilascio" (FRL) e "fertilizzanti a rilascio controllato" (FRC) sono spesso utilizzati indifferente-mente, ma in realtà ciò non dovrebbe essere in quanto definiscono due categorie di prodotto ben differenziate. In linea generale, si può concordare con quanto affermato da Shaviv (1996) secondo il quale la principale differenza fra FRL e FRC sta nel fatto che nei primi il rilascio del nutriente è dipendente da meccanismi non facilmente controllabili (ad esempio, bassa solubilità, necessità di attacco microbiologico), mentre nei secondi i meccanismi di rilascio sono meglio conosciuti e più facilmente controllabili. Tutti i prodotti fertilizzanti a lenta cessione possono essere suddivisi (secondo Shaviv, 2001) in quattro categorie (vedi *tab. 1*).

1 - Composti inorganici a lenta solubilità [FRL]

Questi prodotti devono il lento rilascio dell'elemento fertilizzante esclusivamente alla scarsa solubilità del composto da cui derivano. A questo gruppo appartengono, ad esempio, tutti i composti con la formula generale $MeNH_4PO_4 \cdot H_2O$, laddove Me indica un catione bivalente come Mg, Zn, Fe, Mn (Hauck, 1985). Sostanze analoghe sono quelle nelle quali l'ammonio è sostituito dal potassio. In genere non sono molto usati in vivaio per il loro basso titolo azotato (non superiore al 10%) e l'alto titolo in fosforo (fino al 50% di P_2O_5), oltre che per la difficoltà di controllare il rilascio degli elementi fertilizzanti.

Tab. 1 - Classificazione dei principali fertilizzanti a lento effetto utilizzati nel florovivaismo

Categoria di cessione	Tipo di cessione	Prodotto	Note
Composti inorganici a lenta solubilità	FRL	Fosfato di ammonio o di potassio parzialmente sostituiti con cationi bivalenti	Basso titolo azotato (≈10%)
Composti con azoto organico di sintesi	FRL	Urea formaldeide (38% N)	Solubili per via biologica
	FRL	IBDU e CDU (30-32% N)	Solubili per via chimica
Concimi organici azotati	FRL	Scarti di concerie e di macellazione, cornunghia	Origine biologica: titolo di azoto compreso fra il 10 e 14%
Concimi rivestiti con prodotti ritardanti la solubilizzazione	FRL	Urea rivestita con zolfo	Solo azione ritardante e non progressiva.
	FRC	Osmocote® (membrana alchilica) Plantacote® Multicote® (membrana poliuretanic) Nutricote® (miscele di polimeri termoplastici)	In questo caso tutti gli elementi fertilizzanti sono a cessione lenta

Fonte: Shaviv, 2001.

2 – Composti con azoto organico di sintesi, solubili per via biologica o per via chimica [FRL]

Al primo gruppo appartiene l'urea-formaldeide, ottenuta dalla condensazione dell'urea con l'aldeide formica (CH₂O), che contiene all'incirca il 38% di azoto totale e si presenta in forma cristallina o granulata. Questo prodotto è stato il capostipite delle sostanze azotate a lenta cessione: fu brevettato dalla BASF nel 1924 e la sua produzione su vasta scala iniziò nel 1955, circa un decennio prima della comparsa di altri FRL o FRC (Shaviv, 2001). La sua decomposizione è legata all'azione biologica del suolo e, quindi, alle caratteristiche fisico-chimiche del terreno e all'andamento climatico. Sebbene l'urea-formaldeide sia il più diffuso nel mondo tra i prodotti FRL e FRC (Shaviv, 1999), in Italia non viene in genere commercializzata tal quale, ma come costituente di concimi composti (Calzavara *et al.*, 2002). I composti organici azotati solubili per via chimica sono derivati dalla condensazione di urea con aldeidi e rilasciano azoto nel terreno attraverso un processo di idrolisi, la cui velocità è inversamente proporzionale alle dimensioni del granulo e direttamente proporzionale all'umidità e alla temperatura del terreno (Goertz, 1991).

A questo gruppo appartengono la Isobutilidendiurea (IBDU), che contiene circa il 30% di azoto e la Crotonilidendiurea (CDU), con il 32% circa di azoto. Questi composti (Isodur e Crotodur) vengono impiegati in prodotti commerciali (ad esempio, Nitrophoska®), nei quali l'azione di lento rilascio è limitata all'azoto, mentre per fosforo e potassio il loro comportamento è uguale a quello di un qualsiasi concime.

3 – Concimi organici azotati [FRL]

La legge 748/1984 definisce concimi organici “i prodotti formati da composti organici del carbonio di origine animale oppure vegetale”, con esclusione di qualsiasi forma di carbonio organico di sintesi (ad esempio, urea). Questi prodotti nei quali l'azoto è legato a matrici organiche sono poco solubili nel terreno, e quindi determinano una cessione graduale dell'azoto. La lista dei concimi organici azotati è lunga, ma nel settore florovivaistico i prodotti che si utilizzano sono relativamente pochi; tra questi ricordiamo gli scarti di lavorazione del cuoio, alquanto resistenti alla degradazione, che possono essere torrefatti o idrolizzati. Il livello di azoto totale nei prodotti commerciali (Dermazoto, Greenazoto) si colloca intorno all'11%.

Questi prodotti hanno un rilascio proporzionale alla temperatura ambientale meno prevedibile rispetto a prodotti di origine chimica, in quanto la loro degradazione è in gran parte dovuta a fattori biologici la cui attivazione dipende da molteplici parametri. Il problema principale legato all'impiego di questo tipo di concimi derivati dal cuoio è la loro potenziale fitotossicità causata dai residui del cromo usato nell'industria conciaria. Altri concimi organici azotati utilizzati talvolta in ambito vivaistico sono quelli derivanti dagli scarti di macellazione, quali il cornunghia (N pari al 10-15%), derivato da corna e unghie degli animali macellati, la farina di carne (7-8%) e il sangue, da impiegare liquido (sangue fluido, 14% di N) o coagulato (sangue secco, N pari al 9-13%). Si deve però ricordare che il sangue è il concime organico a più rapida disponibilità di azoto, e non può certo essere

definito un fertilizzante a lento rilascio. Una critica che può essere fatta a tutti questi concimi organici azotati è che sono piuttosto costosi e quindi il loro impiego è spesso circoscritto a un uso domestico o ai *garden center*, piuttosto che ai vivai di produzione vera e propria.

4 - Concimi rivestiti con prodotti ritardanti la solubilizzazione [FRL/FRC]

I primi concimi del genere furono messi in commercio circa 30 anni fa negli Stati Uniti; erano costituiti da urea avvolta da uno strato di zolfo (*SCU, Sulphur Coated Urea*) più o meno spesso in relazione a quanto doveva essere ritardata la cessione dell'azoto (Blouin e Rindt, 1967). Il problema di questi prodotti sta nel fatto che la cessione di azoto viene solo ritardata e non diluita nel tempo: quando lo strato di zolfo cede, l'urea al suo interno diviene totalmente disponibile.

Quasi contemporaneamente (1967) in California veniva messo in commercio il primo vero fertilizzante a rilascio controllato, in forma di granuli rivestiti con membrane formate da resine. In questo caso, il concime è avvolto da una membrana semipermeabile polimerica in grado di consentire la fuoriuscita del fertilizzante in modo lento e costante. I due principali tipi di resine in commercio sono quelle di tipo alchidico (ad esempio, Osmocote®) e quelle di tipo poliuretano (ad esempio, Plantacote®, Multicote®). Il meccanismo di azione di questi prodotti differisce leggermente secondo il tipo di resina impiegata per rivestire i granuli di concime. Nelle resine alchidiche l'acqua penetra attraverso pori microscopici e va a incrementare la pressione osmotica all'interno dei gra-

nuli; ciò determina una tensione progressiva della resina e conseguente allargamento dei micropori, da cui fuoriescono i nutrienti (Hauck, l.c.). Nelle resine poliuretano, queste vanno a reagire con il prodotto fertilizzante, formando un complesso che risulta essere solubile in modo progressivo (Moore, 1989). Caratteristica comune di questi rivestimenti è di essere sensibili alla temperatura, nel senso che la loro permeabilità aumenta all'aumentare della temperatura. Non meno importante è sottolineare che, a differenza del gruppo di prodotti in precedenza citati, qui non è solo l'azoto ad avere un rilascio controllato, ma anche P, K e microelementi. Lo spessore e la composizione di queste resine determinano la durata del prodotto. I concimi avvolti in membrane a base di resine evidenziano in genere un rilascio davvero controllato dei nutrienti, anche se livelli relativamente più elevati nei primissimi giorni dall'impiego sono sempre possibili a causa della presenza di granuli rotti nelle confezioni commerciali.

Oltre allo zolfo e alle resine esiste una ulteriore tipologia di rivestimenti, i polimeri termoplastici quali, ad esempio, il polietilene. Questi rivestimenti, preparati in miscele di polimeri a elevata e bassa permeabilità all'acqua, vengono "spruzzati" sul granulo di concime, e il controllo del rilascio dei fertilizzanti è affidato a opportuni rapporti tra le due tipologie di polimeri impiegati e all'eventuale aggiunta di una polvere minerale nella preparazione del rivestimento (Fujita *et al.*, 1983; Fujita, 1995). Questi prodotti (ad esempio, Nutricote®) sono meno influenzati dalla temperatura rispetto alle altre tipologie di fertilizzanti rivestiti con prodotti ritardanti la solubilizzazione (Gandeza *et al.*, 1991).



Piante ornamentali in contenitore. Per questo tipo di coltura si usa spesso l'irrigazione a pioggia associata alla fertilizzazione con concimi a lento effetto aggiunti in pre-trapianto al substrato ed eventualmente durante la stagione di coltivazione

Impiego nelle colture vivaistiche

Già da molti anni l'impiego dei FRL/FRC nel vivaismo ornamentale (specie quello fuori suolo) può essere considerato un fatto acquisito, e questi prodotti, assieme alla fertirrigazione, rappresentano ormai la struttura portante della nutrizione delle piante in vivaio.

La concimazione nelle aziende vivaistiche, in particolare in quelle che effettuano la produzione in contenitore, viene effettuata sostanzialmente all'inizio della stagione con la miscelazione dei concimi a lento effetto al substrato al momento dell'invasatura o con aggiunta dei prodotti sulla superficie del vaso se non si effettua invasatura.

In generale, poi, nel corso della stagione vegetativa, si interviene nuovamente con somministrazioni aggiuntive in copertura o attraverso la fertirrigazione. Per quel che riguarda le quantità di prodotto miscelato al substrato, si dovrebbe tener conto che per la maggior parte delle specie allevate in vivaio i livelli ottimali di azoto disponibile presente nella soluzione all'interno del contenitore dovrebbero variare tra i 50-100 mg/L (Wright e Niemiera, 1987) e i 100-200 mg/L (Jarrell *et al.*, 1983, Griffin *et al.*, 1999).

Ovviamente i prodotti commerciali vanno impiegati alle dosi consigliate dal produttore, che variano in relazione al tipo di concime e al suo titolo; comunque, in genere, le quantità oscillano tra 2-3 kg fino a 5-6 kg per metro cubo di substrato, che vuol dire mantenere nel mezzo un livello di azoto pari a circa 0,6-1 g/L. Per la fertilizzazione di fondo si utilizzano, in genere, prodotti granulari rivestiti con resine dotati di macro e microelementi che abbiano una durata di 5-6 mesi almeno, oppure delle miscele tra prodotti a rilascio controllato più rapido e altri a rilascio più differito nel tempo (ad esempio, 3-4 ÷ 8-9 mesi).

La fertilizzazione di copertura, sempre presente nei nostri vivai, può essere effettuata tramite fertirrigazione, oppure attraverso l'aggiunta al terreno o sulla superficie del vaso di prodotti a rilascio lento e/o controllato nel mese di luglio.

I prodotti utilizzati in copertura possono essere sempre dei FRC del tutto analoghi a quelli impiegati al momento della preparazione del substrato o specificatamente commercializzati per questo impiego (*topdress*), oppure, molto spesso, dei FRL a base di composti organici azotati solubili per via chimica (IBDU) addizionati con altri elementi a formare composti completi (ad esempio, Nitrophoska). Le quantità somministrate variano molto in relazione alle dimensioni delle piante

nelle colture in piena terra, mentre in quelle in contenitore ci si regola in base al volume del vaso con quantità analoghe, o di poco inferiori, a quelle incorporate nel substrato (ad esempio, 2-3 kg/m³). Sulla fertilizzazione in copertura a metà stagione merita fare alcune riflessioni; praticamente tutti i vivaisti sono concordi nel ritenerla utile se non indispensabile per ottenere un prodotto di elevata qualità, ma quantificare i benefici di questa operazione risulta particolarmente difficile, soprattutto alla luce dei costi economici e ambientali che possono insorgere. In agrifoglio, ad esempio, è stato visto che interventi a metà stagione hanno determinato una maggiore crescita, ma non tale da collocare le piante in una categoria commerciale superiore, mentre hanno determinato un aumento della quantità d'azoto nell'acqua di dilavamento pari al 42% (Shiflett *et al.*, 1994).

Questo rilascio di azoto non deve essere imputato tanto alla collocazione dei prodotti (in copertura sembrano rilasciare minori quantità di azoto nelle acque di percolazione di quando sono incorporati nel substrato; Warren *et al.*, 2001; Yeager *et al.*, 1989; Eakes *et al.*, 1999), quanto probabilmente alle condizioni ambientali del periodo nel quale si effettua la concimazione in copertura (luglio), quando le temperature sono di gran lunga superiori a quelle ottimali per la gradualità del rilascio nutritivo della maggior parte dei prodotti. Basti pensare che la media delle temperature massime registrate negli ultimi 20 anni a Pistoia nel mese di luglio (periodo nel quale si interviene in copertura) è pari a circa 31°C (www.cespevi.it). Ciò evidentemente non significa voler scoraggiare i produttori alla concimazione in copertura, quanto piuttosto richiamare la loro attenzione a un uso razionale nelle quantità di prodotti impiegate.

Conclusioni

È evidente che l'impiego di fertilizzanti a rilascio ritardato, siano essi FRL o FRC, rappresenta una scelta irrinunciabile nel vivaismo ornamentale in piena terra e soprattutto in contenitore, per una serie di implicazioni di natura tecnica, economica e ambientale.

L'evoluzione di questa tipologia di fertilizzanti ha determinato la comparsa di un ventaglio molto ampio di prodotti commerciali, in grado di trovare impiego nella totalità di casi nei quali in un vivaio ornamentale sia richiesta una gestione razionale della nutrizione. Ciò nondimeno, nel loro impiego rimangono degli aspetti poco chiari che

sembrano richiedere un approfondimento di conoscenze per giungere a una gestione realmente ottimizzata della fertilizzazione. In particolare, sembra opportuno ricordare quanto segue.

1. Per quanto il meccanismo di rilascio dei FRC dipenda strettamente dalla temperatura, è difficile pensare che l'efficacia di questi prodotti non sia influenzata dall'irrigazione. In effetti, molti autori hanno trovato una relazione inversa tra le quantità di fertilizzanti (specie azoto) nella soluzione circolante e il volume irriguo in test condotti con prodotti a rilascio controllato (Groves *et al.*, 1998; Jarrell *et al.*, l.c.; Rathier e Frink, 1989). Quest'aspetto andrebbe verificato con i prodotti commerciali di più recente introduzione e, se confermato, obbligherebbe a riconsiderare la questione nutrizione in stretta connessione con l'irrigazione.
2. È opinione diffusa (cfr. in Wright e Niemiera, l.c.) che l'efficienza d'impiego dei FRC possa differire, anche sensibilmente, rispetto a quanto dichiarato "in etichetta", in particolare per i prodotti a rilascio più differito nel tempo (8-9 mesi e più). È evidente che anche questo aspetto andrebbe verificato in campo, ma tuttavia si può fare una riflessione a proposito di ciò. È noto che le ditte produttrici hanno sviluppato prodotti meno sensibili alla temperatura, ma le informazioni rilasciate al riguardo sono piuttosto generiche. Inoltre, non va dimenticato che le temperature "d'esercizio"

di questi prodotti nei nostri vivai sono mediamente molto elevate: tutto ciò darebbe fondamento ai dubbi sopra riportati. Risulta, quindi, ancora una volta evidente la necessità di ampliare il quadro delle conoscenze a livello applicativo per poter fornire indicazioni di impiego realmente razionali.

3. È necessario caratterizzare meglio i prodotti in commercio allo scopo di facilitare la scelta da parte dei coltivatori; ciò richiede, da una parte, maggiori informazioni rispetto a quelle riportate nelle etichette commerciali (esigenza sentita da tempo) e, dall'altra, l'individuazione di test standard per la valutazione della *performance* dei FRL/ FRC (Shaviv, 2001).

Infine, ricordiamo che il costo di questi prodotti è certamente elevato, ma la loro funzionalità ed efficacia è fuori discussione; per di più nella valutazione complessiva relativa al loro impiego in vivaio si dovrebbe tener conto di importanti benefici, quali una minore perdita di prodotto per dilavamento, un risparmio di manodopera, una minor incidenza sull'ambiente. Tutto questo a patto che gli operatori del settore siano consapevoli di usare questi fertilizzanti nel modo corretto, cioè seguendo i dosaggi suggeriti dalle ditte produttrici, evitando inutili sovradosaggi (purtroppo frequenti) che finiscono per ribaltare gran parte dei benefici sopra citati lasciando al produttore i soli benefici di ordine psicologico.

Bibliografia

1. BILDERBACK T.E. (2001). *Environmentally compatible container plant production practices*. Acta Horticulturae 548, 311-318.
2. BLOUIN G.M., RINDT D.W. (1967). *Slow release coated fertilizers*. U.S. Patent 3.295.950.
3. BUNT A.C. (1988). *Media and mixes for container-grown plants*. Unwin-Hyman, London (UK).
4. CABRERA R.I. (2004). *Using slow- and controlled-release fertilizers in container nursery crops*. <http://aesop.rutgers.edu/~floriculture/publications/CBFSCR1.htm>
5. CABRERA R.I. (2003). *Nitrogen balance for two container-grown woody ornamental plants*. Scientia Horticulturae 97, 297-308.
6. CALZAVARA R., GRAZIANO P.R., M. PERELLI (2002). *La grande guida dei fertilizzanti*. Edizioni ARVAN s.r.l., Venezia
7. FERNANDEZ-ESCOBAR R., BENLOCH M., HERRERA E., GARCIA-NOVELO J.M. (2003). *Effect of traditional and slow-release N fertilizers on growth of olive nursery plants and N losses by leaching*. Scientia Horticulturae 97, 305-310.
8. FUJITA T., TAKAHASHI C., YOSHIDA S. (1983). *Coated granular fertiliser capable of controlling the effect of temperature upon dissolution-out rate*. U.S. Patent 4.369.055.
9. FUJITA T. (1995). *Technical development, properties and availability of polyolefin coated fertilizers*. In:

- Proc. Dahlia Greidinger Memorial Intl. Workshop on Controlled/Slow release Fertilisers* (Y. HAGIN *et al.* eds.), Technion, Haifa, Israel.
10. DAVIDSON H., PETERSON C., MECKLEBURG R. (1994). *Nursery Management*. III ed., Prentice Hall Inc.
 11. EAKES D.J., FOSTER W.J., GILLIAM C.H., OLIVE J.W. (1990). *Effects of method of application and rate of three slow release fertilizers*. Proc. Southern Nurserymen's Assoc. Ann. Res. Conf., 35th Ann. Rep., 47-48.
 12. GANDEZA A.T., SHOJI S., YAMADA I. (1991). *Simulation of crops response to polyolefin coated urea. I. Field dissolution*. Soil Sci. Soc. Am. J. 55, 1462-1467.
 13. GOERTZ H.M. (1991). *Commercial granular controlled release fertilizers for the specialty markets*. In: "Controlled release fertiliser workshop Proceedings". R.M. SCHEIB Ed., 51-68 TVA-NFERC, AL.
 14. GRIFFIN J.J., WARREN S.L., BLAZICH F.A., RANNEY T.G. (1999). *Nitrogen nutrition of containerized Thuja x "Green Giant"*. J. Environm. Horticulture 17(2), 76-79.
 15. GROVES K.M., WARREN S.L., BILDERBACK T.E. (1998). *Irrigation volume, application and controlled-release fertilizer. II Effect on substrate solution nutrient concentration and water efficiency in containerized plant production*. J. Environmental Horticulture 16(3), 182-188.
 16. HAUCK R.D. (1985). *Slow release and bio-inhibitor-amended nitrogen fertilisers*. In *Fertiliser Technology and Use* (O.P. ENGELSTAD ed.), III ed., SSSA, Madison, WI.
 17. FERRINI F., NICESE F.P. (2003). *Vivaio a basso impatto ambientale: prospettive nel vivaismo ornamentale*. Atti delle Giornate Tecniche Soi 2003, Italus Hortus.
 18. JARRELL W.M., WHALEY S.J., MIRAFTABI B. (1983). *Slow release fertiliser and water management with container-grown Ligustrum texanum*. Scientia Horticulturae 19, 177-190.
 19. MARSCHNER H. (1985). *Mineral nutrition in higher plants*. II ed., Academic Press Ltd., London.
 20. MAUST B.E., WILLIAMSON J.G. (1994). *Nitrogen nutrition of containerized citrus nursery plants*. J. Am. Soc. Hort. Sci. 119, 195-201.
 21. MOORE W.P. (1989). *Attrition-resistant controlled release fertilizers*. U.S. Patent 4.804.403.
 22. NISSEN P. (1986). *Nutrient uptake by plants : effect of external ion concentrations*. Acta Horticulturae 178, 21-28.
 23. PERELLI M., PIMPINI F. (2003). *Il nuovo manuale di concimazione*. Edizioni ARVAN s.r.l., Venezia.
 24. PRASAD R., RAJALE G., LACAKHDIVE B. (1971). *Nitrification retarders and slow-release nitrogen fertilizers*. Adv. Agron. 23, 337.
 25. RATHIER T.M., FRINK C.R. (1989). *Nitrate in runoff water from container grown juniper and Alberta spruce under different irrigation and N fertilization regimes*. J. Environmental Horticulture 7, 32-35.
 26. SHAVIV A. (1996). *Plant response and environmental aspects as affected by rate and pattern of nitrogen release from controlled release N fertilizers*. In *Progress in Nitrogen Cycling Studies*. VAN CLAMPS *ET AL.* eds., pp. 285-291, Kluwer, The Netherlands.
 27. SHAVIV A. (1999). *Preparation methods and release mechanisms of controlled release fertilizers: agronomic efficiency and environmental significance*. Proc. n. 431, 1-35. International Fertiliser Society, York (UK).
 28. SHAVIV A. (2001). *Advances in Controlled-release fertilizers*. Advances in Agronomy 71, 1-49.
 29. SHIFLETT M.C., NIEMIERA A.X., LEDA C.E. (1994). *Mid-season reapplication of controlled release fertilizers affect "Helleri" holly growth and N content of substrate solution and effluent*. Journal Environmental Horticulture 12 (4), 181-186.
 30. TATTINI M. (1990). *Aspetti teorici e pratici di nutrizione minerale per specie allevate in contenitore*. Lineaverde 1, 67-72.
 31. TRENKEL M.E. (1997). *Controlled Release and Stabilized Fertilisers in Agriculture*. IFA, Paris.
 32. VEZZOSI C. (1995). *Il Vivaismo è un bene di tutti*. Ed. Coldiretti Pistoia.
 33. YEAGER T.H., INGRAM D.L., LARSEN C.A. (1989). *Nitrate nitrogen and potassium release from surface-applied and growth medium incorporated Osmocote and Escote*. Proc. Southern Nurserymen's Assoc. Ann. Res. Conf., 34th Ann. Rep., 47-48.
 34. WARREN S.L., BILDERBACK T.E., KRAUS H.H. (2001). *Method of fertilizer application affects nutrient losses of controlled release fertilizer*. Acta Horticulturae 548, 349-355.
 35. WRIGHT R.D., NIEMIERA A.X. (1987). *Nutrition of container-grown woody nursery crops*. Hort. Review 9, 76-101.

16. La fertirrigazione

Giulia Carmassi, Luca Incrocci, Fernando Malorgio

Introduzione

La fertirrigazione è una tecnica che è già ampiamente utilizzata sia in orticoltura sia in floricoltura e che da alcuni anni interessa anche il settore vivaistico.

L'uso della fertirrigazione consente di ottenere produzioni con un elevato standard qualitativo; tuttavia, nell'attuazione di tale tecnica, sono necessari, oltre a investimenti di un certo rilievo (per l'acquisto dei fertirrigatori), alcuni accorgimenti per non correre il rischio di creare squilibri fisiologici alle piante. Presupposto fondamentale è la conoscenza delle esigenze nutrizionali della coltura in esame, sia minerali che idriche, e delle caratteristiche dell'acqua di irrigazione, oltre naturalmente alle conoscenze tecniche necessarie per la preparazione delle soluzioni nutritive e per la gestione dell'impianto di miscelazione (fertirrigatore).

In questo capitolo sono affrontati alcuni aspetti relativi alla fertirrigazione, comprese le nozioni di base relative all'impostazione di un corretto programma di fertirrigazione e alla preparazione di una soluzione nutritiva. Il capitolo si riferisce soprattutto alle colture in contenitore, anche se molti concetti e istruzioni sono trasferibili anche alle colture a terra.

Vantaggi della fertirrigazione

Per fertirrigazione s'intende la somministrazione dei concimi alla coltura insieme all'acqua di irrigazione. Questa tecnica si è diffusa insieme all'irrigazione localizzata (irrigazione a goccia o microaspirazione) che permette di irrigare la pianta in corrispondenza dell'apparato radicale, cioè nella zona interessata dai meccanismi di assorbimento. Tra i vantaggi della fertirrigazione possiamo considerare:

- la distribuzione uniforme degli elementi nutritivi nelle immediate vicinanze dell'apparato radicale;
- il maggiore controllo della nutrizione minerale attraverso la possibilità di intervenire in modo mirato e tempestivo secondo le esigenze nutrizionali della pianta;
- la possibilità di automatizzare le operazioni, con conseguente risparmio di manodopera; una volta impostati i parametri relativi alla concentrazione della soluzione, ai volumi irrigui e ai tempi di intervento, è possibile automatizzare il sistema con l'installazione di apposite centraline elettroniche;
- la riduzione del consumo di fertilizzante (in seguito alla distribuzione localizzata e alla maggiore uniformità di distribuzione) e la riduzione dell'impatto ambientale dovuto alle perdite per lisciviazione e percolamento.

Caratteristiche fondamentali delle acque di fertirrigazione

Alle piante fertirrigate viene somministrata una soluzione nutritiva completa di macro- e micro-elementi preparata impiegando dei miscelatori (fertirrigatori) che provvedono a diluire due o più soluzioni-madre (*stock*) concentrate con l'acqua irrigua e al controllo del pH della soluzione erogata. In commercio, si trovano numerosi tipi di fertirrigatori con diverse caratteristiche tecniche, ma i requisiti essenziali di un fertirrigatore rimangono l'efficienza di miscelazione e la precisione nella misura e nel controllo del pH e della conducibilità elettrica (*EC*).

Il controllo della nutrizione minerale di una coltura fertirrigata coincide in pratica con quello della soluzione nutritiva, che presenta le seguenti caratteristiche:

Tab. 1 - I modi più comuni di esprimere la concentrazione di una soluzione nutritiva

Molarità (M): numero di moli di soluto contenute in un litro di soluzione

• 1 mol/L (M) = 1000 mmol/L (mM)

Normalità (N): numero di grammo-equivalenti di soluto contenuti in un litro di soluzione

• Per uno ione, il peso equivalente è uguale al peso atomico o al peso formula diviso la valenza, cioè il numero di cariche (positive o negative). Ad esempio:

• Calcio (Ca^{2+}): peso atomico = 40; peso equivalente = $40 / 2 = 20$

• Parti per milione (ppm): numero di parti di soluto in un milione di parti di soluzione

• 1 ppm = 1 mg/L = 1 g/m³

Tab. 2 - Confronto tra le concentrazioni (mmol/L) della soluzione circolante di un normale terreno agrario e della soluzione nutritiva impiegate in idroponica e nelle colture *in vitro*

Nutriente	Peso atomico	Terreno	Idroponica
N	14,00	0,5 - 10 (< 2)	5 - 20
P	30,97	0,005 - 0,05	0,5 - 2
K	39,10	0,2 - 52	4 - 10
Ca	40,08	0,5 - 4,0	3 - 6
Mg	24,31	0,2 - 1,0	1 - 2

Tab. 3 - Composizione delle soluzioni nutritive utilizzate per la coltivazione in idroponica di alcune specie ortofloricole caratterizzate da un diverso di tasso di crescita (AGR)

	<i>Cucurbitacee /Solanaee</i>	<i>Fragola/Piante in vaso Fiori recisi</i>
AGR (g sost. secca /m ² giorno)	8 - 20	1 - 5
Concentrazione mmol/L (ppm)		
N	15 - 20 (170 - 280)	8 - 10 (112 - 140)
K	7 - 10 (270 - 390)	4 - 5 (155 - 185)
P	1 - 2 (31 - 62)	1 - 1,5 (31 - 43)
Ca	4 - 6 (160 - 240)	1 - 4 (40 - 160)
Mg	1 - 2 (24 - 48)	1 - 1,5 (24 - 36)
EC (mS/cm)	2,5 - 3,5	1,5 - 2,2

- valori sub-acidi del pH (5,0-6,5), tranne il caso delle piante acidofile per le quali si usano valori più bassi (vedi anche Capitolo 14);
- concentrazioni nutritive relativamente elevate (20-40 mmol/L o 1-2 g/L) (vedi *tab. 1* per una breve illustrazione dei modi di esprimere le concentrazioni saline delle soluzioni nutritive);
- azoto come elemento principale, in genere presente prevalentemente in forma nitrica;
- valore del rapporto molare N/K intorno a 2;
- valori dei rapporti molari K/Ca e K/Mg superiori a quelli effettivi di assorbimento (si tende, cioè, a somministrare il calcio e il magnesio più

di quanto le piante riescano ad assorbire).

L'erogazione della soluzione nutritiva è quasi sempre effettuata sulla base delle esigenze idriche della coltura; la soluzione è, cioè, distribuita quando si ritiene che le piante abbiano bisogno di acqua. Nei sistemi di coltivazione con soluzione nutritiva ricircolante (sistemi chiusi) le reintegrazioni sono effettuate sulla base della misura di EC; di fatto, si cerca di mantenere una determinata soglia di EC, sfruttando la stretta correlazione tra la conducibilità elettrica di una soluzione e la sua concentrazione salina. Di seguito sono riportate alcune equazioni matematiche che descrivono la

relazione tra la EC e la concentrazione salina di una soluzione:

1. Equazione di Sonneveld (1999):

$$EC (mS/cm) = 0,095 C + 0,19 \quad Eq. 1$$

dove *C* rappresenta la concentrazione totale (in meq/L) dei cationi (Ca, Mg, K, Na, NH₄), o degli anioni, assumendo un'uguaglianza tra le due.

2. Equazione di Sogni (1990):

$$EC (mS/cm) = 1,56 C \quad Eq. 2$$

dove *C* rappresenta la concentrazione totale di sali espressa in g/L.

L'uso di concentrazioni nutritive elevate, rispetto a quelle tipiche della soluzione circolante di un normale terreno agrario (*tab. 2*), è dovuto alla necessità di garantire una certa riserva minerale e di automatizzare il processo di preparazione della soluzione di fertirrigazione. Come si è detto in precedenza, negli impianti di fertirrigazione si utilizzano sensori di EC, che non sarebbero in grado di apprezzare le differenze tra l'acqua irrigua e la soluzione nutritiva, se le concentrazioni nutritive (e quindi l'EC) fossero molto inferiori, ad esempio, un decimo di quelle normalmente usate.

D'altra parte, una concentrazione della soluzione nutritiva così elevata può portare la coltura ad assorbire i vari elementi nutritivi più del necessario, determinando dei consumi di lusso e, in alcuni casi, uno squilibrio tra l'attività vegetativa e quella riproduttiva. In ogni caso, l'abbondante disponibilità nutritiva non impedisce che le piante possano comunque manifestare delle carenze minerali; infatti, mantenere una elevata concentrazione nutritiva

nella zona radicale è una condizione necessaria ma non sufficiente per una crescita e uno sviluppo ottimale della pianta.

Un altro aspetto interessante riguarda la composizione della soluzione nutritiva.

È assai diffusa l'idea che ogni specie vegetale abbia particolari esigenze nutritive e che, quindi, sia necessario sviluppare formule nutritive specie-specifiche, quasi delle "ricette". Questa teoria, però, non sembra supportata dai dati sperimentali. In NFT, ad esempio, con la stessa soluzione nutritiva si possono ottenere elevate produzioni su diverse specie in differenti situazioni climatiche. In generale, potremmo dire, che una stessa soluzione nutritiva può essere utilizzata per specie diverse e che una stessa specie può comportarsi nello stesso modo, in termini di accrescimento e di produzione, anche con soluzioni nutritive diverse.

Nella *tab. 3* è riportata, per diversi tipi di colture, una sintesi delle concentrazioni di macroelementi delle soluzioni nutritive riportate da vari autori su riviste, libri, manuali, siti web ecc. Si possono individuare due tipi principali di formula nutritiva, differenziati solo per quanto riguarda le concentrazioni di N e K.

Per le colture ortive da frutto, come le solanacee e le cucurbitacee, caratterizzate da elevati tassi di crescita e produzioni (fino a 20-25 kg di frutti per pianta nel caso del pomodoro) le soluzioni nutritive presentano concentrazioni molto alte di N e di K. Per colture meno vigorose e meno produttive, come le specie ornamentali e la fragola, le formule nutritive hanno concentrazioni inferiori rispetto alle precedenti, pur rimanendo sostanzialmente costante il rapporto N/K (circa 2 in termini molar).

Tab. 4 - Concentrazione (mg/L) di macro e micro-nutrienti in soluzioni nutritive per alcune specie ornamentali coltivate fuori suolo

Elemento minerale	Rosa	Gerbera	Garofano	Crisantemo	Piante in vaso
N-NO ₃ ⁻	150	150	180	140	140
N-NH ₄ ⁺	14	14	14	14	7
P	40	40	40	35	40
K	200	200	240	200	210
Ca	130	130	140	160	120
Mg	25	25	30	25	25
S	50	50	50	50	50
Fe	1,4	2,0	1,4	2,2	1,2
B	0,25	0,35	0,35	0,35	0,25
Cu	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Zn	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
Mn	0,55	0,28	0,55	0,55	0,55
Mo	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10

La conoscenza del tasso di crescita di una coltura (che dipende dalle caratteristiche genetiche, ambientali e colturali) è fondamentale per scegliere correttamente la soluzione nutritiva da somministrare alla coltura, in particolare nel caso di piante con tasso di crescita elevato. In pratica più rapida è la crescita delle piante, tanto maggiori sono le esigenze nutritive e più facilmente possono insorgere degli squilibri nutrizionali. Invece, nel caso di colture a tasso di crescita limitato la specificità della composizione della soluzione nutritiva è meno importante e l'uso di ricette standard trova maggiore fondamento. Si pensi, ad esempio, agli impianti per l'idrocoltura di piante ornamentali in vaso, dove sono allevate insieme, con un'unica soluzione, centinaia di specie diverse, dai ficus ai cactus, confidando nelle minori esigenze delle piante determinate dal loro ridotto tasso di crescita.

Il problema consiste, quindi, non tanto nell'individuare una formula nutritiva ottimale per le diverse specie, quanto nel determinare le quantità di nutrienti che devono essere somministrate alle piante nelle diverse fasi di sviluppo in funzione delle condizioni colturali e ambientali. La radiazione e la temperatura hanno, ad esempio, una notevole influenza sull'accrescimento della pianta; pertanto, durante le stagioni più favorevoli alla crescita, per la coltura devono essere disponibili maggiori quantità di acqua e di nutrienti. In *tab. 4* sono state, comunque, riportate le composizioni di alcune soluzioni nutritive riportate in letteratura per colture ornamentali; nella stessa tabella è stato riportato anche il *range* di concentrazione dei microelementi.

Nella scelta della soluzione nutritiva da applicare alle piante è importante considerare anche la tolleranza della coltura alla salinità.

Calcolo della composizione della soluzione nutritiva

Di seguito si illustra l'approccio metodologico relativo al calcolo della composizione di una soluzione nutritiva, mentre nel CD allegato al manuale è contenuto un foglio elettronico, *SOL-NUTRI*, per la formulazione di una soluzione nutritiva, sviluppato dal dott. Luca Incrocci dell'Università di Pisa nell'ambito di un progetto di ricerca (IDRO-SUB) finanziato dall'ENEA (le istruzioni per l'uso di *SOL-NUTRI* sono riportate nell'*Appendice E*).

Prima di passare al calcolo vero e proprio della soluzione nutritiva, è necessaria una valutazione della qualità dell'acqua irrigua: pH, concentrazione di car-

bonati e bicarbonati (alcalinità), EC e la concentrazione di ioni nutritivi e non (ad esempio, sodio).

Nella pratica, per attuare la fertirrigazione, vengono preparate due o più soluzioni stock (*tab. 5*) a concentrazione elevata (100-200 volte più della soluzione nutritiva da somministrare alla coltura) utilizzando sali minerali per fertirrigazione (cioè particolarmente puri e solubili) oppure concimi complessi idrosolubili, in genere meno utilizzati per la presenza di azoto ureico e/o ammoniacale in elevata quantità. La *tab. 6* riporta le caratteristiche principali dei sali minerali più utilizzati per la fertirrigazione nelle serre e nei vivai (vedi anche Capitolo 14).

Il calcolo vero e proprio consiste nel determinare le quantità di sali e di acidi da aggiungere all'acqua irrigua per ottenere i valori di concentrazione nutritiva, di EC e di pH desiderati. Per fare questo sono necessari una serie di passaggi:

1. scelta della ricetta nutritiva;
2. calcolo della differenza nella concentrazione dei vari elementi tra la ricetta e l'acqua irrigua;
3. calcolo della quantità di acido (nitrico, fosforico e/o solforico) necessaria all'aggiustamento del pH e delle quantità di N, P, o S apportate con l'acidificazione;
4. calcolo, per ciascun elemento, della quantità di concime da apportare rispettando l'ordine seguente: calcio, ammonio, fosforo, magnesio, nitrato, potassio, solfato, ferro, microelementi.

Per raggiungere le concentrazioni desiderate nella soluzione nutritiva sarà necessario che almeno uno ione sia libero di variare in un certo range. Questo ione è generalmente il solfato, perché le piante sono meno influenzate dalla concentrazione di quest'elemento.

Un esempio di calcolo

L'esempio illustrato di seguito è riassunto nella *tab. 7*. Il calcolo della quantità di acido necessaria per l'aggiustamento del pH tiene conto della concentrazione equivalente di carbonati e/o bicarbonati e del pH desiderato, e si effettua secondo la seguente equazione:

$$[HA] = [HCO_3^-] / (1 + 10^{pH - pKa}) \quad \text{Eq. 3}$$

dove pKa (costante di dissociazione dell'acido carbonico) = 6,35.

Dall'equazione risulta che una concentrazione di acido $[HA]$ pari al 70% della concentrazione di bicarbonati determina un pH della soluzione di 6.0 (vedi Capitolo 10 per una trattazione più approfondita dell'argomento). Il calcolo, comunque, deve prevedere di lasciare in soluzione almeno 0,5-

Tab. 5 - Suddivisione dei vari fertilizzanti e acidi nei contenitori di soluzione concentrata (l'acido può essere comunque messo in un terzo contenitore separato dai contenitori A e B)

Soluzione A	Soluzione B
Nitrato di calcio	Solfato di magnesio
Nitrato di potassio	Solfato di potassio
Nitrato di magnesio	Fosfato monopotassico
Nitrato ammonico	Fosfato di ammonio
Chelati (Fe, Zn, Cu, Mn)	Acido borico
Cloruro (Na, K)	Nitrati (K, Mg, NH ₄ ⁺)
Silicato di potassio	Microelementi da solfati (Mn, Zn, Cu) (Acido)*

* Eventualmente e se non si usano microelementi in forma chelata.

Tab. 6 - Caratteristiche dei sali minerali più comunemente utilizzati per la fertirrigazione

Nome	Formula	Titolo (%)	Peso formula	Solubilità (kg/100 L) 20°C
Cloruro di calcio	CaCl ₂	36 Ca - 64 Cl	111,1	—
Ferro chelato	FeEDDHA	6 - 7 Fe	932,0	—
Fosfato monopotassico	KH ₂ PO ₄	23 P - 28 K	136,1	22
Nitrato di ammonio	NH ₄ NO ₃	17 N-NO ₃ - 17 N-NH ₄	80,0	192
Nitrato di calcio	5[Ca(NO ₃) ₂ · 2 H ₂ O]NH ₄ NO ₃	14,5 N - 19 Ca	1080,5	122
Nitrato di magnesio	Mg(NO ₃) ₂ · 6 H ₂ O	11 N - 10 Mg	256,3	72
Nitrato di potassio	KNO ₃	13 N - 38,1 K	101,1	35
Solfato di magnesio	MgSO ₄ · 7 H ₂ O	9,9 Mg - S 13	246,3	71
Solfato di potassio	K ₂ SO ₄	43 K - S 17	174,3	12
Urea	CO(NH ₂) ₂	46 N	60,0	100

Fonte: Enzo *et al.*, 2001.

1,0 meq/L di bicarbonati, che determinano il potere tampone della soluzione nutritiva evitando così che possano verificarsi delle diminuzioni improvvise e marcate del pH in seguito a variazioni nell'assorbimento radicale e/o a difetti di funzionamento dell'impianto di fertirrigazione.

Nell'esempio riportato, il contenuto di bicarbonato è di 150 mg/L di bicarbonati e ipotizziamo di voler ottenere un pH finale di 5,8. La concentrazione di bicarbonati deve essere espressa in mg/L; il passaggio da mg/L a meq/L si effettua dividendo la quantità per il peso equivalente del bicarbonato pari a 61:

$$150 \text{ mg/L} / 61 = 2,46 \text{ meq/L}$$

La quantità di acido è, quindi, la seguente:

$$[HA] = [HCO_3^-] / (1 + 10^{pH - 6,35}) = 2,46 / (1 + 10^{5,8 - 6,35}) = 2,46 / 1,28 = 1,92 \text{ meq/L}$$

In base alla concentrazione [HA] si calcola la quantità di acido:

$$Q = [HA] \cdot PE / (10 \cdot D \cdot CA)$$

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).

Utilizzando acido nitrico al 65% (p/p), con densità pari a 1,41 g/mL e una concentrazione molare di 14,5 mol/L, sarà necessario:

$$Q = 1,92 \cdot 63 / (10 \cdot 1,41 \cdot 65) = 0,132 \text{ mL/L}$$

Essendo 14 il peso atomico dell'azoto, la quantità di azoto nitrico apportata con l'operazione di neutralizzazione dei bicarbonati è:

$$0,192 \text{ meq/L} \cdot 14 \text{ mg/mL} = 26,9 \text{ mg/L N-NO}_3$$

Calcolati gli apporti di nutrienti derivanti dall'aggiunta dell'acido, si procede al calcolo della quantità di sali da aggiungere alla soluzione nutritiva per avere la ricetta stabilita.

Nel nostro esempio, il primo elemento da bilanciare sarà il calcio. L'acqua ne contiene 61 mg/L, quindi per arrivare alla concentrazione

Tab. 7 - Quadro riassuntivo dell'esempio di calcolo di una soluzione nutritiva

a) Composizione della soluzione nutritiva									
		HCO_3^-	$N-NO_3$	$N-NH_4^+$ mg/L o mL/L	P	K	Ca	Mg	S
Conc. acqua irrigua	-	150,0	-	-	-	3,5	61,0	18,0	10,0
Conc. sol. nutritiva	-		130	10,0	40,0	180	160,0	30,0	50,0
Differenza	-		130	10,0	40,0	176,5	99,0	12,0	40,0
Acido nitrico	0,132 mL		26,9	-	-	-	-	-	-
Nitrato di calcio			75,5	5,2	-	-	99,0	-	-
Nitrato di ammonio			4,8	4,8	-	-	-	-	-
Fosfato mono-K			-	-	40,0	48,7	-	-	-
Solfato di magnesio			-	-	-	-	-	12,0	15,8
Nitrato di potassio			22,8	-	-	66,8	-	-	-
Solfato di potassio			-	-	-	61,0	-	-	24,1
Totale			130	10,0	40,0	180,0	160,0	30,0	49,9
b) Composizione delle soluzioni stock									
Volume del deposito della soluzione stock (V) = 100 L									
Fattore di concentrazione delle soluzioni stock (F) = 100									
		<i>Quantità di sale (kg) o di acido (L) da aggiungere all'acqua per ottenere 100 L di soluzione concentrata 100 volte</i>							
<i>Sali e acidi</i>		<i>Stock A</i>				<i>Stock B</i>			
Acido nitrico		-				1,32			
Nitrato di calcio		5,2				-			
Nitrato di ammonio		0,3				-			
Fosfato monopotassico		-				1,75			
Solfato di magnesio		-				1,2			
Nitrato di potassio		1,75				-			
Solfato di potassio		-				1,5			

della soluzione nutritiva di 160 mg/L ne dobbiamo apportare 99. Utilizzando il nitrato di calcio che contiene il 19% di Ca, il 14,5% di $-NO_3^-$ e 1% di $N-NH_4^+$:

$$99 \text{ mg/L} / 0,19 = 521 \text{ mg/L}$$

di nitrato di calcio che apporteranno anche:

$$521 \text{ mg/L} \cdot 0,145 = 75,5 \text{ mg/L di } N-NO_3^-$$

e

$$521 \text{ mg/L} \cdot 0,01 = 5,2 \text{ mg/L di } N-NH_4^+$$

La ricetta prevede 10 mg/L di $N-NH_4^+$, l'acqua non ne contiene, ma aggiungendo il nitrato di

calcio si apportano 5,2 mg/L e quindi occorreranno 4,8 mg/L di $N-NH_4^+$.

Utilizzando il nitrato di ammonio (17% $N-NO_3^- + 17\% N-NH_4^+$):

$$4,8 \text{ mg/L} / 0,17 = 28,2 \text{ mg/L}$$

di nitrato di ammonio, il quale apporterà anche 4,8 mg di $N-NO_3^-$.

Sono necessari poi 40 mg/L di P, e utilizzando il fosfato di potassio (P 23%; K 28%):

$$40 \text{ mg/L} / 0,23 = 174 \text{ mg/L}$$

di fosfato monopotassico che apporterà anche

$$174 \text{ mg/L} \cdot 0,28 = 48,7 \text{ mg/L di K.}$$

Per quanto riguarda il magnesio, la ricetta ne prevede 18 mg/L e considerando la quantità presente nell'acqua di partenza dobbiamo reintegrare 12 mg/L di Mg. Utilizzando il solfato di magnesio (Mg 9,9% e S 13%):

$12 \text{ mg/L} / 0,099 = 121,2 \text{ mg/L}$ di solfato di magnesio, con cui si apportano anche:

$$121,2 \cdot 0,13 = 15,8 \text{ mg/L di S.}$$

Rimangono da bilanciare due macroelementi, il nitrato e il potassio. Cominciando dal nitrato, utilizzando il nitrato di potassio (N = 13%; K 38,1%) e il solfato di potassio (K 43%; S 17%) e considerando le quantità già apportate, ne rimangono da aggiungere 22,8 mg/L:

$$22,8 \text{ mg/L} / 0,13 = 175,4 \text{ mg/L}$$

di nitrato di potassio che apportano anche:

$$175,4 \text{ mg/L} \cdot 0,381 = 66,8 \text{ mg/L di K}$$

L'apporto di potassio necessario per arrivare alla quantità prevista nella ricetta è di 61,0 mg/L:

$$61,0 \text{ mg/L} / 0,43 = 141,86 \text{ mg/L}$$

di solfato di potassio che apportano:

$$141,86 \text{ mg/L} \cdot 0,17 = 24,1 \text{ mg/L di S.}$$

In base alle quantità di sali (S, mg o mL/L) e acidi necessari per raggiungere le concentrazioni nutritive desiderate, il volume dei contenitori (V, litri) delle soluzioni stock e del fattore di concentrazione (F) di queste ultime (mai superiore a 200-250 volte), si procede al calcolo delle quantità (Q, kg) dei vari sali da sciogliere (tab. 7b):

$$Q = S \cdot V \cdot F / 1.000.000$$

Ad esempio, nel caso dell'esempio precedente, per il nitrato di calcio, nella soluzione stock (100 litri; F = 100) si scioglieranno:

$$521 \text{ mg/L} \cdot 100 \cdot 100 / 1.000.000 = 5,2 \text{ kg.}$$

Preparazione della soluzione nutritiva

Nella preparazione delle soluzioni *stock*, i principali problemi che si incontrano sono la precipitazione dei sali a base di calcio (solfati e fosfati) e la degradazione chimica delle molecole organiche dei chelati del ferro e dei microelementi quando il pH della soluzione stock è eccessivamente basso (per l'aggiunta di acidi).

Per risolvere questi problemi occorre preparare tre soluzioni stock separate, chiamate soluzione A, B e acida (tab. 5). Normalmente nel contenitore A si mettono i sali di calcio, il chelato di ferro ed eventualmente i sali contenenti cloruro; nel contenitore B, invece, tutti i sali a base di solfato (compresi i microelementi), fosfato ed eventualmente parte dei sali a base di nitrato, come nitrato di potassio, magnesio o ammonio, in modo da ripartire egualmente la quantità totale di sali da sciogliere nei due contenitori.

Per evitare precipitazioni occorre sciogliere i sali singolarmente, possibilmente in acqua tiepida, leggermente acidificata. Fondamentale rimane, comunque, dotare i serbatoi delle soluzioni stock di agitatori meccanici che provvedono ad agitare periodicamente e in occasione di ogni intervento irriguo le soluzioni.

Il calcolo precedentemente riportato si riferisce alla preparazione di una specifica ricetta nutritiva



Impianto di fertirrigazione di un grande vivaio pistoiese

utilizzando sali semplici; tuttavia è possibile preparare la soluzione nutritiva da somministrare alla coltura utilizzando concimi idrosolubili complessi già bilanciati.

Se ad esempio vogliamo preparare una soluzione nutritiva che contenga 150 mg/L di azoto (si ricorda che 1 mg/L = 1 ppm = 1 g/m³) utilizzando un concime complesso 15:5:30 (le percentuali sono da intendersi come 15% di N, 5% di P₂O₅, 30% di K₂O) dobbiamo proseguire nel modo seguente:

$$150 \text{ g/m}^3 / 15 \cdot 100 = 1000 \text{ g/m}^3$$

Con 1 kg del suddetto concime si apportano anche:

$$1000 \cdot 5/100 = 50 \text{ g/m}^3 \text{ di P}_2\text{O}_5$$

(ossido fosforico o anidride fosforica)

$$1000 \cdot 30/100 = 300 \text{ g/m}^3 \text{ di K}_2\text{O} \text{ (ossido di K)}$$

per passare poi all'elemento puro:

$$P \text{ (mg/L)} = 50 \text{ g/m}^3 \text{ di P}_2\text{O}_5 \cdot 0,44 = 22$$

$$K \text{ (mg/L)} = 300 \text{ g/m}^3 \text{ di K}_2\text{O} \cdot 0,83 = 249$$

Per il passaggio dalle concentrazioni da mg/L a kg di concimi da utilizzare per le soluzioni stock si procede come sopra.

Conclusioni

In considerazione dei numerosi vantaggi, la fertirrigazione si sta diffondendo sempre di più nelle aziende florovivaistiche non solo per le colture in contenitore ma anche per quelle a terra. Presupposti essenziali per interventi efficaci ed efficienti sono l'installazione corretta di un sistema di miscelazione adeguato e una sua attenta manutenzione, l'uso di sali e/o concimi caratterizzati da un'elevata purezza e solubilità e, infine, una conoscenza precisa delle esigenze fisiologiche della coltura, anche in relazione alle condizioni climatiche.

Bibliografia

1. AENDEKERK T. (1997). *Fertilization guide for nursery crops*. Boomteelt, Praktijkonderzoek, Boskoop, The Netherlands.
2. BARBIERI G., DE PASCALE S. (1992). *Salinità delle acque di irrigazione e colture orto-floricole*. Colture Protette 2, 75-81.
3. ENZO M., GIANQUINTO G., LAZZERIN R., PAMPINI F., SAMBO P. (2001). *Principi tecnico-agronomici della fertirrigazione e del fuori suolo*. Veneto Agricoltura.
4. MAAS E.V., HOFFMAN G.J. (1977). *Crop salt tolerance-current assessment*. Journal of Irrigation and Drainage Div. 103, 115-134.
5. MALORGIO F., TOGNONI F. (2001). *Problematiche relative alla gestione della soluzione nutritiva in specie da fiore reciso coltivate in idroponica. Strategie per la riduzione dell'impatto ambientale*. Convegno sulle colture floricole fuori suolo, 81-92. Ercolano, novembre 2000.
6. MALORGIO F., VERNIERI P., TOGNONI F. (2002). *Note tecniche di coltivazione delle specie da fronda recisa*. Foglie e fronde in Toscana. Edizioni ACE international, Vernasca.
7. MARZIALETTI P., PARDOSSI A. (2003). *La gestione dell'irrigazione e della concimazione nelle colture florovivaistiche*. L'Informatore Agrario 21, 45-51.
8. MINUTO A., GARIBALDI A. (2001). *La disinfezione delle soluzioni nutritive nel sistema a ciclo chiuso delle colture fuori suolo. Strategie per la riduzione dell'impatto ambientale*. Convegno sulle colture floricole fuori suolo, 81-92. Ercolano, novembre 2000.
9. PARDOSSI A., BECCATELLI M., MALORGIO F., TOGNONI F. (1994). *La gestione della soluzione nutritiva in colture senza suolo a ciclo chiuso*. L'Informatore Agrario 44, 43-56.
10. SOGNI S. (1990). *La salinità delle acque di irrigazione*. L'Informatore Agrario 20, 37-46.
11. SONNEVELD C., VOOGT W., SPAANS L. (1999). *An universal algorithm for calculation of nutrient solutions*. Acta Horticulturae 481, 331-339.
12. SONNEVELD C. (2000). *Effect of salinity on substrate grown vegetables and ornamental in greenhouse horticulture*. Ph. D. Thesis, Wageningen University.
13. ZUCCARI D., DI NOIA M., SIVIERO P. (2000). *Linee guida e sistemi per la fertirrigazione in orticoltura*. L'Informatore Agrario 22, 33-36.

17. La concimazione delle piante in contenitore

Alberto Pardossi, Paolo Marzialetti

Introduzione

Un razionale piano di fertilizzazione di una pianta coltivata in vaso o comunque fuori terra consiste nel somministrare un'adeguata quantità di elementi nutritivi riducendo al minimo l'impiego dei concimi. L'obiettivo è, chiaramente, quello di ridurre il costo di produzione e, soprattutto, limitare il più possibile l'inquinamento ambientale provocato dai nutrienti, come l'azoto e il fosforo, veicolati dalle acque di drenaggio. Questo obiettivo non può prescindere dall'ottimizzazione dell'irrigazione che, di fatto, si realizza attraverso la determinazione della frazione di drenaggio (*Leaching Fraction* o *LF*) ottimale sulla base della quale può essere prima definito e poi controllato il regime irriguo. La *tab. 1* illustra i passaggi necessari per arrivare alla definizione completa del programma di concimazione.

Le esigenze nutritive delle colture

Le specie ornamentali, come tutte le piante coltivate, possono essere raggruppate in base ai fabbisogni di elementi nutritivi, soprattutto per quanto riguarda l'azoto. Classificare le specie in almeno tre categorie (con fabbisogno nutritivo basso, medio o alto) consente di scegliere il regime di fertilizzazione più adeguato dal punto di vista della produzione quanti-qualitativa e della sostenibilità del processo produttivo. La conoscenza delle esigenze minerali, poi, è importante anche a livello organizzativo, soprattutto per le aziende vivaistiche caratterizzate da un mix produttivo molto vasto, nelle quali può essere necessario suddividere le aree di coltivazione in settori con specie simili dal punto di vista dei fabbisogni nutritivi.

Purtroppo, non esistono in letteratura pubblicazioni che riportano in modo chiaro e univoco le esigenze minerali delle tante specie d'interesse florovivaistico, anche perché queste sono influenzate

Tab. 1 - Schema logico per l'elaborazione di un programma di fertilizzazione per colture ornamentali in contenitore

<i>Obiettivo</i>	<i>Classi e tipologie di intervento</i>
1. Classificazione delle specie coltivate in funzione delle esigenze nutritive	<ul style="list-style-type: none">• Fabbisogni nutritivi bassi• Fabbisogni nutritivi medi• Fabbisogni nutritivi alti
2. Determinazione della frazione di drenaggio Piano di concimazione: concimazione pre-trapianto Piano di concimazione: fertirrigazione	<ul style="list-style-type: none">• Concimi a pronto rilascio• Concimi a lento rilascio• Fertirrigazione continua• Fertirrigazione discontinua
3. Monitoraggio della coltura	<ul style="list-style-type: none">• Acqua di drenaggio• Substrato

Tab. 2 - Classificazione delle specie ornamentali in funzione del loro fabbisogno nutritivo, stimato in base alla concentrazione fogliare (% sostanza secca) di macronutrienti

Nutriente	Fabbisogno nutritivo della coltura		
	Basso	Medio	Alto
Azoto (N)	1,7 - 2,4	2,4 - 3,0	> 3,0
Fosforo (P)	0,2 - 0,3	0,3 - 0,5	> 0,5
Potassio (K)	1,0 - 1,5	1,6 - 2,2	> 2,2

Tab. 3 - Intervalli di sufficienza (% sostanza secca) del contenuto minerale delle foglie di alcuni gruppi di specie ornamentali (valori indicativi ricavati da test diversi)

Specie	Azoto (N)	Fosforo (P)	Potassio (K)
Specie ornamentali in genere	3,5 - 5,5	0,4 - 1,0	2,0 - 8,0
Specie da vaso fiorito	3,0 - 5,0	0,3 - 0,7	2,5 - 4,0
Specie da bordura fiorita	3,5 - 4,5	0,4 - 0,7	2,0 - 6,0
Specie da fiore reciso	4,0 - 6,0	0,2 - 0,6	3,5 - 6,0
Arbusti ornamentali	2,5 - 3,5	0,2 - 0,5	1,5 - 3,0
Conifere	1,3 - 3,0	0,2 - 0,5	1,0 - 2,0

dalle condizioni di coltivazione e possono variare da cultivar a cultivar. In generale, le latifoglie, le sempreverdi, le piante coltivate in serra e in contenitore tendono ad avere esigenze superiori a quelle, rispettivamente, delle conifere, delle specie decidue e delle piante coltivate a terra e in piena aria (vedi Quaderno ARSIA 2/2004).

Di seguito si riportano alcuni criteri con cui i florovivaisti, anche sulla base di un'attenta osservazione del comportamento delle piante, possono provvedere a una classificazione delle varie specie coltivate.

1. *Consumi idrici*. Esiste, in genere, una correlazione positiva tra consumi idrici e fabbisogni nutritivi; una specie che richiede molta acqua normalmente si accresce rapidamente e, conseguentemente, ha necessità di quantità relativamente elevate di elementi minerali.

2. *Contenuto fogliare di macroelementi*. Un valore relativamente alto della concentrazione ottimale di macroelementi nelle foglie è normalmente indice di un notevole fabbisogno nutritivo della specie in esame. Molti testi riportano questi dati per numerose specie ornamentali (ad esempio, Mills e Beton Jones, 1996). Le *tabb. 2 e 3* consentono di suddividere le specie in tre gruppi diversi in funzione della concentrazione ottimale di nutrienti nelle foglie (Aendekerk, 1997). La *tab. 4* riporta anche una classificazione di un certo numero di piante ornamentali ripresa da un testo pubblicato nel 2000 dalla *Southern Nursery Association* (SNA) della Florida.

3. *Resistenza alla salinità*. La resistenza alla salinità, in genere, si esprime attraverso il valore della conducibilità elettrica dell'acqua irrigua (EC_e) e/o del substrato di coltivazione (EC_{SUB}) al di sopra del quale inizia a manifestarsi un'evidente riduzione del tasso di crescita. Le specie ornamentali sono considerate relativamente poco tolleranti alla salinità del substrato e dell'acqua irrigua; esistono, comunque, notevoli differenze tra una specie e l'altra. Una pianta poco tollerante alla salinità richiede, solitamente, una minore quantità di elementi fertilizzanti, come pure un frazionamento spinto del rifornimento nutritivo, in modo da evitare un innalzamento eccessivo della salinità del substrato.

Determinazione della frazione di drenaggio

Nelle colture in contenitore i volumi irrigui erogati sono normalmente superiori rispetto alle effettive necessità fisiologiche della coltura per *i)* consentire un'umidificazione uniforme della zona radicale; *ii)* compensare la difformità nella portata effettiva dei singoli erogatori (gocciolatori, irrigatori ecc.) e nella traspirazione delle singole piante; *iii)* evitare nel substrato di coltura l'accumulo di sali, presenti nell'acqua irrigua e/o aggiunti con i concimi minerali. Di fatto, a ogni irrigazione, alle piante viene distribuita una quantità di acqua tale

Tab. 4 - Classificazione di alcune specie ornamentali in funzione delle esigenze nutritive espresse nella coltura in contenitore*

<i>Esigenze ridotte</i>	<i>Esigenze medie</i>	<i>Esigenze elevate</i>
• <i>Camellia japonica</i>	• <i>Abelia x grandiflora</i>	• <i>Liriope muscari</i>
• <i>Camellia sasanqua</i>	• <i>Acca sellowiana (Feijoa)</i>	• <i>Magnolia grandiflora</i>
• <i>Cortaderia selloana</i>	• <i>Acer rubrum</i>	• <i>Mahonia fortunei</i>
• <i>Eriobotrya japonica</i>	• <i>Aucuba japonica</i>	• <i>Nandina domestica</i>
• <i>Hydrangea macrophylla</i>	• <i>Aspidistra elatior</i>	• <i>Photinia x fraseri</i>
• <i>Lantana montevidensis</i>	• <i>Butia capitata</i>	• <i>Pittosporum tobira</i>
• <i>Liriope spp.</i>	• <i>Buxus microphylla</i>	• <i>Podocarpus macrophyllus</i>
• <i>Myrica cerifera</i>	• <i>Chamaerops humilis</i>	• <i>Quercus laurifolia</i>
• <i>Nerium oleander</i>	• <i>Cycas revoluta</i>	• <i>Quercus virginia</i>
• <i>Pennisetum setaceum</i>	• <i>Dietes vegeta</i>	• <i>Trachelospermum asiaticum</i>
• <i>Plumbago auriculata</i>	• <i>Fatsia japonica (Aralia)</i>	• <i>Trachycarpus fortunei</i>
• <i>Pinus spp.</i>	• <i>Gardenia jasminoides</i>	• <i>Ulmus parvifolia</i>
• <i>Prunus caroliniana</i>	• <i>Hedera helix</i>	• <i>Viburnum spp.</i>
• <i>Rhododendron spp.</i>	• <i>Hemerocallis spp.</i>	• <i>Viburnum suspensum</i>
• <i>Taxodium distichum</i>	• <i>Ilex x attenuata</i>	• <i>Washingtonia robusta</i>
	• <i>Ixora coccinea</i>	• <i>Zamia floridana</i>
	• <i>Juniperus chinensis</i>	
	• <i>Lagerstroemia indica</i>	

* Le esigenze sono, comunque, fortemente dipendenti dal tasso di crescita, a sua volta condizionato dalle condizioni di coltivazione.
Fonte: SNA, 2000.

da portare il contenuto idrico del sistema substrato-contenitore al di sopra della sua capacità di ritenzione idrica; così, dopo ogni intervento irriguo, c'è dell'acqua che percola dal fondo del vaso (acqua di drenaggio).

La frazione di drenaggio *LF* rappresenta il rapporto (in genere, percentuale) tra il volume dell'acqua erogata (*I*) e quello dell'acqua di drenaggio (*D*):

$$LF = D / I \quad Eq. 1$$

Nelle colture in vaso, i valori di *LF* oscillano tra il 0,2 e 0,5 (20-50%). La *LF* deve essere tanto più alta quanto maggiore è la *EC_I*, e/o minore è la resistenza alla salinità della coltura.

Più è alta la *LF*, minori sono le differenze tra la *EC* dell'acqua irrigua (*EC_I*; presumibilmente è quella ottimale per la specie in questione) e la *EC* dell'acqua di drenaggio (*EC_D*). La *EC_{SUB}* è approssimativamente uguale alla media tra *EC_I* e *EC_D*. La *tab. 5* consente di determinare rapidamente la *LF* in funzione di *EC_I* e della tolleranza alla salinità alla coltura, espressa come valore massimo di *EC_{SUB}* o di *EC_D*. I valori di *LF* sono quelli (arrotondati) calcolati con la seguente equazione (Reed, 1996):

$$LF = EC_I / [5 \cdot (EC_{SUB} - EC_I)] \quad Eq. 2$$

La concimazione

Le piante in contenitore possono essere fertilizzate attraverso interventi in pre-trapianto e in copertura.

La concimazione pre-trapianto consiste nell'aggiungere una certa quantità di fertilizzanti, sia solubili (cioè di pronto effetto) sia a lento rilascio o CLR (molto diffusi, sono i concimi cosiddetti incapsulati; vedi Capitolo 15) al substrato prima del trapianto/rinvaso, in modo da garantire una certa riserva nutritiva. Le dosi non devono essere eccessive sia per favorire una rapida formazione delle radici dopo il trapianto, sia per evitare stress salini. La concimazione pre-trapianto è integrata durante la coltivazione con la fertirrigazione e – pratica ancora molto diffusa – con la distribuzione estemporanea di CLR, in genere per favorire la ripresa vegetativa che normalmente caratterizza l'ultima parte della stagione estiva.

Un esempio di piano di concimazione è riportato nella *tab. 6*.

La fertirrigazione consiste nel somministrare una soluzione nutritiva con macro- e micronutrienti attraverso l'impianto di irrigazione, solitamente a goccia o a sorsi. La fertirrigazione può essere continua, cioè il concime viene distribuito a

Tab. 5 - Percentuale di drenaggio (*leaching fraction* o *LF*) per colture in contenitore con diverso gradodi tolleranza alla salinità*

EC_i (mS/cm)	Risposta della coltura alla salinità del substrato (massimo valore di EC_{SUB} o EC_D , mS/cm)			
	< 1,4	< 2,1	< 2,8	< 3,5
1,2		30%	15%	105%
1,4		40%	20%	15%
1,6		65%	30%	20%
1,8			40%	25%
2,0			50%	30%
2,2			75%	35%
2,4				45%
2,6				60%
2,8				80%

* Espresso come valore massimo della conducibilità elettrica del substrato, EC_{SUB} , o dell'acqua di drenaggio, EC_D , in funzione della conducibilità elettrica dell'acqua di irrigazione o di fertirrigazione (EC)

Tab. 6 - Piano di concimazione

Fabbisogno nutritivo della coltura	Basso	Medio Dose (kg/m ²)	Alto
Concime minerale complesso con titolo equilibrato (ad esempio, Nitrophoska Blu 12-12-17, + microelementi)	0,8	1,0	1,2
CLC con titolo equilibrato (ad esempio 15-10-12+micro)			
• Trapianto in marzo-aprile: tempo di rilascio di 8-9 mesi	0,5 - 0,7	0,8 - 1,4	1,5 - 2,0
• Trapianto in aprile-maggio: tempo di rilascio di 5-6 mesi			
• Trapianto in giugno-luglio: tempo di rilascio di 3-4 mesi			
• CLC con titolo equilibrato (ad esempio 15-10-12) e tempi di rilascio di 12-14 mesi nel caso di conifere e specie sempreverdi	0,8	1,0	1,2

ogni intervento irriguo, o discontinua, in genere a frequenza settimanale; nel secondo caso si usano concentrazioni più elevate. La fertirrigazione deve prevedere un'accurata acidificazione dell'acqua irrigua (consigliabile in ogni caso) per rendere gli elementi nutritivi più solubili, facilitare l'assorbimento radicale ed evitare, infine, che per fenomeni di precipitazione chimica siano danneggiati gli impianti irrigui.

I valori di pH ottimali sono i seguenti: 4,3-4,5 per le piante acidofile (azalee, rododendri, eriche...); 4,8-5,2 per le conifere; 5,5-6,0 (< 6,5) per le altre specie.

Le soluzioni nutritive possono essere preparate utilizzando dei sali semplici (comunque, prodotti specifici per fertirrigazione, cioè con elevata purezza e solubilità) oppure dei concimi idrosolubili, molto più costosi. Nella *tab. 7* si riportano le dosi indicative per diverse tipologie di coltivazione, di nuovo in funzione delle esigenze delle piante. Il

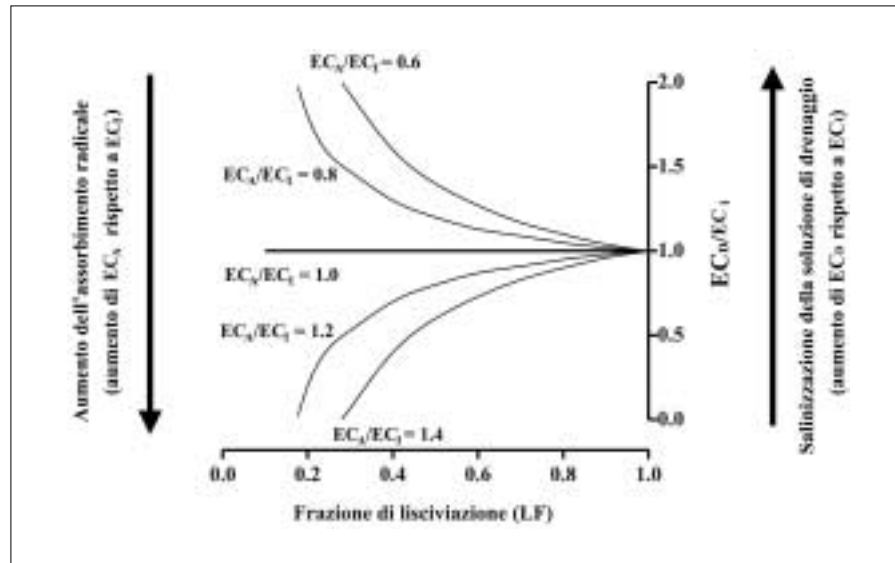
ferro e i microelementi possono essere forniti aggiungendo alla soluzione di fertirrigazione un prodotto a base di chelati in concentrazione pari a 20-50 mg/L.

Il monitoraggio della coltura

Nelle colture su substrato irrigate a pioggia e soprattutto a goccia o a sorsi, è di fondamentale importanza il continuo monitoraggio del volume e di EC_D .

Il volume del drenaggio serve per determinare l'effettiva *LF* e confrontarla con i valori prestabiliti. Valori di *LF* superiori o inferiori a quelli previsti indicano la necessità di modificare il regime irriguo e, prima ancora, di verificare il corretto funzionamento dell'impianto di irrigazione: una riduzione della portata dei gocciolatori, ad esempio, potrebbe essere la causa di una *LF* inferiore a quella desiderata.

Fig. 1 - Relazione tra la frazione di lisciviazione (LF) e il rapporto tra la conducibilità elettrica dell'acqua di drenaggio (EC_D) e quella di irrigazione/fertirrigazione (EC_I). Per valori del rapporto EC_A/EC_I pari ad 1, EC_D è uguale a EC_I indipendentemente da LF (la relazione è indicata dalla linea più spessa). Inoltre, per valori di LF tendenti a 1, EC_A , EC_D e quindi EC_{SUB} (pari alla media tra EC_A e EC_D) tendono a coincidere



La misura di EC_D può suggerire la necessità di modificare il regime irriguo e/o la fertilizzazione, prima che questo suggerimento arrivi dalla coltura stessa, espresso dalla riduzione della crescita o dalla comparsa di fisiopatie (necrosi, clorosi ecc.) più o meno gravi.

La relazione tra EC_D , LF e EC_I è descritta dalla seguente equazione (Sonneveld, 2000):

$$EC_D = [EC_I - (1-LF) \cdot EC_A] / LF \quad Eq. 3$$

EC_A è la concentrazione (espressa come conducibilità elettrica) apparente dell'acqua assorbita dalle radici, che dipende dalle caratteristiche fisiologiche della coltura legate alla specie, allo stadio di sviluppo e anche alle condizioni ambientali.

Normalmente, EC_D è superiore a EC_I , in quan-

to EC_A è inferiore a EC_I (il rapporto EC_A/EC_I oscilla tra 0,4 e 0,8). Questa differenza dovrebbe essere intorno a 0,30 - 0,50 mS/cm, in ogni caso mai superiore ad 1,0 mS/cm, in modo da evitare una pericolosa salinizzazione del substrato. I valori massimi di EC_D dipendono, ovviamente, dalla resistenza della coltura alla salinità (vedi tab. 8).

La simulazione della fig. 1 è stata realizzata utilizzando l'Eq. 3. È evidente che sia la diminuzione di LF, sia quella dell'assorbimento minerale delle radici (cioè, di EC_A e quindi del rapporto EC_A/EC_I) determinano un aumento di EC_D . Al contrario, la soluzione di drenaggio può risultare meno concentrata rispetto a quella erogata, se LF è particolarmente bassa e, nel contempo, EC_A è maggiore di EC_I ; più semplicemente, anche se in modo

Tab. 7 - Concentrazioni nutritive e conducibilità elettrica dell'acqua di fertirrigazione (EC_I) in caso di interventi continui o settimanali (valori tra parentesi)

Fabbisogno nutritivo della coltura	N mg/L	P mg/L	K mg/L	Idrosolubile 20-10-20 mg/L	EC_I^* (mS/cm)
VIVAIO IN PIENA ARIA O SOTTO OMBRARIO					
Basso	40 (200)	10 (50)	30 (150)	200 (800)	0,3 (0,8)
Medio	80 (400)	20 (100)	60 (300)	400 (1600)	0,6 (2,0)
Alto	120 (600)	30 (150)	100 (500)	600 (2000)	0,8 (2,5)
SERRA					
Basso	60 (400)	15 (75)	50 (250)	300 (1200)	0,4 (1,2)
Medio	100 (360)	25 (125)	80 (400)	500 (1500)	0,7 (2,5)
Alto	140 (480)	35 (175)	110 (550)	700 (2500)	1,0 (3,0)

* I valori di EC_I sono puramente indicativi; sono stati, infatti, calcolati sulla base della concentrazione del concime idrosolubile e non tengono conto dell'acqua irrigua disponibile.

Tab. 8 - Valori massimi della conducibilità elettrica dell'acqua di drenaggio (EC_D) nella coltivazione in contenitore di specie ornamentali con diversa tolleranza alla salinità

Tolleranza alla salinità della coltura	max EC_D (mS/cm)
Bassa	1,3 - 1,5
Moderata	1,8 - 2,0
Alta	2,5 - 2,8
Molto alta	2,8 - 3,0

Tab. 9 - Possibili cause e rimedi per un'eccessiva discrepanza tra i valori della conducibilità elettrica dell'acqua di irrigazione/fertirrigazione (EC_I) e di drenaggio (EC_D)

	Cause	Rimedi
$EC_D > EC_I$	<ul style="list-style-type: none"> • LF troppo bassa • EC_I troppo alta ($EC_A < EC_I$) • Rilascio di nutrienti da parte dei CLC superiore al previsto (ad esempio: per il caldo) 	<ul style="list-style-type: none"> • Controllare LF e impianto irriguo (verificare l'eventuale perdita di portata dell'impianto); eventualmente, modificare il regime irriguo. • Controllare EC_I e il funzionamento del fertirrigatore (ad es.: portata delle pompe dosatrici, taratura delle sonde di EC); ridurre EC_I. • Aumentare LF e ridurre EC_I, in modo da dilavare il substrato
$EC_D < EC_I$	<ul style="list-style-type: none"> • EC_I troppo bassa ($EC_A > EC_I$) (fabbisogno nutritivo della coltura superiore al previsto) • LF troppo bassa 	<ul style="list-style-type: none"> • Controllare EC_I e il funzionamento del fertirrigatore (ad es.: portata delle pompe dosatrici, taratura delle sonde di EC); aumentare EC_I ed eventualmente LF • Controllare LF e impianto irriguo (verificare l'eventuale perdita di portata dell'impianto); eventualmente, modificare il regime irriguo.

non del tutto esatto, se le piante assorbono gli elementi nutritivi con un tasso superiore a quello con cui vengono alimentate.

Così, una marcata differenza tra EC_D ed EC_I , in un senso o nell'altro, indica la necessità di modificare LF (quindi, il regime irriguo) e/o la concentrazione della soluzione di fertirrigazione. Se EC_D è maggiore di EC_I , probabilmente il valore di LF è troppo basso (cioè, stiamo sottostimando il fabbisogno idrico) o, se così non è, il rifornimento nutritivo è eccessivo rispetto alle esigenze della coltura in questione; occorre, quindi, ridurre la concentrazione della soluzione di fertirrigazione. Un marcato, magari anche improvviso, aumento di EC_D potrebbe essere causato da un aumento della velocità di rilascio dei nutrienti dal concime a lento effetto aggiunto al substrato (ad esempio, in seguito a una stagione molto calda, considerando l'effetto della temperatura sul rilascio dei nutrienti dai CLR; vedi Capitolo 15). Diversamente, un valore di EC_D inferiore a EC_I è indice di un rifornimento nutritivo insufficiente; in tal caso, appare opportu-

no aumentare la concentrazione (EC_I) e/o il volume della soluzione nutritiva erogata, sempre che LF non sia già troppo alta.

Inutile dire che, nel caso di un'eccessiva salinità del substrato, questo deve essere dilavato aumentando la frequenza e i volumi irrigui. Vale la pena ricordare, però, che nel caso di colture fertirrigate non deve mai essere erogata solo acqua, ma sempre della soluzione nutritiva, pur con una concentrazione salina ridotta (indicativamente pari al 50-30% di quella ottimale). Nella *tab. 9* si riportano in modo schematico le cause di un'eccessiva differenza (in un senso o nell'altro) tra EC_I ed EC_D e i relativi interventi correttivi.

Le analisi del substrato

In serra e in vivaio è spesso necessario analizzare i substrati di coltura per meglio gestire l'irrigazione e la concimazione e chiarire, eventualmente, le cause di una crescita stentata delle piante o della

comparsa di una fisiopatia d'incerta eziologia. Non sempre, però, è possibile ricorrere alle tradizionali (e costose!) analisi di laboratorio, soprattutto quando occorre avere una risposta "in giornata".

Grazie alla ricerca scientifica e allo sviluppo tecnologico nel campo del monitoraggio ambientale e industriale, oggi sono disponibili in commercio dei veri e propri laboratori tascabili con i quali è possibile misurare, in pochi minuti e in modo sufficientemente accurato, il pH, la EC e il contenuto dei principali elementi nutritivi dei substrati di coltura (vedi Capitolo 9). Un'analisi di questo tipo, restringendo il campo d'indagine ai parametri sopra elencati, costa solo pochi euro per campione, includendo l'ammortamento della strumentazione, il cui costo si aggira al massimo intorno a un migliaio di euro.

Esistono due protocolli principali per l'analisi rapida (*on-farm*) dei substrati, descritti nell'*Inserto*. In entrambi i casi, le determinazioni analitiche sono effettuate sulla soluzione acquosa derivata dall'estrazione del substrato (metodo dell'estratto acquoso) o recuperata dal fondo del vaso dopo una leggera innaffiatura con acqua deionizzata (metodo del percolato indotto, noto anche come *Virginia Tech Extraction Method o pour-through*; <http://pubs.caes.uga.edu/caespubs/horticulture/solublesalts.html>). Il secondo metodo è apparentemente molto semplice, ma l'interpretazione è più difficile che nel primo caso; indicativamente, i valori dei vari parametri non dovrebbero essere superiori a quelli dell'acqua di fertirrigazione. Il metodo, inoltre, richiede la standardizzazione del volume d'acqua aggiunto al vaso; orientativamente, per un vaso del 18 sono necessari non meno di 150 mL, in modo da raccogliere circa 100 mL di percolato.

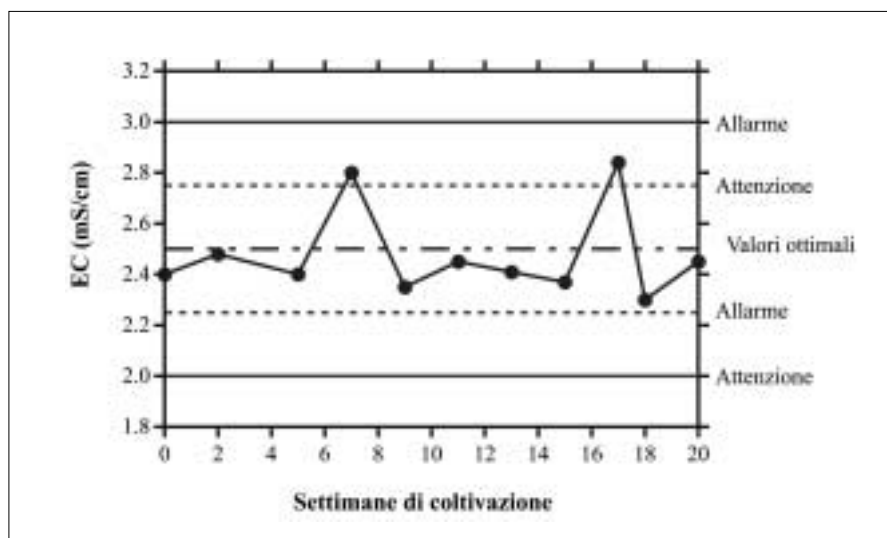
Qualunque sia il protocollo utilizzato, occorre



Coltivazione in contenitore di grandi esemplari di alberi ornamentali (magnolie)

campionare almeno una decina di vasi, evitando di raccogliere campioni di vasi con specie diverse e/o riempiti con substrati diversi. Quel che è più importante è utilizzare questo metodo fin dalle primissime fasi di coltivazione; in pratica, il primo campionamento deve essere fatto subito dopo il trapianto, quando presumibilmente i valori dei vari parametri chimici (pH, EC, concentrazione di nutrienti) sono

Fig. 2 - Esempio di registrazione dei valori di conducibilità elettrica (EC) dell'acqua di drenaggio in una coltura in vaso. I dati raccolti periodicamente durante la coltivazione sono posti a confronto con i valori di riferimento: ottimali, di attenzione e di allarme



quelli ottimali per la coltura in esame; in questo modo è possibile determinare per ogni coltura i valori di riferimento dei vari parametri.

Più in generale, le analisi in azienda dei substrati e/o delle soluzioni nutritive (erogate e di drenaggio) dovrebbero essere inserite in un programma di monitoraggio della coltura che prevede la registrazione dei risultati in una sorta di tracciato clinico, come quello della *fig. 2*. Nel grafico, i dati raccolti durante la coltivazione sono confron-

tati con i valori ottimali, di attenzione e di allarme; questi ultimi sono pari, indicativamente, al 10% e 20% in più o in meno rispetto ai valori ottimali, che sono scelti per ogni coltura sulla base di informazioni bibliografiche e/o delle precedenti esperienze di coltivazione. Nell'esempio della *fig. 2*, in due diverse occasioni sono stati superati i valori di attenzione. I motivi, se noti, delle eventuali anomalie e le misure correttive adottate devono anch'essi essere accuratamente annotati.

Bibliografia

1. AENDERKERK T. (1997). *Fertilization guide for nursery crops*. Boomteelt Pratijskonderzoek, Boskoop (NL).
2. MILLS H.A., BENTON JONES J. eds. (1996). *Plant Analysis Handbook II*. Micromacro Publishing, Athens, USA.
3. REED D.W. (1996), *Water, media and nutrition for greenhouse crops*. Ball Publishing Book, Batavia, USA.
4. SOUTHERN NURSERY ASSOCIATION (2000). *Best management practices guide for producing container-grown plants*. (Ver. 1). Atlanta, USA (www.sna.org)
5. SONNEVELD C. (1985). *A method for calculating the composition of nutrient solutions for soilless cultures*. Glasshouse Crops Res Exper. Sta., Naaldwijk, The Netherlands.
6. SONNEVELD C. (2000). *Effect of salinity on substrate grown vegetables and ornamentals in greenhouse horticulture*. Ph.D. Thesis, Wageningen University.
7. TESI R. (1992). *Colture Protette: Ortoflorovivaismo*. Edagricole, Bologna, 1992.

INSERTO - L'analisi rapida dei substrati di coltura

In serra e in vivaio è spesso necessario analizzare i substrati di coltura per meglio gestire l'irrigazione e la concimazione o individuare le cause di uno squilibrio della crescita delle piante. Di seguito sono illustrati due protocolli per l'analisi chimica rapida dei substrati di coltivazione, il primo basato su di un estratto acquoso, il secondo sulla raccolta d'acqua fatta opportunamente percolare dal vaso. Considerando la semplicità delle operazioni, le analisi non comportano particolari rischi.

Metodo dell'estratto acquoso

L'attrezzatura necessaria è la seguente: un barattolo graduato da 1000 mL; un imbuto; carta da filtro; una vaschetta di plastica (del tipo di quelle a uso alimentare); un cucchiaino o una spatola; spruzzetta con acqua deionizzata. Per le determinazioni analitiche sono necessari un pH/EC-metro termocompensato.

Operazioni

1. Mettere circa 300 mL di substrato nella vaschetta di plastica.
2. Umidificare il substrato aggiungendo lentamente acqua e agitando con il cucchiaino fino al raggiungimento della capacità di contenitore, cioè fino a quando non appare un sottilissimo velo d'acqua sul fondo della vaschetta.
3. Aggiungere 400 mL d'acqua deionizzata a un barattolo graduato da 1 litro e quindi il substrato umidificato in modo da portare il livello della sospensione fino a 600 mL (estratto con rapporto substrato:acqua di 1:2).
4. Tappare il barattolo, agitare energicamente per un paio di minuti, attendere circa 15 minuti, quindi filtrare con carta da filtro aiutandosi con un imbuto.
5. Sulla soluzione di filtrazione, misurare il pH e la EC con gli strumenti portatili, preventivamente calibrati.

Tab. 1 - Valori di riferimento per le analisi dei substrati di coltivazione condotto secondo il metodo dell'estratto acquoso (rapporto volumetrico di estrazione 1:2, substrato:acqua)*

Parametro	Fabbisogno nutritivo della coltura		
	Basso	Medio	Alto
pH		5,0 - 6,5	
EC (mS/cm)	< 0,80	0,80 - 1,50	> 1,50
N-nitrato (mg/L)	< 30	30 - 70	> 70
N-ammonio (mg/L)	< 20	20 - 30	> 30
K (mg/L)	< 70	70 - 100	> 100
P (mg/L)	< 3	3 - 6	> 6
Ca (mg/L)	< 50	50 - 80	> 80
Mg (mg/L)	< 20	20 - 35	> 35
Na e Cl (mg/L)	< 20	20 - 80	> 80
Fe (mg/L)	< 0,2	0,2 - 1,0	> 10
Microelementi (mg/L)	< 0,01	0,01 - 0,03	> 0,3

* Indicativamente, i valori dei vari parametri determinati nell'estratto acquoso sono inferiori di 2,5 (EC, concentrazione di K) o 3 volte (approssimativamente) rispetto a quelli della soluzione all'interno del substrato di coltivazione.

Metodo del percolato

L'attrezzatura necessaria è la seguente: un barattolo graduato; un cilindro graduato; un sottovaso pulito; una spruzzetta con acqua deionizzata; pH/EC-metro termocompensato. Il campione di soluzione acquosa da analizzare deve essere raccolto alla fine di un'irrigazione, dopo aver lasciato percolare l'acqua in eccesso.

Operazioni

1. Porre il vaso in un sottovaso e aggiungere lentamente dell'acqua deionizzata sulla superficie del substrato (ad esempio, 150 mL per un vaso di diametro 18).
2. Raccogliere il percolato dal sottovaso ed eventualmente filtrarlo.
3. Analizzare il percolato come nel caso dell'estratto acquoso.



Fig. 1 - Fasi di un'analisi rapida dei substrati condotta con il metodo del percolato:
 A) aggiunta dell'acqua deionizzata al vaso precedentemente portato alla capacità idrica di contenitore;
 B) raccolta dell'acqua di percolazione;
 C) analisi della EC sul percolato

Tab. 2 - Valori di riferimento per il pH e la EC della soluzione acquosa raccolta con il metodo del percolato indotto

pH	5,0 - 6,5
EC (mS/cm)	0,5 - 0,8 mS/cm (coltura fertirrigata di specie sensibili alla salinità)
	0,8 - 1,5 mS/cm (coltura fertirrigata della maggior parte delle specie)
	0,4 - 1,0 mS/cm (coltura fertilizzata con concimi a lento rilascio)

18. I sistemi chiusi per le produzioni florovivaistiche di serra

Alberto Pardossi, Luca Incrocci, Giulia Carmassi

Introduzione

Le colture fuori suolo (dette anche idroponiche) comprendono tutte le tecniche di coltivazione delle piante fuori terra, cioè in substrati artificiali o in coltura liquida. Questi tipi di colture sono anche classificate in base al tipo di substrato impiegato, al metodo di distribuzione della soluzione nutritiva e al recupero o meno della soluzione di drenaggio (sistemi chiusi o aperti). Tutti i sistemi idroponici si basano sull'erogazione alla coltura di una soluzione nutritiva contenente i macro- e i micro-elementi, con valori sub-acidi del pH e una concentrazione totale di nutrienti relativamente elevata (fino a 20-40 mmoli/L).

La soluzione nutritiva è generalmente preparata per mezzo di fertirrigatori più o meno complessi, che in pratica diluiscono due o più soluzioni-madre con l'acqua irrigua e controllano il pH (vedi Capitolo 11). La soluzione nutritiva così preparata può essere distribuita alle piante mediante un sistema di gocciolatori o per subirrigazione (a flusso e riflusso o per scorrimento). Negli impianti NFT (*Nutrient Film Technique*), invece, la soluzione scorre in canalette poste in leggera pendenza dove vengono disposte le piante senza substrato. Nel *floating*, infine, la soluzione nutritiva è stagnante, eventualmente arieggiata con un compressore.

Nelle colture su substrato a ciclo chiuso, sicuramente le più diffuse a livello mondiale, la soluzione nutritiva è normalmente distribuita sulla base della stima dei fabbisogni idrici della coltura; di fatto, cioè, è l'irrigazione che controlla il rifornimento nutritivo. In queste colture la soluzione nutritiva è erogata in eccesso rispetto alle necessità fisiologiche delle colture per tre ragioni: per le differenze nella traspirazione tra pianta e pianta e nella portata degli erogatori (gocciolatori, in gene-

re), e per la necessità di evitare un accumulo di sali nella zona radicale. La frazione di drenaggio (rapporto tra soluzione drenata ed erogata) è di almeno il 25-30% e, molto spesso, assai più alta. Ciò determina un notevole spreco di acqua e di nutrienti ed è causa di un non trascurabile inquinamento. A titolo di esempio, si riportano i dati relativi a una coltura fuori suolo a ciclo aperto di rosa (Baille, 1998): per 1 ha, ogni anno, sono necessarie oltre 1000 m³ di acqua e quasi 17 tonnellate di nutrienti (comprendendo N, P, K, Ca, Mg, di cui 1,4 t sono solo di N) e di queste circa il 25% dell'acqua e il 35% degli elementi nutritivi sono persi con le acque di drenaggio.

Per ovviare a questo inconveniente, si può ricorrere all'impiego dei cosiddetti sistemi di coltivazione *zero-runoff*, intendendo con questo termine tutti quei sistemi in cui la perdita di nutrienti e di acqua è ridotta o nulla, in virtù di un recupero e reimpiego delle acque di drenaggio (sistemi chiusi) o di una particolare gestione dell'irrigazione (sistemi virtualmente chiusi, cioè senza drenaggio o *zero-drain*).

Nei sistemi a ciclo aperto le piante sono continuamente rifornite con una soluzione nutritiva fresca; la gestione risulta assai semplice, in quanto il problema principale è quello di assicurare un ottimale rifornimento idrico riducendo al minimo il drenaggio. Nei sistemi a ciclo chiuso, invece, si hanno alcune problematiche essenzialmente riconducibili a:

1. i maggiori rischi di attacchi parassitari, soprattutto per le malattie radicali (ad esempio, *Pythium* spp., *Verticillium* spp., *Fusarium* spp.), che sono veicolati dalla soluzione ricircolante e che impongono spesso (ma non necessariamente) l'adozione di un sistema di disinfezione della soluzione drenata;

2. le maggiori difficoltà nel controllo della concentrazione dei nutrienti e degli ioni non essenziali o poco assorbiti dalle piante (Na, Cl, microelementi ecc.) nella soluzione ricircolante, soprattutto quando si usano acque saline.

In questo paragrafo saranno affrontati i principali aspetti legati alla coltivazione con sistemi ricircolanti, con particolare riguardo al controllo della soluzione nutritiva. La disinfezione è trattata in modo più approfondito nei Capitoli 10 e 21. Ricordiamo soltanto che qualunque sia il sistema di disinfezione utilizzato, il coltivatore non può fare a meno di adottare una serie di misure di profilassi, quali:

- l'accurata disinfezione della serra e degli impianti prima di ogni nuovo trapianto;
- l'uso di substrati sterili;
- l'impiego di materiale di propagazione sano;
- l'isolamento della serra dall'ambiente esterno, anche attraverso l'uso di reti anti-insetto (spesso gli insetti sono dannosi in quanto vettori di gravi malattie);
- la cura nella esecuzione delle varie operazioni colturali;
- il mantenimento di un ambiente di coltivazione pulito e ordinato: ad esempio, rimuovendo i residui vegetali prodotti con le potature verdi, tenendo pulito il pavimento, prevedendo una disinfezione delle calzature del personale all'ingresso nella serra, e così via;
- il continuo monitoraggio della coltura allo scopo di intervenire subito in caso di attacchi di patogeni, magari semplicemente eliminando le piante ammalate.

In molte colture, soprattutto se a ciclo breve, l'adozione di queste 'semplici' misure può ovviare

alla mancata installazione di specifici sistemi di disinfezione della soluzione nutritiva ricircolante.

La gestione della soluzione nutritiva nel ciclo chiuso

Nei sistemi chiusi, la soluzione di drenaggio è recuperata e ridistribuita alla coltura dopo un opportuno aggiustamento del pH e della conducibilità elettrica (EC), ed eventualmente dopo essere stata disinfettata. Nella *fig. 1* è schematizzato un tipico sistema a ciclo chiuso. Le componenti più rilevanti sono:

1. il fertirrigatore che, sulla base della misura in linea del pH e dell'EC, prepara la soluzione nutritiva e la distribuisce alla coltura sulla base di un regime irriguo definito a priori (mediante un timer) oppure sulla stima dell'evapotraspirazione della coltura (usando, ad esempio, un solarimetro, come nella *fig. 1*);
2. i contaltri: questi sono posti, a valle (VD) e a monte (VI) della coltura, per stimare dal rapporto dei valori registrati la percentuale di drenaggio; un altro rileva il consumo effettivo di acqua della coltura (V_{ETE});
3. un sistema di valvole per la miscelazione (EV1), controllata dal fertirrigatore, dell'acqua irrigua 'fresca' e della soluzione di recupero; per l'attivazione dell'irrigazione (EV2); eventualmente, per lo scarico del drenato raccolto quando il valore di EC è troppo alto (EV3);
4. le sonde di pH e EC nella vasca di recupero del drenato;
5. (eventualmente) l'impianto di disinfezione e la vasca di stoccaggio dell'acqua così trattata.

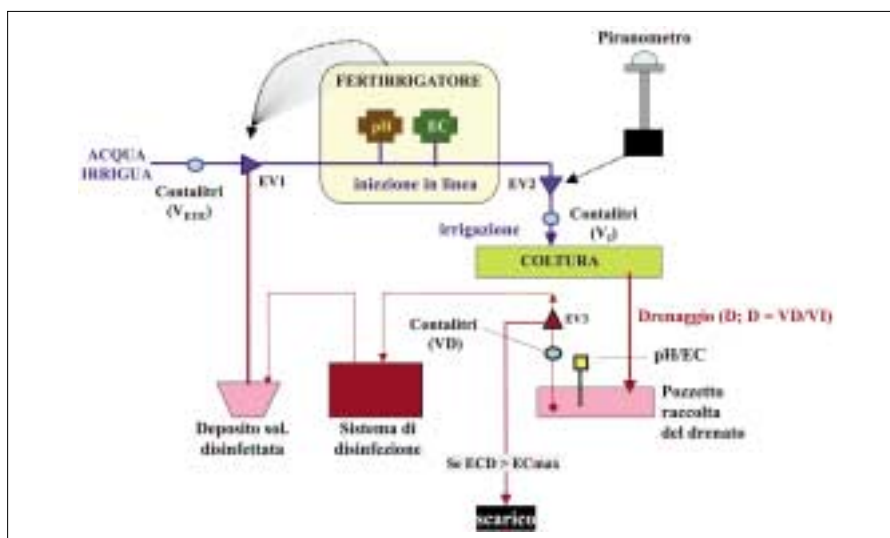
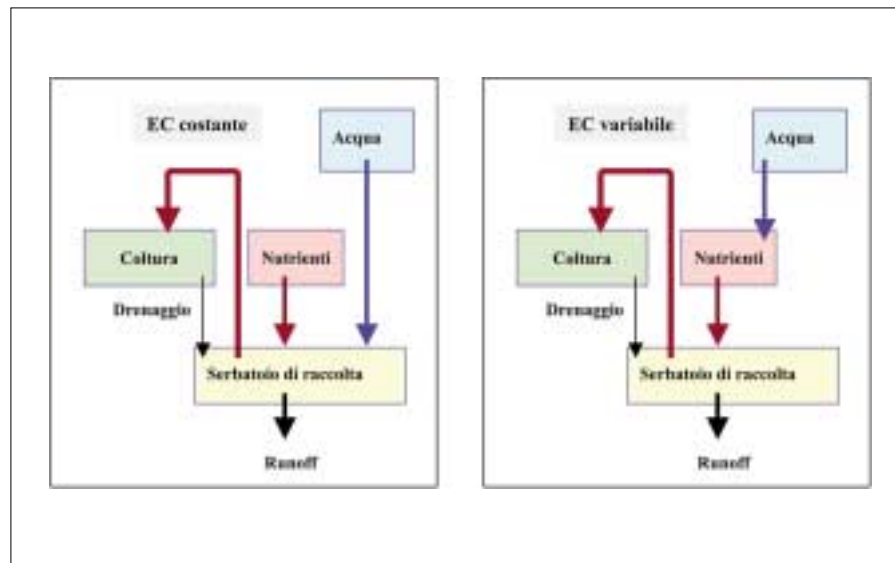


Fig. 1 - Rappresentazione schematica di un sistema a ciclo chiuso (vedi testo per i dettagli)

Fig. 2 - Rappresentazione schematica delle differenti opzioni per la reintegrazione della soluzione nutritiva ricircolante nei sistemi fuori suolo a ciclo chiuso. A sinistra: opzione a EC costante; a destra: sistema a EC crescente (vedi testo per spiegazioni)



La gestione dei sistemi chiusi è particolarmente difficile quando l'acqua irrigua è di scarsa qualità (salina); valori di EC e/o della concentrazione di cloruro di sodio (NaCl) superiori, rispettivamente, a 1,0-1,2 mS/cm e 4-5 mmoli/L sembrano già eccessivi per pensare di realizzare una coltura a ciclo chiuso *sensu strictu* di specie ornamentali, notoriamente poco resistenti alla salinità (tranne poche eccezioni). In queste condizioni, le piante possono andare incontro a condizioni di stress a causa del progressivo aumento di EC legato all'accumulo di ioni come sodio, cloruro, solfato, e boro o qualche altro microelemento presente nell'acqua irrigua.

I cambiamenti nella EC e nella composizione della soluzione nutritiva avvengono perché la coltura non assorbe l'acqua e gli ioni con lo stesso rapporto con cui essi sono combinati nell'acqua irrigua e nella soluzione erogata alle piante; cioè, perché la cosiddetta concentrazione (apparente) di assorbimento (C_A) è diversa (di solito, inferiore) da quella della soluzione nutritiva.

Così, quando l'acqua irrigua non è particolarmente buona, la soluzione nutritiva è ricircolata fin quando la sua composizione e la EC rimangono nei limiti considerati ottimali per una determinata specie, dopodiché è sostituita, almeno parzialmente (sistemi semi-chiusi).

Modalità di reintegrazione della soluzione nutritiva

La tecnologia attuale di controllo dei nutrienti, qualunque sia il tipo di fertirrigatore impiegato, si basa principalmente sulla misura della EC e del pH della soluzione da reintegrare mediante l'aggiunta di soluzioni concentrate di acidi e nutrienti.

Il sistema di controllo degli elementi nutritivi presenti in una soluzione nutritiva tramite la EC è un sistema non sempre efficace. Infatti, la EC di una soluzione è strettamente correlata alla somma totale di elementi nutritivi solo al momento della sua preparazione; successivamente si osserva un progressivo sbilanciamento dei rapporti tra i diversi elementi minerali a favore di quelli che relativamente alle concentrazioni di partenza vengono assorbiti dalla coltura in misura minore. La misura di EC non permette, pertanto, di sapere quanti nutrienti sono presenti nella soluzione ricircolante e sono quindi necessarie periodiche analisi chimiche.

Dal punto di vista operativo, si possono distinguere due principali metodi per il reintegro dei nutrienti nelle soluzioni riciclabili (vedi fig. 2):

1. il reintegro della soluzione nutritiva viene effettuato con acqua e/o soluzione nutritiva (talora con diversa concentrazione di nutrienti) in proporzioni tali da mantenere costante la EC della soluzione ricircolante; il sistema è utilizzato quando si dispone di acque di buona qualità (cioè, con basso contenuto di ioni non essenziali).
2. Il reintegro dei consumi di soluzione nutritiva è effettuato sempre con soluzione nutritiva 'fresca', cioè appena preparata dal fertirrigatore. Questo sistema detto anche a "EC crescente" si caratterizza per un mantenimento più o meno costante della concentrazione dei nutrienti e, nel caso di acque contenenti ioni non essenziali o poco assorbiti dalla coltura, un progressivo aumento di EC della soluzione nutritiva. Questo sistema è più adatto alla gestione con acque saline, in quanto l'accumulo di sali non essenziali è indicato dall'incre-

mento di EC. Tipicamente, nei sistemi che utilizzano questa modalità di reintegrazione, la EC aumenta più o meno velocemente in funzione della qualità dell'acqua irrigua e della evapotraspirazione della coltura, fino a raggiungere una soglia massima di tolleranza tipica della coltura (EC^{max}), quando viene scaricata e sostituita con soluzione nuova, almeno parzialmente. Così, la EC si trova a oscillare tra un valore massimo e un valore minimo; quest'ultimo è generalmente superiore a quello della soluzione nutritiva preparata dal fertirrigatore, in quanto il periodico scarico interessa solo una parte dell'acqua in circolo nel sistema, almeno nel caso delle colture su substrato, in quanto quest'ultimo trattiene solitamente molta acqua.

Un'altra possibile strategia di controllo della soluzione nutritiva prevede di non recuperare, a ogni irrigazione, l'acqua di drenaggio nel caso in cui la EC superi un certo valore prestabilito. Questa strategia, di fatto, è riconducibile alla procedura 2 sopra descritta (a EC crescente).

In tutti i casi, appare utile la periodica analisi (anche con metodi rapidi; vedi Capitolo 9) della soluzione ricircolante per individuare o meglio prevenire eventuali anomalie.

I controlli

I controlli da effettuare nella gestione di una coltura fuori suolo a ciclo chiuso riguardano essenzialmente la registrazione dei volumi di soluzione nutritiva distribuita direttamente dagli erogatori e di quella di drenaggio raccolta nel deposito di raccolta; su quest'ultima occorre verificare anche il

pH e la EC. Questi controlli, invero, sono necessari anche nei sistemi a ciclo aperto (vedi Capitoli 11 e 17).

La percentuale giornaliera di drenaggio del sistema (rapporto percentuale tra volume di acqua di drenaggio e volume di acqua erogata alla coltura) non dovrebbe mai scendere sotto il 50%, anche al fine di evitare che nel substrato si formino gradienti di pH e EC, difficili da rilevare se non con un campionamento *ad hoc* (facile solo nel caso delle lastre di lana di roccia, assai complesso e lungo negli altri casi). Per quanto riguarda i parametri chimici, l'EC del drenato non dovrebbe discostarsi più di mezzo punto (0,5) dai valori prestabiliti per la soluzione in entrata, mentre il pH dovrebbe rimanere sui valori ottimali, comunque tra 5,0 e 7,0.

La prima cosa da fare in caso di valori anomali di EC e di pH è quella di controllare il buon funzionamento del fertirrigatore (sonde, *set-point* impostato, funzionamento delle pompe) (vedi anche Capitolo 11).

Un accumulo di salinità nel substrato per un'insufficiente frazione di drenaggio o per un progressivo accumulo di sali nella soluzione ricircolante. I rimedi consistono nell'aumento della frazione di drenaggio, nell'uso di acqua meno salina (se disponibile, ovvio) e infine nella sostituzione, anche parziale, della soluzione.

Il controllo del pH

Il pH ottimale della soluzione nutritiva da somministrare alla coltura è compreso tra 5,5 e 6,5, poiché in un simile intervallo tutti i nutrienti sono solubili ed è ottimale l'assorbimento da parte delle radici. Il controllo del pH è particolarmente impor-

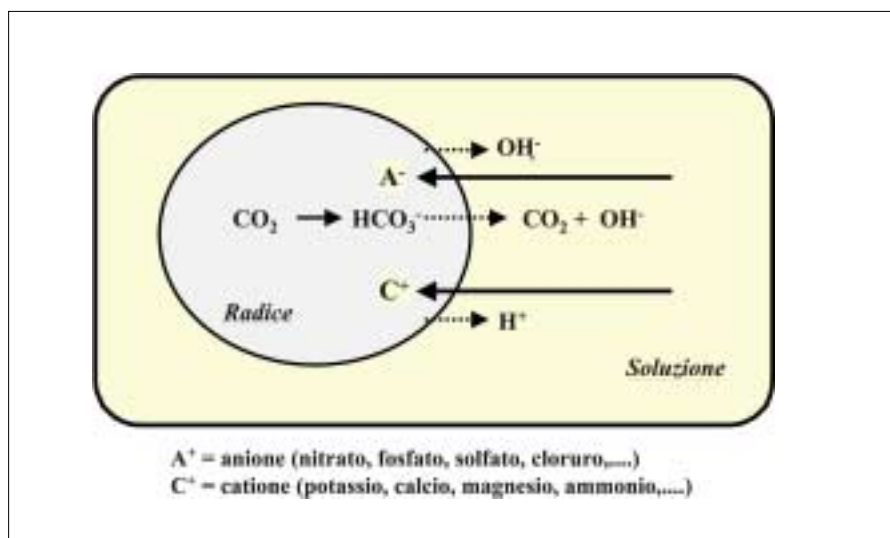


Fig. 3 - Rappresentazione schematica dell'influenza radicale sul pH del mezzo di crescita

Dispositivo per il monitoraggio automatico della frazione di drenaggio in un sistema di coltura fuori suolo



tante nelle colture su substrato; la coltura liquida (NFT, *floating*) consente di mantenere un range di pH un po' più ampio (fino a 7,0). Mentre il pH del terreno è sostanzialmente costante (si pensi agli interventi necessari per modificare la reazione di un terreno), quello delle soluzioni nutritive tende di solito a crescere per ragioni chimiche (presenza di bicarbonati) e/o fisiologiche. Generalmente, le acque irrigue sono caratterizzate da un valore elevato dell'alcalinità (cioè, della concentrazione equivalente di carbonati e bicarbonati) e richiedono pertanto di essere acidificate (vedi Capitolo 10).

L'alcalinizzazione fisiologica della soluzione è provocata dalla maggiore velocità di assorbimento degli anioni (in particolare, nitrati, presenti nelle soluzioni in grande quantità) rispetto ai cationi. All'interno delle radici si crea un bilancio elettrochimico; quando il tasso di assorbimento degli anioni (nitrato, fosfato, solfato, cloruro...) supera quello dei cationi (ammonio, calcio, potassio, magnesio, sodio) sono rilasciati nell'ambiente ioni OH^- e HCO_3^- , mentre si liberano ioni H^+ quando si verifica il contrario (*fig. 3*).

Essendo il potere tampone delle soluzioni nutritive in idroponica assai ridotto, con l'utilizzazione di un idoneo rapporto tra N in forma nitrica e ammoniacale è possibile stabilizzare il pH, ma solo con acque povere in bicarbonato. D'altra parte, una diminuzione inaspettata del pH della soluzione ricircolante potrebbe essere determinata da un'eccessiva quantità di azoto ammoniacale nella soluzione nutritiva. In questo caso, occorre sostituire parte o tutta la quantità di ammonio con la forma nitrica.

Una piccola quantità (intorno ad 1-2 mmol/L) di bicarbonato in soluzione, comunque, serve a stabilizzare il sistema evitando il rischio di un eccessivo abbassamento del pH, anche per errori

nel dosaggio dell'acido. Abbassamenti repentini del pH (imputabili a ragioni fisiologiche o associati alla filtrazione lenta su sabbia) sono stati osservati, ad esempio, nelle colture su substrato di rosa da fiore reciso. In alcuni casi, il problema era associato all'impiego di acque irrigue praticamente senza carbonati ed è stato risolto semplicemente aggiungendo del bicarbonato di sodio o di potassio.

Modellizzazione della variazione della composizione della soluzione nutritiva

Nei sistemi a ciclo semi-chiuso, evidentemente, è importante ricircolare la stessa soluzione nutritiva il più a lungo possibile. Ciò rende necessario analizzare frequentemente la soluzione, per mezzo di sensori ione-specifici interfacciati direttamente al computer che gestisce il fertirrigatore, oppure attraverso analisi di laboratorio o effettuate direttamente in azienda per mezzo di test-kit e/o strumenti portatili (vedi Capitolo 9).

Una strategia alternativa è rappresentata dall'applicazione della modellistica. Infatti, i modelli matematici dell'assorbimento nutritivo delle colture potrebbero essere implementati nei cosiddetti Sistemi di Supporto Decisionali (DSS) per la gestione dei sistemi idroponici. Un DSS di questo tipo potrebbe fornire le informazioni necessarie per una modulazione precisa della soluzione di reintegrazione, riducendo la dipendenza dei coltivatori dalle analisi della soluzione ricircolante.

Presso il Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie è stato sviluppato un semplice modello matematico (Carmassi *et al.* 2003; Pardossi *et al.*, in corso di stampa) in grado di simulare la varia-

Tab. 1 - Valori della concentrazione di assorbimento (meq/L) di alcuni ioni in diverse colture

Coltura (nitrato)	N	P	K	Ca	Mg	Na
Rosa (Sonneveld, 2000)	5,2	0,4	1,9	3,6	1,2	-
Rosa (c.p. M. Fuchs, Volcani C., Israele)	7,6	0,3	2,1	2,4	2,8	12,7 (15,2) ¹
Gerbera (Sonneveld, 2000)	10,2	0,7	7,0	3,2	1,0	-
Specie ortive da frutto (Autori vari)	11,3	1,2	6,0	4,6	4,4	3,9 (10,0) ¹
Melone (A. Pardossi, Univ. Pisa)	8,0	1,1	5,0	5,4	3,0	-

¹ Concentrazione di sodio nell'acqua di irrigazione.

zione di EC e di concentrazione dei nutrienti nella soluzione ricircolante di un sistema a ciclo chiuso, in funzione di diversi fattori che influenzano la nutrizione minerale di colture condotte in idroponica: la qualità dell'acqua irrigua utilizzata; l'assorbimento idrico della coltura (facile da determinare attraverso la periodica registrazione dei valori segnati dai catalitri); le caratteristiche del sistema (ad esempio, il rapporto tra la soluzione ricircolante contenuta nei depositi di raccolta e quella nel substrato).

Il modello, assai più semplice di altri pubblicati in precedenza (Silberbush, Ben-Asher, 2001), è derivato dall'equazione del bilancio minerale di una coltura idroponica a ciclo chiuso in cui il consumo, o assorbimento apparente (A), di ioni inorganici in un certo intervallo di tempo (giorni o settimane), può essere calcolato come segue:

$$A = (V \cdot C_0) + (VR \cdot C_{SN}) - (V \cdot C_1) \quad \text{Eq. 1}$$

in cui V rappresenta il volume totale della soluzione ricircolante (cioè quella del serbatoio più quella del substrato) espresso in L/pianta; C_1 e C_0 sono, rispettivamente, la concentrazione (meq/L) dell'elemento nella soluzione alla fine e all'inizio del periodo in esame; VR è il volume di acqua utilizzata per la reintegrazione delle perdite dovute all'assorbimento idrico; C_{SN} indica la concentrazione (meq/L) della soluzione nutritiva erogata.

Poiché l'evaporazione dal substrato è trascurabile, VR corrisponde, pur approssimativamente all'evapotraspirazione della coltura E_{TE} .

Pertanto l'equazione 1 diventa:

$$A = (V \cdot C_0) + (E_{TE} \cdot C_{SN}) - (V \cdot C_1) \quad \text{Eq. 2}$$

L'equazione 2 quantifica il consumo minerale come differenza tra la quantità somministrata (volume di soluzione nutritiva erogata per la sua concentrazione, oltre a quella in circolo) e la quantità residua alla fine del periodo in esame (volume di soluzione in circolo per la concentrazione finale).

La concentrazione di assorbimento (C_A) è data dal rapporto tra la quantità di ioni assorbiti e l'acqua consumata:

$$C_A = A / E_{TE} \quad \text{Eq. 3}$$

Dalle equazioni 2 e 3 deriva che

$$C_A = C_{SN} + (C_0 - C_1) V / E_{TE} \quad \text{Eq. 4}$$

Dall'equazione 4 si calcola la concentrazione di un determinato elemento alla fine del periodo in esame:

$$C_1 = C_0 + (C_{SN} - C_A) E_{TE} / V \quad \text{Eq. 5}$$

C_A rappresenta un parametro tecnologico e fisiologico, in quanto rappresenta il consumo della sostanza da parte dell'intero sistema e non della sola pianta: include, cioè, anche la fissazione da parte del substrato, il runoff incontrollato e i fenomeni di precipitazione salina nelle condutture e nelle canalette di coltivazione. C_A è influenzata sia dalla specie che dalle condizioni di coltivazione, ad esempio, si hanno valori più alti nel periodo di coltivazione invernale rispetto a quello estivo, a causa delle minori quantità di acqua traspirata. Nella tab. 1 sono riportati alcuni valori di C_A trovati in letteratura per diverse colture.

Nel modello la conducibilità elettrica (EC) della soluzione ricircolante è calcolata sulla base della somma delle concentrazioni equivalenti (C^+) dei cationi (o degli anioni) presenti, secondo il modello proposto da Sonneveld (1999) e assumendo che nella soluzione nutritiva è mantenuto un equilibrio elettrochimico, cioè che la somma della concentrazione equivalente dei cationi è pari alla somma di quella degli anioni:

$$EC \text{ (mS/cm)} = 0,19 + 0,095 C^+ \quad \text{Eq. 6}$$

In generale, il modello è basato su alcuni presupposti:

- il volume della soluzione ricircolante è la

somma tra quella contenuta nel serbatoio e quella trattenuta nel substrato;

- la differenza tra la concentrazione dello ione considerato nella soluzione presente nel serbatoio di alimentazione e quella nel substrato è trascurabile, e questo è valido nel caso di impianti in NFT e nelle coltivazioni su substrato con elevate percentuali di drenaggio;
- il consumo idrico della coltura è compensato da una soluzione nutritiva completa, con una determinata concentrazione di nutrienti e ioni non-essenziali (opzione 2 di fig. 2).

Per ogni coltura esiste un valore soglia di conducibilità elettrica (EC^{max}) della soluzione ricircolante superato il quale si ha una riduzione di produzione. Nella gestione dei sistemi di coltivazione a ciclo chiuso solitamente, quando si arriva al valore soglia di EC , si ricorre allo scarico periodico della soluzione ricircolante (si parla quindi di un sistema semi-chiuso).

Secondo l'equazione 6, a un certo valore di EC corrisponde una determinata concentrazione di cationi nella soluzione nutritiva ricircolante; pertanto è possibile calcolare la concentrazione massima ammissibile che corrisponde alla soglia di EC stabilita per una determinata coltura.

Il modello può essere utilizzato per la previsione del *runoff* di acqua e nutrienti (ad esempio, di azoto) causato dallo scarico periodico della soluzione ricircolante, che si verifica ogni volta che la EC raggiunge EC^{max} stabilita per una determinata coltura.

Infatti, attraverso l'equazione 5 e conoscendo il valore di C_i che corrisponde a EC^{max} per quella coltura, è possibile calcolare la quantità di acqua consumata dalla coltura per cui si arriva al valore

soglia di EC ($ETE^{EC^{max}}$):

$$ETE^{EC^{max}} = (C_i^{EC^{max}} - C_0)V / (C_{SN} - C_A) \quad Eq. 7$$

La richiesta o frazione di liscivazione (*Leaching Requirement* o LR) del sistema è data dal rapporto tra il volume di acqua scaricato (*Runoff*, R) ed ETE :

$$LR = R / ETE \quad Eq. 8$$

Così, possiamo calcolare LR sulla base del volume di acqua scaricato (V_{SC}) in occasione di ogni ricambio e del valore di $ETE^{EC^{max}}$:

$$LR = V_{SC} / ETE^{EC^{max}} \quad Eq. 9$$

Di conseguenza il *runoff* totale di acqua (R) della coltura può essere stimato sulla base del valore di LR determinato con l'equazione 9 e della ETE prevista per la coltura in esame:

$$R = LR / ETE \quad Eq. 10$$

La quantità di azoto rilasciata nell'ambiente (R_N), in seguito allo scarico periodico della soluzione ricircolante, può essere determinata calcolando la massima concentrazione di azoto [N_R] in base all'equazione 5, utilizzando come ETE il valore di $ETE^{EC^{max}}$, e infine moltiplicando tale concentrazione per il valore di *runoff* determinato con l'equazione 10.

Come detto, un simile modello matematico potrebbe essere impiegato, oltre che per seguire i cambiamenti di concentrazione dei nutrienti nella soluzione ricircolante, anche per stimare a priori la necessità di rinnovare la soluzione nutritiva in seguito all'accumulo di sali e stimare, in questo

In occasione dell'edizione 2003 di Hort Fair ad Amsterdam, la più importante fiera sull'ortoflorovivaismo al mondo, un'importante ditta costruttrice di macchine e impianti per la serra coltura ha presentato una versione compatta di cromatografo ionico per le analisi chimiche delle soluzioni nutritive nelle colture fuori suolo



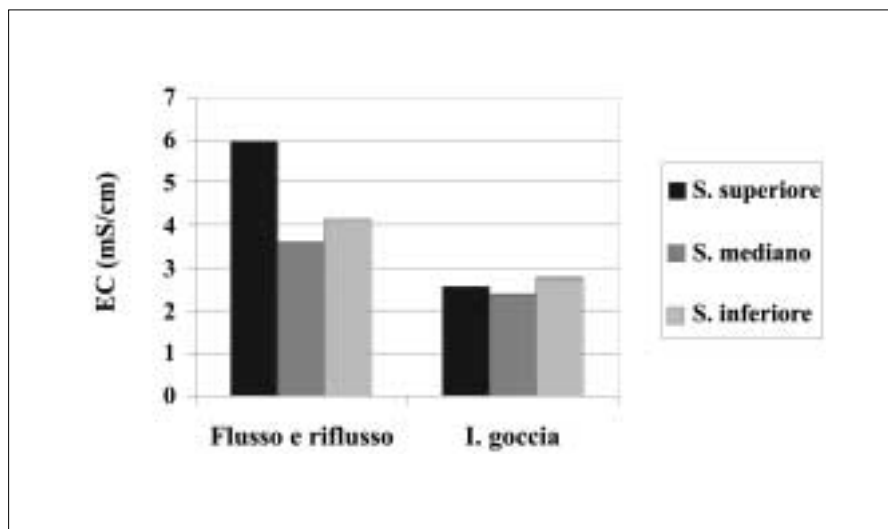


Fig. 4 -Variazione della conducibilità elettrica (EC) del substrato (valore determinato sull'estratto acquoso) con l'altezza del vaso. I dati si riferiscono a una prova sperimentale sulla poinsettia (Guarino *et al.*, 2002)

modo, i consumi idrici della coltura, il possibile impatto ambientale (rilascio di azoto e fosforo) e scegliere, eventualmente, tra più opzioni di fonte d'acqua irrigua (di pozzo, piovana, destalinizzata, ecc.). In pratica, nel caso si intenda coltivare con un sistema chiuso una coltura poco tollerante alla salinità e si ha a disposizione un'acqua salina, il delta di concentrazione $C_i - C_o$ (che corrisponde a un delta $EC_i - EC_o$) sarà molto piccolo, e di conseguenza sarà basso il valore di *ETE* per cui si arriva al valore critico di *EC* per quella coltura; sarà quindi necessario scaricare frequentemente la soluzione ricircolante e ciò comporterà un *runoff* elevato. Il modello potrebbe essere utilizzato per simulare l'impiego di acqua irrigua di diversa qualità e scegliere quella più *conveniente* dal punto di vista economico o quella utilizzabile in base ai vincoli ambientali imposti all'azienda.

La subirrigazione

La tecnica della subirrigazione è assai interessante e lo dimostra la crescente diffusione dei sistemi di coltivazione a flusso e riflusso (su bancale o su pavimento) o a scorrimento in canaletta per la produzione di piante ornamentali in vaso, quasi esclusivamente in serra, anche se non mancano esempi di subirrigazione anche in vivai in piena aria (*Holloway Irrigation Systems*, Florida).

Normalmente, nelle colture in contenitore, la soluzione nutritiva viene erogata dalla parte alta e, attraversando tutto il substrato per fuoriuscire alla base del vaso, si arricchisce di sali minerali presenti in eccesso nel vaso ed eventualmente di patogeni e parassiti presenti nel substrato.

Nella subirrigazione, invece, la soluzione nutritiva entra dalla parte basale dei vasi e si muove, per capillarità, secondo un flusso pressoché unidirezionale dal basso verso l'alto (per una trattazione più esauriente dell'argomento si rimanda al Capitolo 19). In questo modo, i sali non assorbiti dalle piante, che nei sistemi a goccia tendono ad accumularsi nella soluzione nutritiva ricircolante, tendono ad accumularsi nel substrato e in particolare nello strato superiore (*fig. 4*), dove peraltro si sviluppano pochissime radici, concentrate invece nella parte basale del vaso. In virtù di ciò, la subirrigazione riduce, rispetto all'irrigazione a goccia, le variazioni della composizione della soluzione ricircolante che invece possono verificarsi nei sistemi di irrigazione a goccia, come visto (Reed, 1996; Molitor, 1993, Guarino *et al.*, 2002).

La subirrigazione, inoltre, consente anche:

- una più uniforme distribuzione della soluzione nutritiva nel substrato;
- una minore incidenza delle malattie radicali (dovuto al ridotto scambio fra la soluzione all'interno del vaso e quella ricircolante);
- una riduzione della manodopera necessaria per le operazioni di irrigazione e soprattutto per quelle di movimentazione dei vasi, che può essere meccanizzata o addirittura robotizzata grazie all'uso di bancali mobili ed estraibili o l'uso di particolari muletti nel caso degli impianti a flusso e riflusso su pavimento.

Ai vantaggi sopra indicati si contrappongono, tuttavia, alcuni svantaggi legati soprattutto all'accumulo di sali negli strati superiori del substrato che pongono alcune difficoltà nel reimpiego dello stesso in successivi cicli di coltivazione. Ciò sconsiglia l'utilizzo di questa tecnica in presenza di acque

molto saline e con prodotti a lungo ciclo colturale: in questi casi, infatti, l'accumulo di salinità nel vaso può essere così elevato da indurre riduzioni significative nella crescita della pianta coltivata.

Sistemi senza drenaggio

Questi sistemi prevedono un dosaggio preciso del volume irriguo, in modo da mantenere un livello di umidità nel substrato il più costante possibile e, soprattutto, al di sotto della capacità idrica di contenitore (vedi Capitolo 6); ciò evita la perdita, se non in minima parte (< 5%), dell'acqua di drenaggio (acqua gravitazionale).

Per il controllo dell'irrigazione si usano normalmente dei microtensimetri che, in modo automatico generalmente, attivano e sospendono l'irrigazione sulla base della tensione d'umidità nel substrato di due o tre vasi rappresentativi; il tensiometro controlla l'irrigazione in modo da mantenere la tensione di umidità nel substrato tra $-10 \div -20$ hPa (substrato con umidità vicina alla capacità di contenitore; vedi Capitolo 6) e $-70 \div -100$ hPa.

Oltre alle difficoltà relative all'uso dei tensiometri (installazione, manutenzione, frequente calibrazione), l'inconveniente principale dei sistemi *zero-drain*, come nella subirrigazione, è costituito dall'accumulo di sali che può verificarsi se la fertirrigazione non è ben gestita e/o se l'acqua irrigua non è di buona qualità. Per una trattazione sui tensiometri, si rimanda il lettore ai Capitoli 13 e 19.

L'uso di sensori elettromagnetici, che misurano il contenuto idrico volumetrico del substrato, non la tensione di umidità, apre prospettive interessanti. Questi sensori sono anche in grado di monitorare l'EC all'interno del substrato e possono essere quindi utilizzati per modificare la concentrazione salina della soluzione di fertirrigazione, in pratica riducendo o aumentandola quando il sensore rileva, rispettivamente, un aumento o una riduzione dell'EC nel substrato rispetto al valore prestabilito. In un recente lavoro Stanghellini *et al.* (2003) hanno dimostrato la possibilità di usare tale sistema per ridurre in concreto a zero il *runoff* senza compromettere la produttività della coltura (peperone, invero, nel caso dello studio ora citato).



Deposito per la raccolta dell'acqua piovana in una serra di rose in Olanda. L'uso dei sistemi a ciclo chiuso è diffuso pressoché in tutte le serre olandesi e richiede dell'acqua irrigua di ottima qualità. Ciò spiega l'apparente paradosso dell'ampia diffusione dei sistemi di captazione dell'acqua piovana in una nazione che certamente non è afflitta dalla siccità

Conclusioni

Le colture fuori suolo a ciclo chiuso costituiscono un formidabile strumento per la riduzione dell'impatto ambientale della serricoltura, però sono più difficili da gestire e richiedono lo sviluppo di procedure di controllo della nutrizione minerale diverse da quelle normalmente usate nei sistemi a ciclo aperto. Lo sviluppo di sistemi di analisi chimica *on-line* e/o la diffusione di quelli cosiddetti rapidi, oltre ai progressi nel campo della modellizzazione, potranno consentire una gestione più razionale degli impianti con positive conseguenze sull'efficienza di uso dell'acqua e dei fertilizzanti e sull'impatto ambientale delle coltivazioni.

Bibliografia

1. BAILLE A. (1998). *Crop water requirements of greenhouse crops: applications to fertigation scheduling*. Seminari su colture idroponiche (Pisa, 26-27 febbraio 1998).
2. CARMASSI G., CARMASSI G., INCROCCI L., MALORGIO F., TOGNONI F., PARDOSSI A. (2003). *A simple model for salt accumulation in closed-loop hydroponics*. Acta Horticulturae 614, 149-154.
3. GUARINO D., GALLINA P. M., QUATTRINI E., PARDOSSI A. (2002). *Poinsettia in vaso, l'influenza della tecnica di irrigazione*. Colture Protette 9, 17-22.
4. KLARING H.P. (2001). *Strategies to control water and nutrient supplies to greenhouse crops: a review*. Agronomie 21, 311-321.
5. LE BOT J., ADAMOWICZ S., ROBIN P. (1998). *Modelling plant nutrition of horticultural crops: a review*. Scientia Horticulturae 74, 47-82.
6. LIETH J.H. (1999). *Crop management models for decision support and automated optimization*. Acta Horticulturae 507, 271-277.
7. MOLITOR H. (1993). *Evoluzione dei sistemi d'irrigazione a ciclo chiuso per piante in vaso*. Floritecnica 6, 36-63.
8. PARDOSSI A., MALORGIO F., INCROCCI L., CARMASSI G., MAGGINI R., TOGNONI F. (2004). *Modelling salinity build-up in recirculating nutrient solution culture*. Journal of Plant Nutrition, in corso di stampa.
9. REED D.W. (1996) *Water, media and nutrition for greenhouse crops*. Ball Publishing Book, Batavia, USA.
10. SAVVAS D., PASSAM H. (2002). *Hydroponic production of vegetables and ornamentals*. Embryo Publications, Athens: pp. 463.
11. SCHAWRZ M. (1995). *Soilless culture management*. Springer-Verlag, Berlin: 198 pp.
12. SILBERBUSH M., BEN-ASHER J. (2001). *Simulation study of nutrient uptake by plants from soilless cultures as affected by salinity buildup and transpiration*. Plant Soil 233, 59-69.
13. SONNEVELD C. (2000). *Effect of salinity on substrate grown vegetables and ornamental in greenhouse horticulture*. Ph. D. Thesis, Wageningen University.
14. SONNEVELD C., VOOGT W., SPAANS L. (1999). *A universal algorithm for calculation of nutrient solution*. Acta Horticulturae 481, 331-339.
15. STANGHELLINI C., KEMPES F., HEUVELINK E., BONASIA A., KARAS A. (2003). *Water and nutrient uptake of sweet pepper and tomato as (un) affected by watering regime and salinity*. Acta Horticulturae 614, 591-597.
16. VAN OS E., STANGHELLINI C. (2001). *Diffusion and environmental aspects of soilless growing systems*. Italus Hortus 8 (6), 9-15.
17. VAN OS E.A., WOHANKA W., BRUINS M.A., SEIDEL R. (2003). *Disinfezioni delle soluzioni nutritive in sistemi fuori suolo a ciclo chiuso*. L'Informatore Fito-patologico, 51 (3), 30-34.

19. La subirrigazione in serra

Francesco Montesano, Angelo Parente, Pietro Santamaria

Introduzione

I sistemi di allevamento in vaso con la subirrigazione sono a ciclo chiuso (o virtualmente chiuso, come in alcuni esempi di irrigazione su tappetino capillare) e, quindi, non disperdono la soluzione nutritiva nell'ambiente. Pertanto, essi sono definiti nell'accezione anglosassone come sistemi "Zero Runoff Subirrigation" (ZRS) (Uva *et al.*, 1998) e rappresentano una delle tecnologie più promettenti per risparmiare acqua ed evitare le perdite di fertilizzanti nelle colture in serra.

Rispetto ai sistemi tradizionali, i sistemi ZRS hanno diversi vantaggi: maggiore uniformità sia della distribuzione dell'acqua e dei fertilizzanti, sia della crescita delle piante (anche più sane); minore compattamento del substrato; riduzione significativa dei fabbisogni d'acqua, di fertilizzanti e di manodopera (non esistono i gocciolatori, che spesso si otturano e richiedono continui controlli e manutenzione). In generale, i sistemi ZRS aumentano la produttività, sia in termini di efficienza del lavoro (un solo operatore può irrigare migliaia di piante inondando, manualmente o con l'ausilio di un computer, la base su cui poggiano i vasi), sia per il maggior sfruttamento della superficie della serra.

Un particolare vantaggio della subirrigazione, già introdotto nel Capitolo 18, consiste nella maggiore stabilità dei parametri chimici (pH, conducibilità elettrica o EC ecc.) della soluzione nutritiva ricircolante. L'acqua e i nutrienti, che nei sistemi di irrigazione dall'alto (a goccia, perlopiù) penetrano il substrato per gravità e, se in eccesso, fuoriescono dal basso, nei sistemi per subirrigazione attraversano il mezzo di crescita in senso inverso, entrano dal basso e salgono per azione della forza capillare, vincendo la forza di gravità. Il liquido non assorbito ritorna nel contenitore dal quale era partito, suben-

do minori modifiche nella sua composizione chimica rispetto ai sistemi tradizionali di irrigazione dall'alto, ed è riutilizzato nella successiva irrigazione.

Ovviamente, l'introduzione di questi sistemi richiede costi iniziali superiori rispetto ad altri sistemi irrigui. Inoltre, la scelta del substrato e dei vasi, l'irrigazione e la fertilizzazione dovranno essere gestiti in modo diverso rispetto a quanto succede nei sistemi tradizionali (irrigazione a goccia).

Sistemi ZRS

Di seguito si illustrano sinteticamente i principali sistemi di subirrigazione a ciclo chiuso.

Flusso e riflusso (*"ebb-and-flow benches"*)

È il sistema più comune. I vasi sono disposti su bancali periodicamente riempiti di soluzione nutritiva (SN) o acqua, e svuotati dopo 5-20 minuti. La durata dell'intervento deve essere tale da riportare il substrato alle condizioni idriche volute, evitando però di imbibirlo troppo e ridurre al minimo l'interferenza del substrato sulla composizione chimica della soluzione nutritiva ricircolante, come detto.

I bancali utilizzati sono generalmente in materiale plastico, con la base di appoggio scanalata per favorire il deflusso della soluzione nutritiva (SN). Per evitare la presenza di ristagni e per garantire che il liquido si distribuisca in modo uniforme è, comunque, necessario che il bancale sia perfettamente orizzontale.

I costi di questo sistema sono relativamente bassi, è possibile spaziare i vasi a piacimento, meccanizzare alcune operazioni e avere moduli mobili. Il sistema è quindi molto versatile, perché il banco può ospitare vasi di diverse dimensioni, ov-

viamente non contemporaneamente per l'impossibilità di gestire insieme volumi di substrato diversi. Con questo sistema è possibile dedicare alla coltivazione l'80-90% della superficie della serra. Lo svantaggio principale del flusso e riflusso può essere l'umidità dell'aria relativamente elevata nei dintorni della vegetazione, soprattutto quando la durata degli interventi è elevata (Molitor, 1993a).

Pavimento inondato ("flood floor")

La SN viene erogata direttamente sul pavimento in cemento della serra. La somministrazione e lo scarico della SN avvengono generalmente attraverso un canale centrale. Si tratta di un sistema particolarmente adatto a colture a ciclo lungo, che non richiedono frequenti operazioni colturali e non devono essere spostate e pulite spesso. Generalmente si predispone un sistema di riscaldamento basale, che consente anche una rapida asciugatura dopo l'irrigazione. L'efficienza d'uso dello spazio della serra è dell'85-95%.

Subirrigazione in canaletta ("trough benches")

Il sistema prevede la sistemazione dei vasi su canalette inclinate dello 0,5-1%, all'interno delle quali viene fatta scorrere a intervalli la SN, per un tempo sufficiente a ricostituire un'adeguata riserva idrica nel substrato; il resto della SN ritorna al serbatoio di alimentazione. Il sistema ricorda la tecnica del film nutritivo (NFT), impiegata per la coltivazione degli ortaggi (vedi Capitolo 5).

Le canalette possono essere in alluminio, acciaio zincato o materiale plastico rigido; è fondamentale che non si curvino sotto il peso del vaso per evitare i ristagni di SN. La larghezza deve essere tale da poter ospitare i vasi, mentre la lunghezza varia con le dimensioni della serra. All'interno delle canalette può essere steso un film plastico, per evitare il contatto fra SN e canaletta ed, eventualmente, coprire la SN al fine di limitare l'evaporazione dell'acqua. Il sistema delle canalette può essere adottato facilmente anche in strutture già esistenti e può risultare più economico se è possibile realizzare o acquistare in loco le canalette. L'efficienza dello spazio è del 70-80%, meno del flusso e riflusso, perché occorre lasciare dello spazio libero tra le canalette.

Tappetino capillare ("capillary mat")

È un'altra forma di subirrigazione, decisamente meno utilizzata. Di solito viene adottato quando esistono già dei bancali in cemento, su cui vengono adagiati prima un tappetino in fibra di vetro

e poi un foglio di polietilene forato. La SN viene somministrata da un lato del bancale, con opportuna pendenza, scorre sul tappetino, che si imbibirà, ed è raccolta dall'altro lato del bancale. Il vantaggio principale sta nell'economicità del sistema e nella possibilità di riutilizzare vecchie strutture in cemento riadattandole a un ciclo chiuso; per contro, in caso di irregolarità delle superfici dei bancali, si avrà una distribuzione non uniforme della SN. Come nei sistemi delle canalette e del tappetino capillare, la componente evaporativa determina consumi idrici più elevati del flusso e riflusso e, a volte, dei sistemi di irrigazione dall'alto (Dole *et al.*, 1994).

Substrato e vasi

Anche nei sistemi ZRS le caratteristiche fisiche del substrato devono essere tali da garantire alla pianta una disponibilità di acqua elevata (di conseguenza sono da preferire substrati con elevata capacità di ritenzione idrica) e buona aerazione per le radici, che, più che nei sistemi tradizionali, sono concentrate nella parte basale del vaso.

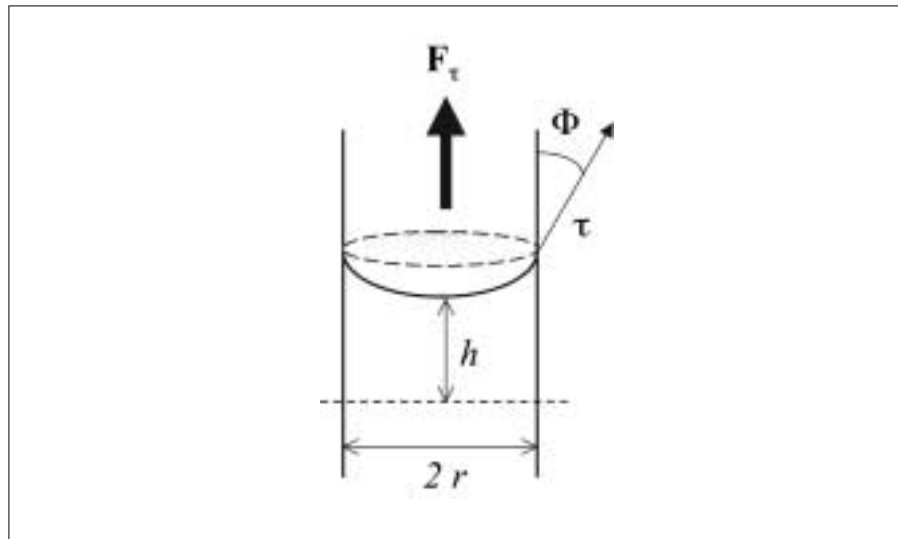
Nell'*Inserto I* viene illustrato un metodo semplice per la determinazione delle principali caratteristiche fisiche di un substrato in contenitore. Per una più approfondita trattazione dell'argomento si rimanda al Capitolo 6.

Con la subirrigazione, l'acqua, in spazi stretti come i pori di un substrato, salirà contro la forza di gravità. In un tubo molto sottile, questa azione (la capillarità) è sufficiente a creare una colonna di acqua di altezza considerevole.

La superficie dell'acqua nel tubo forma un menisco come risultato dell'angolo di contatto dell'acqua con le pareti del tubo (*fig. 1*). L'angolo dove il liquido incontra la fase solido/gas dipende dalla tensione di superficie del liquido e dall'attrazione delle molecole del liquido al solido (adesione). La curvatura del menisco sarà tanto più grande (cioè il raggio di curvatura sarà più piccolo) quanto più stretto sarà il tubo. Il tubo spinge letteralmente l'acqua verso l'alto formando legami idrogeno tra gli atomi di ossigeno o azoto nel materiale del tubo e le molecole di acqua. Questa attrazione aumenta l'angolo di contatto dell'acqua. Simultaneamente, però, i legami all'interno dell'acqua spingono in direzione opposta. L'equilibrio viene raggiunto quando il peso dell'acqua che risale raggiunge il limite imposto dalla forza di gravità.

L'altezza (h) della risalita capillare dipende dall'angolo del menisco (Φ), dalla tensione superficia-

Fig. 1 - Modello della risalita di acqua in un tubo capillare



le (τ), dal peso della colonna d'acqua (p , che è legato alla densità del liquido e del gas), dalla accelerazione di gravità (g) e dal raggio capillare (r), secondo la relazione:

$$h = 2\tau \cdot \cos \Phi / p \cdot g \cdot r \quad \text{Eq. 1}$$

Ai fini di questa trattazione occorre ricordare che la tensione superficiale diminuisce quasi linearmente con l'aumentare della temperatura e aumenta invece con l'aumentare della concentrazione degli ioni (ad esempio, una soluzione di NaCl all'1% aumenta la tensione superficiale di circa lo 0,2% a 20°C). Raddoppiando il diametro del tubo, l'angolo di contatto per le molecole di adesione diventa doppio, ma aumenta di quattro volte la spinta dell'acqua verso il basso; pertanto, raddoppiando il diametro si dimezza l'altezza della colonna d'acqua.

In un substrato sono presenti due tipi di pori: capillari e non capillari. Per un substrato ideale, in un vaso alto 15 cm, dopo un'irrigazione, i pori capillari (< 0,3 mm) tratterranno la maggior parte dell'acqua, i pori non capillari (> 0,3 mm) tratterranno solo una piccola quantità di acqua e garantiranno così l'aerazione alle radici, che è molto importante nei sistemi ZRS in cui la parte bassa del substrato tende a essere satura d'acqua.

Normalmente l'azione di risalita capillare crea una colonna d'acqua di 10-13 cm, in rapporto alla dimensione delle particelle; la colonna diminuisce all'aumentare della dimensione delle particelle (vedi *fig. 2*, dove è mostrata la risalita capillare in due tipi di perlite). Pertanto, la subirrigazione è più indicata per vasi di dimensioni contenute (altezza intorno a 15 cm), anche se è allo studio la

possibilità di adattare questa tecnica a colture che richiedono contenitori più grandi, modificando il rapporto tra le diverse granulometrie del substrato o scegliendo opportunamente i materiali che compongono i miscugli (Santamaria e Serio, 2001).

L'influenza del tipo di contenitore si manifesta, oltre che per il rapporto area di base/altezza, anche in rapporto alla presenza o meno di piedini. Vasi di altezza maggiore possono rendere necessario adottare altezze della lama d'acqua superiori. Questo perché alla base del vaso, durante la subirrigazione, si forma uno strato pressoché saturo di umidità la cui altezza sarà funzione dell'altezza dell'acqua nel bancale o nella canaletta (Klougart, 1984). È da quel punto in poi che inizierà la risalita capillare.

I vasi, dotati o meno di piedini, sono provvisti alla base di fori attraverso i quali il substrato assorbe la SN erogata. All'esterno dei vasi, la lama d'acqua raggiunge un'altezza variabile, da meno di 1 a 2-4 cm, a seconda della dimensione dei vasi e del sistema utilizzato.

Occorre considerare che con l'aumentare della dimensione del vaso non cambia, ovviamente, la percentuale del materiale solido nel substrato, ma il rapporto tra spazi occupati dall'aria e dall'acqua aumenta (vedi Capitolo 6). Nel corso del ciclo colturale, soprattutto nel caso in cui si utilizzino le torbe, la capacità per l'aria tende quasi a dimezzarsi in conseguenza dell'azione di riassetamento delle particelle solide determinata dal susseguirsi delle fasi di asciugatura e riassetamento, dalla riduzione delle dimensioni delle particelle che si ha nel corso del ciclo colturale e dalla compressione per effetto della forza di gravità (Gruda *et al.*,

2004). Questo fenomeno è indipendente dal tipo di torba, come dimostrato da un esperimento di Michiels *et al.* (1993), già riportato nella *fig. 5* del Capitolo 6. Nelle torbe fibrose, però, il volume d'aria rimane soddisfacente anche dopo un lungo periodo di coltivazione, mentre non è così invece per le torbe di fine tessitura, caratterizzate da una minore capacità per l'aria; in questo caso la riduzione del volume di aria può essere critica (anche al di sotto del 10%, valore decisamente insoddisfacente).

Poiché con la subirrigazione la lisciviazione dei nutrienti è scarsa o assente, il rilascio nell'ambiente di fertilizzanti è minimo, però l'ambiente di crescita delle piante subisce modifiche ben maggiori di quelle che si riscontrano con i sistemi di irrigazione dall'alto. I parametri che maggiormente vengono influenzati e che bisogna tenere sotto controllo per ottimizzare la gestione del sistema sono la EC, il pH e il contenuto di ossigeno nel substrato.

EC

Nei sistemi di irrigazione dall'alto si prevede, come è noto, una frazione di lisciviazione (LF) con lo scopo di allontanare dal vaso i sali in eccesso. Di solito, gli operatori che usano tali tecniche di irrigazione impostano LF maggiori di 0,2-0,3. Se da un lato questo mette al riparo dall'accumulo indesiderato di sali, dall'altro comporta sprechi di acqua e fertilizzanti e il possibile inquinamento dei corpi idrici.

Numerosi studi hanno messo in evidenza che uno degli effetti più rilevanti della subirrigazione,



Fig. 2 - Imbibizione di perlite con particelle minori (a sinistra) o maggiori di 2 mm dopo un intervento di subirrigazione di 20 minuti (diametro di base 10 cm, i numeri indicano l'altezza in cm)

derivante dall'assenza di drenaggio durante il ciclo colturale, è il maggiore incremento della EC all'interno del substrato rispetto ai sistemi di irrigazione dall'alto. In realtà, però, i sali, a causa del continuo flusso unidirezionale di SN verso l'alto, che è sospinto anche dall'evaporazione dell'acqua dalla superficie del substrato e dalla traspirazione delle piante, si accumulano essenzialmente nel terzo superiore del substrato, dove le radici sono poco presenti (*fig. 3*; vedi anche Capitolo 18).

Inoltre, le piante sono più sensibili alla salinità nei primi stadi di crescita. Questo è dovuto sicuramente a fattori fisiologici, ma è anche la conseguenza della concentrazione delle radici delle piante giovani in un'area ristretta del substrato, quella appunto più superficiale. Successivamente, le radici si approfondiscono e l'assorbimento di acqua e nutrienti avviene da un volume maggiore di substrato; così, l'accumulo di sali nella parte più superficiale del substrato diventa meno pericoloso per la pianta.

L'accumulo di sali nel terzo superiore del substrato non costituisce quasi mai un problema nelle fasi della produzione, ma può crearne dopo la commercializzazione, quando le piante ornamentali in vaso vengono vendute e irrigate dall'alto. L'applicazione di acqua dall'alto comporta la solubilizzazione di sali presenti in superficie e la conseguente migrazione degli stessi nello strato più basso del substrato. La distribuzione dei sali e il loro tempo di permanenza all'interno del substrato dipendono, ovviamente, dal volume di acqua apportato. In condizioni ambientali di elevata

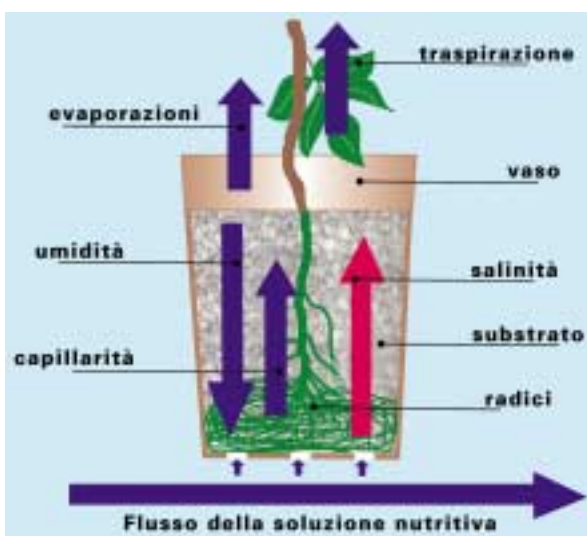


Fig. 3 - Modello semplificato dei flussi della soluzione nutritiva, della risalita capillare e della stratificazione dell'umidità e dei sali in un vaso fertirrigato per subirrigazione

Tab. 1 - Relazione tra il pH dell'estratto acquoso del substrato (torba:perlite:vermiculite 6:2:2 v:v:v), la forma chimica dell'azoto e lo strato di substrato

Rapporto $NH_4^+ : NO_3^-$	Strato del vaso (altezza dal fondo)		
	0 - 8 cm	8 - 16 cm	16 - 24 cm
100 : 0	5,01 ± 0,16	5,40 ± 0,03	5,55 ± 0,04
50 : 50	5,50 ± 0,10	5,55 ± 0,10	5,75 ± 0,10
0 : 100	5,90 ± 0,05	5,90 ± 0,05	5,90 ± 0,10

Fonte: Serio *et al.*, 2004.

domanda evapotraspirativa, il repentino aumento di EC che si ha nel substrato in seguito alle prime due o tre irrigazioni dall'alto (tante quante ne servono, con una LF di 0,2, per rimuovere i sali) può comportare stress alla pianta con conseguenti fenomeni di appassimento. Questo potrebbe spiegare la maggiore caduta di foglie in post-produzione della poinsettia allevata con ZRS rispetto a piante irrigate a goccia (Deneke *et al.*, 1993).

D'altro canto, se la domanda evapotraspirativa non è troppo elevata, la ritraslocazione di sali verso il basso può costituire una fonte di nutrienti per la pianta anche nella fase di post-produzione (Todd e Reed, 1998).

pH

Nella parte del substrato che viene ripetutamente sommersa dalla SN si instaura un ambiente riducente che influenza lo stato di ossidazione degli elementi nutritivi. In particolare l'azoto nitrico (NO_3^-) viene ridotto ad azoto ammoniacale (NH_4^+), con conseguente acidificazione del substrato. Tale effetto si moltiplica con il proseguire delle fertirrigazioni, se effettuate con concimi ricchi in azoto ammoniacale, accentuando le differenze di pH tra la parte bassa del substrato, dove maggiore è l'umidità, e quella superiore, a pH più alto (tab. 1). Nei sistemi ZRS è, quindi, consigliabile utilizzare essenzialmente nitrato per la formulazione delle SN. D'altra parte, la scelta dei composti azotati da somministrare può dipendere dal pH nello strato inferiore del substrato. Con pH inferiore a 6 è preferibile scegliere $Ca(NO_3)_2$, con pH 6-7 NH_4NO_3 , con pH maggiore di 7 $(NH_4)_2SO_4$. È possibile correggere un pH eccessivamente basso somministrando N- NO_3 : proprio in virtù dell'assorbimento radicale di N- NO_3 e della conseguente alcalinizzazione (fisiologica) del mezzo (vedi Capitolo 18); in prossimità dell'apparato radicale, l'effetto di innalzamento del pH avviene in brevissimo tempo, producendo velocemente un positivo effetto sulla pianta (Molitor, 1993b).

Ossigeno

La temporanea occupazione da parte dell'acqua di tutti i pori dello strato inferiore del substrato, con conseguente condizione di asfissia, se pur temporanea, rende necessaria la presenza di una certa quantità di ossigeno disciolto nell'acqua, affinché si sviluppino le normali reazioni di ossidoriduzione e la respirazione a livello delle radici. È perciò essenziale controllare i livelli di questo elemento nella SN.

I sistemi che permettono l'agitazione della SN prima della sua distribuzione sono quelli tecnicamente più efficaci, mentre non fornisce risultati incoraggianti la tecnica dell'iniezione di ossigeno gassoso nella SN.

Di grande influenza sulla quantità di ossigeno disciolta nella SN sono i fenomeni di ossidazione a cui va incontro la sostanza organica con cui la SN è in contatto. La sostanza organica infatti tende fortemente a ossidarsi sottraendo ossigeno alla SN. Per contrastare questo fenomeno è opportuno rimuovere i sedimenti organici che si accumulano sul fondo delle vasche di raccolta della SN.

La concimazione delle piante subirrigate

Oltre che per l'assenza di *runoff*, i sistemi ZRS consentono di risparmiare fertilizzanti in virtù della minore concentrazione di nutrienti nella SN (Dole *et al.*, 1994). Infatti, diverse prove sperimentali dimostrano che, per diverse specie ornamentali, la dose ottimale di fertilizzanti è inferiore nei sistemi di subirrigazione rispetto ai sistemi di irrigazione dall'alto, a fronte di un profilo qualitativo delle produzioni sostanzialmente sovrapponibile o a favore della subirrigazione.

In ragione delle modificazioni dell'ambiente radicale discusse prima, dovute al mancato allontanamento dei sali in eccesso dal vaso, con la subirrigazione è necessario adeguare la nutrizione delle piante, riducendo la concentrazione dei nutrienti

nella SN. L'indicazione che alcuni danno di dimezzare le concentrazioni degli elementi presenti nella SN sembra, in ogni modo, eccessiva, esponendo le piante al rischio di non trovare nel mezzo di crescita un livello di nutrienti sufficiente. Infatti, i sali che rimangono nel vaso tendono comunque ad accumularsi nello strato superficiale dove, per la scarsa colonizzazione radicale, risultano non disponibili per la pianta. L'esperienza suggerisce di ridurre la concentrazione di nutrienti nella SN del 25% e di dare maggiore importanza alla EC del substrato (<http://www.arches.uga.edu/~mvanier/Subirrigation/home.htm>).

È importante valutare anche l'interazione fra temperatura dell'ambiente e la concentrazione dei nutrienti nella SN. Con temperature elevate il tenore dei nutrienti deve essere ancora più basso, per bilanciare i maggiori fabbisogni/apporti idrici.

L'irrigazione delle piante subirrigate

Per l'assenza di *runoff*, i sistemi ZRS consentono di risparmiare anche acqua, però in alcune situazioni l'incidenza dell'evaporazione dell'acqua dal pavimento inondato, dalle canalette o dal tappetino capillare, e dalla superficie del substrato, può ribaltare il risultato.

È, comunque, possibile realizzare delle barriere evaporative coprendo la superficie del substrato con fogli di plastica. L'uso di tali barriere comporta una riduzione dei consumi idrici del 25-30% e una minore stratificazione dei sali nel mezzo di crescita (fig. 4). Alcuni Autori, quando si adottano barriere evaporative, suggeriscono di ridurre ulteriormente la concentrazione dei nutrienti nella SN per scongiurare un pericoloso accumulo di sali nella zona dove più si sviluppano le radici, dovuto

alla minore migrazione degli stessi verso lo strato superficiale (Argo e Biernbaum, 1995).

Le variabili irrigue da definire nel caso della subirrigazione si diversificano da quelle dei sistemi di irrigazione dall'alto, in quanto legate alle specifiche caratteristiche del sistema. Infatti, mentre nel caso di questi ultimi sistemi è necessario definire, oltre che il momento dell'intervento (quindi la frequenza dell'irrigazione), il volume d'acqua da distribuire, nei sistemi ZRS il volume d'acqua da distribuire dipende essenzialmente dall'altezza della lama d'acqua da raggiungere nella canaletta e, nel caso del flusso e riflusso, in relazione al tipo di contenitore e al tipo di substrato. Le caratteristiche intrinseche dei due tipi di sistema condizionano, quindi, i volumi in gioco, che risultano notevolmente più alti nel caso di ZRS (Guarino *et al.*, 2002).

Anche la presenza o meno di piedini nel vaso, intuitivamente, determina l'altezza della lama d'acqua. Con vasi dotati di piedini la lama d'acqua dovrà essere necessariamente più alta rispetto all'utilizzo di vasi senza piedino, con fori laterali. Questo aspetto assume importanza ancora maggiore nel caso si utilizzi la subirrigazione in canaletta. Infatti, con questo sistema, in genere, si utilizzano portate di erogazione variabili tra 2 e 4 L/min che consentono di ottenere altezze dell'acqua di 0,5-0,7 mm. Per raggiungere altezze maggiori, utili nel caso di vasi dotati di piedini sufficientemente alti a evitare la fuoriuscita delle radici dal vaso, occorrono portate superiori.

La scelta della frequenza e della durata dell'intervento irriguo può essere effettuata empiricamente osservando le condizioni di bagnatura del substrato nello strato più superficiale. In pratica, lo strato a contatto con l'aria non deve essere eccessivamente umido, mentre immediatamente al di sotto il substrato deve presentare condizioni di umidità

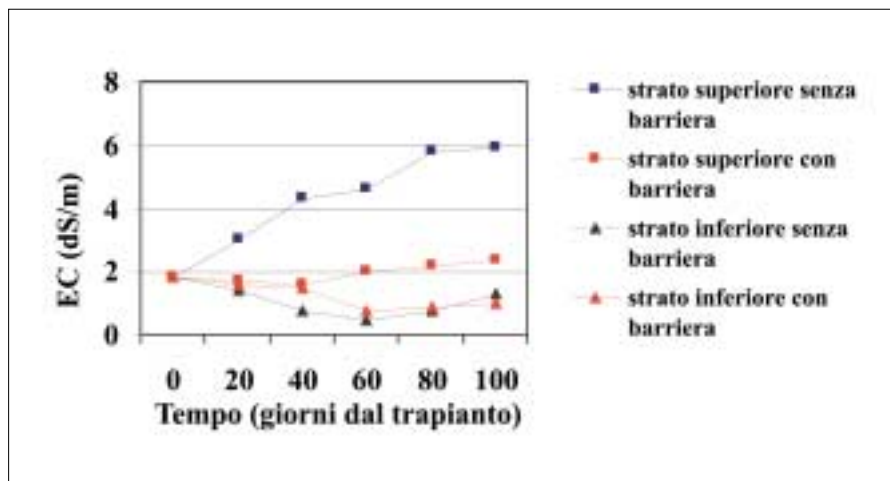


Fig. 4 - Conducibilità elettrica (EC) dell'estratto acquoso di un substrato subirrigato (per la coltivazione di giglio) in funzione dello strato considerato e della presenza o meno di una barriera evaporativa (da Argo e Biernbaum, 1994)

Effetto della tecnica di irrigazione sullo sviluppo dell'apparato radicale di una pianta coltivata in basso: con l'irrigazione a goccia (sinistra) l'apparato radicale si sviluppa un po' in tutto il vaso, mentre con la subirrigazione (destra) le radici vanno a interessare soprattutto la parte basale



maggiori. In questo modo si garantisce la necessaria risalita capillare che caratterizza tali sistemi.

Un modo relativamente semplice consiste nel pesare alcuni vasi prima e dopo l'intervento irriguo al fine di stabilire la quantità di acqua assorbita dal vaso. Ponendo questo valore in relazione con la richiesta evapotraspirativa dell'ambiente, si può stabilire se la durata e la frequenza dell'intervento irriguo sono adeguate.

Un modo meno empirico per individuare il momento in cui intervenire con l'irrigazione e per dimensionarne la durata consiste nell'utilizzare i tensiometri. In questo caso è importante che la capsula porosa sia posizionata nel terzo inferiore del vaso dove maggiore è la diffusione delle radici. L'intervento irriguo può iniziare quando la tensione raggiunge un valore prefissato e terminare a un valore minimo impostato. Il valore di tensione cui far iniziare l'intervento varia in funzione delle caratteristiche della specie. In genere, per le specie floricole, si consiglia di non scendere sotto a $-50 \div -80$ hPa (Parente e Santamaria, 2003). Per maggiori dettagli sull'uso del tensiometro si rimanda all'*Inserto II* e al Capitolo 13.

Subirrigazione e fitofarmaci

Un aspetto che desta particolare interesse nei sistemi ZRS è quello legato alla trasmissione di agenti patogeni e all'applicazione dei fitofarmaci.

Nei sistemi in cui l'acqua si muove dal basso verso l'alto del substrato, il rischio di diffusione di malattie, spesso citato come uno dei principali inconvenienti dei sistemi a ciclo chiuso, è relativa-

mente limitato, nonostante la maggior parte degli operatori non disinfetti la SN. Con una corretta gestione dell'irrigazione si può ridurre drasticamente la lisciviazione, pertanto gli scambi fra SN contenuta nel vaso e SN ricircolante diventano trascurabili. Evidenze sperimentali ed esperienze pratiche dimostrano che il pericolo che gli agenti patogeni giungano dai vasi con le piante malate a quelle dei vasi vicini attraverso la SN è molto minore con la subirrigazione rispetto ai sistemi di irrigazione dall'alto. L'incidenza di malattie fogliari (come la muffa grigia), inoltre, è minore, perché la vegetazione non è bagnata durante l'irrigazione.

Gli studi sull'efficacia della distribuzione di fitofarmaci per subirrigazione sono piuttosto limitati, così come le indicazioni (le registrazioni) sulla possibilità di erogarli per subirrigazione. Comunque, per la poinsettia, un formulato a base di imidacloprid, principio attivo contro *Bemisia argentifolii*, distribuito per subirrigazione, è risultato più efficace rispetto all'erogazione dall'alto (van Iersel *et al.*, 2001). Più in particolare, con la subirrigazione è stata osservata una traslocazione del principio attivo piuttosto omogenea tra le foglie, mentre con l'irrigazione dall'alto la differenza di concentrazione del principio attivo tra foglie vecchie e giovani è risultata notevole, offrendo minore protezione per le parti più giovani delle piante, dove il principio attivo aveva raggiunto concentrazioni insufficienti (van Iersel *et al.*, 2001). Questo risultato sperimentale può essere legato alla solubilità estremamente alta del formulato commerciale, il quale è prontamente assimilabile dalla pianta ma anche facilmente lisciviabile dalle successive irrigazioni dall'alto. Poiché il principio attivo non è

facilmente traslocato nella pianta, le foglie che si formano nelle settimane successive al trattamento insetticida non dispongono nel mezzo di coltura di una quantità sufficiente di formulato (Van Iersel *et al.*, 2001). Quando le piante sono subirrigate non c'è drenaggio, il prodotto non assorbito rimane a lungo nel substrato ed è disponibile per l'assorbimento radicale in momenti successivi.

Ringraziamenti

Lavoro svolto con un contributo del Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR) nell'ambito del progetto cofinanziato "La gestione dei sistemi fuori suolo a ciclo chiuso: adattamento, ottimizzazione e controllo in ambienti mediterranei su colture ortofloricole" (Progetti di ricerca di interesse nazionale 2003): pubblicazione n. 7.

Bibliografia

1. ARGO W.R., BIERNBAUM J.A. (1994). *Irrigation requirements, root-medium pH, and nutrient concentrations of easter lilies grown in five peat-based media with and without an evaporation barrier*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119, 1151-1156.
2. ARGO W.R., BIERNBAUM J.A. (1995). *The effect of irrigation method, water-soluble fertilization, pre-plant nutrient charge, and surface evaporation on early vegetative and root growth of poinsettia*. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 120, 163-169.
3. BRAGG N.C., CHAMBERS B.J. (1988). *Interpretation ad advisory applications of compost air-filled porosity (AFP) measurements*. Acta Horticulturæ 221, 35-44.
4. DENEKE C.F., BEHE B.K., OLIVE J.W. (1993). *Influence of subirrigation on postproduction longevity of poinsettias, pag. 4*. In: *Research report 1993*. Ornamentals. Res. Rpt. Ser. 8. Alabama Agr. Expt. Sta. Auburn.
5. DOLE J.M., COLE J.C., BROEMBSSEN S.L. (1994). *Growth of Poinsettias, nutrient leaching, and water-use efficiency respond to irrigation methods*. HortScience 29, 858-864.
6. GRUDA N., SCHNITZLER W.H. (2004). *Suitability of wood fiber substrate for production of vegetable transplants. I. Physical properties of wood fiber substrates*. Scientia Horticulturæ 100, 309-322.
7. GUARINO D., GALLINA P.M., QUATTRINI E., PARDOSSI A. (2002). *Poinsettia in vaso, l'influenza della tecnica di irrigazione*. Colture Protette 31 (9), 117-123.
8. KLOUGART A. (1984). *Substrates and nutrient flow*. Acta Horticulturæ 150, 297-314.
9. LIETH H. (1997). *Tensiometer-based irrigation in highly-amended media*. Internal report, Environmental Horticulture, UC Davis, CA. <http://lieth.ucdavis.edu/Research/tens/97/>
10. MICHIELS P., HARTMANN R., COUSSENS C. (1993). *Physical properties of peat in an ebb/flood irrigation system*. Acta Horticulturæ 342, 205-219.
11. MOLITOR H.D. (1993a). *Tecniche d'irrigazione a ciclo chiuso per le coltivazioni in serra e in pien'aria*. Flortecnica 17 (12), 36-40.
12. MOLITOR H.D. (1993b). *Particolari problemi dei sistemi di irrigazione chiusi in rapporto alla nutrizione delle piante e agli aspetti fitopatologici*. Flortecnica 17 (12), 60-63.
13. NIEDZIELA C.E., NELSON P.V. (1993). *A rapid method for determining physical properties of undisturbed substrate*. HortScience 27, 1279-1280.
14. PARENTE A., SANTAMARIA P. (2003). *Con il tensiometro irrigazione su misura*. Colture Protette 32 (7), 41-46.
15. SANTAMARIA P., SERIO F. (2001). *Coltivazione a ciclo chiuso: la subirrigazione in canaletta*. Informatore Agrario 57 (41), 45-49.
16. SERIO F., ELIA A., SIGNORE A., SANTAMARIA P. (2004). *Influence of nitrogen form on yield and nitrate content of subirrigated early potato*. J. Sci. Food Agric. 84, 1835-1839.
17. TODD N.M., REED D.W.M. (1998). *Characterizing salinity limits of New Guinea Impatiens in recirculating subirrigation*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 123, 156-160.
18. UVA W.L., WEILER T.C., MILLIGAN R.A. (1998). *A survey on the planning and adoption of zero runoff subirrigation systems in greenhouse operations*. HortScience 33, 193-196.
19. VAN IERSEL M., OETTING R., JONG-GOO KANG (2001). *Using Marathon with drip or subirrigated plant*. <http://www.arches.uga.edu/~mvanier/Subirrigation/Using%20Marathon%20in%20subirrigation%20systems.pdf>.

INSERTO I - Un modo semplice per determinare le caratteristiche fisiche del substrato in contenitore

Le caratteristiche fisiche di un substrato vengono generalmente determinate in laboratorio con opportuni strumenti (imbuto percolatori e/o cassetta tensiometrica a seconda del metodo utilizzato; vedi Capitolo 7). Considerata la grande varietà di materiali utilizzati per la preparazione dei substrati, non sempre, però, queste informazioni sono disponibili, soprattutto per i miscugli. Inoltre, alcune caratteristiche variano in funzione del tipo di contenitore utilizzato. Pertanto, può essere utile avere a disposizione un metodo, relativamente semplice e poco dispendioso, che, anche se in modo meno preciso rispetto ai metodi di laborato-

rio, consenta di determinare, direttamente in azienda, le principali caratteristiche fisiche dei substrati di coltivazione in funzione della geometria del contenitore.

Il metodo, che necessita di una stufa ventilata e di una bilancia, prevede l'utilizzazione di un vaso di cui deve essere misurato con precisione il volume (Bragg e Chambers, 1988; Niedziela e Nelson, 1992).

Sul vaso si applica un collare, si riempie il tutto con il substrato da analizzare e lo si pone ad imbibire dal basso. Raggiunta la saturazione, il vaso viene fatto drenare. Questo ciclo di imbibizione e

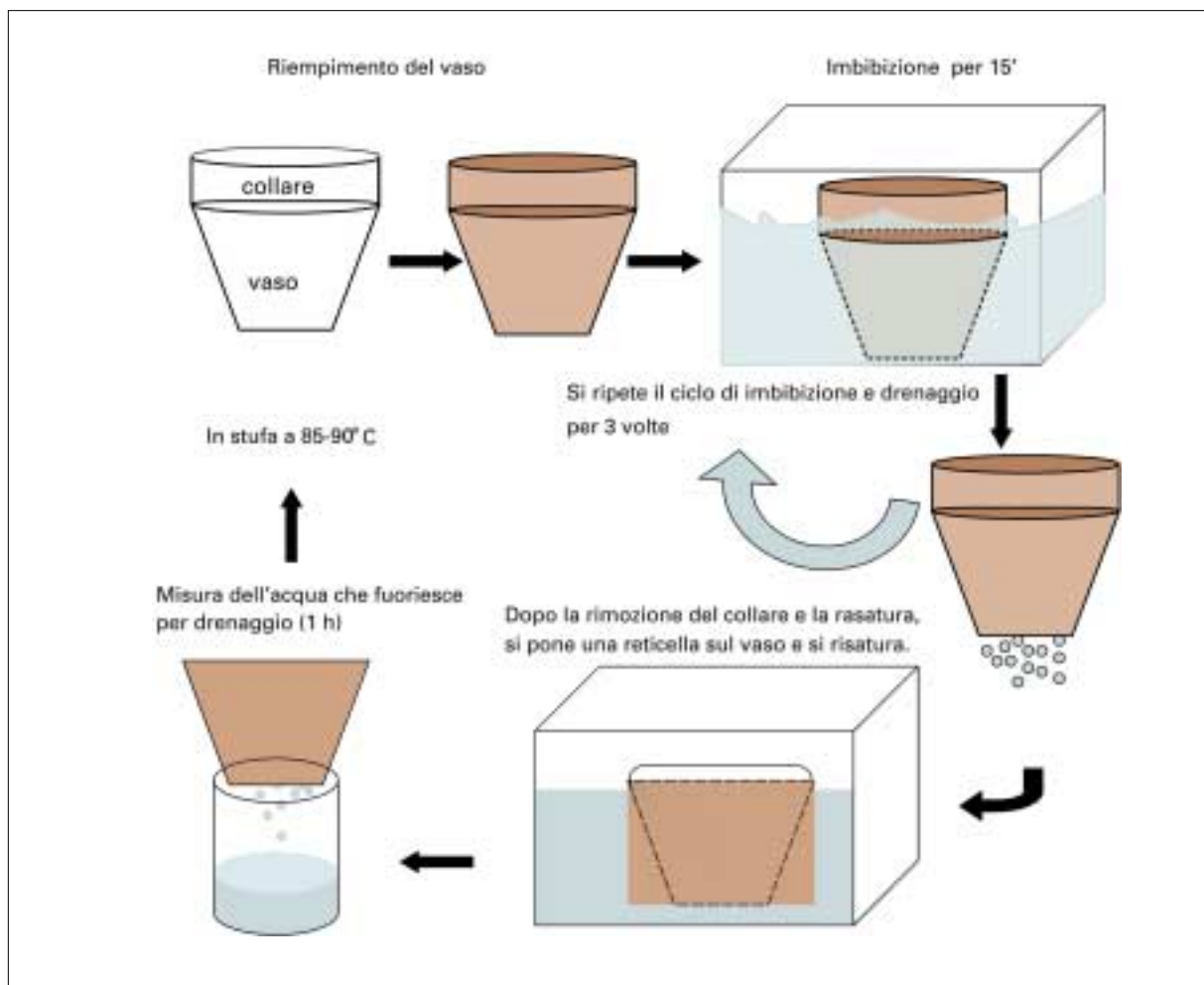


Fig. 1 - Illustrazione grafica del metodo per la determinazione rapida delle caratteristiche fisiche dei substrati

drenaggio si ripete per tre volte, per dar modo al materiale di assestarsi. Fatto questo, si elimina il collare e si raso il substrato a livello del bordo del vaso. Dopo aver posto una reticella, il substrato è di nuovo saturato, sempre dal basso, riempiendo il contenitore in modo che l'acqua giunga quasi a livello del bordo superiore del vaso. Effettuata questa operazione e chiusi i fori inferiori, si trasferisce il vaso in un contenitore vuoto e lo si fa drenare per un tempo prestabilito (60 minuti). Quindi lo si trasferisce in una stufa a 85-90°C per l'essiccazione.

Le operazioni da effettuare sono illustrate schematicamente nella *fig. 1*.

Rilevando i seguenti parametri:

P1 = peso del substrato secco + peso del vaso (g)

P2 = peso del vaso vuoto (g)

V1 = volume del vaso (cm³)

V2 = volume acqua drenata dal vaso (cm³)

P3 = peso substrato saturo dopo il drenaggio
+ peso del vaso (g)

è possibile calcolare le seguenti proprietà:

Proprietà fisica	Unità di misura	Formula
Densità apparente (DA)	(g cm ⁻³)	$(P_1 - P_2) / V_1$
Capacità per l'aria (CA)	(% in volume)	$(V_2 / V_1) 100$
Capacità del contenitore (CC)	(% in volume)	$[(P_3 - P_2) / V_1] 100$
Porosità totale (PT)	(% in volume)	CA + CC

In base al valore di CA (per gli altri parametri si rimanda ad altre parti del manuale) è possibile indicare alcune linee guida utili nella gestione idrica dei substrati:

Valore di CA (% vol.)	Suggerimento
< 7	Substrato adatto a piante con ciclo colturale breve. Bisogna prestare particolare attenzione alla frequenza delle irrigazioni, che deve essere piuttosto ridotta soprattutto in condizioni di ridotta richiesta evapotraspirativa. Possibili problemi di asfissia radicale a causa dell'insufficiente drenaggio.
7 - 10	Anche in questo caso la frequenza delle fertirrigazioni deve essere bassa. Substrati adatti a contenitori di maggiori dimensioni.
10 - 15	Valore ottimale
> 15	Questo tipo di materiali presenta una ridotta quantità di acqua disponibile, quindi le irrigazioni devono essere piuttosto frequenti. Adatto per colture a ciclo lungo e con contenitori di piccole e medie dimensioni. Substrati adatti anche per il vivaismo.

Ad esempio, applicando questo metodo, con un vaso da 22 cm di altezza e capacità di 6,8 L circa, i valori di CA per perlite, torba bionda e torba scura sono stati pari a 34, 14 e 9% del volume. Appare chiaro da quanto detto che la torba scura, utilizzata da sola, può dare problemi di asfissia radicale, data la scarsa aerazione che la caratterizza anche in vasi di dimensioni piuttosto elevate.

INSERTO II - Il controllo della subirrigazione mediante l'uso del tensiometro

Il tensiometro è costituito da un tubo fornito, ad un'estremità, di una coppa porosa e, all'altra, di un manometro. Il tensiometro misura la tensione d'umidità all'interno del terreno o del substrato, che rappresenta la forza necessaria per estrarre l'acqua dal sistema (per analogia, la forza necessaria alle radici per assorbire l'acqua dal mezzo di crescita). La tensione è funzione del contenuto idrico. Dal punto di vista fisiologico, l'intervallo di tensione tra -10 e -50 hPa (corrispondenti ad una suzione, rispettivamente, di 10 e 50 cm di colonna d'acqua) è quello ottimale per le piante; in ogni caso, non bisognerebbe mai scendere sotto -100 kPa.

Operativamente, il tensiometro deve consentire di mantenere l'umidità del substrato al di sopra del valore corrispondente ad una tensione pari a -50 hPa (Lieth, 1997). In realtà, a questo valore di tensione nel substrato, il valore letto sul manometro del tensiometro sarà minore (più alto è il valo-

re assoluto), in quanto occorre tener di conto dell'altezza della colonna d'acqua all'interno del tensiometro (10 hPa corrispondono a 10 cm). La *fig. 1* illustra quanto ora detto.

Il primo caso è relativo alla condizione idrologica che si ha subito dopo un abbondante irrigazione; sul fondo del vaso il potenziale idrico è pari a 0, in prossimità della coppa porosa del tensiometro è pari a -10 hPa (la distanza dal fondo è infatti di 10 cm), mentre sul tensiometro si leggerà un valore di -25 hPa, poiché è di 15 cm la colonna di acqua nel tensiometro ($10 + 15 = 25$).

Il secondo caso è quello in cui la perdita di acqua per evapotraspirazione ha fatto scendere il potenziale in prossimità della coppa porosa fino a -50 hPa; sul fondo del vaso il potenziale sarà in realtà più alto (valore assoluto più basso) ($50 - 10 = 40$), mentre il manometro segnerà un valore di 65 hPa ($50 + 15 = 65$).

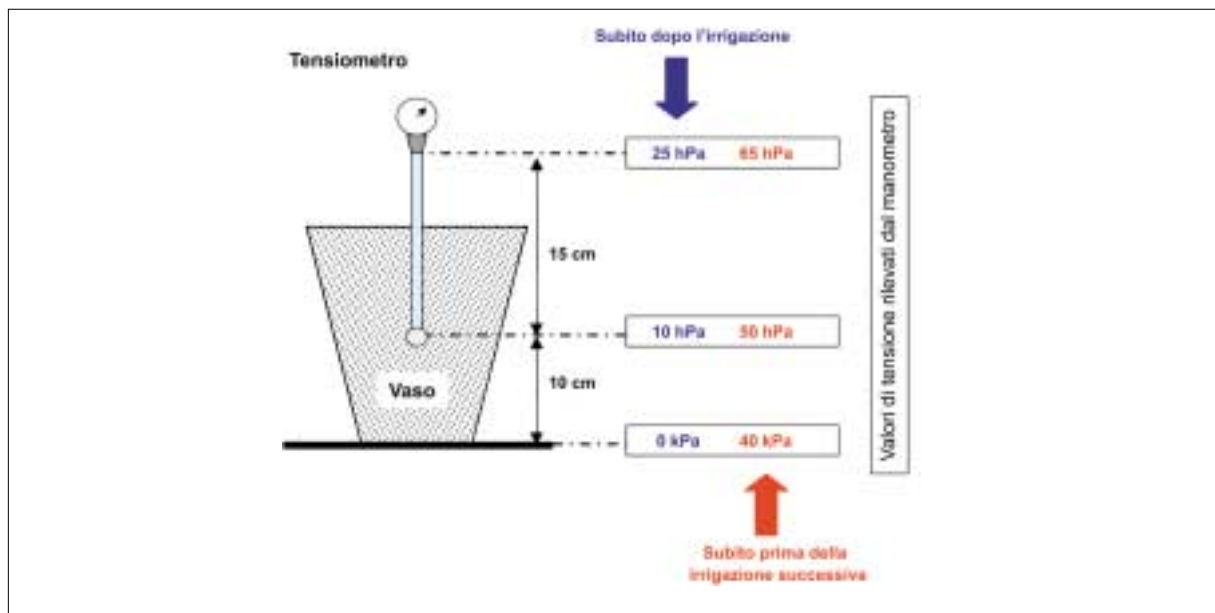


Fig. 1 - Rappresentazione schematica del controllo della subirrigazione mediante un tensiometro

20. L'impiego delle acque reflue nel vivaismo ornamentale

Francesco Ferrini, Francesco Paolo Nicese

Introduzione

La gestione razionale dell'irrigazione in vivaio non significa solo fornire acqua alle colture in maniera sufficiente e nei tempi previsti; infatti, implica anche la conoscenza della sempre più complessa legislazione e dei vincoli imposti per evitare l'inquinamento dei corpi idrici superficiali e profondi. Conseguentemente, i produttori stanno cercando di sviluppare alcune tecnologie che consentano di diminuire i consumi idrici e le perdite per ruscellamento e percolazione (*runoff*) e fronteggiare le preoccupazioni di tipo ambientale legate allo smaltimento delle acque reflue. In questo senso, l'impiego irriguo di acque reflue e/o di bassa qualità ha un'importanza notevole, liberando per altri settori risorse idriche di qualità superiore, limitando l'inquinamento dei corpi idrici e riducendo possibilmente gli oneri di depurazione delle acque.

Il recupero delle acque nella gestione del vivaio deve essere visto in un'ottica che prevede una gestione eco-compatibile dell'attività produttiva con particolare riguardo alla concimazione, ai trattamenti antiparassitari e al diserbo il cui controllo produce indubbi vantaggi non solo dal punto di vista ambientale, ma anche economico.

Scopo del presente lavoro è quello di fornire alcune indicazioni sulle possibilità di reimpiegare nelle aziende vivaistiche le acque di *runoff* (sistema chiuso) o quelle provenienti dagli impianti di depurazione delle acque reflue di origine urbana e/o industriale.

I sistemi chiusi

Il sistema chiuso è una via obbligata in paesi come l'Olanda caratterizzati da legislazioni molto severe sull'inquinamento ambientale ed è diffuso anche negli Stati Uniti e in Germania.

Il progetto di un sistema di recupero e riciclo delle acque di *runoff* deve essere sito-specifico e prevedere la migliore combinazione di tre componenti essenziali.

1. i piazzali di coltivazione impermeabilizzati;
2. i canali di raccolta del *runoff*, anch'essi impermeabilizzati;
3. i bacini di sedimentazione e di stoccaggio.

I piazzali impermeabilizzati convogliano il *runoff*, attraverso dei fossetti, ai canali di prima raccolta. Il piazzale e i canali di raccolta devono essere opportunamente dimensionati sui volumi massimi di acqua da smaltire, in modo da evitare fuoriuscite dal sistema.

La pendenza deve essere tale da evitare una velocità eccessiva dell'acqua o un suo ristagno. In caso di pendenze naturali eccessive o di un alto rischio di piogge di elevata intensità, appare opportuno inerbire le pareti dei fossetti o addirittura piantumarle con piccoli arbusti o ancora, stendere dei tappeti di erba sintetica (più economici rispetto al geotessile) per limitare la velocità dell'acqua (che risulta influenzata da numerosi fattori e, per questo, difficilmente quantificabile) e favorire un primo deposito dei sedimenti eventualmente veicolati dall'acqua, prima che essi giungano al bacino di prima raccolta.

Nei vivai con un unico gradiente di pendenza, potrebbe essere sufficiente un solo bacino di raccolta, ma la gran parte delle aziende ha più di un gradiente di pendenza e, di conseguenza, necessita di più bacini di raccolta.

Nel sistema base (*fig. 1*) il deflusso dell'acqua (primaria o di percolazione dai vasi) proveniente dal piazzale di coltura viene convogliato in aree situate a quote inferiori (bacino di prima raccolta o bacino di omogeneizzazione e sedimentazione) e da qui viene pompato in un bacino posto in un punto più alto per la redistribuzione (bacino di

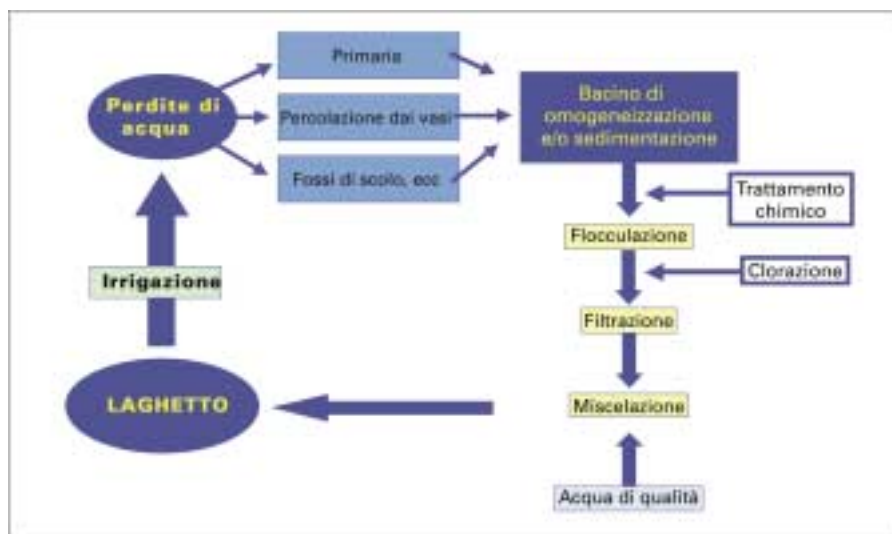


Fig. 1 - Schema di un sistema delle acque di runoff in un vivaio di piante ornamentali (da Skimmia, 1992)

seconda raccolta o di stoccaggio o laghetto).

Una stima basata su esperienze condotte negli Stati Uniti indica che il bacino di raccolta dovrebbe essere progettato per raccogliere circa il 90% dell'acqua di irrigazione.

L'acqua recuperata può essere trattata prima o durante il trasferimento dal bacino di prima raccolta a quello di stoccaggio per ridurre la carica patogena e/o per migliorarne le qualità chimiche (pH, salinità). La qualità dell'acqua può essere, inoltre, migliorata miscelandola con acqua 'fresca', cioè proveniente dalla sorgente irrigua dell'azienda (pozzo, fiume, canale irriguo...) prima della nuova immissione nel sistema di irrigazione.

Un problema che si può presentare nei bacini di raccolta delle acque è lo sviluppo di alghe, fortemente favorito dalla presenza di elementi nutritivi in eccesso.

Fra i sistemi "biologici" di eliminazione delle alghe è stato proposto anche l'uso della paglia d'orzo, la cui decomposizione rilascia composti in grado di impedire la riproduzione delle alghe (Lynch, 2002). Le balle, preventivamente rotte per facilitarne la decomposizione, devono essere poste in contenitori permeabili vicino alle sponde del laghetto (dove l'acqua non supera 1,8 m di profondità). Pur avendo dimostrato una certa efficacia nell'eliminazione delle alghe filamentose, la paglia non controlla le piante acquatiche e la sua decomposizione potrebbe richiedere molto ossigeno che non sarebbe così disponibile per la fauna ittica eventualmente presente.

Qualora non fosse possibile limitare in modo naturale e preventivo la proliferazione di alghe sono necessari alcuni trattamenti con prodotti commerciali a base di rame (Rolfe *et al.*, 2000).

Sempre per l'eliminazione delle alghe, recentemente sono stati testati a livello sperimentale dei sistemi a base di elettrodi che emettono corrente a basso voltaggio.

Nelle acque di recupero sono spesso presenti, seppur a concentrazioni molto basse, residui di fitofarmaci. Questi prodotti sono generalmente degradati dai processi aerobici e anaerobici che avvengono nel bacino di sedimentazione e, successivamente, dai trattamenti di disinfezione (ad esempio, clorazione e ozonizzazione). Gli erbicidi eventualmente presenti devono essere monitorati con attenzione anche se, come riportato da Skimmia (1996), essi sono assorbiti dalle particelle colloidali e precipitano nel bacino di sedimentazione.

Per quanto riguarda l'illustrazione dei trattamenti delle acque subito dopo il primo bacino di raccolta, delle modifiche subite dalla composizione chimica delle acque (modifiche del pH e della conducibilità elettrica, accumulo di sostanze tossiche, come ad esempio, il cloruro di sodio o il boro, presenti nell'acqua irrigua) e dei possibili trattamenti (filtrazione, disinfezione...) si rimanda ai Capitoli 10, 18 e 21.

Irrigazione con acque reflue civili e industriali trattate

Considerazioni generali

Fra i vari sistemi individuati in materia di gestione dell'irrigazione in vivaio, si colloca certamente il riuso delle acque reflue sia da impianti civili, sia industriali. Il D.M. 185 (12 giugno 2003) disciplina il riutilizzo delle acque reflue che sono così definite:

- “acque reflue domestiche” le acque reflue provenienti da insediamenti di tipo residenziale e da servizi e derivanti prevalentemente dal metabolismo umano e da attività domestiche;
- “acque reflue industriali” qualsiasi tipo di acque reflue scaricate da edifici o installazioni in cui si svolgono attività commerciali o di produzione di beni, diverse dalle acque reflue domestiche e dalle acque meteoriche di dilavamento;
- “acque reflue urbane” le acque reflue domestiche o il miscuglio di acque reflue domestiche, di acque reflue industriali, ovvero meteoriche di dilavamento convogliate in reti fognarie, anche separate, e provenienti da agglomerato.

Seppur con ritardo rispetto ad altri paesi, dove l'uso di acque reflue (soprattutto di origine civile) è alquanto diffuso ed esteso anche a colture agro-alimentari, anche in Italia sono iniziate le sperimentazioni volte a verificare la possibilità di utilizzo di acque sottoposte a trattamento terziario (oppure trattamento secondario + affinamento) nell'irrigazione delle colture ornamentali in contenitore. Pur essendo nelle colture florovivaistiche meno problematica, rispetto alle colture alimentari, l'applicazione delle acque reflue sottoposte a trattamento terziario (ad esempio, filtrazione, acido peracetico e disinfezione all'ultravioletto), il ricorso a tale pratica non è sempre possibile e deve comunque essere oggetto di attente valutazioni legate, di volta in volta, al caso in esame.

Irrigare con acque reflue depurate, infatti, comporta per la coltura effetti diretti e indiretti. Gli effetti diretti sono correlati al contatto con

l'acqua d'irrigazione e alle sue caratteristiche. Quelli indiretti (di medio-lungo termine) sono legati invece alle modificazioni che possono essere indotte nei substrati, qualora la coltivazione si protragga per più anni nel medesimo substrato, o nel terreno, qualora il loro uso sia esteso anche alla colture di pieno campo.

Le acque reflue recuperate destinate al riutilizzo irriguo o civile devono possedere, all'uscita dell'impianto di recupero, dei requisiti minimi di qualità chimici (sostanze allo stato gassoso, pH, salinità, elementi e composti chimici presenti), fisici (temperatura, torbidità, impurezze ecc.) e microbiologici (alghe, batteri, microrganismi vari comunque presenti), come quelli riportati dall'allegato al Decreto 185/2003 (*tab. I*).

Riguardo ai requisiti di qualità chimico-fisici, i più importanti, in termini di possibili effetti diretti e indiretti sulle colture (ma anche per il concreto rischio di occlusione degli ugelli, vedi Capitolo 10), sono la salinità, il pH, i nutrienti, i solidi sospesi e l'eventuale presenza di metalli pesanti. La salinità è probabilmente il parametro più importante nella valutazione di un'acqua per riuso irriguo ed è particolarmente importante nei reflui di provenienza industriale, che spesso sono caratterizzati da una conducibilità elettrica molto elevata.

Come è noto, la tolleranza alla salinità è alquanto variabile in funzione della specie. Generalmente livelli di salinità, espressi come conducibilità elettrica (EC) inferiore a 0,4 dS/m non presentano alcun problema, fatta eccezione per le specie più sensibili. Acque con EC intorno a 0,8



Bacino di raccolta delle acque di drenaggio



Un sistema sperimentale per controllare lo sviluppo delle alghe mediante elettrodi generatori di frequenze variabili

Tab. 1a - Requisiti minimi di qualità delle acque reflue recuperate all'uscita dell'impianto di recupero riportati nel D.M. 185/2003

	Parametro	Unità	Valore limite
	pH	Unità pH	6 - 9,5
	SAR	-	10
	Materiali grossolani	-	Assenti
	Solidi sospesi totali	mg/L	10
	BOD	mg O ₂ /L	20
	COD	mg O ₂ /L	100
	Fosforo totale ¹	mg/L	2
	Azoto totale ¹	mg/L	15
	Azoto ammoniacale	mg/L	2
	Conducibilità elettrica ²	dS/m	3,0
Parametri chimico-fisici ³	Alluminio	mg/L	1
	Arsenico	mg/L	0,02
	Bario	mg/L	10
	Berillio	mg/L	0,1
	Boro	mg/L	1
	Cadmio	mg/L	0,005
	Cobalto	mg/L	0,05
	Cromo totale	mg/L	0,1
	Cromo VI	mg/L	0,05
	Ferro	mg/L	2
	Manganese	mg/L	0,2
	Mercurio	mg/L	0,001
	Nichel	mg/L	0,2
	Piombo	mg/L	0,1
	Rame	mg/L	1
	Selenio	mg/L	0,01
	Stagno	mg/L	3
	Tallio	mg/L	0,001
	Vanadio	mg/L	0,1
	Zinco	mg/L	0,5

¹ Nel caso di riutilizzo irriguo, i limiti per fosforo e azoto totale possono essere elevati rispettivamente a 10 e 35 mg/L, fermo restando quanto previsto dalla Direttiva Nitrati relativamente alle zone vulnerabili da nitrati di origine agricola.

² Per la conducibilità elettrica specifica, non deve essere superato il valore di 4,0 dS/m.

³ Per tutti i parametri chimico-fisici, i valori limite sono da riferirsi a valori medi su base annua o, nel solo caso del riutilizzo irriguo, della singola campagna irrigua. Il riutilizzo deve comunque essere immediatamente sospeso ove, nel corso dei controlli, il valore puntuale di qualsiasi parametro risulti superiore al 100% del valore limite.

dS/m possono essere ancora utilizzate per molte specie, ma si potrebbero evidenziare riduzione della crescita e bruciature del margine fogliare nelle specie meno tolleranti. Questo tipo d'acqua può essere, comunque, utilizzato dove gli eventi piovosi sono frequenti o nei casi in cui, comunque, possono essere effettuate irrigazioni liscivianti con acqua a basso contenuto salino. Infine, le acque con EC superiore a 1,2 dS/m sono utilizzabili solo per specie molto tolleranti e il loro contenuto salino deve essere comunque monitorato per evitare che esso sia soggetto a sbalzi eccessivi.

Per quanto riguarda gli aspetti sanitari, lo studio del rischio microbiologico assume particolare rilievo per tutelare gli operatori dai problemi con-

nessi al riuso di reflui. È, quindi, evidente la necessità di una disinfezione efficace delle acque reflue per il loro riutilizzo.

Relativamente ai costi delle acque reflue è da rilevare che, seppur in continua discesa rispetto alle prime esperienze condotte nel comprensorio di Prato-Pistoia, il costo dell'acqua proveniente da reflui trattati è ancora superiore al costo dell'acqua prelevata da falda che, spesso, non ha un costo "reale" (i prezzi dell'acqua trattata, compreso il sollevamento, si aggirano intorno a 0,11 /m³, cfr www.provincia.pistoia.it/AMBIENTE/stato_ambiente/TESTI/ALLEGATO2.doc).

Il riutilizzo delle acque reflue depurate comporta, come detto, la necessità di effettuare sull'ef-

Tab. 1b - Requisiti minimi di qualità delle acque reflue recuperate all'uscita dell'impianto di recupero riportati nel Decreto 185/2003

	<i>Parametro</i>	<i>Unità</i>	<i>Valore limite</i>
<i>Parametri chimico-fisici</i> ¹	Cianuri totali (come CN)	mg/L	0,05
	Solfuri	mg/L	0,5
	Solfiti	mg/L	0,5
	Solfati	mg/L	500
	Cloro attivo	mg/L	0,2
	Cloruri	mg/L	250
	Fluoruri	mg/L	1,5
	Grassi e oli animali/vegetali	mg/L	10
	Oli minerali	mg/L	0,05
	Fenoli totali	mg/L	0,1
	Pentaclorofenolo	mg/L	0,003
	Aldeidi totali	mg/L	0,5
	Tetracloroetilene, tricloroetilene (somma delle concentrazioni dei parametri specifici)	mg/L	0,01
	Solventi clorurati totali	mg/L	0,04
	Triometani (somma delle concentrazioni)	mg/L	0,03
	Solventi organici aromatici totali	mg/L	0,01
	Benzene	mg/L	0,001
	Benzo(a)pirene	mg/L	0,00001
	Solventi organici azotati totali	mg/L	0,01
	Tensioattivi totali	mg/L	0,5
	Pesticidi clorurati (ciascuno)	mg/L	0,0001
	Pesticidi fosforati (ciascuno)	mg/L	0,0001
	Altri pesticidi totali	mg/L	0,05
<i>Parametri microbiologici</i>	<i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL	10 (80% dei campioni) 100 max valore puntuale
	<i>Salmonella</i>		Assente

¹ Per tutti i parametri chimico-fisici, i valori limite sono da riferirsi a valori medi su base annua o, nel solo caso del riutilizzo irriguo, della singola campagna irrigua. Il riutilizzo deve comunque essere immediatamente sospeso ove, nel corso dei controlli, il valore puntuale di qualsiasi parametro risulti superiore al 100% del valore limite.

fluyente uno o più trattamenti volti a migliorarne ulteriormente le caratteristiche chimiche, fisiche e microbiologiche, fino al rispetto dei valori imposti dalle apposite normative e dalla necessità di non danneggiare le colture irrigate. Tali trattamenti, non necessari per il raggiungimento degli standard richiesti per lo scarico in corpi recettori superficiali, comportano la necessità di effettuare degli investimenti, in certi casi anche rilevanti, con conseguente aumento dei costi di depurazione. A questi ulteriori costi vanno aggiunti quelli necessari per le opere di adduzione, distribuzione e di un eventuale accumulo; quest'ultima necessità, almeno per quanto concerne il riutilizzo in agricoltura, appare primaria, sia per il forte carattere di stagionalità

della domanda, sia per l'importanza di assicurare la disponibilità della risorsa nei periodi irrigui.

La valutazione e la ripartizione sulla comunità dei costi relativi al recupero delle acque reflue a scopi irrigui è certamente un problema politico, la cui trattazione esula dagli scopi di questo capitolo.

Nella valutazione economica della fattibilità dei progetti di riutilizzo delle acque reflue devono essere, comunque, tenuti in conto anche i benefici che ne derivano. Primo tra tutti, una maggior disponibilità idrica, che permette alle aziende non solo un incremento della superficie irrigua aziendale e, di conseguenza, un aumento della produzione, ma anche la possibilità di cautelarsi dalle spiacevoli conseguenze di una stagione particolarmente sicci-

Tab. 2 - Caratteristiche fisico-chimiche dell'acqua da reflui civili (sottoposta a trattamento terziario) e dell'acqua di pozzo utilizzate per l'irrigazione di specie arbustive ornamentali in contenitore

Parametro	Refluo terziario	Acqua di pozzo
pH	7,81	7,26
EC (dS/m)	0,65	0,44
Solidi sospesi totali (mg/L)	6,35	4,5
Fosfati (mg/L)	0,72	0,063
Ammonio (mg/L)	0,906	-
N-NO ₂ (mg/L)	0,095	0,008
N-NO ₃ (mg/L)	5,67	-
Potassio (mg/L)	15	1,2
Calcio (mg/L)	62,6	35,5
Magnesio (mg/L)	8,5	23,3
Cloro (mg/L)	70,7	31,9
Sodio (mg/L)	91	39,3
SAR	2,7	1,3
Cadmio (mg/L)	-	-
Cromo (mg/L)	-	-
Ferro (mg/L)	-	0,13
Manganese (mg/L)	-	1,14
Nichel (mg/L)	-	-
Piombo (mg/L)	-	-
Rame (mg/L)	-	-
Zinco (mg/L)	0,11	0,047

tosa, come quella verificatasi nel 2003, quando, perlomeno nell'area di Pistoia, numerosi vivaisti sono stati costretti a ricorrere all'approvvigionamento tramite autobotti con costi fino a 2-3 euro/m³.

Aspetti agronomici

Per quanto riguarda l'aspetto agronomico, sono presenti numerosi riferimenti sull'uso di acque reflue in agricoltura, soprattutto su piante ortive e su piante da frutto. Scarsa è, invece, la letteratura riguardante l'uso di questi tipi di acque nel settore vivaistico-ornamentale e le ricerche effettuate hanno evidenziato risultati variabili soprattutto in relazione alle specie considerate (Fitzpatrick *et al.*, 1986).

Al fine di valutare tale possibilità nel comprensorio vivaistico pistoiese è stato avviato, a partire dal 1999, un progetto sperimentale coordinato dal Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Firenze in collaborazione con il Dipartimento di Ortoflorofruitticoltura dell'Università di Firenze e con il Dipartimento di Produzione Vegetale dell'Università di Milano. L'attività sperimentale ha previsto, tra l'altro, la costruzione di alcuni impianti-pilota per il trattamento terziario dell'ef-

fluente (filtrazione e disinfezione) e la loro successiva utilizzazione in una prova sperimentale di irrigazione di piante appartenenti a diverse specie ornamentali caratteristiche della produzione pistoiese.

Durante la sperimentazione è stata valutata l'idoneità a uso irriguo di acque reflue civili (1999-2001) o industriali (2002-2004) con monitoraggio bisettimanale dell'acqua utilizzata. In *tab. 2* sono riportati i valori riscontrati, durante la stagione irrigua 1999, per i parametri più significativi confrontati con i valori medi dell'acqua di pozzo. La *tab. 2* evidenzia che l'effluente dell'impianto di depurazione di Pistoia presenta caratteristiche idonee all'irrigazione.

Riguardo alla crescita delle piante, l'uso delle acque reflue depurate da scarichi civili non ha prodotto effetti di tossicità o altri particolari problemi per tutte le specie testate, oltre 15 arbustive e arboree, latifoglie e conifere, sempreverdi e spoglianti (Gori *et al.*, 2000; 2003; Nicese e Ferrini, 2003; vedi *tabb. 3 e 4*).

In linea generale, le sperimentazioni, condotte in vivaio e in apposite parcelle sperimentali presso gli impianti di depurazione, hanno evidenziato l'idoneità dell'effluente dell'impianto di depurazione di

Tab. 3 - Effetti della diversa qualità dell'acqua di irrigazione sulla sostanza secca (g) per *Abutilon* "Kentish Belle" (A), *Viburnum tinus* (B) e *Weigelia florida* (C) dopo 23 settimane di coltivazione. Per le caratteristiche delle acque, vedi tab. 2

	Trattamento	Foglie	Rami	Tronco	Radici	Totale
<i>Abutilon</i>	Acqua di pozzo	1,55 b	5,48 a	1,16 a	6,38 a	14,58 a
	Reflui depurati	2,54 a	5,82 a	1,17 a	4,74 b	14,47 a
<i>Viburnum</i>	Acqua di pozzo	5,91 b	2,83 b	1,05 a	5,67 a	15,46 b
	Reflui depurati	9,07 a	4,10 a	1,18 a	5,09 a	19,45 a
<i>Weigelia</i>	Acqua di pozzo	8,05 b	4,40 b	1,13 b	6,78 a	20,36 b
	Reflui depurati	14,97 a	7,80 a	1,54 a	6,60 a	30,91 a

Lettere differenti indicano differenze significative al test LSD (P = 0,05).

Tab. 4 - Caratteristiche chimiche dell'acqua da reflui industriali sottoposta a trattamento terziario e dell'acqua di pozzo utilizzata per una prova d'irrigazione di arbusti ornamentali

Parametro	Refluo terziario media	Acqua di pozzo media
pH	7,67	7,14
EC (dS/m)	1,98	0,90
Solidi sospesi totali (mg/L)	16,7	n.r.
Fosfati (mg/L)	0,4	< 0,1
Ammonio (mg/L)	0,15	0,09
N-NO ₂ (mg/L)	0,4	n.r.
N-NO ₃ (mg/L)	5,55	5,46
K (mg/L)	22,2	3,0
Ca (mg/L)	70,8	104,4
Mg (mg/L)	22,85	40,4
Cl (mg/L)	238	29,6
Na (mg/L)	318,4	36,8
SAR	8,25	0,77
Cadmio (mg/L)	n.r.	n.r.
Cromo (mg/L)	-	-
Fe (mg/L)	0,257	0,04
Mn (mg/L)	0,225	0,03
Ni (mg/L)	n.r.	-
Piombo	0,047	-
Rame	0,02	-
Zinco	0,24	-

reflui civili a essere utilizzato, previo trattamento e diluizione con sistemi che utilizzano procedure diverse (alcune ancora in fase sperimentale) per l'irrigazione a pioggia di alcune specie arbustive allevate in contenitore. Tuttavia, le specie in osservazione hanno mostrato comportamenti differenti per cui, come evidenziato anche da altri autori, la risposta appare specie-specifica (Jordan *et al.*, 2001).

Nella seconda fase della suddetta sperimentazione, l'attenzione è stata rivolta allo studio delle possibilità di affinamento terziario dei reflui industriali (tab. 5), con particolare attenzione alla disin-

fezione, e alla verifica dell'eventuale effetto del sistema d'irrigazione (a goccia o a pioggia) sull'impiego delle acque reflue industriali. I risultati hanno evidenziato che l'irrigazione con la tipologia "a goccia" ha sempre rendimenti superiori rispetto a quella "a pioggia" per entrambi i tipi d'acque (refluo, pozzo). Le specie testate (*Viburnum tinus*, *Photinia x fraseri* "Red Robin" ed *Euonymus japonicus*) hanno mostrato un maggior accumulo di materia secca con l'irrigazione a goccia; viceversa, l'acqua reflua fornita per aspersione ha ridotto la crescita delle piante, soprattutto della

fotinia. Questa pianta, considerata assai sensibile alla salinità, ha mostrato, rispetto alle altre specie saggiate, la risposta migliore, in termini di crescita, se irrigata a goccia, e quella peggiore nel caso dell'irrigazione a pioggia, che ha anche provocato delle bruciature alla lamina fogliare.

L'uso di acque reflue di provenienza industriale potrebbe, quindi, essere una risorsa potenzialmente sfruttabile in vivaio per specie non troppo sensibili alla salinità e utilizzando la microirrigazione.

Conclusioni

Le prospettive emerse dai risultati (ottenuti sia su specie arboree, sia arbustive, sempreverdi e spoglianti, con acqua reflua depurata da scarichi civili e industriali) appaiono incoraggianti anche se, evidentemente, si dovrà procedere con nuove sperimentazioni su specie diverse. L'utilizzo degli effluenti dai depuratori, inoltre, appare in grado di assicurare notevoli benefici di tipo ambientale, principalmente grazie alla conservazione delle risorse idriche sotterranee e al mancato scarico nei

corpi idrici superficiali di acque potenzialmente inquinanti (eutrofizzazione).

Non è, infine, da trascurare, in prospettiva futura, la presenza di una risorsa idrica 'sicura', disponibile per il settore produttivo e capace di sopperire ai problemi di approvvigionamento caratteristici della stagione irrigua che, soprattutto negli ultimi anni, sono diventati sempre più pressanti.

A livello di meso- o macroscale si potrebbe, quindi, prospettare un impiego di queste acque, avendo cura di controllare sempre la salinità, sia quando sono usate tal quali (come nel caso di reflui di origine civile, in genere con contenuto salino basso), sia miscelate con acqua di pozzo (reflui industriali più ricchi in sali).

La sostenibilità tecnica dell'intervento potrebbe essere ottenuta attraverso due principali azioni: l'implementazione di uno specifico protocollo di gestione dell'impianto di depurazione al fine di garantire il fabbisogno idrico e la richiesta di nutrienti minerali; la riorganizzazione gestionale delle aziende vivaistiche per ottimizzare il consumo di acqua e di fertilizzanti.

Bibliografia

- DEVITT D.A., MORRIS R.L., NEUMAN D.S. (2003). *Impact of water treatment on foliar damage of landscape trees sprinkle irrigated with reuse water*. J. Environ. Hort. 21, 82-88.
- FITZPATRICK G.E., DONSELMAN H., CARTER N.S. (1986). *Interactive effects of sewage effluent irrigation and supplemental fertilization on container-grown trees*. HortScience 21, 92-93.
- GORI R., LUBELLO C., FERRINI F., NICESE F.P. (2003). *Municipal treated wastewater reuse for nursery irrigation*. Water Research, in corso di stampa.
- GORI R., LUBELLO C. (2000). *Effect of reclaimed wastewater on the growth and nutrient content of three landscape shrubs*. J. Environ. Hort. 18, 108-114.
- JORDAN L.A., DEVITT D.A., MORRIS R.L., NEUMAN D.S. (2001). *Foliar damage to ornamental trees sprinkler-irrigated with reuse water*. Irrig. Sci. 21, 17-25.
- LYNCH W.E. JR. (2002). *Algae control with barley straw*. Ohio State Univ. Ext. Fact. 1-12-02.
- MASOTTI L. (2003). *Il riuso industriale delle acque reflue depurate. L'esperienza di Prato*. Atti del Seminario "Aguasave. Riciclo e riutilizzo delle acque". Rimini.
- NEWMAN J.J. (2004). *Control of Algae and weeds in ponds*. <http://ceinfo.unh.edu>
- NICESE F.P., FERRINI F. (2003). *Verifica della possibilità di uso di reflui industriali trattati per l'irrigazione di arbusti ornamentali in contenitore*. Italus Hortus 10 (4, suppl.), 129-133.
- REED D.W. (1996). *Water, media, and nutrition for greenhouse crops*. Ball Publishing, Batavia, Illinois.
- ROLFE C., YIASOUMI W., KESKULA E. (2000). *Managing water in plant nurseries: a guide to irrigation, drainage and water recycling in containerized plant nurseries*. Ball Publishing, Batavia, Illinois.
- SKIMINA C.A. (1992). *Recycling water, nutrients, and waste in the nursery industry*. HortScience 27, 968-971.
- SOUTHERN NURSERY ASSOCIATION (2000). *Guide for producing container-grown plants*. Atlanta GA.

21. Disinfezione delle acque e delle soluzioni nutritive

Andrea Minuto, Angelo Garibaldi

Introduzione

Uno dei maggiori vantaggi che possono essere indicati a favore dell'adozione di sistemi di coltivazione fuori suolo è la possibilità di iniziare e svolgere la coltivazione in un ambiente nuovo e quasi sempre esente da agenti patogeni di origine tellurica, potendo, ulteriormente, mettere in atto validi sistemi di lotta alle malattie dovute a organismi dannosi introdotti accidentalmente nel mezzo di coltura e diffusi mediante la soluzione circolante.

Al momento, relativamente pochi sono i patogeni strettamente connessi all'apparato radicale delle colture fuori suolo: si tratta in primo luogo di funghi appartenenti alla classe degli oomiceti (*Pythium* e *Phytophthora*), ovvero funghi capaci di produrre zoospore adattate a vivere e soprattutto a muoversi in acqua, aventi dimensione da 3 a 12 µm di diametro, vitali sino a 24 ore. Durante tale periodo esse, in particolare tramite il fenomeno del chemiotattismo, riconoscono i tessuti radicali, si incistano, penetrano e infettano l'ospite, dimostrando, talora, una capacità elevatissima di produrre organi propagativi (ad esempio, sino a 8 milioni di zoospore di *Plasmopara radicle-lactucae* per singola pianta di lattuga).

Molti dei funghi patogeni (*Pythium aphanidermatum*, *P. myriotylum*, *Phytophthora cryptogea*, *P. nicotianae*) rinvenuti in coltura idroponica sono, comunque, gli stessi che colpiscono le medesime specie vegetali coltivate in campo, mentre altri colpiscono ospiti che in coltura tradizionale si comportano generalmente come immuni: è il caso di *P. cryptogea* che in condizioni di coltura fuori suolo è in grado di essere molto dannosa anche su lattuga e pomodoro. Altri patogeni, come *Plasmopara radicle-lactucae*, agente di alterazione radicale su lattuga, sono poi del tutto specifici per le colture

fuori suolo. Altri ancora, come *Pythium dissotocum*, segnalato su spinacio e lattuga, comunemente noti come patogeni dotati di scarsa virulenza nelle colture in condizioni di campo, sono estremamente virulenti in coltura fuori suolo.

Non solo i patogeni zoosporici riescono, comunque, a infettare le colture allevate in sistemi fuori suolo: infatti è stato recentemente dimostrato in Italia che *Fusarium oxysporum* f. sp. *cyclaminis* può agevolmente diffondersi mediante l'impiego di sistemi di irrigazione a flusso e riflusso, al contrario di quanto osservato in Olanda, dove non sono mai stati ritrovati casi di diffusione di questo fungo in colture fuori suolo irrigate con la medesima metodica e perfino in presenza di piante di ciclamino infette.

Sempre in sistemi fuori suolo, particolarmente gravi possono essere le infezioni di *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicle-lycopersici*: in tale caso gli attacchi sono fortemente favoriti dalle condizioni di "vuoto biologico" che si possono rinvenire soprattutto in sistemi nuovi, quindi poveri di microflora residente. Ancora più recentemente, attacchi di *Fusarium oxysporum* sono stati osservati in coltivazioni di gerbera messe a dimora in piena terra e, in misura maggiore, in piantagioni senza suolo. In quest'ultimo caso, è evidente che la coltivazione in sistemi a ciclo chiuso o a ciclo aperto su substrato artificiale (lana di roccia) appare particolarmente favorevole agli attacchi di tale parassita, talora confusi con infezioni provocate da *P. cryptogea*.

Da ultimo, occorre rammentare che in sistemi a ciclo chiuso, benché si riscontri una notevole riduzione del numero di malattie radicali e vascolari, qualora si verifichi l'introduzione di un patogeno la sua dannosità può risultare elevata, soprattutto grazie a:

1. uniformità genetica spinta della coltura ospite;

Tab. 1 - Classificazione dei sistemi di trattamento delle soluzioni circolanti

Metodo di disinfezione	Attivo/passivo	Effetto locale/residuale
Calore	attivo	locale
Ozono	attivo	residuale
Raggi ultravioletti	attivo	locale
Filtrazione	passivo	locale
Ultrasuoni	attivo	locale
Mezzi chimici	attivo	residuale

- condizioni ambientali talvolta fortemente conduttive nei confronti dei parassiti (temperatura e pH della soluzione nutritizia); le condizioni ambientali caratteristiche delle colture idropo- niche sono in genere costanti anche per lunghi periodi di tempo: nel caso in cui tali condizioni risultino essere ottimali per i parassiti radicali, la coltivazione in sistema fuori suolo può diventare estremamente conduttiva per un determinato patogeno; è il caso di *P. aphanidermathum* che a 25°C provoca attacchi gravissimi su pomodoro, cetriolo e spinacio, mentre a 20°C non viene considerato un parassita in grado di provocare danni di rilevanza economica alle diverse colture;
- rapida diffusione degli agenti patogeni tramite le operazioni di irrigazione, in particolare in sistemi a ciclo chiuso.

Le fonti di infezione

Tra le possibili fonti di infezione dalle quali originano gli attacchi alle colture allevate in sistemi fuori suolo, sicuramente i substrati sono quelli potenzialmente caratterizzati da maggiore rischio.

Perlite, vermiculite, lana di roccia, poliuretano, polistirene sono normalmente considerati "sterili" dopo la loro produzione, mentre i materiali naturali (sabbia, pomice, torba, fibra di cocco o cortec- cia non compostata) non possono essere conside- rati assolutamente tali. In particolare la sabbia, substrato molto utilizzato per le coltivazioni fuori suolo, dopo un sommario lavaggio può essere facilmente inquinata da *P. aphanidermathum* e da *P. dissotocum*. Similmente la torba, da sola o in miscela con altri materiali, è la principale fonte di infezione di patogeni quali *Pythium* sp., *Fusarium* sp., *Olpidum* sp. e *Thielaviopsis* sp.

Anche l'aria può essere una potenziale via di infezione, nonostante gli organismi fitopatogeni di origine tellurica più frequenti nelle coltivazioni fuori terra solo raramente siano in grado di diffon-

dersi per via aerea. *F. oxysporum* f. sp. *radicis-lyco- persici* può, ad esempio, produrre abbondante inoculo aereo e per esso tale via di diffusione è stata identificata come la più comune. Simili osservazio- ni sono state effettuate anche su basilico relativa- mente alla possibilità di diffusione aerea della fusa- riosi causata da *F. oxysporum* f. sp. *basilici*.

Come l'aria, anche l'acqua può essere facile vet- tore di funghi: l'impiego di acque superficiali è la prima fonte di introduzione nel fuori suolo di patogeni del genere *Pythium*; tramite l'acqua è possibile infatti la diffusione di zoospore e micelio.

Da ultimo, ma non meno importante, anche il materiale propagativo può essere fonte di inoculo di microrganismi potenzialmente patogeni. Da questo punto di vista le problematiche legate all'impiego di materiale propagativo sicuramente sano sono le stesse che riguardano i sistemi di col- tivazione tradizionali, ma con una aggravante in più: attualmente i parassiti in grado di diffondersi mediante materiale propagativo alle colture fuori suolo non sono ancora completamente noti, e per- ciò di più difficile contenimento. Ricordiamo per tale aspetto la tracheofusariosi della gerbera, da poco segnalata, e le recentissime osservazioni di trasmissione mediante seme di *F. oxysporum* nel caso di lattuga e rucola.

I metodi di disinfezione

Negli ultimi 10 anni diversi sistemi sono stati messi a punto al fine di mantenere basso il rischio di diffusione di parassiti vegetali nei sistemi di col- tivazione fuori suolo a ciclo chiuso o semichiuso: tecnicamente tali diversi mezzi possono essere sud- divisi in attivi o passivi, e dotati di effetto locale o residuale (tab. 1).

Il calore

L'impiego di sistemi basati su trattamenti ter- mici delle soluzioni circolanti è un metodo fre- quentemente adottato soprattutto in Olanda; la

Gravi sintomi causati da infezioni di *Fusarium oxysporum* su gerbera allevata in fuori suolo. La fusariosi è stata recente segnalata come una malattia potenzialmente grave proprio per le coltivazioni fuori suolo



tecnica in sé non è di recente messa a punto e si basa su dispositivi analoghi a quelli adottati, ad esempio, per la pastorizzazione del latte. Dalla vasca di stoccaggio, la soluzione drenata viene pompata all'interno di uno scambiatore di calore ove viene surriscaldata sino a 80°C, sfruttando anche il calore residuo scambiato con la soluzione già trattata. Il passaggio attraverso un successivo scambiatore rende possibile raggiungere la temperatura efficace grazie a una fonte di energia termica ausiliaria. Il successivo ritorno della soluzione al primo scambiatore permette il raffreddamento della stessa e il pre-riscaldamento della soluzione da trattare, prima del suo stoccaggio in una apposita vasca che, ovviamente, deve essere utilizzata per la sola acqua disinfettata. Relativamente alle temperature che la soluzione nutritizia deve raggiungere, per poter essere certamente disinfettata, numerose sono le possibilità praticamente adottabili. Inizialmente, al fine di ottenere la massima efficacia biocida nei confronti di differenti patogeni, veniva considerato necessario un trattamento a 95°C per un tempo di esposizione di 10 secondi. Aumentando il tempo di esposizione a 30 secondi detto trattamento, inoltre, può essere considerato eradicante nei confronti di batteri, funghi, virus e nematodi. In seguito è stato dimostrato che i medesimi risultati potevano essere ottenuti diminuendo la temperatura di disinfezione, ma incrementando il tempo di esposizione, vale a dire 90°C per 2 minuti, o 85°C per 3 minuti al fine di ottenere una completa eliminazione di tutti i patogeni, inclusi virus, o 60°C per una durata di 2 minuti per una disinfezione parziale in grado di eliminare funghi, batteri e nematodi. Il maggior vantaggio di questa ultima strategia applicativa è, certamente, legato alla riduzione dell'energia necessaria: il fab-

bisogno di 32 MJ (equivalenti a 0,7 m³ di gas propano o a 1 m³ di gas naturale) per m³ di soluzione da disinfettare, necessario al fine di ottenere l'eliminazione anche di virus, scende, infatti, a 19,2 MJ per m³ di soluzione da disinfettare adottando il trattamento a 60°C per 2 minuti di esposizione. Occorre, comunque, ricordare che, al fine di limitare dannosi fenomeni di intasamento dello scambiatore e di precipitazione in particolare di sali di calcio, sarebbe opportuno procedere a una pre-filtrazione della soluzione nutritizia, in filtri a maglie di 50-70 micron, e a una sua eventuale acidificazione a pH inferiore a 5.

Ozono (O₃) e perossido di idrogeno (H₂O₂)

L'ozono è un potente ossidante, capace di reagire con qualsiasi organismo vivente, ma anche, ad esempio, con correttivi a base di ferro chelato spesso presenti nelle soluzioni nutritive. Come per molte altre sostanze, inoltre, il suo potere biocida è dipendente dal tempo di esposizione e dalla concentrazione. L'applicazione dell'ozono prevede la sua produzione direttamente nella zona di utilizzo: generalmente questa avviene facendo passare aria secca attraverso un campo elettrico a elevato potenziale. Diversi sistemi sono oggi disponibili sul mercato per la produzione dell'ozono e il suo impiego per la disinfezione delle soluzioni nutritive. È, comunque, importante la qualità dell'aria utilizzata per la preparazione dell'ozono (talora si può utilizzare direttamente ossigeno in bombole), la pre-filtrazione della soluzione nutritizia al fine di ridurre la presenza di sostanza organica, e il pH che deve essere acido al fine di rendere maggiormente stabile l'ozono stesso. Al contrario di altri metodi di disinfestazione, tutti i sistemi di trattamento con ozono prevedono la distribuzione del

Tab. 2 - Caratteristiche delle lampade a vapori di mercurio per la produzione di UV

Tipologia della lampada per la produzione di UV	Caratteristiche delle radiazioni emesse
Vapori (Hg) ad alta pressione	UV 200-280 nm Efficienza energetica 10% (% energia trasformata in UV corti)
Vapori (Hg) a bassa pressione	UV 250-260 nm (ottimo 253,7 nm) Efficienza energetica 40%

gas in modo discontinuo (volume di trattamento = 1-2 m³), operando in contenitori chiusi ove il pH viene abbassato e, contemporaneamente, iniettato l'ozono. Sulla base di numerose evidenze sperimentali si è concluso che l'applicazione di 10 g di O₃ al m³ per un'ora di esposizione è sufficiente a eliminare tutti i potenziali patogeni. Il sistema, però, è molto complesso, costoso e richiede l'adozione di numerosi accorgimenti al fine di poterlo adottare in sicurezza (l'ozono è una sostanza estremamente pericolosa nel caso di esposizioni accidentali degli operatori); anche per questo motivo, nonostante possa essere considerato un sistema efficiente, esso non è mai stato diffusamente impiegato (valori soglia di O₃ per evitare effetti dannosi alle piante: < 0,1 ppm in aria, < 0,1 ppm attorno alle radici; con concentrazioni nell'aria > 0,01 ppm: rischio per l'operatore).

Al contrario, una sostanza più conveniente e di facile applicazione è il perossido di idrogeno (H₂O₂). Si tratta di un blando ossidante, la cui attività può essere incrementata aggiungendo un acido debole che funziona da attivatore. Dosaggi di 400 ppm, decisamente elevati, sono necessari per eliminare i virus, anche se limitate percentuali di nematodi (0,3%) possono comunque sopravvivere, potendo infestare le colture.

L'irraggiamento con raggi ultravioletti (UV)

Recentemente l'uso degli UV è divenuto molto comune: si noti però che inizialmente tale sistema presentava degli inconvenienti in quanto la presenza di materiale organico (frammenti di radice, acidi umici) nelle soluzioni nutritive causava una forte riduzione dell'efficacia a fronte degli elevati investimenti necessari. Oggi, invece, l'impiego degli UV è comparabile, quanto a efficacia, con l'uso del calore e, inoltre, è più economico rispetto all'utilizzo dell'ozono. La radiazione ultravioletta con lunghezza d'onda compresa tra 200 e 280 nm (UV-C) dimostra efficacia biocida raggiungendo i massimi livelli con lunghezza d'onda di 254 nm. Le lampade disponibili oggi sul mercato possono essere ad alta o bassa pressione, in funzione della pressione presente nel bulbo; entrambe dimostra-

no la medesima efficacia nell'eliminare i patogeni dalle soluzioni nutritive, anche se le lampade ad alta pressione sono caratterizzate da una minore efficienza energetica (tab. 2). Dal punto di vista pratico l'impiego degli UV a dosaggi di 100 mJ/cm² permette l'eliminazione di funghi e batteri, mentre per i virus sono necessari dosaggi non inferiori a 250 mJ/cm². Naturalmente, tali valori sono sufficienti se la soluzione è quasi limpida, pertanto l'eventuale pre-filtrazione con un filtro a sabbia o mediante microfiltrazione a 80 micron è necessaria per la rimozione del particolato in sospensione, che può realmente ridurre l'efficienza del trattamento. La torbidità viene espressa con il valore di T10 = quantità di UV 254 nm in grado di penetrare uno strato di 10 mm di liquido; tale valore è una caratteristica importantissima per valutare l'efficienza del sistema di disinfezione.

In conclusione, poiché le soluzioni nutritive hanno valori di T10 compresi tra 20 e 40% (valore ottimale 35%), è necessario che la portata dei sistemi di disinfezione con UV sia regolata in modo da generare nell'acqua una sufficiente turbolenza al fine di migliorare la penetrazione della radiazione UV negli strati della soluzione trattata. Tra i problemi che possono insorgere con l'uso degli UV si ricorda la degradazione dei chelati di ferro, causata dall'effetto che gli UV esercitano sulle molecole organiche che costituiscono i chelati stessi, potendo causare, talora, fenomeni di carenza di ferro sulla coltura. Dovendo far fronte a tale inconveniente, un incremento dell'apporto di ferro chelato pari al 10-25% può rapidamente risolvere detta clorosi.

La filtrazione con membrane

La filtrazione con membrane può essere suddivisa in osmosi inversa, iper-filtrazione, nano-filtrazione, ultra-filtrazione e micro-filtrazione in base alla dimensione delle particelle trattenute. L'uso di membrane capaci di ultra-filtrazione e micro-filtrazione è utile per separare dalle soluzioni nutritive macromolecole quali polisaccaridi e organismi patogeni; tuttavia risulta, per il momento, poco diffuso per considerazioni di tipo economico. I sistemi a osmosi inversa, a loro volta, appaiono

Tab. 3 - Dimensionamento filtro a sabbia in funzione della portata

Superficie filtrante (m ²)	Portata con flusso a				Diametro contenitore cilindrico m	Quantità di sabbia	
	100 L/m ² h		300 L/m ² h			m ³ strato filtrante	m ³ strato drenante
	m ³ /h	m ³ /die	m ³ /h	m ³ /die			
1	0,1	2,4	0,3	7,2	1,1	1,4	0,7
2	0,2	4,8	0,6	14,4	1,6	1,9	1,0
3	0,3	7,2	0,9	21,6	2,0	2,3	1,2
4	0,4	9,6	1,2	28,8	2,3	2,7	1,4
5	0,5	12,0	1,5	36,0	2,5	3,0	1,5
6	0,6	14,4	1,8	43,2	2,8	3,3	1,7
7	0,7	16,8	2,1	50,4	3,0	3,6	1,8
8	0,8	19,2	2,4	57,6	3,2	3,8	1,9
9	0,9	21,6	2,7	64,8	3,4	4,1	2,0
10	1,0	24,0	3,0	72,0	3,6	4,3	2,1

ugualmente costosi per essere utilizzati in una azienda agraria, mentre potrebbero diventare una soluzione conveniente se adottati tramite la costruzione di impianti centralizzati di dissalazione dell'acqua marina e distribuzione dell'acqua depurata. La filtrazione con membrane, in ogni caso, permettendo la produzione del 90-50% di acqua depurata, ne genera parallelamente il 10-50% di scarto: si tratta di acqua nella quale si concentrano sali, altre sostanze organiche e patogeni. Tale rifiuto va opportunamente eliminato in ottemperanza alle normative vigenti, il che incrementa i costi generali di gestione dell'azienda.

La filtrazione lenta

Un altro metodo di disinfezione della soluzione circolante è la filtrazione lenta su sabbia, che ha garantito buoni risultati nel contenere diversi funghi, tra cui *Phytophthora*, *Thielaviopsis basicola*, *Cylindrocladium* spp., *Fusarium oxysporum* e *Verticillium dahliae*, batteri, quali *Xanthomonas campestris* pv *pelargonii*, e virus, come PFBv (*Pelargonium Flower Break virus*). A questo proposito, adottando questo metodo di filtrazione risulta accertato che *Phytophthora* e *Pythium* possono essere completamente eliminati, mentre funghi appartenenti al genere *Fusarium*, virus e nematodi lo sono solo parzialmente (90-99%). La filtrazione lenta su sabbia è un sistema noto già da tempo per l'eliminazione dei patogeni, ma solo recentemente è stata applicata nel settore orto-floricolo. Il principio della filtrazione consiste praticamente nel passaggio per sola forza di gravità della soluzione nutritizia in uno strato di sabbia fine avente granulometria definita (0,2-2 mm). Per ottenere buoni risultati contro gli organismi dannosi, la filtrazione deve avvenire lentamente (100-300 L/h

per m² di superficie filtrante) e con l'avvertenza che uno strato di soluzione sia continuamente presente sopra il filtro di sabbia. Volendo fornire indicazioni circa le principali caratteristiche di un sistema di filtrazione a sabbia, sulla base dell'esperienza di numerosi autori, lo strato filtrante, ovvero il cuore del sistema, deve essere così caratterizzato:

1. spessore strato filtrante compreso tra 80 e 120 cm;
2. caratteristiche della sabbia dello strato filtrante
 - a) granulometria possibilmente compresa tra 0,2 e 2 mm (granulometrie inferiori sono soggette a facile intasamento);
 - b) D10 o dimensione granulometrica efficace (diametro espresso in mm corrispondente al diametro del setaccio attraverso cui passa solo il 10% peso/peso della sabbia) compreso tra 0,15 e 0,30 (100-50 mesh), eventualmente compreso tra 0,15 e 0,40;
 - c) D60/D10 (coefficiente di uniformità) rapporto tra la dimensione del setaccio attraverso cui passa il 60% in peso della sabbia e la dimensione granulometrica efficace: < 3, valore massimo 5;
 - d) prevalente (> 90%) o totale costituzione silicea, in grado di garantire una solubilità in HCl 0,1 M < 0,25% (< 5% dopo 30 minuti in ambiente acido).
3. flusso di acqua/soluzione nutritizia in uscita opportunamente regolato tra 300 e 100 L/h per m² di superficie filtrante (tab. 3).

Non appena il sistema viene attivato, sulla superficie della sabbia filtrante si forma uno strato, definito "biofilm" o "filter skin", costituito prevalentemente da materiale organico e inorganico e numerosi microrganismi, di elevata importanza per il meccanismo di azione della tecnica: certamente non si tratta unicamente di un effetto meccanico legato alla filtrazione, bensì di numerosi e com-

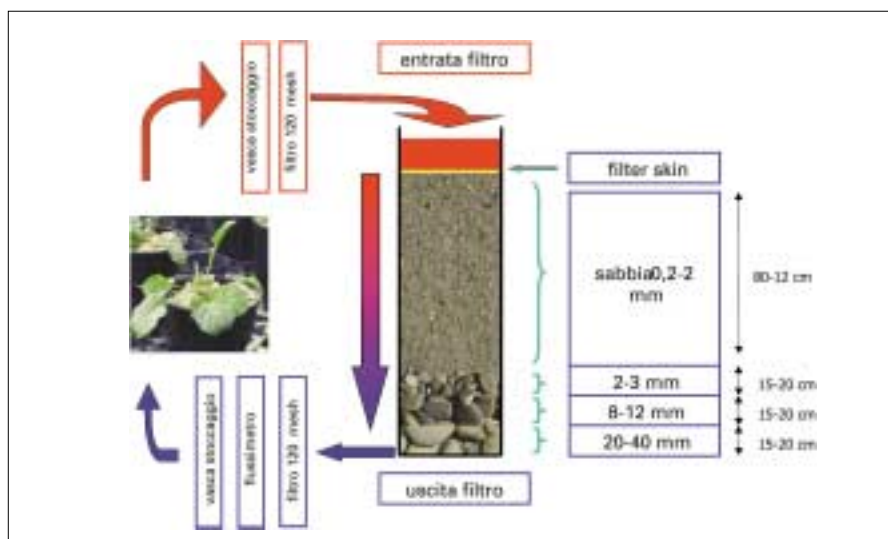


Fig. 1 - Schema di funzionamento di un filtro a sabbia

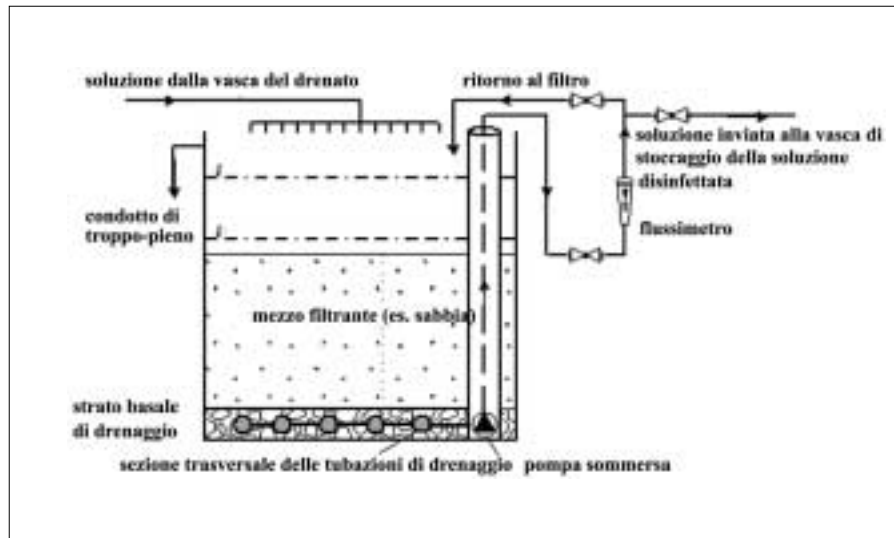
plexi meccanismi fisici, chimici e biologici che sono coinvolti. Osservazioni sperimentali parallelamente svolte in Olanda e Germania hanno confermato la possibilità di utilizzare come mezzo filtrante altri materiali oltre alla sabbia fine (sabbia grossolana, lana di roccia granulata densità 136 kg/m^3 , lana di vetro in pani, poliuretano espanso), ottenendo risultati soddisfacenti sempre con flussi compresi tra 100 e 300 L/h per m^2 di superficie filtrante. I filtri a sabbia possono essere costruiti impiegando contenitori adatti allo stoccaggio di acqua (ad esempio, una superficie disponibile di 15 m^2 permette di filtrare da 1,5 a $4,5 \text{ m}^3/\text{h}$). Spesso, proprio nelle aziende agrarie, possono essere disponibili contenitori aventi superficie di solo 1 m^2 , tuttavia sono già operativi filtri di grandi dimensioni, con superficie filtrante di 70 m^2 , ubicati esternamente alle strutture aziendali. In *fig. 1* viene riportato lo schema di un filtro a sabbia: in particolare occorre sottolineare che il sistema di carico della soluzione nutritizia deve evitare il danneggiamento della parte superficiale dello strato di sabbia filtrante ove è presente il biofilm attivo e ciò può essere agevolmente ottenuto effettuando il carico mediante una distribuzione a pioggia della soluzione nutritizia sull'acqua presente sulla sommità del filtro. Il flusso della soluzione nutritizia filtrata in uscita deve essere controllato da sistemi in grado di garantire una elevata precisione: quello più semplice prevede la regolazione mediante una valvola di regolazione del flusso effluente dalla base del filtro per sola forza di gravità. Al fine di prevenire il completo drenaggio della soluzione all'interno del filtro, la valvola di uscita dell'acqua filtrata dovrebbe essere posizionata sopra il livello massimo raggiunto dallo strato di sabbia filtrante.

Per la costruzione di semplici sistemi di filtrazione, adatti per aziende ortofloricole, potrebbe essere raccomandata un'altra soluzione: all'interno di un tubo vuoto (20-40 cm di diametro) che attraversa lo strato di sabbia filtrante sino a quelli basali di drenaggio si pone una pompa a sommersione che, connessa al tubo di raccolta del drenato, permette l'invio dello stesso alla vasca della soluzione filtrata con una portata non eccedente quella indicata per la filtrazione (massimo 300 L/h per m^2 di superficie filtrante) (*fig. 2*). È, inoltre, assolutamente necessario che il primo riempimento del filtro avvenga con flusso idrico avente senso opposto a quello di funzionamento e con un valore del flusso non superiore a quello di funzionamento (100-300 L/h per m^2 di superficie filtrante): questo accorgimento ha lo scopo di limitare la presenza di bolle di aria, e quindi di ridurre il rischio di rimescolamento degli strati durante la successiva fase di funzionamento dell'impianto.

Limitando le valutazioni alla sola sabbia, in Italia abbiamo a disposizione essenzialmente due fonti di approvvigionamento:

1. sabbie silicee ($\text{SiO}_2 > 94-98\%$) ottenute da frantumazione di materiale (quarziti) da siti minerari diversi (ad esempio, Val Vermeagna (CN) sito di produzione di sabbia per vetreria ad altissimo titolo di silice); va aggiunto che la necessità di utilizzare sabbie aventi un particolare profilo granulometrico rende necessaria la miscelazione di sabbie diverse ottenute da vagliatura del materiale di frantoio, talora non ottenendo una perfetta omogeneità del prodotto finale; da ultimo le sabbie da frantoio appaiono più soggette a fenomeni di compattamento all'interno del filtro;

Fig. 2 - Principio di funzionamento del filtro a sabbia



2. sabbie fluviali naturali lavate e vagliate. Allo stato attuale sono disponibili dati relativamente a siti di escavazione a livello del bacino del fiume Po; purtroppo, nonostante il materiale fornito venga sottoposto a lavaggio per l'eliminazione delle frazioni terrose, lavaggi supplementari vanno ancora effettuati al momento dell'utilizzo, prima del riempimento dei filtri, avendo cura di non rimuovere frazioni minerali fini utili per la filtrazione. Le sabbie fluviali vanno incontro a un minor compattamento.

Gli ultrasuoni

Si tratta di una tecnica ancora poco studiata, i cui effetti, essenzialmente di tipo fisico, causano la rottura meccanica delle strutture cellulari. Recentemente, l'impiego degli ultrasuoni è stato sperimentalmente adottato per l'eliminazione delle zoospore di *Pythium* sp. (esposizione di soli 1,5 minuti a ultrasuoni aventi ampiezza d'onda di 120 mm) dalla soluzione circolante, e i risultati ottenuti sembrano particolarmente promettenti. Al momento attuale, l'uso di tale metodo non pare efficace per la lotta ai batteri: su isolati del genere *Pseudomonas*, infatti, l'effetto di riduzione della densità di popolazione si ferma a un massimo del 25%. Tale limitata efficienza è da considerarsi fenomeno positivo, visto che proprio a tale genere batterico appartengono molti microrganismi caratterizzati da interessante effetto antagonista, anche nelle condizioni di coltura fuori suolo.

La lotta chimica

Nella lotta alle fitopatie di origine fungina potenzialmente dannose per le colture fuori suolo una strategia che potrebbe, almeno in linea teori-

ca, essere estremamente facile da applicare, specialmente in floricoltura, è l'impiego di mezzi chimici distribuiti in sospensione nella soluzione circolante. Nei confronti delle alterazioni radicali di origine fungina, però, il maggiore problema che ostacola l'uso dei fungicidi è la loro mancata registrazione per applicazioni in sistemi fuori suolo. Altre motivazioni, inoltre, rendono praticamente di difficile applicazione tale strategia; tra queste possiamo ricordare:

1. il periodo di sicurezza, quando è molto prolungato, non si adatta alle necessità di raccolta (problema limitato alle sole colture ortive);
2. le colture fuori suolo sono una realtà spesso troppo limitata per giustificare una specifica registrazione di mezzi chimici da applicare in soluzioni circolanti;
3. il rischio di insorgenza di fenomeni di resistenza e fitotossicità è sicuramente troppo alto, soprattutto operando in coltivazioni floricole caratterizzate da estrema variabilità di sensibilità ai diversi principi attivi tra le differenti specie e cultivar. Inoltre, se l'utilizzo di un mezzo chimico nel terreno è sottoposto alle interferenze della capacità tampone del suolo stesso, che ne regola gli eventuali eccessi, nelle soluzioni nutrienti fuori suolo tutto ciò viene a mancare.

Certamente l'uso di fungicidi nelle soluzioni usate per le colture fuori suolo permette rapidità di intervento, omogeneità di distribuzione e riduzione dei rischi di contaminazione per l'operatore, ma pone non pochi problemi per l'ambiente al momento dell'eliminazione della soluzione circolante esausta. Tra i mezzi chimici che, comunque, attualmente destano notevole interesse tra i ricercatori ricor-



Un filtro a sabbia per impianti sperimentali di coltivazione idroponica

diamo i tensioattivi, impiegati comunemente in agricoltura quali coadiuvanti nei trattamenti fitosanitari: tali sostanze, tra cui Agral® (prodotto commerciale a base di alchilfenol etilene ossido condensato), hanno dimostrato efficacia nella riduzione della vitalità delle zoospore di *Pythium* sp., *Ospidium* sp. e *Phytophthora* sp. Il meccanismo di azione dei tensioattivi non ionici può consistere in una alterazione dell'integrità e della permeabilità della membrana plasmatica; tale ipotesi è confermata dal fatto che Agral® non ha efficacia sull'accrescimento micelico e sulla germinazione di cisti zoosporiche e zoosporangi, mentre ha attività litica su vescicole e zoospore a concentrazione di 20 µg/mL (normale uso commerciale 60-300 µg/mL), senza indurre danni da fitotossicità.

Da ultimo, è necessario ricordare che in numerose aziende floricole della Francia del sud vengono utilizzati come mezzi di disinfezione della soluzione circolante cloro gassoso o prodotti in grado di rilasciarlo (ipoclorito di sodio), tecnica già largamente applicata nella potabilizzazione delle acque. Questo particolare impiego di prodotti che rilasciano cloro deve essere sempre preceduto dalla valutazione della loro selettività nei confronti delle specie coltivate su cui si intende effettuare l'applicazione. Saggi condotti dal Di.Va.PRA di Torino circa la selettività e l'efficacia di diverse sostanze in grado di sviluppare cloro attivo per la disinfezione delle soluzioni circolanti, effettuati a partire dal 1999, hanno di fatto indicato non solo problemi di scarsa selettività su colture quali il garofano e la gerbera, ma anche ridotta efficacia nei confronti di un parassita zoosporico quale *P. cryptogea*, confermando altre osservazioni condotte presso l'INRA/ENITAB di Vil-

lenave d'Ornon (Francia).

Va, infine, rammentato che l'applicazione di cloro gassoso è una pratica utilizzata in Francia (Costa Azzurra) per la disinfezione delle soluzioni nutritive su impianti di rosa a ciclo chiuso. Al contrario, in Italia, non solo non sono disponibili formulati a base di cloro gassoso registrati per l'impiego in agricoltura per la disinfezione delle soluzioni nutritive, ma, soprattutto, il cloro gassoso è compreso tra le sostanze definite "gas tossici" (R.D. n. 1848 del 6 novembre 1926, R.D. n. 147 del 9 gennaio 1927 e successive modifiche) e, pertanto, è soggetto a forti restrizioni per le operazioni di trasporto, stoccaggio, distribuzione, similmente a quanto accade per altre sostanze quali il bromuro di metile o la cloropicrina.

L'impiego del cloro, generalmente sotto forma di ipoclorito di calcio o di sodio (NaClO , $\text{Ca}(\text{ClO})_2$), è una vecchia procedura seguita nell'intento di eliminare microrganismi patogeni dalle soluzioni nutritive. L'effetto può essere fortemente influenzato dalla acidità della soluzione nutritiva e dalla sostanza organica in essa sospesa con conseguente variazione del potere disinfettante. Oltre a ciò, occorre tenere presente che minima è la differenza tra le concentrazioni in cloro efficaci per l'eliminazione di organismi patogeni e quelle dannose a livello dell'apparato radicale o sulla crescita della coltura. Non trascurabili, inoltre, sono i problemi che l'uso del cloro causa a livello sia ambientale sia della soluzione nutritiva. Dal punto di vista generale, l'applicazione pratica del cloro non viene considerata consigliabile per l'eliminazione di patogeni dalle soluzioni nutritive, mentre una sua utilità viene riconosciuta per la pulizia delle tubazioni,

Dispositivo per la sterilizzazione con UV della soluzione ricircolante in un impianto sperimentale



delle vasche e degli irrigatori, operazioni queste che vengono effettuate in assenza della coltura. Simili considerazioni possono essere estese anche al permanganato di potassio (KMnO_4), la cui utilità è fondamentalmente limitata alle operazioni di lavaggio delle attrezzature.

Decisamente più promettenti, privi di effetti collaterali e maggiormente efficaci dell'applicazione del solo perossido di idrogeno, invece, appaiono i primi risultati ottenuti impiegando miscele di acido peracetico, acido acetico e perossido di idrogeno allo 0,2% o miscele di dimetilalchilbenzilammonio cloruro e poliesametilene-biguanidina cloridrato allo 0,1 e 0,003%, impiegati per la disinfezione di pani di lana di roccia infetti da *P. nicotianae* e *F. oxysporum* f. sp. *radici lycopersici*.

La lotta alle alghe nei sistemi fuori suolo

La presenza di alghe negli impianti di coltivazione fuori suolo è causa, principalmente, di fenomeni di ostruzione nella componentistica di base degli impianti di stoccaggio (filtri, sistemi di pompaggio) e nella gestione della soluzione nutritiva (ugelli di distribuzione, tubature ecc.), nonché di fenomeni di competizione nutrizionale, di potenziale fitotossicità a seguito di produzione di metaboliti secondari (sostanze ad attività antibiotica, aminoacidi, acidi carbossilici) e di imbrattamento generale della coltura e delle attrezzature impiegate. Le infestazioni, in genere, sono più gravi su substrati costituiti da sabbie fini, su lana di roccia e su colture senza substrato (NFT, aeroponica), ove è

possibile rinvenire alghe appartenenti a diversi gruppi tassonomici (*Cyanophytae*, *Bacillariophytae*, *Conjugales* e *Chlorophitae*). Le condizioni fuori suolo sono in genere fortemente favorevoli alla proliferazione delle alghe: le cianofite, ad esempio, necessitano, per la fissazione dell'azoto atmosferico, di molibdeno, microelemento costantemente presente nelle soluzioni di fertirrigazione in quanto necessario anche per l'allevamento delle specie vegetali coltivate. Generalmente, però, sempre il sopracitato gruppo di alghe predilige substrati di coltura con pH non inferiore a 5,7: la gestione della reazione acido-base della soluzione circolante, pertanto, potrebbe essere un valido sistema agronomico di lotta, sempre se compatibile con le esigenze della coltura di interesse economico.

Tra i sistemi di lotta che possono essere realisticamente applicati, rammentiamo essenzialmente alcune precauzioni tra cui, in particolare, il mantenimento al buio delle acque o delle soluzioni nutritive in fase di stoccaggio in vasca, eventualmente con filtrazioni preliminari al loro uso. Ampie superfici possono, comunque, essere ancora disponibili per la colonizzazione delle alghe, particolarmente in quei siti posizionati in prossimità della zona di colletto delle piante, che spesso, essendo difficilmente protetta da schermi opachi, costituisce un vero e proprio varco per la luce.

Per quanto riguarda i mezzi chimici che possono essere utilizzati per "ripulire" condutture o recipienti facenti parte del sistema fuori suolo, in generale fitotossici per le piante alle dosi efficaci contro le alghe ricordiamo il maneb, il metiram, il mancozeb, lo ziram, il thiram, il propiconazolo, l'ossicloruro e il solfato di rame, il fentin acetato e

il fentin idrossido. Peraltro molte di tali sostanze sono in fase di revisione comunitaria o, ormai, già revocate, come il fentin acetato e il fentin idrossido (impiego non più ammesso dal dicembre 2002) e, comunque, dovrebbero essere applicate sempre in ottemperanza alle indicazioni di etichetta. Lo ziram è stato indicato come il principio attivo meno fitotossico e discretamente efficace a concentrazioni comprese tra 8 e 12 ppm, anche se è caratterizzato da sola attività preventiva. Il thiram, invece, è caratterizzato da effetto alghicida a concentrazioni superiori a 14 ppm (è fitotossico per le colture orticole a 25 ppm). Il propiconazolo risulta attivo come il thiram, ma può manifestare spiacevoli fenomeni di fitotossicità a concentrazioni comprese tra 5 e 10 ppm.

Anche il perossido di idrogeno e l'acido peracetico sono considerati potenziali sostanze alghicide: in particolare il perossido di idrogeno sino a 2 ppm non ha effetto né sulle alghe né sulla coltura; a concentrazioni comprese tra 9 e 12 ppm inibisce completamente lo sviluppo delle alghe e causa lieve

fitotossicità; a 50 ppm l'effetto è alghicida, ma, purtroppo, è accompagnato da fortissima fitotossicità sulle colture.

Da ultimo, la lotta alle alghe con mezzi diretti potrebbe essere effettuata anche con sostanze clorogeniche, meglio se distribuite in assenza della coltura o, in alternativa, con la coltura in atto, però avendo cura di non effettuare applicazioni prolungate e a dosaggi elevati (ad esempio, dicloro isocianurato di sodio > 10 ppm) e, quindi, con effetto potenzialmente fitotossico.

Ringraziamenti

Lavoro svolto con un contributo del Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR) nell'ambito del progetto cofinanziato "La gestione di sistemi fuori suolo a ciclo chiuso: adattamento, ottimizzazione e controllo in ambienti mediterranei su colture ortofloricole" (Decreto Ministeriale 23 ottobre 2003 prot. n. 197/2003 - Progetti di ricerca di interesse nazionale 2003): pubblicazione n. 8. Si ingrazia il dott. Carlo Pasini per la revisione critica del manoscritto.

Bibliografia

1. AA.VV. (2002). *Elementi tecnici per la coltivazione idroponica in floricoltura*. Coordinatore E. Farina, Editore Ace International, 176 pagg.
2. GARIBALDI A., GILARDI G., GULLINO M.L. (2004). *Seed transmission of Fusarium oxysporum of lettuce*. *Phytoparasitica* 32(1), 61-65.
3. GARIBALDI A., GILARDI G., PASQUALI M., KEIJI, GULLINO M.L. (2004). *Seed transmission of Fusarium oxysporum of Eruca vesicaria and Diplotaxis muralis*. *Journal of Plant Diseases and Protection* [in stampa].
4. MINUTO A., BERTETTI D., DI NOTO R., GULLINO M.L., GARIBALDI A. (2004). *Sulla presenza in Liguria di attacchi di tracheofusariosi su gerbera coltivata in piena terra e fuori suolo*. *Informatore Fitopatologico - La difesa delle piante* 54 (2), 52-57.
5. MINUTO A., GARIBALDI A. (1998). *Diffusione di Fusarium oxysporum f. sp. cyclaminis in colture con irrigazione a flusso e riflusso*. *Culture Protette* 27 (10/suppl.), 21-26.
6. MINUTO A., GRASSO V., GULLINO M.L., GARIBALDI A. (2003). *Il progetto MIOPRODIS: attività sperimentale in Italia*. *Informatore Fitopatologico - La difesa delle piante* 53 (3), 45-51.
7. POSTMA J., ALSANIUS B.W., WHIPPS J.M., WOHANKA W. (2003). *La microflora nei sistemi di coltivazione fuori suolo*. *Informatore Fitopatologico - La difesa delle piante* 53 (3), 35-39.
8. RUNIA W.T. (1994). *Elimination of root infecting pathogens in recirculation water from closed cultivation system by ultra violet radiation*. *Acta Horticulturae* 316, 361-372.
9. VAN OS E., WOHANKA W., BRUINS M.A., SEIDEL R. (2003). *Disinfezione delle soluzioni nutritive in sistemi fuori suolo a ciclo chiuso*. *Informatore Fitopatologico - La difesa delle piante* 53 (3), 30-34.
10. VAN OS E.A., WOHANKA W., BRUINS M.A., SEIDEL R. (2000). *Slow filtration: a technique to minimise the risks of spreading root-infecting pathogens in closed hydroponic systems*. *Acta Horticulturae* 559, 495-502.
11. WOHANKA W. (1995). *Disinfection of recirculating nutrient solutions by slow sand filtration*. *Acta Horticulturae* 382, 246-255.

22. Costi e benefici dei sistemi di irrigazione a ciclo chiuso

Gianluca Brunori, Alberto Pardossi, Silvia Scaramuzzi

Introduzione

La crescente competitività dei mercati florovivaistici, i vincoli sempre più stringenti dettati dalle normative agroambientali, la necessità di gestire il rischio di produzione legato alla quantità e alla qualità dell'acqua disponibile hanno fatto maturare la sensibilità degli operatori florovivaistici all'introduzione d'innovazioni tecniche che permettano di gestire le problematiche legate all'utilizzo dei fertilizzanti e dell'acqua, in termini di costi, di rispetto dei vincoli di legge e di gestione del rischio. Tra le innovazioni tecniche che da alcuni anni vengono proposte per far fronte a questi problemi vi sono i sistemi di irrigazione a ciclo chiuso adottabili sia per le colture in piena aria che per quelle in serra.

Le indagini effettuate sia in Europa (Molitor, 1990) che negli Stati Uniti (Uva, Weiler e Milligan, 1998 e 2001) hanno evidenziato come spesso vi sia una riluttanza all'introduzione di questa innovazione per la presenza di un'informazione asimmetrica e scarsa sulla natura e l'entità dei costi di effettuazione e gestione dell'investimento e sui benefici da esso derivanti.

Obiettivo di questo capitolo è quello di offrire agli operatori gli elementi necessari per effettuare delle valutazioni preliminari di carattere economico e finanziario sull'opportunità di introdurre in azienda un sistema d'irrigazione a ciclo chiuso. Accompagnata a una valutazione più generale riguardante i possibili cambiamenti nell'organizzazione aziendale, nel tipo di conoscenze necessarie alla sua gestione, nei rapporti con l'ambiente esterno (in particolare i fornitori e i concorrenti, ma anche la comunità locale di cui l'azienda fa parte), questa analisi può fornire al coltivatore gli elementi necessari a una valutazione della convenienza di un simile investimento. Questo studio si basa an-

che su di un'indagine diretta, condotta attraverso diverse sopralluoghi ad aziende florovivaistiche toscane nel corso delle quali sono stati intervistati i titolari o i loro delegati.

L'analisi di un investimento: una valutazione costi-benefici

Quando si effettua un progetto di investimento le variabili più importanti da analizzare sono la sua redditività e la sua rischiosità. Tuttavia, tale analisi non si può effettuare in assenza di complesse simulazioni legate alla definizione di aziende di riferimento, delle quali siano specificate sia le caratteristiche strutturali sia le scelte colturali e imprenditoriali.

La valutazione della convenienza economica di un investimento può essere effettuata con diverse metodologie: fra le più diffuse vi è l'analisi costi-benefici. Nel nostro caso effettueremo un'analisi di tipo qualitativo, motivata dall'impossibilità di quantificare le variabili necessarie all'analisi, se non per singolo progetto d'investimento. Non è, infatti, possibile una valutazione astratta anche solo dei costi connessi all'introduzione di un sistema a ciclo chiuso in un'azienda florovivaistica per la complessità delle variabili che entrano in gioco nella stima. Tra queste, oltre alle citate caratteristiche strutturali dell'azienda (dimensione, giacitura dei terreni), vi è il livello tecnologico dell'impianto che si vuole introdurre, ad esempio il grado di complessità del sistema di controllo computerizzato.

Passando dunque all'analisi costi-benefici, si può affermare che l'investimento risulta conveniente se la differenza tra il valore attuale dei benefici e il valore attuale dei costi risulta positiva, ovvero se il *Valore Attuale Netto (VAN)* dell'investi-

mento è positivo, dove:

$$VAN = B_0 - C_0 > 0$$

dove B_0 rappresenta la sommatoria dei valori attuali dei benefici conseguiti nel periodo di durata dell'investimento e C_0 la sommatoria dei valori attuali dei costi sostenuti nello stesso periodo¹.

I costi di un impianto di irrigazione a ciclo chiuso

Nell'effettuare un'analisi costi-benefici, alla voce costi bisogna sommare quelli per la realizzazione dell'investimento a quelli di tutte le componenti per il funzionamento dell'impianto stesso e alle spese da sostenere per mantenere in efficienza l'impianto (spese di funzionamento e di manutenzione).

I costi di realizzazione di un impianto a ciclo chiuso variano a seconda che l'impianto sia realizzato per una coltura in piena aria (*in primis* le colture vivaistiche) o in serra (colture floricole o piante in vaso) (tabb. 1-2).

Tab. 1 - Le voci di costo per la realizzazione di un impianto a ciclo chiuso in serra (alcune voci sono opzionali)

COSTI DI IMPIANTO	
• Serra in acciaio-vetro	
• Impianto di riscaldamento	
• Schermi termici	
• Computer climatico	
• Sistemazione del terreno	
• Cisterna per lo stoccaggio dell'acqua	
• Bancale fisso	
• Impianti a flusso-riflusso su bancali fissi	
• Impianti a flusso-riflusso su bancali estraibili	
• Impianti a flusso e riflusso su pavimento	
• Macchine agevolatrici (invasatrice, carrelli, mulino, ecc.)	
• Attrezzature per la movimentazione delle piante	
• Gruppo di fertirrigazione	
• Impianto di desalinizzazione	
• Impianto di filtrazione	
COSTI DI FUNZIONAMENTO	
• Lavoro	
• Elettricità	
• Riscaldamento	
• Altri fattori a logorio totale (fertilizzanti, antiparassitari...)	
COSTI DI MANUTENZIONE	
• Manutenzione ordinaria	
• Manutenzione straordinaria	
Fonte: Indagine diretta	

Nel caso delle colture in piena aria le differenze più rilevanti sono nella necessità di realizzare un invaso per lo stoccaggio dell'acqua, la cui ampiezza dipende dalle dimensioni del vivaio e dall'area disponibile. Nelle colture in serra l'invaso è solitamente sostituito da una cisterna.

Inoltre, è importante evidenziare come nell'ambito delle colture in piena aria i costi di realizzazione possano avere una variabilità considerevole in relazione alla struttura dell'azienda e in particolare alla giacitura dei terreni. Infatti, in assenza di pendenze naturali tali da permettere la raccolta delle acque per il riciclo, è necessario effettuare dei lavori preliminari che possono essere finanziariamente impegnativi.

Anche la realizzazione del *piazzale* per la coltivazione in contenitore con le necessarie canalizzazioni per lo scolo comporta un costo aggiuntivo, incrementato del costo indiretto del mancato utilizzo dell'area per l'allevamento delle piante durante il periodo dei lavori.

Tab. 2 - Le voci di costo per la realizzazione di un impianto a ciclo chiuso in piena aria (alcune voci sono opzionali)

COSTI DI IMPIANTO	
• Realizzazione del "piazzale" di coltivazione in contenitore	
• Realizzazione dell'invaso per la raccolta acqua (compreso vasche di sedimentazione)	
• Macchine agevolatrici (invasatrice, carrelli, mulino, ecc.)	
• Computer	
• Sistema di irrigazione	
• Attrezzature per la movimentazione delle piante	
• Attrezzature movimentazione piante	
• Gruppo di fertirrigazione	
• Impianto di desalinizzazione	
• Impianto di filtrazione	
COSTI DI FUNZIONAMENTO	
• Lavoro	
• Elettricità	
• Riscaldamento	
• Altri fattori a logorio totale (fertilizzanti, antiparassitari...)	
COSTI DI MANUTENZIONE	
• Manutenzione ordinaria	
• Manutenzione straordinaria	

Nelle colture in serra si dovranno operare, invece, delle scelte con riferimento alla tipologia di bancali da realizzare, legata alla diversità di tecnologie a ciclo chiuso disponibili.

I costi di realizzazione dell'impianto hanno l'incidenza maggiore rispetto al totale dei costi e vanno imputati in base a una quota di ammortamento. Tali quote vengono di solito calcolate linearmente, ovvero dividendo il costo totale dell'impianto, detratto il probabile valore di recupero finale, per il numero di anni di durata dello stesso ovvero:

$$Q_{amm} = (V_0 - V_r) / n$$

dove Q_{amm} è la quota di ammortamento V_0 il costo di acquisto, V_r valore di recupero finale dell'impianto e n la vita utile dell'impianto in anni.

L'utilizzo di un impianto a ciclo chiuso comporta anche il sostenimento di *costi di funzionamento* (manodopera, elettricità, riscaldamento, ecc.) e *costi di manutenzione*.

Come si argomenterà di seguito, proprio la diminuzione dei costi di funzionamento risulta uno dei benefici individuati dagli utilizzatori degli impianti a ciclo chiuso, mentre i costi di manutenzione sono di solito imputati in bilancio attraverso delle quote di manutenzione stimate in percentuale sul costo totale dell'impianto per un valore variabile tra lo 0,5% e l'1% annuo.

I benefici di un impianto d'irrigazione a ciclo chiuso

I benefici di un investimento sono generalmente rappresentati dall'incremento dei ricavi di vendita dei beni prodotti attraverso l'investimento (Bruni e Franco, 2003).

Nel caso di un impianto di irrigazione a ciclo chiuso, in base alla letteratura disponibile (Molitor, 1990; Uva, Weiler e Milligan, 1998 e 2001) e all'indagine diretta effettuata si possono evidenziare diverse tipologie di benefici: benefici con effetti diretti o indiretti sui redditi aziendali, e benefici che pur non essendo monetizzabili costituiscono una variabile significativa nel condizionare le scelte dell'imprenditore (tab. 3).

Tra i benefici diretti individuati nell'ambito dell'indagine diretta vi è l'incremento del valore della produzione grazie al premio di prezzo conseguito sul mercato per il miglioramento della qualità del prodotto finale² (soprattutto in presenza di impianti di fertirrigazione).

Un altro beneficio evidenziato si ha nella diminuzione dei costi di produzione in termini di risparmio di lavoro (per le operazioni di irrigazione e fertilizzazione), di fertilizzanti (grazie alla esatta ponderazione e al ricircolo) e ovviamente di acqua.

Tab. 3 - I "benefici" di un sistema a ciclo chiuso

- Miglioramento della qualità del prodotto (uniformità, sanità)
- Diminuzione dei costi di produzione (lavoro, acqua, nutrienti)
- Miglioramento della efficienza produttiva
- Riduzione dell'impatto dei rischi ambientali (siccità, salinizzazione)
- Controllo sulle operazioni colturali
- Tutela dell'ambiente
- "Rispetto sociale" dell'imprenditore

Fonte: Uva *et al.*, (1998) e indagine diretta.

Tuttavia, l'indagine diretta effettuata ha evidenziato come la variabile maggiormente significativa nell'adozione della scelta di un impianto a ciclo chiuso è legata non solo e non tanto alla riduzione dei costi di produzione, quanto alla diminuzione del rischio di produzione conseguente alla siccità e alla salinizzazione delle acque (Bozzoli *et al.*, 2003). L'insufficiente disponibilità di acqua in termini quantitativi e qualitativi può determinare la distruzione della produzione con evidenti riflessi negativi sui ricavi aziendali. Se si considera, inoltre, che le produzioni vivaistiche hanno solitamente un ciclo pluriennale e sono a elevato valore unitario, si comprende l'entità del danno economico conseguente all'avversità atmosferica.

Vi sono infine alcuni "benefici intangibili" di carattere ambientale e sociale determinati dall'adozione di un impianto a ciclo chiuso (Uva *et al.*, 1998). Infatti, l'impianto a ciclo chiuso determina una riduzione delle esternalità negative provocate nell'ecosistema dall'attingimento eccessivo dei fiumi e delle acque sotterranee (salinizzazione, erosione ecc.) e dalla dispersione di fertilizzanti nelle falde. D'altro canto, il rispetto dell'ambiente determina un altro beneficio intangibile che può rivelarsi significativo nella scelta dell'imprenditore, ovvero il maggior rispetto sociale da parte della collettività dell'attività svolta dall'imprenditore e soprattutto una migliore accettazione e integrazione all'interno del reticolo sociale di cui egli è membro (vedi Capitolo 2).

Il finanziamento dell'investimento

L'effettuazione di un investimento non può prescindere da un'analisi economica costi-benefici dell'investimento. Anche qualora l'analisi economica fornisca un risultato positivo, essa deve essere



Una serra di piante ornamentali esotiche in un'azienda vivaistica di Pistoia

comunque corredata da un'analisi di sostenibilità finanziaria dell'investimento da parte dell'impresa.

Nell'analisi finanziaria si dovrà procedere per fasi successive (Bruni e Franco, 2003):

1. svolgere un'analisi finanziaria lungo tutto il periodo del finanziamento per verificare se l'impresa è in grado di autofinanziare l'investimento;
2. se la capacità di autofinanziamento non è sufficiente, ricercare fonti di finanziamento adeguate in termini temporali, di costo e modalità di restituzione del capitale alle esigenze finanziarie dell'impresa;
3. scegliere la tipologia di finanziamento più adeguata ed effettuare nuovamente l'analisi economica costi-benefici per verificare se l'acquisizione di capitale esterno e i costi connessi abbiano modificato il giudizio sulla convenienza economica dell'investimento.

Anche qualora l'analisi finanziaria non evidenziasse la necessità di reperire capitali sul mercato per la capacità dell'impresa di autofinanziare l'investimento, potrebbe essere comunque opportuno ricorrere al mercato del credito per una maggiore convenienza economica legata al minor valore del tasso di interesse sui finanziamenti rispetto a quello percepito per impieghi alternativi dei capitali propri dell'impresa.

Le opportunità di finanziamento agevolato

Si devono sempre considerare le opportunità di finanziamento agevolato esistenti. Alcune politiche agricole contribuiscono a finanziare gli investimenti all'interno delle imprese del settore, sia per la ristrutturazione, sia per la differenziazione dei beni e dei servizi offerti dalle imprese. Un contributo a fondo perduto, il più comune strumento di incentivazione oggi utilizzato, si configura all'interno dell'analisi costi-benefici come una riduzione dei costi di realizzazione dell'investimento.

Tra gli strumenti di politica agraria più idonei a finanziare un investimento in un impianto di irrigazione a ciclo chiuso vi è il *Regolamento (CE) 1257/99* sullo sviluppo rurale, attuato in Toscana tramite il Piano di Sviluppo Rurale (PSR) della Regione Toscana.

Nell'ambito del PSR della Toscana è presente una specifica misura che finanzia gli investimenti aziendali per il miglioramento delle strutture agricole e in particolare la realizzazione e il miglioramento di vivai di piante ornamentali mediante: interventi di sistemazione del terreno, pacciamatura, impianti irrigui, strutture leggere di copertura e di ombreggiamento; l'acquisto di macchinari e attrezzature destinate all'innovazione tecnologica; la realizzazione e adeguamento di serre (azione 1.1).

Inoltre il PSR della Toscana prevede uno specifico intervento (azione 1.2) per la tutela e il miglioramento ambientale. Negli investimenti ammissibili al finanziamento sono compresi: gli interventi per impianti irrigui, attraverso la realizzazione, adeguamento e sostituzione delle opere di derivazione, accumulo e distribuzione di acqua con finalità di risparmio idrico e protezione dell'ambiente, senza aumento della superficie irrigua; l'adeguamento e sostituzione delle strutture e delle attrezzature per una riduzione dell'impatto ambientale delle pratiche agricole.

Per quanto riguarda l'entità del contributo, benché il valore totale degli aiuti non possa superare il 40% dell'investimento, il limite è fissato al 50% nelle zone svantaggiate. Nel caso di giovani agricoltori, tali percentuali possono raggiungere rispettivamente il 50% e il 60% al massimo.

Esiste un altro intervento di politica agraria nazionale che potrebbe incentivare l'introduzione degli impianti irrigui a ciclo chiuso: *il credito d'imposta per gli investimenti* (Legge 23 dicembre 2000, n. 388, art. 8). Quest'intervento consente l'attribuzione di un credito d'imposta proporzionato al volume degli investimenti "non di mero rinnovo" effettuati fino al 31 dicembre 2006. L'ammontare dell'agevolazione si ottiene applicando all'investimento netto³ le intensità massime d'aiuto previste dalla normativa comunitaria⁴. Il soggetto beneficiario deve comunque partecipare al finanziamento dell'investimento con un apporto pari ad almeno il 25% dell'ammontare dell'investimento stesso.

Infine, un aiuto alla gestione dell'impresa che, grazie all'impianto a ciclo chiuso opera nel rispetto dei metodi di produzione compatibili con la tutela dell'ambiente, può essere costituito dalle cosiddette misure agroambientali, previste dal PSR della Regione Toscana in attuazione del Regolamento 1257/99 sullo Sviluppo Rurale. È previsto un sostegno agli agricoltori che utilizzano, per una durata minima di cinque anni, metodi di produzione agricola finalizzati alla protezione dell'ambiente e alla conservazione dello spazio naturale (agroambiente) al fine di incoraggiare forme di conduzione dei terreni agricoli compatibili con la tutela dell'ambiente e la pianificazione agricola ambientale, l'estensivizzazione delle forme di produzione agricola, la conversione di spazi coltivati ad alto valore naturale e la salvaguardia del paesaggio. Tali aiuti sono calcolati in funzione del mancato guadagno, dei costi aggiuntivi e dell'incentivo finanziario necessario all'adempimento degli impegni agroambientali. I costi degli investimenti non remunerativi necessari all'adempimento

di un impegno possono essere presi in considerazione nel calcolo dell'importo annuo dell'aiuto. Tuttavia, essi non possono oltrepassare, per le colture annue e le colture perenni specializzate, 600 e 900 euro/ha, rispettivamente. È possibile innalzare gli importi fino a un massimo del 20%, se debitamente giustificato il sovraccosto dei lavori del terreno e la perdita di reddito derivante dai maggiori lavori.

Ciascuna delle misure elencate può contribuire alla diminuzione dei costi fissi e variabili legati alla introduzione di un impianto a ciclo chiuso in azienda. Esse possono rappresentare un incentivo, soprattutto per la scarsa redditività dell'investimento in analisi (Uva *et al.*, 2001), anche se da sole non sono in grado di abbattere gli ostacoli all'introduzione delle innovazioni che spesso abbiamo avuto modo di verificare nel corso delle indagini effettuate.

Considerazioni finali

L'introduzione di un impianto d'irrigazione a ciclo chiuso necessita di una valutazione economica preliminare, volta a identificare e quantificare i costi e i benefici derivanti dall'innovazione tecnologica. Tuttavia, l'analisi dell'opportunità dell'investimento di un imprenditore agricolo, florovivaistico nel caso particolare, non si limita mai alla pura quantificazione delle variabili economico-finanziarie, in quanto il suo obiettivo non è esclusivamente quello dalla massimizzazione del profitto. In generale, le scelte imprenditoriali sono vincolate dalla necessità di rispondere anche ad altri obiettivi, tra cui quelli di sicurezza, stabilità del reddito e di mantenimento dell'occupazione della famiglia. Nel caso dell'introduzione di un sistema a ciclo chiuso esiste una leva su cui si può far forza, rappresentata dalla capacità dell'impianto di ridurre i rischi dell'attività imprenditoriale e in particolare il rischio di produzione connesso alla scarsità in termini qualitativi e quantitativi della risorsa idrica.

In generale, si tratta dunque di non sottovalutare le motivazioni e i vincoli ad adottare le innovazioni da parte degli imprenditori, ma partendo dalla conoscenza e dalle loro capacità propositive, facilitare l'individuazione delle soluzioni migliori per i loro fabbisogni. A questo scopo, è utile indirizzare le scelte d'investimento in sintonia con le normative agroambientali e cercare di valorizzare le opportunità di finanziamento disponibili per l'effettuazione dell'investimento e per la sostenibilità del processo produttivo.

Bibliografia

1. BOZZOLI T., BRUNORI G., ROVAI M. (2003). *La gestione della risorsa idrica nelle aziende florovivaistiche: un'analisi attraverso metodologie partecipative*. Comunicazione presentata al XL Convegno SIDA "La liberalizzazione degli scambi dei prodotti agricoli tra conflitti e accordi: il ruolo dell'Italia", Padova, 18-20 settembre.
2. BRUNI F., FRANCO S. (2003). *Economia dell'impresa e dell'azienda agraria*. Franco Angeli, Milano.
3. BOZZOLI, G. BRUNORI, M. ROVAI (2003). *Il progetto IDRI: "Razionalizzazione dell'impiego delle risorse idriche e dei fertilizzanti nel florovivaismo" - Un caso di applicazione delle metodologie partecipative nello studio dell'introduzione delle innovazioni nel florovivaismo toscano*. Genio Rurale - Estimo e Territorio 12, 38-47.
4. MOLITOR H.D. (1990). *The European perspective with emphasis on subirrigation and recirculation of water and nutrients*. Acta Horticulturae 272, 165-173.
5. PACCIANI A., SCARAMUZZI S. (2004). *Le dinamiche recenti del credito all'agricoltura e il ruolo degli strumenti finanziari innovativi nella copertura del fabbisogno finanziario delle aziende agricole*. [in *literis*].
6. PALUMBO M. (2002). *Manuale di finanza agevolata, Incentivi nazionali, programmi comunitari e fondi strutturali*. II ed., IPSOA, Milano.
7. UVA W.L., WEILER T.C., MILLIGAN R.A. (1998). *A survey on the Planning and Adoption of Zero Runoff Subirrigation Systems in Greenhouse Operations*. Hortscience 33 (2), 193-196.
8. UVA W.L., WEILER T.C., MILLIGAN R.A. (2001). *Economic Analysis of Adopting Zero Runoff Subirrigation Systems in Greenhouse Operations in the Northeast and North Central United States*. Hortscience 36 (1), 167-173.

INSERTO I - Piano di Sviluppo Rurale della Regione Toscana

Il Piano di Sviluppo Rurale (PSR) della Toscana, approvato in attuazione del Regolamento (CE) 1257/99 costituisce nella Regione la principale fonte di finanziamento agevolato per le aziende agricole toscane. Di seguito riportiamo una scheda di sintesi della misura 1 del PSR che finanzia gli investimenti nelle aziende agricole, elaborata sulla base del dettato normativo.

Misura 1 -

Investimenti nelle aziende agricole

Tipologia di intervento e finalità: la misura finanzia, mediante contributi alle aziende agricole, gli investimenti relativi a opere di miglioramento fondiario, ammodernamento delle strutture aziendali e acquisizione di dotazioni e attrezzature. I principali obiettivi consistono nel ridurre i costi di produzione, migliorare e/o riconvertire la produzione, migliorare la qualità e/o introdurre sistemi per il controllo di processo e di prodotto per l'igiene e la sicurezza delle produzioni agricole, tutelare e/o migliorare l'ambiente naturale.

Tipologia di beneficiari: i soggetti beneficiari sono gli imprenditori agricoli, singoli e associati, in possesso dei requisiti specificati negli allegati della misura, e le associazioni dei produttori. In particolare, il sostegno agli investimenti viene concesso ad aziende agricole che dimostrino redditività, che rispettino i requisiti minimi in materia di ambiente, igiene e benessere degli animali e il cui imprenditore possieda una sufficiente capacità professionale.

Investimenti ammissibili: La misura in oggetto si articola in tre diverse tipologie di azioni di cui si elencano nel seguito le prime 2 di interesse per l'investimento in oggetto:

Azione 1.1 - Investimenti aziendali per il miglioramento delle strutture agricole. Gli interventi ammissibili al finanziamento si differenziano in funzione dei seguenti macro-settori:

a) comparto delle produzioni vegetali⁵. Gli investimenti riguardano principalmente la sostituzione di impianti arborei volti al miglioramento qualitativo della produzione senza aumento del potenziale produttivo (ad esem-

pio, ristrutturazione degli oliveti obsoleti con estirpazione e reimpianto con uguale numero di piante); nuovi impianti con specie arboree compatibili con l'OCM, frutti minori e piante officinali; la realizzazione e il miglioramento di vivai di piante ornamentali mediante interventi di sistemazione del terreno, pacciamatura, impianti irrigui, strutture leggere di copertura e di ombreggiamento; l'acquisto di macchinari e attrezzature destinate all'innovazione tecnologica in agricoltura; la realizzazione e adeguamento di strutture per la conservazione, trasformazione e commercializzazione delle produzioni vegetali ottenute in azienda, nonché quelle di provenienza extra-aziendale (nel limite massimo del 30% della produzione aziendale); realizzazione e adeguamento di serre; adeguamento e miglioramento delle strutture e delle attrezzature produttive per conformarsi ai nuovi requisiti minimi in materia di norme igienico sanitarie e sulla sicurezza dei luoghi di lavoro.

b) comparto delle produzioni zootecniche. Si tratta di interventi di miglioramento delle strutture e delle attrezzature di allevamento per ridurre i costi di produzione e/o migliorare le caratteristiche qualitative dei prodotti; realizzazione e miglioramento delle strutture per il pascolo e l'alpeggio; primo acquisto di riproduttori selezionati; acquisto di arnie; investimenti per la realizzazione, ristrutturazione e adeguamento di strutture finalizzate al ricovero dei mezzi tecnici aziendali.

c) infrastrutture, come ad esempio, rete idrica a uso potabile; elettrificazione e viabilità poderali; acquisto di dotazioni informatiche.

Azione 1.2 - Investimenti aziendali per la tutela e il miglioramento ambientale. Negli investimenti ammissibili al finanziamento sono compresi: interventi per impianti irrigui, attraverso la realizzazione adeguamento e sostituzione delle opere di derivazione, accumulo e distribuzione di acqua con finalità di risparmio idrico e protezione dell'ambiente, senza aumento della superficie irrigua; ricostituzione, ripristino e valorizzazione degli elementi tradizionali del

paesaggio agrario aventi rilevanza paesaggistica e/o ambientale; adeguamento strutture e sostituzione di attrezzature per un minor impatto ambientale delle pratiche agricole e per un risparmio energetico; adeguamento e ristrutturazione di elementi del patrimonio edilizio rurale dell'azienda (come ad esempio, fabbricati agricoli), purché non si aumenti la capacità produttiva aziendale; recupero di elementi non produttivi del patrimonio aziendale di interesse archeologico o storico.

Azione 1.3 – Investimenti aziendali per la valorizzazione della qualità delle produzioni agricole. Gli investimenti ammissibili al finanziamento sono quelli sostenuti per l'introduzione nell'azienda di procedure di controllo della qualità delle produzioni, con particolare riferimento a:

- a) realizzazione o adeguamento di laboratori di analisi per la verifica dei parametri qualitativi delle produzioni aziendali;
- b) acquisto attrezzature e strumentazione per la verifica e la determinazione di parametri qualitativi delle produzioni aziendali;
- c) acquisto strumentazione hardware o programmi informatici finalizzati al controllo qualitativo dei processi produttivi.

Tipologia ed entità dell'aiuto: il regime di aiuto della misura 1 prevede un contributo in conto capitale sull'investimento riconosciuto ammissibile con la seguente modulazione:

- minimo 17,5%;
- massimo 40% (45% per i giovani agricoltori sotto i 40 anni di età nei primi cinque anni dall'insediamento; 55% per i giovani agricoltori sotto i 40 anni di età nei primi cinque anni dall'insediamento e per investimenti realizzati nelle zone svantaggiate; 50% per investimenti realizzati nelle zone svantaggiate; 60%, elevabile al 70% nelle zone svantaggiate, per investimenti previsti dall'azione 1.2, punto b) e relativi alla ricostituzione, ripristino e valorizzazione degli elementi tradizionali del paesaggio agrario aventi rilevanza paesaggistica e ambientale).

In ogni caso l'importo massimo degli investimenti ammissibili è pari a 300.000 euro per unità lavorativa uomo (ULU) e a 600.000 per azienda. Tale massimale è ridotto a 100.000 euro nel caso vengano proposti investimenti solo per gli interventi di cui all'*Azione 1.3 – Investimenti aziendali* per la valorizzazione della qualità delle produzioni agricole.

La partecipazione comunitaria è pari al 15% del costo totale relativo agli investimenti ammessi.

INSERTO II - Il credito d'imposta per gli investimenti (Legge 23 dicembre 2000, n. 388, art. 8)

Nel panorama delle agevolazioni finanziarie utilizzabili dalle imprese per l'implementazione di programmi di investimento nei territori depressi vi è il beneficio fiscale introdotto dalla legge n. 388/2000 (legge finanziaria 2001). Di seguito si riporta una scheda di sintesi delle principali caratteristiche dell'intervento.

Tipologia di intervento e finalità

Tale intervento configurabile come aiuto di Stato e, pertanto, alternativo a qualsiasi altro incentivo di tale genere ricadente sul medesimo investimento, prevede l'attribuzione di un credito d'imposta proporzionato al volume degli investimenti "non di mero rinnovo" effettuati a partire dall'entrata in vigore della norma e fino al 31 dicembre 2006.

Tipologia di beneficiari

Possono accedere ai benefici previsti dalla legge n. 388/00 i soggetti titolari di un reddito di

impresa, indipendentemente dalla natura giuridica assunta, localizzati nelle aree depresse del paese⁶. La Finanziaria 2003 ha definito le nuove condizioni di accesso al credito d'imposta recependo molte istanze del settore agricolo e cooperativo, grazie a cui il regime di aiuto è stato esteso a tutto il territorio nazionale.

Beneficiano dell'aiuto le imprese agricole, individuate in base alle definizioni della Legge di Orientamento (art. 1 D.lgs. n. 228 del 18 maggio 2001), nonché le imprese di produzione, commercializzazione e trasformazione dei prodotti agricoli. A livello procedurale l'inizio degli investimenti può essere effettuato dopo che l'Agenzia delle Entrate abbia comunicato l'accettazione dell'istanza, ovvero trascorsi trenta giorni dalla data dell'invio qualora non pervenga alcuna comunicazione (silenzio assenso); comunque l'avvio degli investimenti deve essere effettuato entro sei mesi dalla data di trasmissione dell'istanza, se accolta.

La Legge finanziaria ha confermato la riserva di

Credito d'imposta - Intensità dell'aiuto		
Area territoriale	Dimensione impresa	Misura del credito di imposta
Calabria	Piccola - Media impresa	65%
	Grande impresa	50%
Campania	Piccola - Media impresa	50%
	Grande impresa	35%
Basilicata	Piccola - Media impresa	50%
	Grande impresa	35%
Puglia	Piccola - Media impresa	50%
	Grande impresa	35%
Sicilia	Piccola - Media impresa	50%
	Grande impresa	35%
Sardegna	Piccola - Media impresa	50%
	Grande impresa	35%
Abruzzo	Piccola - Media impresa	30%
	Grande impresa	20%
Molise	Piccola - Media impresa	30%
	Grande impresa	20%
Centro-Nord	Piccola impresa	18%
	Media impresa	14%
	Grande impresa	8%

una quota del Fondo per l'agricoltura, mentre per gli altri settori economici il Fondo è comune. Tra gli altri elementi distintivi vi è l'obbligo di presentare ogni anno le domande, ma perdendo la priorità, contrariamente a quanto accade negli altri settori. Inoltre è stata eliminata la precondizione in base alla quale l'azienda doveva aver effettuato in precedenza domanda su investimenti ammissibili di agevolazione ai sensi del regolamento Ce n.1257/99 sullo sviluppo rurale⁷.

Le risorse disponibili per l'anno 2003 ammontano a 175 milioni di euro. Il decreto del ministro delle Politiche agricole riserva il 60% di tali somme, pari quindi a 105 milioni di euro, agli investimenti realizzati dalle imprese agricole che operano nelle zone svantaggiate. Il sud ha la precedenza su tali risorse fino al 30 giugno 2003 e le eventuali somme residue, dopo tale fase, ritornano disponibili per gli investimenti realizzati in tutto il territorio nazionale.

Il soggetto beneficiario deve comunque parte-

cipare al finanziamento dell'investimento con un apporto pari ad almeno il 25% dell'ammontare dell'investimento stesso.

Investimenti ammissibili

Sono agevolabili gli investimenti aventi per oggetto l'acquisizione di beni strumentali di nuova fabbricazione, mentre rimangono esclusi i costi relativi all'acquisto di mobili e macchine ordinarie di ufficio⁸.

Tipologia ed entità dell'aiuto

L'aiuto consiste nella concessione di un credito d'imposta. L'ammontare dell'agevolazione si ottiene applicando all'investimento netto le intensità massime d'aiuto previste dalla normativa comunitaria⁹.

Le imprese che intendono beneficiare del credito d'imposta devono inoltrare (in via telematica) al Centro Operativo di Pescara dell'Agenzia delle Entrate un'apposita istanza.

Note

¹ La valutazione della convenienza dell'investimento è ovviamente legata anche al tasso scelto per attualizzare i benefici e i costi. Infatti, essendo solitamente i benefici conseguiti in un periodo temporale più distante rispetto a quello di sostenimento dei costi, il valore attuale dei benefici decresce più rapidamente al crescere del tasso di sconto.

² Durante l'indagine diretta effettuata questo punto è stato abbastanza controverso. Una parte dei vivaisti ha evidenziato con incisività il miglioramento qualitativo della pianta derivante dalla continuità di apporto di acqua e nutrienti, da cui deriva un valore ornamentale superiore. Alcuni vivaisti hanno invece obiettato che, nonostante il valore ornamentale sia apparentemente superiore, esso può non essere duraturo in presenza di stress derivanti dal passaggio dalla fertirrigazione a una irrigazione tradizionale.

³ L'investimento netto è dato dal costo complessivo dei nuovi investimenti, diminuito del costo non ammortizzato dei beni ceduti e dei beni dimessi, nonché degli ammortamenti dedotti, relativi ai beni appartenenti alla stessa struttura produttiva nella quale si effettua il nuovo investimento. Nel caso siano presenti beni acquisiti tramite contratti di leasing, ai fini della determinazione dell'investimento netto, occorre dedurre dall'investimento lordo anche gli ammortamenti che sarebbero stati calcolati nel caso in cui i beni fossero stati acquisiti a titolo di proprietà. Per tali investimenti bisogna considerare il costo sostenuto dal locatore per l'acquisto dei beni, al netto delle spese di manutenzione, e non il valore dei singoli canoni.

⁴ L'ammontare di queste percentuali varia in funzione sia della localizzazione dell'unità produttiva che della dimensione dell'impresa. Si veda tabella nell'*Inserto II*.

⁵ I settori interessati sono: viticolo, olivicolo, frutticolo, orticolo, cerealicolo, florovivaistico, piante officinali, e colture industriali.

⁶ Sono esclusi gli enti non commerciali, anche se svolgono attività d'impresa.

⁷ Sono ammissibili tutti gli investimenti finanziabili con i piani di sviluppo rurale, nonché anche gli altri investimenti ritenuti finanziabili con regimi di aiuto nazionali approvati con decisione della Commissione delle Comunità Europee (aiuto n. N558/2000 a favore del rafforzamento e dello sviluppo delle imprese di trasformazione e di commercializzazione dei prodotti agricoli; aiuto n. N559/2000 - Sviluppo Italia, regime di aiuti per la trasformazione e commercializzazione dei prodotti agricoli, zootecnici e silvicoli; aiuto n. N729/A/2000 - estensione all'agricoltura e alla pesca degli strumenti previsti dalla programmazione negoziata; aiuto n. N211/2002 - disposizioni modificative e integrative alla normativa che disciplina il settore agricolo e forestale; altri aiuti approvati dalla Commissione europea in base a provvedimenti delle Regioni e delle Provincie autonome di Trento e Bolzano).

⁸ Tra i nuovi investimenti sono compresi anche i beni acquisiti mediante contratti di locazione finanziaria.

⁹ L'ammontare di queste percentuali varia in funzione sia della localizzazione dell'unità produttiva che della dimensione dell'impresa.

23. La razionalizzazione dell'irrigazione e della fertilizzazione nel florovivaismo: una sintesi

Alberto Pardossi, Luca Incrocci, Paolo Marzialetti

Introduzione

Riteniamo utile tentare di *distillare*, dal volume di nozioni tecniche e scientifiche illustrate e discusse nei vari capitoli di questo Quaderno ARSIA 5/2004, le *strategie* e le *tecnologie* più efficaci ai fini di una razionalizzazione dell'irrigazione e della fertilizzazione nel florovivaismo. Il tentativo presuppone una breve analisi di questo particolare comparto agricolo, con particolare riferimento alla Toscana.

Non è certo scopo di questo capitolo esaminare i vari punti di forza e di debolezza del florovivaismo toscano e italiano, oltretutto già affrontati in modo esauriente dai vari relatori della Prima Conferenza Regionale sul Florovivaismo, che si è tenuta nel giugno del 2003 a Pistoia (negli Atti, www2.arsia.toscana.it/florovivaismo/eventi/conferenza2003/, segnaliamo tra gli altri i documenti firmati da R. Pagni, da G. Serra e C. Carrai, da S. Scaramuzzi). S'intende, invece, mettere in luce alcuni elementi utili ad orientare la scelta degli interventi che, a livello aziendale e infrastrutturale, potrebbero portare allo sviluppo di un sistema produttivo maggiormente sostenibile, perlomeno per quanto riguarda l'impiego dell'acqua e dei fertilizzanti.

Il capitolo discute alcuni punti principali:

1. il sistema, cioè le componenti (il comparto, le aziende-imprese, le colture) della produzione delle piante ornamentali su scala commerciale;
2. il modello delle relazioni idriche e nutritive delle colture florovivaistiche;
3. le cause dell'inefficienza d'uso dell'acqua e dei fertilizzanti nelle colture florovivaistiche e i possibili rimedi, cioè le tecniche e le tecnologie risparmiatrici di acqua" (*water-saving*), compresa l'utilizzazione delle acque reflue depurate;

4. i criteri per la scelta delle possibili opzioni illustrate al punto 3;
5. il ruolo delle varie figure (coltivatori-imprenditori, organizzazioni di categoria, consulenti, *policy-maker*, ricercatori...) nel processo di aggiornamento tecnologico del comparto florovivaistico (*chi-fa-cosa?*).

Il sistema 'florovivaismo'

Il comparto

Il florovivaismo comprende diversi segmenti merceologici, tutti rappresentati, pur in misura diversa, in Toscana: fronde, foglie e fiori recisi; piante ornamentali da esterno in piena terra e in contenitore (sempreverdi e a foglia caduca; alberi e arbusti; legnose ed erbacee); piante ornamentali da interno fiorite o a fogliame decorativo.

I fiori recisi occupano sempre meno spazio per la forte competizione esercitata da alcuni paesi esteri, che riescono a produrre a basso costo. In effetti, tutto il settore del reciso è senza dubbio interessato da un calo significativo del volume di affari, con l'esclusione delle fronde recise che viceversa hanno conosciuto un incremento considerevole negli ultimi anni. Sono, invece, in espansione le piante ornamentali da esterno, incluse le piante fiorite annuali.

Questa situazione in Toscana ha determinato le difficoltà di alcuni comprensori, quali la Versilia e la Val di Nievole (Pescia), mentre per altri (Area pistoiese, Valdarno) la situazione generale sembra decisamente più favorevole. In Versilia, oltretutto, le aziende sono colpite anche dalla crisi idrica (anche per i fenomeni di salinizzazione delle falde), che non ha il carattere di 'evento straordinario', come quella che ha interessato la zona di Pistoia

nell'estate del 2003. L'emergenza idrica affligge anche altre zone della Toscana, come la Val di Cornia e la Maremma, in cui si prevede una significativa espansione delle colture florovivaistiche.

In effetti, come già discusso nel Capitolo 1, quello dell'acqua costituisce uno dei problemi più importanti tra quelli che si trovano a dover affrontare e risolvere l'agricoltura e, in particolare, per i suoi elevati fabbisogni di acqua irrigua, il florovivaismo.

Continuando ad esaminare il comparto, meritano un minimo di discussione alcuni elementi per i loro possibili riflessi sulla diffusione delle tecnologie *water-saving*.

Da una parte, ci sono fattori che, pur per ragioni diverse, possono spingere verso una maggiore razionalizzazione dell'irrigazione e della fertilizzazione. Ci riferiamo all'interesse crescente del mercato per le cosiddette produzioni integrate e ai vincoli di stampo ambientalista che sempre più sono imposti ai produttori agricoli (ad esempio, quelli della 'Direttiva Nitrati'). In effetti, oltre alla difesa antiparassitaria, nelle produzioni integrate giocano un ruolo importante le tecniche di irrigazione e concimazione, in quanto è a queste due pratiche che deve essere attribuita la maggior parte dell'inquinamento dei corpi idrici provocato dalle colture florovivaistiche. L'impiego delle tecnologie *water-saving* potrebbe, quindi, essere utilizzato, non tanto o non solo per rispettare quanto imposto da decreti e leggi, quanto per aumentare la competitività commerciale dei prodotti così ottenuti, costituendo così un incentivo agli investimenti necessari. Inoltre, perlomeno per quanto riguarda la produzione delle piante in vaso in serra, alcune particolari tecniche

(ad esempio, l'irrigazione a flusso e riflusso) consentono di ridurre i costi di produzione grazie al maggior sfruttamento dello spazio-serra e alla riduzione del fabbisogno di manodopera.

Ostacoli, d'altra parte, all'aggiornamento tecnologico sono costituiti dallo scarso spirito di associazionismo che notoriamente caratterizza il settore, e da un insufficiente livello di assistenza tecnica.

Le aziende e le imprese florovivaistiche

Spesso si sente e si legge della 'chiusura del mondo agricolo' verso le innovazioni (soprattutto se di processo) o, ancor peggio, verso le politiche che mirano a sviluppare un'agricoltura sostenibile. Il termine 'chiusura', però, si addice male e poco alle aziende florovivaistiche, proprio per la natura di produzione *market-oriented* tipica delle piante ornamentali, siano queste piante o fiori recisi. Molte aziende hanno una connotazione tecnica e imprenditoriale che ricorda di più il settore industriale che non l'agricoltura conosciuta dall'opinione pubblica. In molti casi i titolari, che sono innanzitutto coltivatori particolarmente capaci, sono persone dotate di un buon livello culturale, acquisito sul campo, se non con il conseguimento di un diploma o di una laurea. Molti florovivaisti, per necessità legate al proprio lavoro, viaggiano frequentemente all'estero, conoscono l'inglese e altre lingue straniere, e sono pertanto in grado di aggiornarsi anche al di là dei canali tradizionali (riviste e manifestazioni fieristiche italiane, più o meno specializzate), anche ingaggiando dei consulenti stranieri.

Secondo quanto emerso dallo studio di R. Pagni (vedi *Atti I Conferenza Florovivaismo in*



Sito Internet del Progetto MPS (Milieu Project Sierteelt) sviluppato in Olanda per ridurre le ricadute ambientali delle produzioni florovivaistiche (www.st-mps.nl)

Toscana), due aspetti sono sicuramente da sottolineare, perlomeno per la Toscana:

1. la presenza di lavoratori giovani (meno di 40 anni) nelle aziende florovivaistiche (nel 40% circa dei casi), che risulta doppia rispetto alla media negli altri tipi di azienda agricola;
2. il ricambio generazionale; nel florovivaismo più di un quarto delle aziende ha un giovane che può potenzialmente rimpiazzare il titolare, dopo il suo ritiro (sempre per la Toscana, la media per tutte le aziende agricole è meno del 5%).

Questi due indicatori suggeriscono l'attitudine delle aziende florovivaistiche all'innovazione ostacolata, però, dalle dimensioni contenute delle aziende che si ripercuotono negativamente sulle economie di scala, sugli ammortamenti e sui tempi di ritorno degli investimenti.

Come ultimo aspetto, vale la pena sottolineare la consapevolezza dei florovivaisti del valore assoluto dell'acqua, che in effetti è l'unico fattore di produzione non surrogabile. Si dice, esagerando un po', che il successo di un'azienda florovivaistica dipende da "chi annaffia le piante". Questo, però, è in evidente contrasto con il fatto che in moltissimi casi i titolari delle aziende non hanno che un'idea approssimativa (per usare un eufemismo!) dei fabbisogni idrici delle proprie colture.

Le colture

Anche se non mancano esempi di produzioni *low-input* (ad esempio, gli alberi di Natale e, tutto considerato, anche le fronde recise), le colture florovivaistiche prevedono normalmente un ingente impiego d'energia (necessaria, ad esempio, per il riscaldamento delle serre), di prodotti chimici di sintesi (fertilizzanti, fitofarmaci, materiali plastici ecc.) e, ultima ma non per importanza, d'acqua. Le piante allevate nei vivai all'aperto o nelle serre, infatti, sono contraddistinte da un elevato ritmo di crescita e sviluppo e necessitano, appunto per questo, di un abbondante rifornimento, oltre che di elementi nutritivi (in particolare, di azoto), di acqua, peraltro di buona qualità, considerando che le specie ornamentali sono nella maggior parte dei casi poco tolleranti della salinità (vedi Capitolo 4). I fabbisogni idrici e minerali sono particolarmente elevati nel caso delle colture in contenitore sempre più diffuse anche nel vivaismo in pien'aria per tutta una serie di vantaggi (disponibilità in qualsiasi periodo dell'anno; trasporto e trapianto più facili; semplice soluzione al problema del terreno asportato con la tradizionale zollatura ecc.).

L'irrigazione è sicuramente meno importante nelle coltivazioni tradizionali a terra in pien'aria,

nelle quali non di rado assume le caratteristiche d'intervento di soccorso. È invece fondamentale nelle colture in contenitore e in serra. I volumi irrigui erogati annualmente alle colture florovivaistiche sono assai variabili, da meno di 1000 m³/ha dei vivai di pieno campo fino ai 12-15 mila e più m³/ha nelle colture in vaso; durante la stagione irrigua la quantità d'acqua distribuita giornalmente ad un vivaio è compresa fra 10 e 20 mm (100-200 m³/ha).

Solo nell'area di Pistoia ci sono oltre 5000 ettari di vivai, circa 1000 dei quali attrezzati per la coltura in contenitore, anche di alberi di grandi dimensioni. In quest'area, si stima (secondo alcuni per difetto) un consumo annuale d'acqua irrigua di oltre 12 milioni di m³, fornita per oltre il 90% da pozzi e distribuita per il 75-80% alla vasetteria (ARPAT, 2001). D'altra parte, occorre ricordare che, nella stessa area l'evapotraspirazione potenziale (ETP) supera i 1100 mm/anno (11,000 mila m³/ha), concentrati per circa l'80% nella stagione irrigua (maggio-ottobre) (fonte: Ce.Spe.Vi.; *tab. 1*).

Non di rado, comunque, le quantità d'acqua distribuite alle colture florovivaistiche sono superiori alle effettive necessità fisiologiche delle piante, che approssimativamente possiamo far coincidere con l'ETP, considerando, cioè, un valore di 1,0 per il coefficiente culturale (Kc, vedi Capitoli 4, 12 e 13). A titolo di esempio, dal bilancio idri-

Tab. 1 - Valori mensili delle piogge e dell'evapotraspirazione potenziale nell'area di Pistoia*

Mese	Pioggia (mm)	ETP (mm)
Gennaio	90,2	28,0
Febbraio	79,4	31,0
Marzo	64,9	71,4
Aprile	115,8	89,2
Maggio	72,4	153,8
Giugno	57,5	172,0
Luglio	30,1	208,5
Agosto	42,5	192,9
Settembre	103,7	102,7
Ottobre	173,9	44,6
Novembre	184,0	24,4
Dicembre	138,6	21,8
Totale (maggio-ottobre)	480,1	874,5
Totale (gennaio-dicembre)	1153,0	1140,3

* I dati sono le medie dei valori registrati dalla centralina meteorologica del Ce.Spe.Vi. di Pistoia nel periodo 1990-2003.

Tab. 2 - Bilancio idrico relativo a una coltivazione sperimentale nel vivaio-pilota realizzato presso il Ce.Spe.Vi. di Pistoia nel 2003*

BILANCIO IDRICO PER IL PERIODO GIUGNO-OTTOBRE 2003 (VALORI IN mm)		
	Ciclo aperto	Ciclo chiuso
Evapotraspirazione (ETP) **		932
Volumi di acqua erogata	1116	1083
Volumi di acqua ricircolata	0	363 (33% vol. erogato)
Consumo idrico effettivo (ETE)	1116	720
Coefficiente culturale K_c (ETE/ETP)		0,77

* Il vivaio era suddiviso in due parcelloni (circa 600 m² ciascuno), in uno dei quali si provvedeva a recuperare le acque di drenaggio. In tutto sono state coltivate (in vasi del 20) circa 8.000 arbusti appartenenti alle seguenti specie: *Hypericum "Hidcote"*, *Teucrium fruticans*, *Pyracantha "Navaho"*, *Photinia x fraseri*, *Viburnum lucidum*, *Viburnum tinus*, *Phyllirea angustifolia*, *Ligustrum texanum "Silver Star"*.

** Determinata mediante una vasca evaporimetrica.

co determinato per buona parte della stagione irrigua (giugno-ottobre) per le colture di arbusti in contenitore nel vivaio-pilota del Ce.Spe.Vi., è emerso un K_c di circa 0,8 (tab. 2).

Questo surplus d'acqua irrigua comporta, oltre a un certo aggravio dei costi di produzione, uno spreco di acqua e un inquinamento dei corpi idrici, soprattutto superficiali, da parte dei fertilizzanti e dei fitofarmaci veicolati dalle acque di drenaggio, se queste non vengono raccolte e reimpiegate in azienda.

Degna di nota, infine, per i suoi riflessi sull'efficienza d'uso dell'acqua, è un'altra caratteristica delle aziende florovivaistiche, cioè la coltivazione, di molte piante diverse per specie botanica, età e taglia. Non pochi vivaisti usano disporre nello stesso settore irriguo piante con esigenze idriche molto differenti, con il risultato, ovvio, che quelle meno esigenti sono sovrainneggiate.

Un modello delle relazioni idriche e minerali delle colture florovivaistiche

Di seguito si illustra un modello delle relazioni idriche e minerali delle colture florovivaistiche (fig. 1). Il modello è stato sviluppato per le colture in contenitore, ma è facilmente trasferibile anche a quelle a terra.

In una coltura in contenitore normalmente (cioè, frequentemente) irrigata, il potenziale de-

flusso dell'acqua (R) e degli elementi nutritivi (R_{NUT}) distribuiti con la fertirrigazione e/o aggiunti al substrato può essere descritto da alcune semplici equazioni.

Per l'acqua, vale il modello seguente:

$$R = I \cdot [(1-EI) + (EI \cdot LF)]$$

dove I (m³/ha) è il volume irriguo, stabilito in base alla stima, più o meno accurata, delle esigenze evapotraspiratorie della coltura (ETE); EI è l'efficienza (complessiva) dell'irrigazione, cioè il rapporto tra l'acqua effettivamente disponibile per l'assorbimento radicale e quella distribuita con l'irrigazione; LF è la frazione di lisciviazione o di drenaggio. In termini relativi (cioè per $I = 1$) l'equazione precedente diventa:

$$R' = (1-EI) + (EI \cdot LF)$$

Il valore di EI varia tra 0,40 e 0,95, in funzione del sistema irriguo impiegato (vedi Capitolo 13). Le perdite (P) (fig. 1) comprendono sia la quantità d'acqua persa lungo la linea di distribuzione sia quella erogata ma non intercettata dai vasi; nei sistemi d'irrigazione per aspersione, ad esempio, è quella che cade tra vaso e vaso. La LF rappresenta la quantità d'acqua che, rispetto alla capacità di ritenzione idrica del substrato e alle effettive esigenze della coltura, viene erogata in eccesso per varie ragioni (vedi Capitoli 12, 13 e 17), soprattutto per evitare l'accumulo nel substrato dei sali presenti nell'acqua irrigua. I valori di LF oscillano tra 0,2 e 0,6 (20-60%); LF aumenta con la salinità dell'acqua di irrigazione/fertirrigazione.

Il run-off nutritivo (R_{NUT} ; kg/ha), a sua volta, dipende da R' e dalla concentrazione nutritiva delle acque di deflusso (C_R ; ppm o g/m³):

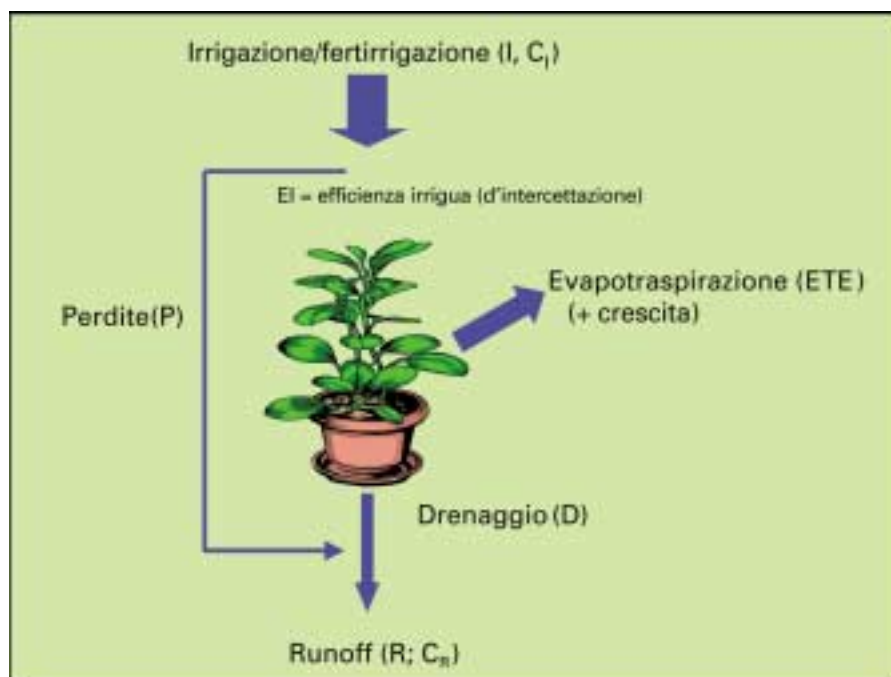
$$R_{NUT} = (R' \cdot I \cdot C_R) / 1000$$

con C_R uguale alla media ponderata della concentrazione di nutrienti nell'acqua somministrata alla coltura (C_I) e in quella di drenaggio (C_D):

$$C_R = [C_I \cdot (1 - EI) + C_D (EI \cdot LF)] / R'$$

Le relazioni tra le diverse variabili sopra indicate sono assai complesse, essendo dipendenti da numerosi fattori fisiologici (attività d'assorbimento radicale) e tecnologici (tipo di concimazione, ad esempio fertirrigazione o impiego di concimi a lento effetto; temperatura del substrato, che favorisce il rilascio dei nutrienti dai concimi a lento effetto; vedi Capitolo 15). Ad esempio, la relazione tra C_D , LF e C_I può essere descritta dall'equazione seguente, nella quale si prende anche in considerazione la concentrazione di assorbimento C_A (il rapporto tra l'assorbimento degli elementi nutritivi e

Fig. 1 - Un modello delle relazioni idriche e nutritive di una coltura florovivaistica (vedi testo per le abbreviazioni e la spiegazione)



dell'acqua, cioè *ETE*), che evidentemente dipende dalle caratteristiche fisiologiche della coltura:

$$C_D = [C_I - (1 - LF) \cdot C_A] / LF$$

Nel caso in cui la fertirrigazione sia sostituita o integrata con una concimazione di fondo del substrato (con concimi a pronto e/o a lento effetto), il sistema si complica; in tal caso, infatti, occorre tener conto del tasso di rilascio dei nutrienti da parte del fertilizzante, che a sua volta è determinato dall'umidità e dalla temperatura del substrato.

L'inefficienza d'uso dell'acqua: cause e rimedi

Dal modello sopra illustrato risulta evidente che l'impatto ambientale provocato dai reflui nutritivi dipende in modo stretto dall'irrigazione; del resto, le sostanze inquinanti sono veicolate proprio attraverso l'acqua. Ne consegue che la riduzione dell'inquinamento delle falde acquifere si realizza soprattutto attraverso un più attento pilotaggio dell'irrigazione, oltre che con il recupero della maggior parte delle acque di drenaggio.

Lea-Cox *et al.* (2001) hanno recentemente proposto un indice di rischio ambientale delle colture vivaistiche in contenitore legato al potenziale runoff *R'*, dipendente come visto da *EI* e *LF* (tab. 3). Il rischio è evidentemente minimo quando si impiegano sistemi irrigui ad elevata *EI* (ad esempio, irrigazione a goccia) e la *LF* è contenuta, gra-

zie ad un pilotaggio preciso dell'irrigazione o all'impiego di sistemi chiusi o virtualmente chiusi (vedi Capitoli 13, 18, 19 e 20).

Altri elementi possono contribuire alla diminuzione di *EI* e/o all'aumento di *LF*, quali:

1. la ridotta uniformità di erogazione dell'acqua provocata dall'impiego d'impianti irrigui obsoleti e/o mal dimensionati e gestiti e/o dall'uso di acqua irrigua di cattiva qualità o non opportunamente trattata (ad esempio, filtrata);
2. l'inadeguata organizzazione spazio-temporale delle aree di coltivazione, che porta, come detto, ad irrigare allo stesso modo piante di specie, età e dimensioni diverse;
3. l'uso di substrati con una ridotta ritenzione idrica, scelti proprio per evitare i rischi associati alla sovrirrigazione.

Dal punto di vista dei fertilizzanti, l'inefficienza d'uso è aggravata dalla tendenza ad usare concentrazioni relativamente alte, seguendo il vecchio adagio "*melius est abundare quam deficere*", non avendo una precisa conoscenza delle esigenze minerali delle varie colture.

Per certi versi, contribuisce all'inefficienza d'uso il costo relativamente ridotto dell'acqua e dei fertilizzanti. La fertilizzazione, in effetti, incide sui costi di produzione per pochi punti percentuali e i costi dell'irrigazione si limitano spesso a quelli per l'ammortamento degli impianti e dell'energia necessaria per il sollevamento e la distribuzione dell'acqua.

D'altra parte, nelle colture florovivaistiche, soprattutto in quelle in contenitore, il rapporto tra il

Tab. 3 - Effetto della tecnologia irrigua sul *runoff* potenziale di colture in contenitore

Rischio	Efficienza dell'irrigazione (EI)	Frazione di lisciviazione (LF)	Runoff (R)*
Basso	> 0,90	< 0,15	< 0,25
Medio	> 0,80	< 0,35	< 0,45
Alto	< 0,80	> 0,50	> 0,60

* $R = (1 - EI) + (EI \cdot LF)$
 Fonte: da Lea-Cox *et al.* 2001, rielaborato.

Tab. 4 - Alcune regole fondamentali per l'irrigazione e la fertilizzazione delle colture florovivaistiche

1. Conoscere le qualità dell'acqua irrigua a disposizione e le esigenze idriche e nutritive delle colture, anche per una più efficiente organizzazione spaziale della serra o del vivaio.
2. Curare la progettazione degli impianti irrigui per ottenere la massima efficienza idrica possibile per quel determinato sistema di irrigazione (obiettivo: massima uniformità di erogazione).
3. Prevedere i necessari trattamenti di affinamento dell'acqua irrigua, in particolare la filtrazione e l'acidificazione.
4. Usare componenti impiantistiche (filtri, gocciolatori, sensori...), fertilizzanti e substrati di qualità (certificata).
5. Provvedere ad una regolare manutenzione delle attrezzature e dei dispositivi impiegati per l'irrigazione e la fertirrigazione (pompe di alimentazione e dosatrici, sistemi di filtrazione, parco dei sensori...), compreso la verifica periodica dell'uniformità di erogazione dell'acqua degli impianti
6. Definire in modo preciso il regime irriguo, cioè il volume di adacquamento sulla base delle caratteristiche idrologiche del terreno/substrato e della qualità dell'acqua irrigua (frazione di lisciviazione), e la frequenza (turno) sulla stima dell'evapotraspirazione effettiva della coltura.
7. Frazionare il più possibile il rifornimento nutritivo della coltura.
8. Ridurre il più possibile l'ETE e più in generale gli sprechi d'acqua attraverso l'irrigazione mattutina, l'irrigazione ciclica, la pacciamatura del terreno, l'uso di frangivento, la sospensione dell'irrigazione in presenza di vento forte e di pioggia ecc.
9. Nelle colture in contenitore, monitorare regolarmente i volumi e le caratteristiche chimiche salienti (pH e EC) delle acque di drenaggio
10. Registrare regolarmente i volumi dell'acqua e dei fertilizzanti distribuiti alle colture.

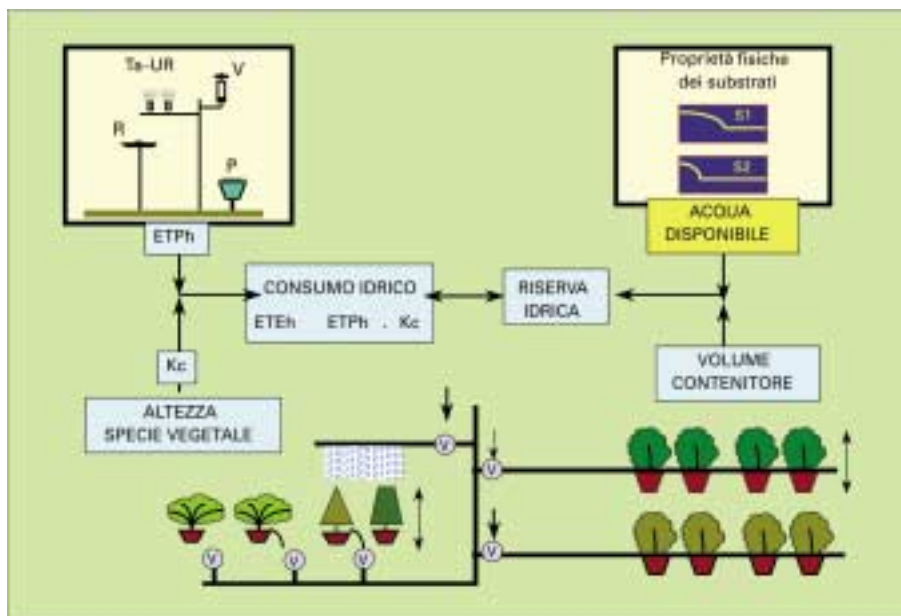


Fig. 2 - Un possibile schema per il controllo dell'irrigazione in un vivaio di piante ornamentali (vedi testo per le abbreviazioni e la spiegazione)

valore della produzione lorda vendibile e il volume dell'acqua impiegata (l'ordine di grandezza potrebbe essere, come visto, di 1000 mm/anno, cioè 1 m³/mq) per unità di superficie coltivata è molto alto (fino ad alcune decine di euro per m³ di acqua impiegata). I florovivaisti sono certamente preoccupati dal prezzo di mercato dei fiori e delle piante, più che da quello dell'acqua.

Viste le cause, vediamo quali sono i possibili rimedi. Razionalizzare l'irrigazione, di fatto, significa limitare il più possibile i volumi irrigui (riduzione di I) e il *runoff* (R e R_{NUT}); queste sono le possibili soluzioni.

1. Riduzione di E_{TE} attraverso degli opportuni interventi di controllo climatico, come l'ombreggiamento o l'uso di frangivento. Ad esempio, nei vivai in cui si coltivano anche alberi ornamentali a terra e/o si usano delle serre, la loro dislocazione potrebbe tener conto dalla necessità di riparare le altre colture a terra od in vaso dai venti dominanti.
2. L'impiego di sistemi d'irrigazione a goccia o a sorsi, o la subirrigazione, caratterizzati da un'elevata EI . Fondamentali rimangono, in ogni caso, la progettazione precisa dei sistemi irrigui, la sistematica manutenzione degli impianti e l'affinamento, se necessario, dell'acqua irrigua: assolutamente necessari appaiono la filtrazione e l'acidificazione. Risultati importanti possono essere conseguiti anche attraverso una più razionale disposizione dei vasi nelle aree di coltivazione (per aumentare l'intercettazione dell'acqua da parte delle piante irrigate soprachioma) e anche irrigando soltanto al mattino o alla sera, quando la temperatura più fresca e l'umidità relativa più alta riducono l'evaporazione dell'acqua.
3. Riduzione di LF attraverso:
 - una stima più precisa di E_{TE} , mediante l'applicazione di modelli micro-meteorologici o di dispositivi per la misura dell'umidità del terreno o del substrato;
 - il ricorso alla irrigazione ciclica, in grado peraltro di aumentare il tasso di crescita delle piante; si tratta, in pratica, di aumentare la frequenza degli interventi con turni più brevi riducendo anche i volumi irrigui; in molti vivai, invece, si somministra l'acqua, fino a 10-15 mm, con un singolo intervento giornaliero;
 - l'impiego di substrati con una maggior capacità di ritenzione idrica, usando per i miscugli maggiori quantità di torba, compost, perlite fine;
 - l'impiego di acque con ridotta salinità, in modo da ridurre la LF .
4. La riduzione di C_D attraverso l'impiego della fertirrigazione e/o di un dosaggio frazionato dei concimi a lento effetto.

5. L'uso dei cosiddetti sistemi chiusi.

Nella *tab. 4* è riportato una sorta di decalogo con alcune regole che, qualunque sia il livello tecnologico dell'azienda e il sistema irriguo impiegato, dovrebbero essere rispettate per ridurre al minimo gli sprechi di acqua e di fertilizzanti.

La *fig. 2*, inoltre, illustra schematicamente un sistema di controllo dell'irrigazione (a ciclo aperto) in un vivaio di piena aria. L'approccio è quello ormai classico, cioè l' E_{TE} è calcolato sulla base della evapotraspirazione potenziale (E_{TP}) e del coefficiente colturale K_c (vedi Capitoli 12 e 13). Il volume irriguo I è, a sua volta, determinato in funzione delle caratteristiche idrologiche del substrato; I , cioè, sarà minore nel caso di substrati con scarsa ritenzione idrica e maggiore nel caso di substrati più *pesanti*. Gli elementi fondamentali del sistema sono i seguenti:

1. il rilevamento dei parametri climatici necessari alla stima del fabbisogno evapotraspiratorio su base giornaliera o oraria. Il rilevamento è effettuato da una centralina meteorologica aziendale oppure da un ente esterno, ad esempio da un servizio di assistenza come quello dell'ARSIA (vedi Capitolo 12);
2. suddivisione del vivaio in aree di coltivazione omogenee per sistema irriguo, substrato, fabbisogno idrico-nutritivo delle piante. In pratica, si tratta di raggruppare le colture che hanno lo stesso K_c ; molto semplicemente, le piante potrebbero essere raggruppate in base alle dimensioni, ad esempio in base all'altezza.

Riteniamo utile chiudere il paragrafo con alcune considerazioni sul recupero dell'acqua piovana e sull'impiego delle acque reflue, che a giusta ragione possono essere considerate interventi per risparmiare acqua.

Anche se la stagione delle piogge negli ambienti mediterranei è quella autunnale, l'entità delle precipitazioni non è trascurabile durante la stagione irrigua (normalmente, da maggio ad ottobre, in piena aria, vedi *tab. 1*) e può contribuire in modo significativo al soddisfacimento delle esigenze idriche delle colture, in particolar modo nelle colture di serra. Di fondamentale importanza è, poi, il fatto che le acque piovane sono praticamente prive di sali e possono essere utilizzate per tagliare acque di sottosuolo di peggior qualità.

Per quanto riguarda il secondo punto, le vigenti norme di legge prevedono, per le acque reflue dagli impianti di depurazione industriale o civile standard di qualità chimica, fisica e microbiologica di assoluta garanzia (vedi Capitolo 20). Pertanto, questo tipo di acqua può rappresentare una risorsa preziosa per le aziende agricole, comprese quelle florovivaistiche, consentendo oltretutto un sensibi-



L'irrigazione a pioggia può esser causa di un notevole spreco di acqua



Coltura in contenitore di piante ornamentali con irrigazione a pioggia; per colture di questo tipo l'irrigazione localizzata o microirrigazione può consentire un significativo aumento dell'efficienza d'uso dell'acqua e dei fertilizzanti

le decremento dell'impiego di concimi (il D.M. dello scorso anno prevede, infatti, che nel caso di impiego delle acque reflue per l'irrigazione i limiti di azoto e fosforo possano salire a 10 e 35 mg/L; vedi Capitolo 20). Secondo un calcolo compiuto dall'IRSA-CNR, circa il 30% dell'attuale fabbisogno irriguo del comparto agricolo potrebbe essere coperto dal recupero delle acque reflue (comunicato stampa del Ministero dell'Ambiente del 22 marzo 2002; www.minambiente.it).

In letteratura sono presenti molti riferimenti sull'uso di acque reflue in agricoltura, soprattutto per quanto riguarda le colture ortive e frutticole; i risultati raggiunti sono stati, in linea generale, po-

sitivi. Meno abbondante è, invece, la letteratura riguardante l'uso di questo tipo d'acqua nel settore vivaistico. Anche se le ricerche effettuate hanno evidenziato risultati variabili soprattutto in relazione alle specie utilizzate (vedi Capitolo 20), le prospettive in questo settore rimangono incoraggianti, come anche indicato da alcuni recenti studi condotti presso alcuni vivai di Pistoia (alcune di queste prove sono state realizzate nell'ambito del Progetto IDRI). In Toscana, per la Versilia e l'area di Pistoia, ci sono almeno due progetti per la realizzazione di acquedotti agro-industriali per acque reflue depurate destinate all'irrigazione nelle aziende florovivaistiche.

Criteria per la scelta delle tecnologie *water-saving*

Da quanto discusso nel precedente paragrafo e nei Capitoli 18 e 19, solo con i sistemi di coltivazione a ciclo chiuso o virtualmente chiuso, e in presenza di acqua irrigua di buona qualità, si può pensare di ridurre al minimo i fabbisogni idrici delle colture attraverso l'annullamento del *runoff*. Pensare, però, che quella del ciclo chiuso sia una soluzione per tutte le aziende (e anche per il breve periodo) è quantomeno utopistico.

I sistemi chiusi, infatti, possono consentire un risparmio d'acqua fino al 30-50% (tab. 2), ma richiedono un notevole impegno finanziario (in serra, ad esempio, per i sistemi a flusso e riflusso i costi arrivano a 50 euro/m²) e una maggiore preparazione professionale dei coltivatori (o, in alternativa, una maggiore presenza in azienda di consulenti esterni). A tutt'oggi sembrano possibili (sostenibili!) solo per la produzione delle piante in vaso; difficile proporre questa tecnologia per le produzioni in grave difficoltà come quelle dei fiori recisi.

In alcuni casi, inoltre, possono esserci anche dei vincoli di natura legislativa ad ostacolare l'impiego dei sistemi chiusi. Ad esempio, un vincolo impor-

tante per i vivai di piena aria di alcune zone italiane, come quella di Pistoia, è costituito dal rispetto del cosiddetto indice di impermeabilizzazione del terreno (cioè, la percentuale massima della superficie dell'azienda che può essere impermeabilizzata con asfaltature, teli anti-alga o di pacciamatura), evidentemente necessaria al recupero e al riempimento delle acque di drenaggio.

Diversamente dal ciclo chiuso, l'introduzione di altre tecniche, come l'irrigazione a goccia, il pilotaggio automatico dell'irrigazione o, ancor più semplicemente, l'impiego dell'irrigazione ciclica e/o di quella mattutina, il semplice uso dei dispositivi che chiudono l'irrigazione in caso di pioggia (vedi Capitolo 13), è in grado di ridurre sensibilmente i fabbisogni idrici (fino al 30%) e il *runoff* senza far lievitare i costi di produzione, senza stravolgere l'organizzazione aziendale e senza richiedere agli operatori un particolare *know-how*. È anche vero, inoltre, che in certi casi l'irrigazione a pioggia è difficilmente sostituibile con quella a goccia, come nel caso della piccola vasetteria o per quelle colture che si avvantaggiano dell'effetto climatizzante dell'aspersione.

In un articolo apparso a suo tempo su *Grower Talks* (Whiteside, 1989) si riporta il caso di un

Tab. 5 - Interventi e misure per la razionalizzazione dell'irrigazione e della fertilizzazione delle colture florovivaistiche, suddivise in funzione del contenuto tecnologico e dei costi per le aziende

INTERVENTI A RIDOTTO CONTENUTO TECNOLOGICO E/O DI COSTO LIMITATO

1. Progettazione precisa degli impianti irrigui.
2. Organizzazione spaziale delle colture (suddivisione delle piante coltivate in funzione delle esigenze idriche).
3. Cura dell'intervento irriguo: irrigazione ciclica; irrigazione mattutina; uso di temporizzatori con dispositivo per l'esclusione dell'irrigazione in caso di pioggia...
4. Trattamento dell'acqua irrigua (filtrazione e acidificazione).
5. Monitoraggio della coltura (analisi delle acque di drenaggio).
6. Registrazione sistematica (ad esempio, attraverso l'uso di semplici contaltri) delle quantità di acqua e di fertilizzanti distribuite e disperse (monitoraggio del *runoff*).

INTERVENTI A MEDIO CONTENUTO TECNOLOGICO E/O DI COSTO RELATIVAMENTE ELEVATO

1. Introduzione o maggior impiego dell'irrigazione a goccia.
2. Introduzione o maggior impiego della fertirrigazione.
3. Impiego di sistemi per il controllo automatico dell'irrigazione basati sulla stima di ETE.
4. Raccolta e stoccaggio delle acque piovane.

INTERVENTI AD ELEVATO CONTENUTO TECNOLOGICO E DI COSTO PARTICOLARMENTE ONEROSO

1. Controllo computerizzato degli interventi di climatizzazione (serra) e di irrigazione/fertirrigazione (incluso l'applicazione di sistemi esperti).
2. Impiego dei sistemi di coltivazione fuori suolo (per le colture da fiore reciso).
3. Recupero e riutilizzo delle acque di drenaggio (sistemi chiusi o virtualmente chiusi, in serra od in vivaio).
4. Trattamento di desalinizzazione delle acque (osmosi inversa).



Un impianto di desalinizzazione dell'acqua marina entrato in funzione di recente a Carboneras, nella provincia di Almeria, in Spagna. L'impianto, il più grosso in Europa e il secondo al mondo, è in grado di produrre oltre 40 milioni di metri cubi di acqua desalinizzata all'anno, distribuita ad un prezzo intorno a 0,8 euro/m³, a un comprensorio ortoflorovivaistico di circa 5000 ettari

vivaio (40 ettari) di piante ornamentali californiano (*El Modeno*) che, messo sotto accusa dalle autorità locali per gli effetti inquinanti sulle acque della Baia di Newport, era riuscito a ridurre nel giro di soli tre anni l'impiego dei fertilizzanti e dell'acqua, rispettivamente, del 50 e del 30%, e ad abbattere il deflusso dell'azoto del 90%, senza ricorrere all'impiego di sistemi a ricircolo, come suggerito dalle "best management practices" elaborate dalle autorità, ma semplicemente introducendo l'irrigazione ciclica sotto controllo computerizzato. L'esempio di *El Modeno* rende bene l'idea dei risultati conseguibili attraverso l'impiego di tecnologie relativamente poco sofisticate.

Nella *tab. 5* sono elencate le misure utili alla razionalizzazione dell'irrigazione e della fertilizzazione nelle colture florovivaistiche, suddivise in funzione del contenuto tecnologico e dei costi per le aziende; la tabella, per certi versi, illustra le possibili tappe di un percorso di aggiornamento tecnologico di un'azienda florovivaistica.

Fondamentale rimane, in ogni caso, la valutazione del rapporto costo/benefici delle diverse tecniche e anche delle possibili implicazioni socio-economiche dell'evoluzione tecnologica del settore. In questo senso, l'esperienza olandese relativa alla riduzione dell'impatto ambientale della serricoltura può insegnare molto.

In Olanda, infatti, si è arrivati alla diffusione dei sistemi chiusi pressoché su tutta la superficie coperta, ma solo alla fine di un lungo periodo di transizione e grazie ad una politica di stretta concertazione tra aziende e governo. D'altra parte, per i prossimi anni, si prevede un sensibile calo del numero d'aziende e un aumento delle superfici

medie aziendali, in conseguenza di un accorpamento aziendale reso necessario dagli ingenti investimenti richiesti per la trasformazione dei metodi di coltivazione.

Protagonisti e interpreti

Trovare la soluzione dei problemi legati alla gestione dell'acqua e dei fertilizzanti nelle colture florovivaistiche non può essere, ovviamente, solo compito dei florovivaisti.

Le associazioni di produttori, le organizzazioni professionali e le istituzioni pubbliche (amministratori e ricercatori) hanno un ruolo decisivo nel trasferimento alle singole aziende delle tecnologie *water-saving* attraverso la diffusione delle conoscenze tecniche basata anche sulla realizzazione di prove dimostrative e di impianti pilota. Le associazioni di produttori, ad esempio, potrebbero provvedere alla preventiva valutazione tecnica dei vari sistemi e dispositivi presenti sul mercato e magari stipulare degli accordi commerciali con le ditte fornitrici per l'acquisto di macchine e attrezzature a prezzi convenzionati. Compito delle associazioni è soprattutto quello di avviare e sostenere lo sviluppo di una politica di marketing che sia in grado di far conoscere al mercato quanto l'azienda ha fatto per arrivare a produrre in un modo più rispettoso dell'ambiente.

Spetta, invece, ai governi locali e centrali assicurare delle infrastrutture efficienti (non ultimi, per quanto detto in precedenza, gli acquedotti per le acque reflue) e anche un clima sociale che non veda sempre e comunque nei florovivaisti i responsabili di veri e propri disastri ambientali.

Il mondo della ricerca, infine, potrebbe dedicare più tempo e risorse alla dimostrazione (che un sistema funziona...), se non alla vera e propria divulgazione.

Conclusioni

In Italia e in Toscana, il florovivaismo è un settore agricolo molto importante dal punto di vista socio-economico. In alcune province italiane, in effetti, le serre e i vivai creano occupazione e ricchezza, con un impatto sull'ambiente minore rispetto a molti altri comparti produttivi, giocando spesso un ruolo importante nella promozione del territorio (si pensi alle azalee del Lago Maggiore, ai fiori della Versilia o alle stesse piante di Pistoia), talvolta addirittura con riflessi positivi sul paesag-

gio: i colori dei vivai pistoiesi in autunno avrebbero potuto essere, in altri tempi e in altri luoghi, oggetto di tele straordinarie.

D'altra parte, non si può negare la necessità di aumentare l'efficienza produttiva del settore, soprattutto per quanto riguarda le risorse idriche. Il problema non sembra di natura tecnologica. Esagerando, potremmo dire che per risparmiare acqua dove si producono piante ornamentali o fiori recisi, non c'è bisogno di inventare alcunché. Semmai, occorre sviluppare una serie di misure e di interventi (insomma, una strategia) che aiutino il trasferimento delle tecnologie *water-saving* dai centri di ricerca e (perché no?) dalle aziende leader a tutto il settore. L'augurio è che la pubblicazione del Quaderno costituisca un punto di partenza per questi interventi.

Bibliografia

1. AA.VV. (2003). *Florovivaismo in Toscana*. Atti della prima conferenza regionale. Pistoia, 12 giugno 2003. ARSIA-Regione Toscana, Firenze.
2. ARPAT (2001). *Valutazione dell'impatto ambientale delle pratiche vivaistiche e studio della vulnerabilità intrinseca della falda del territorio pistoiese*. Firenze.
3. LEA-COX J.D., ROSS D.S., TEFPEAU M. (2001). *Information Requirements for Nutrient Management Plans For Nursery and Greenhouse Operations*. www.agnr.umd.edu/users/ipmnet/hfoct00.htm.
4. WHITESIDE R. (1989). *El Modeno Gardens: innovative solutions to California's irrigation runoff*. *Grower Talks* 1, 28-36.

APPENDICE A

Buone Pratiche Agricole del Piano di Sviluppo Rurale della Regione Toscana

Gianluca Brunori

Introduzione

In riferimento a quanto stabilito al comma 2 dell'art. 23 del Reg. 1257/99 "gli impegni agro-ambientali oltrepassano l'applicazione delle normali pratiche agricole" e a quanto indicato al comma 1 dell'art. 28 del Reg. CE n. 1750/99, le Buone Pratiche Agricole (BPA) sono definite come "l'insieme dei metodi colturali, che un agricoltore diligente impiegherebbe in una Regione interessata". I presenti principi contengono le indicazioni di base relative alle principali pratiche agronomiche e fitosanitarie il cui rispetto costituisce la condizione di accesso ai benefici previsti dalla misura 5 "zone svantaggiate e zone soggette a vincoli ambientali", essi costituiscono inoltre il riferimento per la valutazione degli impegni ulteriori richiesti in base alla misura 6 "Agroambiente".

Le buone pratiche agricole in ogni caso comprendono l'osservanza delle prescrizioni generali vincolanti in materia ambientale.

Norme di riferimento

- *Norme concernenti i tenori massimi di residui antiparassitari su e in alcuni prodotti di origine vegetale*: D.M. 23 dicembre 1992 (Direttiva 90/642/CEE).
- *Gestione dei rifiuti*: D.lgs. n. 22 del 5 febbraio 1997 e successive modifiche e integrazioni (Direttiva 91/156/CE) e gestione dei rifiuti pericolosi: D.lgs. n. 22 del 5 febbraio 1997 e successive modifiche e integrazioni (Direttiva 91/689/CE).
- *Imballaggi e rifiuti di imballaggi*: D.lgs. n. 22 del 5 febbraio 1997 e successive modifiche e integrazioni (Direttiva 94/62/CE).
- *Divieto d'utilizzazione di talune sostanze ad azione ormonica nelle produzioni animali*:

Legge n. 128 del 24 aprile 1998 - Allegati A e B (Direttiva 96/22/CE).

- *Le pratiche di fertilizzazione e di diserbo* trovano riscontri normativi rispettivamente nel D.lgs. 11 maggio 1999, n. 152, recante "Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della Direttiva 91/271/CEE, concernente il trattamento delle acque reflue urbane, e della Direttiva 91/676/CEE, relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato da nitrati provenienti da fonti agricole".
- *La protezione delle acque dai nitrati* è trattata nel Codice di Buona Pratica Agricola in base alla Direttiva 91/676/CEE (D.M. MiPA del 19 aprile 1999);
- *L'impiego dei fanghi di depurazione in agricoltura* è formato dal D.lgs. 27 gennaio 1992, n. 99 (Direttiva 86/278/CEE).
- *La salvaguardia degli uccelli selvatici*: Legge n. 157 dell'11 febbraio 1992 e DPCM del 27 settembre 1997 (Direttiva 79/409/CEE).
- *Conservazione degli habitat naturali e seminaturali, nonché della flora e della fauna selvatica (natura 2000)*: DPR n. 357 dell'8 settembre 1997 (Direttiva 92/43/CE).

Le indicazioni riportate sono fondate su studi di valutazione dei risultati agronomici e ambientali ottenuti applicando le Misure A1 del Reg. CEE 2078/92, a confronto con pratiche aziendali riconducibili alla normale Buona Pratica Agricola e all'agricoltura convenzionale.

Sono state pertanto prese in considerazione alcune delle fasi principali che caratterizzano le diverse colture e per ciascuna di esse sono stati individuati gli aspetti essenziali e talora alcuni vincoli che dovrebbero essere osservati per raggiungere un equilibrato rapporto tra agricoltura e ambiente. In

particolare in premessa vengono definiti gli aspetti generali relativi alla Buona Pratica Agricola per ciascuna delle fasi di seguito dettagliate.

a) Aspetti di natura agronomica

- *La scelta del terreno:* si tiene conto del limite della vocazionalità di un terreno, che per una determinata coltura deve essere dato sia dalla convenienza economica alla sua coltivazione sia dal rispetto dei principi che consentono la salvaguardia e il mantenimento dell'ambiente naturale, evitando quelle coltivazioni che non risultano idonee a uno specifico tipo di terreno.
- *Successioni colturali:* sono stati posti dei limiti ai tempi di ritorno di alcune colture sullo stesso appezzamento di terreno, in modo da non vanificare i vantaggi agronomici derivanti da una successione delle specie agrarie sufficientemente articolata nel tempo e nello spazio.
- *Scelta della varietà:* è fatto obbligo di non utilizzare materiali provenienti da Organismi Geneticamente Modificati (OGM).
- *Fertilizzazione:* le decisioni vengono prese in relazione alle specifiche condizioni pedologiche, colturali e aziendali. I livelli di unità fertilizzanti (in kg/ha) da apportare alle singole colture sono stati individuati sulla base degli assorbimenti unitari in macronutrienti, tenendo conto della prevalente dottrina in materia. Sulla base di tali valori sperimentali sono state individuate le esigenze nutritive di ciascuna coltura in rapporto alle rese tradizionalmente conseguibili in Toscana e al livello medio di fertilità dei terreni regionali. Relativamente alla concimazione organica, per quanto riguarda letame, compost e sovesci non si considera l'apporto degli elementi nutritivi ai fini della determinazione dei limiti massimi consentiti, in quanto la loro funzione è in massima parte ammendante e il tipo di sostanza organica è a lenta umificazione, per cui l'effetto nutritivo è limitato. È altresì consentito l'impiego di reflui provenienti da impianti di trasformazione e depurazione, secondo la normativa vigente in materia.
- *Irrigazione:* l'utilizzazione dell'acqua è effettuata in relazione all'idoneità all'uso irriguo, nel rispetto dei principi che consentono la salvaguardia e il mantenimento dell'ambiente naturale, al fine di limitare lo spreco di acqua per l'irrigazione e preservare l'integrità di tale risorsa, sia proveniente da falda che da corso d'acqua.

b) Difesa delle colture

Le norme tecniche per la definizione della normale buona pratica agricola fanno riferimento ai principi ispiratori della lotta guidata, basati sui seguenti momenti decisionali:

- accertamento delle avversità fitosanitarie e meteorologiche attraverso campionamenti diretti in campo con o senza prelievi e/o mezzi biotecnici, lettura dei dati meteorologici (trappole cromatiche, a feromoni, luminose, alimentari, stazioni meteorologiche ecc.);
- valutazione e rispetto della soglia economica di intervento;
- scelta qualitativa del mezzo chimico in funzione del suo minor impatto verso l'uomo e l'agroecosistema (impiego, a parità di quantità di principio attivo, di formulati classificati irritanti o non classificati, impiego di prodotti selettivi nei confronti dell'entomofauna utile ecc.).

c) Diserbo

Al fine di limitare i rischi legati all'impatto ambientale, le norme tecniche per la definizione della normale buona pratica agricola fanno riferimento al rispetto dei parametri agronomici ottimali che consentono di ridurre e diversificare gli interventi contro la flora infestante attraverso le seguenti azioni:

- limitazione degli interventi solo a determinate fasi colturali della coltura (pre-semina, pre-emergenza e post-emergenza);
- scelta di prodotti autorizzati sulle colture e loro impiego da soli o in miscela con le dosi indicate in etichetta;
- riduzione, quando è possibile, della superficie trattata con diserbanti (interventi sulla fila o localizzati);
- ricorso, quando è possibile, a trattamenti a dosaggi ridotti (DR) o a dosaggi molto ridotti (DMR);
- ricorso, quando è possibile, a metodi alternativi al diserbo (inerbimento, pacciamatura).

Vivaismo

Nella Regione Toscana sono presenti circa 6400 ettari di vivaismo ornamentale, compresi i vivai di vite (Provincia di Pisa, 237 ettari) e di alberi di Natale (Arezzo, 694 ettari). Pistoia è la Provincia vivaistica per eccellenza, con quasi 5000 ha di vivai di piante ornamentali sia in contenitore che in piena terra.

a) Produzione

a.1) Tecniche colturali

a.1.1) Caratteristiche del terreno

Sebbene la scelta di un terreno idoneo, qualunque sia la specie agraria che si intenda coltivare, rappresenti un elemento decisivo per la riuscita tecnico-economica della coltivazione, non si ritiene opportuno porre dei limiti alla diffusione delle diverse colture in quanto la variabilità del materiale genetico a disposizione dell'agricoltore è quasi sempre tale da consentire un'ampia adattabilità alle diverse condizioni ambientali. Il limite della vocazione di un terreno, sia generale che specifica, per una data coltura è infatti, sempre più spesso, posto soltanto dalla convenienza economica alla sua coltivazione.

a.1.2) Tecniche di preparazione del terreno

Devono essere rispettate le normative vigenti nelle diverse zone della regione (in particolare per le piante in contenitore) e, più in generale, la preparazione del terreno deve assicurare la tutela del territorio da erosione, frane e alluvioni attraverso una corretta regimazione delle acque.

a.1.3) Fertilizzazione

La fertilizzazione costituisce un adeguato strumento per correggere le eventuali carenze delle dotazioni naturali di elementi nutritivi dei terreni e modulare così le produzioni delle colture anche in relazione all'andamento climatico e al resto delle scelte operate dall'agricoltore (avvicendamento, materiale genetico impiegato, ricorso all'irrigazione ecc.). Una corretta gestione della fertilizzazione consente inoltre di evitare che si possano ridurre le originarie disponibilità di nutrienti del terreno così da non pregiudicare le capacità produttive dei suoli, ma anzi di tentare di reintegrare quelle dotazioni che risultino fisiologicamente insufficienti. Per quanto riguarda i livelli di fertilizzazione è stato preso come riferimento il solo azoto, che rappresenta per queste colture il problema principale nei reflui. È da tenere presente l'assoluta penuria di dati in merito ai livelli di fertilizzazione nelle realtà produttive, estremamente composite, e la difficoltà di ricondurre a uno standard i dati provenienti dalle sperimentazioni, generalmente condotte nelle condizioni ambientali più disparate. In assenza di dati e riferimenti precisi in merito ai livelli di azoto nel florovivaismo sono stati considerati valori di asportazione dell'azoto in alcune colture per le quali esistono dati analitici certi e su questi ultimi sono state operate le maggiorazioni del 30%, ipotizzando come un auspicabile livello di perdite per dilavamento e lisciviazione nel settore florovivaistico.

È ammesso un apporto annuo di azoto che non superi, assommato alla naturale dotazione del terreno, del 30% il quantitativo di azoto asportato dalla coltura. Per le colture in contenitore vale lo stesso vincolo.

a.1.4) Cure colturali

Nessun vincolo viene posto alle cure colturali.

a.2) Difesa delle colture

Per le colture floricole valgono le medesime norme tecniche generali citate in premessa.

a.2.1) Lotta fitosanitaria

La difesa contro i parassiti animali e vegetali è subordinata esclusivamente alla loro presenza, mentre la scelta dei mezzi di lotta avviene prevalentemente sulla base di principi attivi più efficaci e autorizzati sulla coltura.

Non è consentito l'impiego per due volte consecutive dello stesso principio attivo.

La disinfezione del terreno/substrato non prevede nessun vincolo se non il rispetto delle normative vigenti in ambito comunitario, nazionale e locale; l'impiego del bromuro di metile, alle dosi consentite, è ammesso solo a seguito di certificazione fitosanitaria rilasciata da un laboratorio di diagnostica fitopatologica che ne attesti la necessità.

a.2.2) Diserbo

Il controllo delle infestanti per tali colture non prevede limitazioni nelle dosi per ettaro dei singoli principi attivi autorizzati, se non quelle indicate in etichetta.

La scelta dei principi attivi o loro miscele viene fatta esclusivamente sulla base dell'efficacia e della loro registrazione su ogni singola coltura.

È consentito un massimo, per unità di superficie e per anno, di due interventi con i residui ammessi e tre con diserbanti non residui.

a.3) Raccolta

Nessun vincolo viene posto alla raccolta.

Floricoltura

Nella Regione Toscana sono presenti 1049 ettari a colture floricole, dei quali circa 490 sotto serra e 560 in campo aperto; in serra si ha un'ulteriore suddivisione di 135 ha di colture da vaso e 353 da fiore e fronda recisa, che diventano rispettivamente 210 e 350 in campo aperto. Il principale comprensorio floricolo è situato nelle province

di Lucca (268 ettari) e Pistoia (456 ettari). Le specie floricole più diffuse in serra sono il crisantemo, il garofano, quindi gerbera, lillium e rosa. In pien'aria fronde recise (*Ruscus*, *Eucalyptus* e altre) e gladioli occupano le superfici più estese.

a) Produzione

a.1) Tecniche colturali

a.1.1) Caratteristiche del terreno

Sebbene la scelta di un sito idoneo, qualunque sia la specie agraria che si intenda coltivare, rappresenti un elemento decisivo per la riuscita tecnico-economica della coltivazione, non si ritiene opportuno porre dei limiti alla diffusione delle diverse colture in quanto la variabilità del materiale genetico a disposizione del produttore è quasi sempre tale da consentire un'ampia adattabilità alle diverse condizioni ambientali.

a.1.2) Tecniche di preparazione del terreno

Devono essere rispettate le normative vigenti nelle diverse zone della regione (in particolare per le piante in contenitore) e, più in generale, la preparazione del terreno deve assicurare la tutela del territorio da erosione, frane e alluvioni attraverso una corretta regimazione delle acque.

a.1.3) Caratteristiche degli impianti

La scelta del tipo di apprestamento protetto rappresenta un momento determinante al fine di impostare un equilibrato schema produttivo e tenere rese soddisfacenti. La calibrazione dell'apprestamento deve tenere conto delle esigenze produttive delle specie dominanti in azienda e delle loro eventuali patologie, che trovano in una opportuna (per la pianta) situazione microclimatica il primo e più importante mezzo di contenimento. Tutti gli apprestamenti protetti e i relativi impianti interni (elettrico, riscaldamento, irrigazione ecc.) devono rispettare norme e vincoli nazionali e locali. È ammessa l'utilizzazione di serre con strutture e rapporti volumetrici di vario tipo, nel rispetto delle normative vigenti.

a.1.4) Impianti di riscaldamento

Gli impianti di riscaldamento in apprestamenti protetti devono corrispondere alle norme vigenti; lo stesso dicasi per i relativi depositi di combustibili.

a.1.5) Varietà

Non si pongono vincoli nella scelta delle cultivar, essendo presente un'intensa attività di miglioramento genetico che dà luogo a un rapido rinnovamento varietale; la scelta è basata esclusivamente sulle esigenze di mercato.

a.1.6) Fertilizzazione

La fertilizzazione costituisce un adeguato strumento per correggere le eventuali carenze delle dotazioni naturali di elementi nutritivi dei terreni e modulare così le produzioni delle colture anche in relazione all'andamento climatico e al resto delle scelte operate dall'agricoltore (avvicendamento, materiale genetico impiegato, ricorso all'irrigazione ecc.). Una corretta gestione della fertilizzazione consente inoltre di evitare che si possano ridurre le originarie disponibilità di nutrienti del terreno così da non pregiudicare le capacità produttive dei suoli, ma anzi di tentare di reintegrare quelle dotazioni che risultino fisiologicamente insufficienti.

Per quanto riguarda i livelli di fertilizzazione è stato preso come riferimento il solo azoto, che rappresenta per queste colture il problema principale nei reflui. È da tenere presente l'assoluta penuria di dati in merito ai livelli di fertilizzazione nelle realtà produttive, estremamente composite, e la difficoltà di ricondurre a uno standard i dati provenienti dalle sperimentazioni, generalmente condotte nelle condizioni ambientali più disparate. In assenza di dati e riferimenti precisi in merito ai livelli di azoto nel florovivaismo sono stati considerati valori di asportazione dell'azoto in alcune colture per le quali esistono dati analitici certi e su questi ultimi sono state operate le maggiorazioni del 30%, ipotizzando come un auspicabile livello di perdite per dilavamento e lisciviazione nel settore florovivaistico.

È pertanto ammesso un apporto annuo di azoto che non superi, sommato alla naturale dotazione del terreno, del 30% il quantitativo di azoto asportato dalla coltura. Per le colture in contenitore vale lo stesso vincolo.

a.2) Difesa delle colture

Per le colture floricole valgono le medesime norme tecniche generali citate in premessa.

a.2.1) Lotta fitosanitaria

La difesa contro i parassiti animali e vegetali è subordinata esclusivamente alla loro presenza, mentre la scelta dei mezzi di lotta avviene prevalentemente sulla base di principi attivi più efficaci e autorizzati sulla coltura.

Non è consentito l'impiego per due volte consecutive dello stesso principio attivo.

La disinfezione del terreno/substrato non prevede nessun vincolo se non il rispetto delle normative vigenti in ambito comunitario, nazionale e locale; l'impiego del bromuro di metile, alle dosi consentite, è ammesso solo a seguito di certificazione fitosanitaria rilasciata da un laboratorio di diagnostica fitopatologica che ne attesti la necessità.

a.2.2) Diserbo

Il controllo delle infestanti per tali colture non prevede limitazioni nelle dosi per ettaro dei singoli principi attivi autorizzati, se non quelle indicate in etichetta.

La scelta dei principi attivi o loro miscele viene fatta esclusivamente sulla base dell'efficacia e della loro registrazione su ogni singola coltura.

È consentito un massimo, per unità di superficie e per anno, di due interventi con i residui ammessi e tre con diserbanti non residuali.

a.3) Raccolta

Non si pongono vincoli allo svolgimento delle operazioni di raccolta.

APPENDICE B

Principi generali per le produzioni agricole integrate della Regione Toscana

Vivaismo

a) Produzione

a.1) Tecniche colturali

a.1.1) Tecniche di preparazione del terreno

È fatto divieto della pratica nota come "divelto" con obbligo del ripristino del piano di campagna con materiale idoneo di riporto. Nella preparazione dei piazzali di coltivazione per la vasetteria è vietato l'impiego di teli completamente impermeabili, fatta eccezione per gli impianti di coltivazione a ciclo chiuso.

a.1.2) Varietà

Non è ammesso l'impiego di organismi geneticamente modificati (OGM).

a.1.3) Fertilizzazione

L'obiettivo è quello di commisurare gli apporti e le epoche di distribuzione dei fertilizzanti ai reali fabbisogni delle colture senza incorrere in sovradosaggi o in eccessive semplificazioni che, nel lungo periodo, potrebbero pregiudicare la fertilità dei terreni. Quindi sono stati determinati i limiti massimi di impiego di azoto, riportati nelle schede colturali specifiche, in un'ottica di riduzione dei livelli di almeno il 20%, rispetto a quelli individuati per la BPA. Per quanto riguarda i livelli di fertilizzazione per la produzione integrata è stato preso come riferimento il solo azoto, che rappresenta come ricordato per queste colture il problema principale nei reflui. Nel definire i massimali di apporto di azoto si ipotizzano riduzioni del 20% rispetto a quanto ammesso in Buona Pratica Agricola, arrivando quindi a definire una perdita minima di azoto. L'obbligatorietà di effettuare analisi periodiche nel caso di coltivazioni su terreno (in alcuni casi a cadenza più stretta rispetto a quanto riportato dal Guidelines IOBC) e il vincolo a un piano di concimazione aziendale rappresentano ulteriori stadi per

pervenire a una fertilizzazione il più vicina possibile alle reali esigenze nutrizionali della pianta, commisurata alle dotazioni iniziali del terreno.

Pertanto, per una corretta gestione della concimazione, occorre predisporre un piano di fertilizzazione o di preparazione dei substrati, redatto da un tecnico con titolo di studio nel settore agricolo nel rispetto dei limiti e dei vincoli posti nella relativa scheda colturale, che faccia riferimento alle analisi fisico-meccaniche e chimiche del terreno. Il numero di analisi e la periodicità delle stesse da eseguire per unità di superficie verranno individuati nelle singole schede tecniche applicative per tipologia di prodotto, rispettando le indicazioni riportate dalle Linee Guida (*Guidelines*) IOBC. Le analisi devono essere effettuate presso laboratori pubblici o privati nel rispetto dei metodi ufficiali di analisi. Ai fini del piano di fertilizzazione, potranno essere impiegate anche analisi eseguite nei due anni precedenti la predisposizione del piano di fertilizzazione.

Le analisi devono riportare le seguenti determinazioni: tessitura, pH, conducibilità elettrica, sostanza organica, azoto totale, fosforo assimilabile, potassio scambiabile, capacità di scambio cationico, calcare totale. I fabbisogni delle colture dovranno essere calcolati a partire dalle asportazioni unitarie (kg di nutrienti per unità di prodotto utile o biomassa complessivamente prodotta) e dalla resa attesa per la coltura da fertilizzare, stimata sulla base delle rese conseguibili in azienda. È consentito l'impiego di tutti i concimi minerali e organici e degli ammendanti permessi dalla vigente legislazione italiana.

Concimazione organica. In relazione alla tipologia dei terreni toscani si ha una forte carenza del tenore di "sostanza organica". Per riportare questo valore a un livello agronomicamente valido, stimabile intorno al 2%, si ritiene opportuno incentivare

l'uso di concimi organici. I concimi organici previsti dalla normativa vigente, possono essere distribuiti da soli o a integrazione dei concimi di sintesi: in ambedue i casi devono essere rispettate le dosi massime consentite per l'azoto, in quanto questo diventa disponibile per la coltura in breve tempo. Non si considera invece l'apporto di P e K, in quanto questi elementi vengono immobilizzati nei complessi argillo-umici e quindi difficilmente disponibili nell'arco del ciclo colturale.

Le quantità di azoto, fosforo e potassio apportate al terreno con la letamazione, nella misura massima di 300 q/ettaro per anno, possono non essere sottratte ai quantitativi massimi indicati per ciascuna coltura nelle relative schede, in quanto la funzione del letame è in massima parte ammendante, finalizzata al ripristino della struttura del terreno. Per dosi di letame superiori ai 300 q/ha, si devono conteggiare le unità fertilizzanti di N, per i soliti quantitativi in eccedenza, nella misura di un valore medio stimato dello 0,2%, tenuto conto delle immobilizzazioni nel terreno. Non si considera l'apporto di P e K per le motivazioni espresse per i concimi organici.

Allo stesso modo non devono essere conteggiati gli apporti di N, P e K derivanti da colture da sovescio e da compost.

Per i substrati è sufficiente detenere la composizione quali-quantitativa dei substrati pronti per l'uso o dei singoli componenti se il substrato è preparato in azienda.

Per le colture in contenitore la fertilizzazione deve essere obbligatoriamente effettuata mediante fertirrigazione o con impiego di concimi a lento rilascio, rispettando in quest'ultimo caso i tempi minimi di cessione dichiarati dal fabbricante alle diverse temperature, prima di effettuare un nuovo intervento fertilizzante, salvo diversa indicazione sulle schede applicative del presente disciplinare.

a.1.4) Irrigazione

Nel vivaismo di pieno campo è vietato l'impiego dell'irrigazione a scorrimento. Nel vivaismo in contenitore è d'obbligo l'irrigazione localizzata per i vasi con volume superiore a 3 litri (\emptyset 18).

a.2) Difesa delle colture

Per la difesa delle colture valgono le medesime norme tecniche generali citate in premessa.

a.2.1) Lotta fitosanitaria

Per il controllo dei parassiti animali e vegetali viene richiesta l'applicazione di tutti i mezzi di difesa integrata (genetici, fisici, meccanici, biotecnici, biologici, chimici). La scelta dei principi attivi è basata sulla massima selettività verso il parassita ber-

saglio, sulla bassa tossicità verso l'uomo e l'ambiente e sul rispetto delle norme di registrazione previste per le singole colture o per il settore vivaistico.

Non vengono ammessi, tranne eccezioni e comunque vincolate a un numero massimo di interventi, prodotti fitosanitari classificati come molto tossici, tossici e nocivi.

Vengono limitati i prodotti fitosanitari attualmente oggetto di approfondimenti tossicologici. Si impone un limite, diverso per ogni raggruppamento colturale, agli interventi con fosfororganici, carbammati, piretroidi e simili, IBS, fenilammidi, benzimidazolici, acaricidi. Per l'impiego di nematocidi è richiesto un giustificativo da parte di un laboratorio di diagnostica fitopatologica. Gli interventi, sia in qualità sia in quantità, sono espressamente richiamati sulle schede tecniche predisposte in applicazione del presente regolamento.

a.2.2) Diserbo

È ammesso il diserbo per la preparazione del letto di semina con diserbanti non residuali e successivamente, in pieno campo, localizzato o mirato in contenitore in funzione della tecnica di coltivazione scelta, un numero preciso d'interventi con erbicidi autorizzati sulle singole specie e nel rispetto delle dosi/ha (anche se distribuiti in una o più soluzioni), numero ed epoche dei trattamenti indicati sulle schede tecniche predisposte in applicazione del presente regolamento.

Viene posto il limite di un solo intervento con i residuali (anche in miscela) e di due interventi con diserbanti non residuali.

a.3) Raccolta

Non si pongono vincoli alla raccolta.

a.4) Gestione dei rifiuti

Una corretta gestione dei rifiuti non può prescindere dalla loro separazione sulla base della tipologia al fine di avviare processi di smaltimento differenziati. È quindi obbligatorio tenere separati i residui delle varie lavorazioni aziendali e in particolare i contenitori esausti dei fitofarmaci. Si ricorda inoltre l'obbligo di rispettare tutto ciò che è disposto dal D.L. 22 del 5 febbraio 1997 e dalle normative regionali in materia di smaltimento dei rifiuti. Per quanto riguarda i reflui dalle coltivazioni, che sono assoggettati a normative nazionali in vigore da tempo, si consiglia di ridurre l'entità attraverso una corretta gestione dell'irrigazione con sistemi localizzati di distribuzione e frazionamenti delle epoche di erogazione in modo da limitare il volume del drenato. È ammesso l'impiego dei reflui secondo la normativa vigente in materia.

Floricoltura

a) Produzione

a.1) Tecniche colturali

a.1.1) Impianti di riscaldamento

I combustibili ammessi sono esclusivamente il metano, olio e gasolio a basso contenuto di zolfo, i combustibili di origine vegetale (pine, pinoli, altri scarti di lavorazione del legno) e tutti i combustibili a basso impatto ambientale. Sono ammessi inoltre tutti i sistemi di riscaldamento che impiegano energie alternative (geotermia, energia solare, reflui di centrali elettriche). È obbligatoria una verifica annuale del corretto funzionamento dell'impianto di riscaldamento, da effettuarsi da parte di ditte specializzate.

a.1.2) Varietà

Non è ammesso l'impiego di organismi geneticamente modificati (OGM).

a.1.3) Fertilizzazione

L'obiettivo è quello di commisurare gli apporti e le epoche di distribuzione dei fertilizzanti ai reali fabbisogni delle colture senza incorrere in sovradosaggi o in eccessive semplificazioni che, nel lungo periodo, potrebbero pregiudicare la fertilità chimica dei terreni. Quindi sono stati determinati i limiti massimi di impiego di azoto, riportati nelle schede colturali specifiche, in un'ottica di riduzione dei livelli di almeno il 20%, rispetto a quelli individuati per la BPA. Per quanto riguarda i livelli di fertilizzazione per la produzione integrata è stato preso come riferimento il solo azoto, che rappresenta come ricordato per queste colture il problema principale nei reflui. Nel definire i massimali di apporto di azoto si ipotizzano riduzioni del 20% rispetto a quanto ammesso in Buona Pratica Agricola, arrivando quindi a definire una perdita minima di azoto. L'obbligatorietà di effettuare analisi periodiche nel caso di coltivazioni su terreno (in alcuni casi a cadenza più stretta rispetto a quanto riportato dalle Guidelines IOBC) e il vincolo a un piano di concimazione aziendale rappresentano ulteriori stadi per pervenire a una fertilizzazione il più vicina possibile alle reali esigenze nutrizionali della pianta, commisurata alle dotazioni iniziali del terreno. Ogni azienda deve predisporre un piano di fertilizzazione o di preparazione dei substrati, redatto da un tecnico con titolo di studio nel settore agricolo nel rispetto dei limiti e dei vincoli posti nella relativa scheda colturale, con riferimento ad analisi fisico-meccaniche e chimiche del terreno. Il numero di analisi e la periodicità delle stesse, da eseguire per unità di superficie, verranno

individuati nelle singole schede tecniche applicative per tipologia di prodotto rispettando le indicazioni riportate dalle Linee Guida IOBC. Le analisi dovranno essere effettuate presso laboratori pubblici o privati nel rispetto dei metodi ufficiali di analisi e dovranno prevedere almeno le seguenti determinazioni: tessitura, pH, conducibilità elettrica, sostanza organica, azoto totale, fosforo assimilabile, potassio scambiabile, capacità di scambio cationico, calcare totale.

Concimazione organica. In relazione alla tipologia dei terreni toscani si ha una forte carenza del tenore di "sostanza organica". Per riportare questo valore a un livello agronomicamente valido, stimabile intorno al 2%, si ritiene opportuno incentivare l'uso di concimi organici. I concimi organici previsti dalla normativa vigente, possono essere distribuiti da soli o a integrazione dei concimi di sintesi: in ambedue i casi devono essere rispettate le dosi massime consentite per l'azoto, in quanto questo diventa disponibile per la coltura in breve tempo. Non si considera invece l'apporto di P e K, in quanto questi elementi vengono immobilizzati nei complessi argillo-umici e quindi difficilmente disponibili nell'arco del ciclo colturale. Le quantità di azoto, fosforo e potassio apportate al terreno con la letamazione, nella misura massima di 300 q/ha per anno, possono non essere sottratte ai quantitativi massimi indicati per ciascuna coltura nelle relative schede, in quanto la funzione del letame è in massima parte ammendante, finalizzata al ripristino della struttura del terreno. Per dosi di letame superiori ai 300 q/ha, si devono conteggiare le unità fertilizzanti di N, per i soliti quantitativi in eccedenza, nella misura di un valore medio stimato dello 0,2%, tenuto conto delle immobilizzazioni nel terreno. Non si considera l'apporto di P e K per le motivazioni esposte per i concimi organici. Allo stesso modo non devono essere conteggiati gli apporti di N, P e K derivanti da colture da sovescio e da compost. Per i substrati è sufficiente conservare in azienda la documentazione relativa alla composizione quali-quantitativa dei substrati pronti per l'uso o dei singoli componenti se il substrato è preparato in azienda.

a.2) Difesa delle colture

Per la difesa delle colture valgono le medesime norme tecniche generali citate in premessa.

a.2.1) Lotta fitosanitaria

In ambiente protetto è da privilegiare la lotta biologica con l'introduzione di predatori e parassitoidi utili verso determinati fitofagi, parallelamente all'utilizzo di tutti i mezzi di difesa inte-

grata (genetici, fisici, meccanici, biotecnici ecc.). Per quanto attiene la scelta di prodotti chimici, sarà imposto l'utilizzo dei soli principi attivi autorizzati su una determinata coltura o nello specifico settore della floricoltura, nel rigoroso rispetto di quanto riportato in etichetta. Non vengono ammessi, tranne eccezioni e comunque vincolate a un numero massimo di interventi, prodotti fitosanitari classificati come molto tossici, tossici e nocivi. Vengono limitati prodotti fitosanitari attualmente oggetto di approfondimenti tossicologici. Si impone un limite, diverso per ogni raggruppamento colturale, agli interventi con fosfororganici, carbammati, piretroidi e simili, IBS, fenilammidi, benzimidazolici, acaricidi. I trattamenti devono essere eseguiti dopo aver accertato la reale presenza dei parassiti sia animali sia vegetali; per l'impiego di nematocidi e per la disinfezione del terreno è richiesto un giustificativo da parte di un laboratorio di diagnostica fitopatologica. Per la disinfezione del terreno è ammesso l'impiego del bromuro di metile, ove altre tecniche non siano attuabili e le normative locali lo consentano, alla dose massima di 30 g/m² e solo con l'impiego di teli virtualmente impermeabili al bromuro di metile.

a.2.2) Diserbo

Per le colture di pieno campo è ammesso un numero ben preciso di interventi, totali o localizzati in funzione della tecnica colturale scelta, con erbicidi autorizzati sulla singola coltura e nel

rispetto delle dosi, numero ed epoca dei trattamenti riportati nelle singole schede tecniche, predisposte in applicazione del presente regolamento. Comunque non potranno effettuarsi più di un intervento con diserbanti residuali (anche in miscela) e due con diserbanti non residuali. In serra è ammesso solo l'impiego di diserbanti residuali con un massimo di due trattamenti.

a.3) Raccolta

Non si pongono vincoli alla raccolta.

a.4) Gestione dei rifiuti

Una corretta gestione dei rifiuti non può prescindere dalla loro separazione sulla base della tipologia, al fine di avviare processi di smaltimento differenziati. È quindi obbligatorio tenere separati i residui delle varie lavorazioni aziendali e in particolare i contenitori esausti dei fitofarmaci. Si ricorda inoltre l'obbligo di rispettare tutto ciò che è disposto dal D.L. 22 del 5/2/97 e dalle normative regionali in materia di smaltimento dei rifiuti. Per quanto riguarda i reflui dalle coltivazioni, che sono assoggettati a normative nazionali in vigore da tempo, si deve ridurre l'entità attraverso una corretta gestione dell'irrigazione con sistemi localizzati di distribuzione e frazionamenti delle epoche di erogazione in modo da limitare il volume del drenato. Dove possibile, e in particolare negli impianti di coltivazione fuori suolo a ciclo aperto, si deve ricorrere al reimpiego del drenato su altre colture opportunamente individuate.

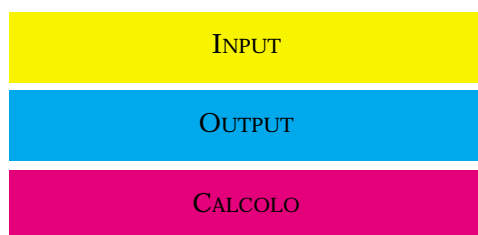
APPENDICE C

Manuale d'uso di " CIMIS-ETE "

Laura Bacci, Elisabetta Checcacci

L'equazione CIMIS PENMAN implementata nel file (Microsoft® Excel 2000) contenuto nel CD-ROM allegato è stata elaborata per essere utilizzata con dati meteorologici rilevati su base oraria.

Il foglio di calcolo è articolato in tre parti diverse contraddistinte dai seguenti colori:



I dati di INPUT sono:

- u : velocità del vento in m/s
- RH : umidità relativa in percentuale
- T_a : temperatura dell'aria in °C
- R_g : radiazione globale in W/m^2

L'utilizzatore dovrà inserire i valori orari di tali dati nelle rispettive celle, rispettando l'unità di misura richiesta. La radiazione globale sarà automaticamente convertita in $J/m^2 \cdot h$ nella cella G3 per poter essere utilizzata nella formula di calcolo della radiazione netta. Nelle celle di calcolo sono state inserite le formule che in modo automatico eseguono il calcolo di tutte le grandezze necessarie per risolvere l'equazione di CIMIS PENMAN.

Una descrizione dettagliata delle equazioni usate per i calcoli è riportata nel Capitolo 12 e nel foglio di apertura del file Microsoft® Excel 2000.

Nella cella di OUTPUT viene visualizzato il valore di *evapotraspirazione (ETE) oraria* (mm/h) e il *deficit di pressione di vapore (VPD)*, in kPa).

APPENDICE D

Manuale d'uso di " SUBIDRO "

Carlo Bibbiani

Presentazione

SUBIDRO è un semplice foglio elettronico per il calcolo delle principali proprietà idrologiche dei vasi utilizzati per le colture florovivaistiche. La conoscenza dei parametri calcolati da SUBIDRO è fondamentale nella scelta del substrato (in base alla capacità dell'aria desiderata) e nel pilotaggio dell'irrigazione (di fatto, il volume irriguo viene determinato come frazione dell'acqua disponibile).

Istruzioni

In funzione delle dimensioni del contenitore e delle caratteristiche idrologiche del substrato (curva di ritenzione idrica, cioè l'umidità volumetrica espressa in funzione della tensione), quest'ultime determinate in laboratorio o recuperate dai depliant illustrativi dei vari prodotti commerciali, SUBIDRO provvede a calcolare i seguenti parametri:

- per il substrato (in percentuale): capacità per l'aria e il contenuto di acqua facilmente disponibile, di riserva e disponibile;
- per il contenitore (in volume e in percentuale): il volume totale; il contenuto di acqua alla 'capacità idrica di contenitore'; il contenuto di aria alla 'capacità idrica di contenitore' (è il contenuto minimo di aria del sistema) e quello per una tensione di -1 kPa; l'acqua facilmente disponibile e quella disponibile.

Ricordiamo che la 'capacità idrica di contenitore' è la quantità di acqua che un vaso con un determinato substrato riesce a trattenere dopo un'irrigazione fino a saturazione e successivo drenaggio (sgocciolamento).

I parametri richiesti per i vari calcoli sono:

- per il substrato: la porosità e il contenuto idrico

volumetrico a -1, -5 , -10 kPa di tensione. Il foglio utilizza per il calcolo anche un valore presunto alla tensione di 0 kPa e di -15 kPa. Il primo è considerato pari al 90% (materiali molto porosi e con elevata ritenzione idrica, come la torba) o il 70% (materiali grossolani, poco porosi e con ridotta ritenzione idrica, come la pomice); il foglio chiede di inserire un valore. Il valore a -15 kPa, invece, è ricavato sottraendo automaticamente, a quello relativo a -10 kPa, 4 unità percentuali, un valore medio per i vari materiali usati.

- per il contenitore: altezza (cm), area (cm²) della base e della sommità del vaso (calcolate in base al diametro o al lato, a seconda della forma).

Il foglio è protetto (password = *subidro*) per evitare accidentali manomissioni. I dati necessari per il calcolo (*input*) possono essere inseriti solo nelle caselle con sfondo giallo.

Procedura di calcolo

Il foglio effettua l'integrale della funzione prodotto "ritenzione idrica per area della sezione del contenitore (area espressa in funzione della altezza)", fra gli estremi di integrazione [Tensione matriciale alla base; altezza max. substrato].

$$\int_0^H \pi \cdot \left[(R_b + \text{tg}\alpha \cdot h)^2 \cdot [\vartheta(h)] \right] dh$$

Eq. 1

$$\text{tg}\alpha = \frac{(R_s - R_b)}{H}; \quad \vartheta(h) = \text{curva di ritenzione idrica};$$

scritta nel caso di contenitori a base circolare (R_b = raggio alla base; R_s = raggio alla sommità).

I contenitori a base quadrata o rettangolare sono convertiti in basi circolari equivalenti.

Tale integrale, calcolato quando la tensione alla base è nulla, fornisce la 'capacità di contenitore' o CC. Analogamente, per calcolare le quantità 'acqua facilmente disponibile' e 'acqua disponibile'

relative a un intero contenitore e non a un unico punto di esso, basta impostare la tensione alla base pari a -1 kPa, successivamente a -5 kPa, e infine a -10 kPa ed effettuare le differenze fra i valori ottenuti dagli integrali.

Infine, il contenuto d'aria alla capacità idrica di contenitore è calcolato per differenza tra quest'ultimo e la 'capacità idrica di contenitore'.

APPENDICE E

Manuale d'uso di " SOL-NUTRI"

Luca Incrocci

Introduzione

'SOL-NUTRI' è un foglio elettronico per il calcolo delle soluzioni nutritive sviluppato dall'Autore nell'ambito delle attività previste dal Progetto "IDRO-SUB" avviato per sviluppare e promuovere la tecnologia idroponica a ciclo chiuso per le colture protette nella zona litoranea Iblea della Sicilia (Ragusa).

Al progetto, coordinato da Gizeta Technica (dott. Leopoldo Giunchi) e dall'ENEA (dott. Carlo Alberto Campiotti), hanno partecipato, oltre al DBPA, anche l'Istituto di Epidemiologia e Patologia di Roma e la società ARA di Catania. IDROSUB è stato finanziato dalla Comunità Europea (Fondo Europeo per lo Sviluppo Regionale 1994-99 Sub-programma II- Misura II.1, n. 94.05.09.013/ARINCO n. 94.IT.16.028) e co-finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica (MURST).

'SOL-NUTRI' vuole essere uno strumento di aiuto nel calcolo delle soluzioni nutritive per colture idroponiche ed è rivolto a utenti con conoscenze di base sia nell'uso di Excel®, sia nella preparazione delle soluzioni nutritive.

Istruzioni

Si consiglia l'utente di stampare e leggere attentamente queste istruzioni prima di iniziare a utilizzare il foglio elettronico. Inoltre, occorre ricordare che:

1. *il foglio è protetto in ogni sua parte per evitare accidentali manomissioni.* I dati necessari per il calcolo potranno essere inseriti solo nelle caselle con sfondo giallo;
2. *il foglio contiene delle macro che devono essere attivate* per permettere il normale funziona-

mento di questo (occorre scegliere 'Attiva macro' nella finestra di avvio del programma);

3. *il foglio elettronico è un modello.* Tutte le volte che verrà aperto, Excel® chiederà di salvarlo con un nome, in modo da non modificare il modello stesso. Nel caso di inserimento di nuove ricette, occorrerà salvare il modello in formato .xls.

Nel foglio, per il calcolo della EC dell'acqua o della soluzione nutritiva, si utilizza l'equazione di Sonneveld *et al.* (1999) sotto riportata:

$$EC (mS/cm) = C \cdot 0,095 + 0,19$$

dove *C* è la somma della concentrazione dei cationi disciolti in soluzione, espressa in meq/l.

Nel foglio sono inserite, comunque, alcune note esplicative sotto forma di commento. Per evidenziarle, occorre posizionare il puntatore del mouse sulle celle che presentano un triangolo rosso in alto a destra o su quelle con un punto interrogativo sullo sfondo arancione.

Il foglio si divide in quattro sezioni:

1. IMPOSTAZIONI: in questa sezione sono acquisiti i dati necessari per il calcolo;
2. RICETTE NUTRITIVE: la sezione contiene alcune soluzioni nutritive per varie specie ortofloricole e in cui l'utente può, eventualmente, memorizzare le proprie.
3. CALCOLO: in questa sezione l'utente è "guidato" nel calcolo della soluzione nutritiva;
4. STAMPA SOLUZIONE NUTRITIVA: nella sezione sono riportate la valutazione qualitativa dell'acqua per uso idroponico, il riepilogo delle caratteristiche della soluzione nutritiva calcolata e la quantità di sali necessari alla preparazione delle soluzioni stock.

Sezione "IMPOSTAZIONI"

Il foglio si apre automaticamente su questa sezione. Si consiglia di adattare la visualizzazione alla dimensione dello schermo (15 o 17 pollici) cliccando sui pulsanti corrispondenti.

La sezione si divide nei seguenti punti.

Acquisizione analisi chimica dell'acqua irrigua

Inserire nelle caselle gialle i valori di concentrazione (in mg/L o ppm) dei vari elementi presenti nell'acqua irrigua utilizzata per la preparazione della soluzione nutritiva: HCO_3^- , N-NO_3^- , N-NH_4^+ , P, K, Ca, Mg, Na, Cl, Fe, S-SO_4^{2-} , B, Cu, Zn, Mn, Mo.

Nelle righe sottostanti, il foglio elettronico fornirà una valutazione dell'acqua per l'utilizzo idroponico: il giudizio potrà essere OK (valore basso) o ALTO (concentrazione elevata; potrebbe causare problemi di fitotossicità più o meno gravi).

Nel caso in cui il test, per uno o più elementi, fornisca un risultato "alto", occorre indagare ulteriormente sull'effettiva pericolosità dello ione per la coltura scelta.

Acquisizione dati fertirrigatore

Inserire il grado di concentrazione della soluzione madre desiderato. Sono ammessi solo valori compresi fra 1 e 1000. Tuttavia si consiglia di non superare il valore di 240 (possono verificarsi eventuali fenomeni di precipitazione da parte di alcuni sali): nella casella accanto, un test, avverte se detto valore è superato: "Ok" se inferiore al limite o "Rischi di precipitazione" se superiore.

Al fine di calcolare direttamente la quantità di fertilizzante da sciogliere nei contenitori della soluzione madre, il foglio elettronico richiede la capacità dei serbatoi, espressa in litri; è possibile inserire valori compresi fra 1 e 10000. Nel caso che si voglia procedere al calcolo di piccoli quantitativi di soluzione, si consiglia di inserire un grado di concentrazione fittizia delle soluzioni stock pari a 1000 e i litri da preparare, nella capacità dei contenitori: nella stampa della soluzione occorrerà ricordarsi che le quantità espresse in litri, kg o grammi saranno rispettivamente in mL, grammi o mg.

Scelta ricetta nutritiva

Scegliere la specie e lo stadio fenologico desiderato nella finestra a discesa. Se nella finestra non è contemplata la specie o lo stadio fenologico desiderato, inserire una propria ricetta dalla sezione "RICETTE NUTRITIVE".

Nelle ricette nutritive, non vengono di solito riportate le concentrazioni di Na e Cl ritenuti ioni non essenziali, mentre le concentrazioni di S-SO_4^{2-} devono essere considerate indicative; infatti, i sali

di questo elemento, sono quelli utilizzati, nel calcolo della soluzione nutritiva, per bilanciarla dal punto di vista elettro-chimico. Un test indicherà, per ogni elemento se il valore è troppo alto: nel caso, la modifica dovrà essere effettuata nella sezione ricette nutritive.

Successivamente, nel box "Scelta pH" selezionare il pH desiderato (*range* 4.8-7.0) cliccando sui pulsanti per aumentare o diminuire il valore.

Accanto al BOX "Scelta pH", il foglio elettronico calcolerà automaticamente la EC della soluzione nutritiva finale prevista in base all'acqua a disposizione e alla ricetta scelta.

Nel box "EC (mS/cm) desiderata" inserire un nuovo valore di EC solo se la EC prevista NON È ACCETTABILE per la coltura in esame. Il nuovo valore di EC, dovrà essere compreso fra quello dell'acqua e 12 mS/cm. Un apposito test segnalerà eventuali errori nella scelta di EC: ad esempio, "Valore di EC troppo simile a quello dell'acqua irrigua!" o "Valore di EC troppo elevato!", rispettivamente, quando la conducibilità impostata sarà inferiore di 0,5 mS/cm o superiore di 2,8 mS/cm rispetto a quella dell'acqua irrigua).

In base alla EC inserita, il foglio calcolerà, nelle righe sottostanti le nuove concentrazioni della soluzione nutritiva, tenendo conto dell'acqua di partenza. Sono riportati anche i valori in mM per i macronutrienti e in mM per i microelementi: se tali valori risulteranno troppo elevati rispetto alla concentrazione massima delle soluzioni nutritive, le celle assumeranno sfondo di colore rosso. In questo caso, occorrerà verificare se la ricetta risultante è adeguata per la coltura in esame. Se la composizione finale non è soddisfacente, si può modificare la ricetta iniziale nella sezione "RICETTE NUTRITIVE" o scegliere un nuovo valore di EC, dopo aver annullato la scelta precedente cliccando sull'apposito pulsante "ANNULLA SCELTA EC" posto accanto alla casella di inserimento.

Acquisizione dati relativi ai concimi (semplici o complessi) e agli acidi disponibili

In questa sezione sono pre-inseriti le concentrazioni dei sali e degli acidi a disposizione per la preparazione delle soluzioni. L'utente dovrà controllare la corrispondenza dei dati con quelli riportati in etichetta. Si ricorda che le percentuali riportate in etichetta di P, Ca, Mg e S sono espresse in una forma chimica differente da quella utilizzata per il calcolo in idroponica: il foglio elettronico procederà in automatico alla conversione da P_2O_5 a P, da K_2O a K, da MgO a Mg, da CaO a Ca, da SO_3 a S.

Inserire anche il costo dei singoli fertilizzanti,

espresso in Euro/kg o Euro/L, se si desidera avere informazioni sul costo totale della soluzione.

Nella parte "Acidi per la neutralizzazione", l'utente dovrà controllare se la percentuale e la densità degli acidi sono corrette. Eventuali informazioni sono riportate nei commenti associati alle celle contenenti le formule degli acidi.

Nella parte "Idrosolubili complessi", si possono inserire fino a quattro diversi idrosolubili complessi non contenenti Ca: in questo caso, l'utente deve tener presente che il calcolo di bilanciamento della soluzione dovrà essere fatto a tentativi e che un bilanciamento perfetto della soluzione nutritiva potrebbe essere impossibile.

Eventuali idrosolubili complessi contenenti Ca debbono essere inseriti nella sezione "sali contenenti calcio", in modo da ottenere una corretta suddivisione dei sali nei contenitori della soluzione madre.

Nella parte dei "microelementi" nelle prime due posizioni è possibile inserire miscele commerciali di microelementi: si ricorda che nel caso si utilizzino queste miscele, il corretto bilanciamento di tutti i microelementi potrebbe essere impossibile.

Infine, viene riportato il cloruro di sodio (NaCl) che talvolta è utilizzato per innalzare la EC (ad esempio, nelle colture di pomodoro-cherry).

Sezione "RICETTE NUTRITIVE"

Questa sezione presenta già circa 10 ricette memorizzate, relative alle principali specie floricole, ed è predisposto per memorizzare fino a 50 differenti ricette: l'utente può modificare le ricette presenti o inserirne di nuove nelle righe contenenti la dizione "zzRicetta". Una volta inseriti i dati richiesti per ogni elemento, si può effettuare l'ordinamento alfabetico in automatico, cliccando sul pulsante d'azione "Ordina".

Nella colonna S, un test in esecuzione automatica controlla che la somma dei cationi e degli anioni, espressi in milliequivalenti, sia simile (tolleranza ± 1 mEq); nel caso di un disequilibrio elettrico il test avverte se nella soluzione vi è un eccesso di anioni o di cationi.

ATTENZIONE: Nel caso si voglia salvare le ricette inserite, è necessario salvare il documento come modello, scegliendo da file il comando "salva con nome" e nel dialogo-box scegliere da "tipo di formato", "modello".

Sezione "CALCOLO"

In questa sezione si effettua il calcolo guidato della soluzione nutritiva.

Il foglio "Calcolo" deve essere visualizzato in due sottofinestre. Quella inferiore dovrà scorrere

con il procedere del calcolo, mentre la sottofinestra superiore, dovrà sempre visualizzare, le righe da 3 a 7 dove sono riportati in automatico:

- *la composizione dell'acqua irrigua* (riga 4);
- *la composizione della ricetta nutritiva scelta* (riga 5);
- *il totale della soluzione nutritiva* (riga 6) dove il foglio sommerà, per ciascun elemento, alla concentrazione già presente nell'acqua irrigua, tutti i contributi derivanti dalle quantità di acidi o concimi inseriti nelle righe sottostanti;
- *il delta* (ppm) (riga 7) dove sono riportate le differenze tra i valori della ricetta nutritiva e il totale soluzione. Il valore negativo indica che è necessario un apporto di concime contenente quell'elemento, mentre un valore positivo denota un'aggiunta eccessiva di un concime contenente quell'elemento. Quando il bilanciamento dell'elemento è raggiunto o pressoché raggiunto, la casella "DELTA" corrispondente all'elemento che si sta bilanciando, *passa automaticamente dal colore rosso a quello verde*.

Il calcolo della soluzione nutritiva *deve essere eseguito seguendo l'ordine logico proposto dal foglio stesso*, pena l'impossibilità di concludere con successo il bilanciamento.

Per ogni "punto" sono riportati diversi concimi o acidi contenenti l'elemento che si vuole bilanciare: il foglio elettronico, nella colonna "consiglio" (colonna C), fornirà l'esatta quantità del fertilizzante o acido da utilizzare per ottenere il completo soddisfacimento della quantità prevista nella ricetta nutritiva. L'utente può avvalersi o meno del consiglio riportando nella casella gialla "quantità" (colonna D) o lo stesso valore del consiglio o una quantità inferiore, nel caso voglia utilizzare diversi tipi di sali per apportare la quantità richiesta dell'elemento. A ogni inserimento, il foglio elettronico procederà automaticamente a un aggiornamento dei vari campi.

Al fine di agevolare l'utente, nelle sezioni "Neutralizzazione dei bicarbonati", "Bilanciamento del calcio", "dell'ammonio", "del fosforo", "del magnesio", "del potassio", accanto alla corrispondente scritta, è stato inserito un test che indicherà, assumendo colore verde e mostrando la scritta "bilanciamento corretto", che la fase di calcolo del punto in questione è terminata.

Neutralizzazione dei bicarbonati (riga 9)

In questo punto si calcola la quantità di acido necessario per neutralizzare i bicarbonati presenti nell'acqua irrigua e tenere, così, il pH desiderato. Il foglio fornisce, per i principali acidi utilizzabili, il

volume necessario per la neutralizzazione: si possono anche utilizzare miscele di acidi. Normalmente si utilizza acido nitrico, ma nel caso di acque molto alcaline, è conveniente utilizzare anche dell'acido solforico, per evitare che buona parte della quantità di azoto totale sia fornita esclusivamente dall'acido, con conseguenti problemi di bilanciamento.

Se si utilizza acido fosforico occorre porre attenzione a non superare la quantità di fosforo richiesta dalla ricetta nutritiva. Al raggiungimento della neutralizzazione dei bicarbonato prevista per il valore di pH desiderato, la cella relativa mostrerà la scritta "Neutralizzazione corretta" su color verde.

Idrosolubili complessi (riga 17)

Qui si inseriscono le quantità di eventuali idrosolubili complessi. Difficilmente con uno o più idrosolubili si riesce a bilanciare in maniera corretta tutti gli elementi.

Il foglio, nella colonna "consiglio", indica la quantità di idrosolubile da aggiungere per soddisfare il bilanciamento del fosforo, in quanto, nella maggior parte degli idrosolubili e delle ricette, è l'elemento presente in minor quantità. Quindi, nell'operazione di bilanciamento occorre procedere a tentativi, immettendo una certa quantità e ricontrollando i delta rispetto ai valori desiderati.

Nella scelta degli idrosolubili, occorre fare attenzione anche alla quantità di ammonio e di urea presente in questi fertilizzanti che potrebbero, in certi sistemi idroponici e in condizioni di alte temperature, creare problemi di fitotossicità.

Se necessario, il bilanciamento completo della soluzione potrà essere raggiunto con l'uso di uno o più sali semplici.

Calcio (riga 22)

Il calcio viene apportato solo con il nitrato di calcio: solo in casi ove occorra apportare poco azoto si ricorre all'uso del cloruro di calcio, in quanto l'anione di questo sale è un elemento potenzialmente tossico per la pianta.

Ammonio (riga 27)

Il concime di solito utilizzato è il nitrato ammonico. Può accadere che con acque poco alcaline (basso contenuto in bicarbonato) la quantità di ammonio immesso come impurità presente nel nitrato di calcio potrebbe essere più elevata della quantità prevista. Un'eccessiva concentrazione di azoto ammoniacale deve essere attentamente valutata in funzione della specie, del periodo climatico e soprattutto del tipo di coltivazione utilizzato (se in substrato o idroponica pura).

Fosforo (riga 32)

Il concime più utilizzato è il fosfato monopotassico. Eventuali eccessi potrebbero derivare dall'uso eccessivo di acido fosforico o di idrosolubili con elevate percentuali di fosforo.

Magnesio (riga 35)

Per apportare magnesio si utilizza il solfato o il nitrato di magnesio sulla base delle seguenti considerazioni:

- il costo del solfato è inferiore a quello del nitrato;
- se l'acqua contiene pochi bicarbonati o se la ricetta nutritiva prevede alti contenuti di azoto nitrico, è preferibile utilizzare il nitrato.
- se la ricetta prevede basse quantità di nitrati e alte di potassio, conviene utilizzare il solfato; così facendo si apporterà una maggiore quantità di nitrato di potassio e una minore di solfato di potassio, facilitando lo scioglimento dei sali.

Prima di decidere il tipo di sale da utilizzare è bene controllare anche il punto successivo relativo al bilanciamento del nitrato. Infatti, se appare già la scritta in campo rosso "abbassare la quantità di nitrato di magnesio", la scelta del solfato di magnesio diviene obbligata.

Azoto nitrico (riga 39)

Il bilanciamento del nitrato, si effettua con il nitrato di potassio, unico sale che a questo punto non apporta altri elementi già bilanciati. Se il foglio di calcolo segnala un eccesso di questo elemento, occorre controllare ed eventualmente diminuire la quantità di acido nitrico, di idrosolubili o sostituire il nitrato di magnesio con il solfato di magnesio.

Potassio (riga 42)

Per il potassio si usa normalmente il solfato di potassio, il nitrato di potassio (vedi sopra) o il cloruro di potassio, se la concentrazione di solfati è già particolarmente elevata.

In caso di eccesso di solfati verificare la quantità usata di idrosolubili o di acido solforico (per neutralizzare i bicarbonati); eventualmente occorre usare altri sali e/o acidi.

Ferro (riga 46)

Il ferro è apportato solitamente sotto forma di chelato. La scelta della molecola chelante dipende principalmente dal costo e dal range di pH entro il quale è assicurata la assimilabilità. Un eventuale eccesso di ferro può derivare dal contenuto elevato di alcuni idrosolubili complessi.

Microelementi (riga 51)

Bilanciare i vari microelementi aiutandosi con il consiglio (fornito solo per i composti contenenti un solo microelemento), fino a ottenere il colore verde nella casella del consiglio. Si possono utilizzare sia i chelati sia i sali semplici (meno costosi) in base a considerazioni economiche, al tipo di substrato a disposizione e al fabbisogno della specie coltivata.

Nel caso dell'uso di miscele commerciali di microelementi, occorre procedere per tentativi fino a che le quantità dei microelementi non assumono valori vicini a quelli impostati dalla ricetta. Occorre ricordare che una corrispondenza perfetta tra la composizione nominale e quella effettiva della soluzione nutritiva, è assai difficile quando si usino miscele di microelementi; in questo caso, occorre integrare la miscela con uno o più sali singoli di microelementi.

Sodio (riga 65)

Per alcune soluzioni nutritive, per aumentare EC, si ricorre all'uso di cloruro di sodio. In questa sezione è possibile calcolare la quantità di cloruro di sodio per bilanciare la quantità di sodio presente nella ricetta prescelta.

Terminato il bilanciamento di tutti gli elementi nutritivi, per ognuno di essi nella riga 7, deve apparire il colore verde, segnale del bilanciamento corretto. Se così non è, occorre ricontrollare le quantità di sali e acidi immessi.

I risultati del calcolo, con la suddivisione dei concimi nei vari contenitori delle soluzioni madri A e B, saranno riportati automaticamente nella sezione "Stampa soluzione"*.

Sezione "STAMPA SOLUZIONE"

In questa sezione sono riportati i risultati della valutazione dell'acqua irrigua per uso idroponico, la ricetta scelta e il calcolo della soluzione nutritiva con la suddivisione dei concimi nei vari contenitori di soluzione madre. Nel caso che l'impianto non sia predisposto con una pompa dosatrice per l'acido, questo può essere posto nel contenitore B.

Nel caso in cui non si usi un dosatore dell'acido controllato da sonda di pH, è bene controllare il valore del pH della soluzione nutritiva al gocciolatore ed eventualmente aggiustare per tentativi la concentrazione di acido nel contenitore fino ad arrivare al pH desiderato nella soluzione nutritiva.

Nel caso di aggiunta di acido nel contenitore B, occorre porre eventuali microelementi chelati nel contenitore A, per evitare che il pH troppo basso distrugga la struttura chimica del composto chelato.

Bibliografia

1. ENZO M., GIAQUINTO G., LAZZERIN R., PIMPINI F., SAMBO P. (2001). *Principi tecnico-agronomici della fertirrigazione e del fuori suolo*. Veneto Agricoltura.
2. FAO (1990). *Soiless culture for horticultural crop production*. Plant production and protection paper n. 101.
3. PESCOD M.B. (1992). *Wasterwater treatment and use in agriculture*. FAO, Irrigation and drainage paper n° 47.
4. SOGNI S. (1990). *La salinità delle acque di irrigazione*. L'Informatore Agrario (20), 37-46.
5. SONNEVELD C., VOOGT W., SPAANS L. (1999). *An universal algorithm for calculation of nutrient solutions*. Acta Horticulturae 481, 331-339.

* Il foglio di calcolo fornisce comunque un risultato nel foglio "Stampa soluzione" per cui prima di procedere alla stampa si deve essere sicuri che nella riga 7 non vi siano caselle di colore rosso.

Glossario

Accuratezza: lo scostamento fra il valore medio delle letture di uno strumento di misura e il valore vero.

Acido: un composto chimico che si dissocia in soluzione acquosa producendo ioni idrogeno H^+ .

Acqua di riserva (tampone idrico): differenza tra il contenuto idrico presente in substrato alla tensione di -5 kPa e quello a -10 kPa.

Acqua disponibile: rappresenta la capacità di un substrato di immagazzinare acqua utilizzabile dalle piante, è la differenza tra il contenuto idrico a -1 kPa e quello a -10 kPa; in un terreno, è la quantità di acqua compresa fra la capacità di campo e il punto di appassimento.

Acqua facilmente disponibile: indica l'acqua che le piante possono assorbire senza fatica dal terreno o dal substrato; in un substrato, è la differenza tra il contenuto idrico a -1 kPa e quello a -5 kPa; nel terreno è la quantità di acqua compresa tra il punto critico culturale e la capacità di campo.

Acqua non disponibile: in un substrato, è il contenuto idrico a -30 kPa.

Acque di riciclo: acque raccolte dai piazzali di coltivazione (acqua non intercettata dalle colture, pioggia, percolazione dai contenitori)

Acque inquinate: acque dolci superficiali (in particolare quelle destinate ad acqua potabile) o acque sotterranee con concentrazioni superiori a 50 mg/L di NO_3^- (nitrati), o che potrebbero raggiungere tali concentrazioni se non si interviene con appositi piani d'azione.

Acque reflue: acque precedentemente utilizzate in altri settori che, in seguito a particolari trattamenti, possono essere impiegate per l'irrigazione in vivaio. *Acque reflue domestiche:* le acque reflue provenienti da insediamenti di tipo residenziale e da servizi e derivanti prevalentemente dal metabolismo umano e da attività domestiche. *Acque reflue industriali:* qualsiasi tipo di acque reflue scaricate da edifici o

installazioni in cui si svolgono attività commerciali o di produzione di beni, diverse dalle acque reflue domestiche e dalle acque meteoriche di dilavamento.

Acque reflue urbane: le acque reflue domestiche o il miscuglio di acque reflue domestiche, di acque reflue industriali, ovvero meteoriche di dilavamento convogliate in reti fognarie, anche separate, e provenienti da agglomerato.

Aeroponica: tecnica di coltivazione fuori suolo caratterizzata dal fatto che le radici sono sospese in aria, senza substrato, su cui viene spruzzata della soluzione nutritiva.

Alcalinità: concentrazione (equivalente) di ioni carbonato e bicarbonato; determina il pH dell'acqua di irrigazione o di fertirrigazione e la quantità di acido necessaria alla sua correzione (acidificazione).

Ammendante o correttivo: qualsiasi sostanza, naturale o sintetica, minerale o organica, capace di migliorare le proprietà e le caratteristiche chimiche, fisiche, biologiche e meccaniche di un terreno.

Antagonismo (competizione) nutritivo o ionico: fenomeno per il quale, un'eccessiva concentrazione di un elemento nutritivo (ione) nel mezzo di crescita inibisce o riduce l'assorbimento di un altro elemento nutritivo (ione).

Bacino di prima raccolta o di sedimentazione: invaso all'interno del vivaio utilizzata per raccogliere l'acqua percolata (runoff) e/o quella piovana.

Base: un composto chimico che in soluzione acquosa si dissocia producendo ioni OH^- o si lega a H^+ , diminuendo così la loro concentrazione e alzando il pH.

Buone pratiche agronomiche (BMP o Best Management Practices): le procedure, attività, regolamenti, divieti, e tutte le pratiche culturali conosciute per essere le più efficaci e tecnicamente realizzabili per prevenire lo scarico di inquinanti d'origine agricola nell'atmosfera o nell'acqua.

Capacità di campo (capacità idrica capillare): quantità di acqua trattenuta, in un terreno in buone condizioni di drenaggio, dopo che l'acqua è percolata liberamente per effetto della gravità e resta solo l'acqua d'imbibizione capillare a occupare i micropori. Questo valore è generalmente espresso come grammi di acqua/grammi di suolo.

Capacità idrica di contenitore: la quantità d'acqua che un sistema substrato-contenitore trattiene dopo un'irrigazione fino a saturazione e successivo drenaggio (sgocciolamento); equivale alla capacità di campo nel terreno.

Capacità per l'acqua: è la quantità d'acqua contenuta in un substrato dopo lo sgocciolamento dovuto alla forza di gravità; si determina applicando una forza di suzione pari a -1kPa .

Capacità per l'aria: contenuto volumetrico della fase gassosa in substrato misurata alla tensione di -1kPa .

Capillarità o risalita capillare: il movimento dell'acqua attraverso la microporosità del terreno o del substrato dovuta alla forza di attrazione capillare.

Carbonati (CO_3^{2-}) e bicarbonati (HCO_3^-): presenti normalmente nell'acqua irrigua in diversa concentrazione, responsabili dell'alcalinità dell'acqua stessa. Vengono neutralizzati mediante l'aggiunta di acidi.

Carenza o deficienza: fenomeno provocato dall'insufficiente concentrazione di un elemento nutritivo nel mezzo di crescita o da un'insufficiente assorbimento da parte della pianta.

Chelato: molecola organica utilizzata per legare i microelementi e assicurarne una maggiore solubilità anche a valori non ottimali del pH.

Classe di precisione: vedi Precisione.

Clorazione: trattamento alle acque di recupero con l'iniezione di cloro gassoso, di acido ipocloroso o di ipoclorito di sodio o potassio per l'eliminazione di eventuali patogeni presenti in queste.

Codice di Buona Pratica Agricola: un insieme di norme per una gestione delle colture che consenta di non avere eccessi di nutrienti dispersi nel suolo. Il codice è derivato dalla Direttiva Nitrati ed è stato emanato in Italia con decreto ministeriale il 19 aprile 1999. La Regione Toscana, nell'ambito del Piano di Sviluppo Rurale, ha adottato le proprie "buone pratiche agricole".

Coefficiente culturale (Kc): il rapporto, determinato attraverso opportune prove sperimentali, tra l'evapotraspirazione effettiva e quella di riferimento o potenziale; quest'ultima è l'evapotraspirazione della coltura in condizioni ottimali, ovvero senza fallanze, priva di manifestazioni patologiche, ben rifornita di acqua e di elementi della fertilità.

Coefficiente di uniformità di Christiansen (CU): parametro comunemente usato per la valutazione

dell'uniformità di distribuzione in impianti di irrigazione a pioggia; è definito in termini percentuali dal complemento all'intero del valore medio degli scarti assoluti fra l'intensità di applicazione media e quella effettivamente rilevata nei vari punti dell'area irrigata.

Coltura fuori suolo: sistema di coltivazione caratterizzato dal fatto di non utilizzare il terreno.

Concentrazione (apparente) di assorbimento: rapporto tra la quantità di nutrienti e di acqua assorbiti dalla coltura.

Concime complesso: concime composto, ottenuto per reazione chimica, per soluzione o allo stato solido per granulazione, per il quale sia dichiarabile il titolo di almeno due degli elementi nutritivi principali. Per i concimi di questo tipo allo stato solido ogni granello contiene tutti gli elementi nutritivi nella loro composizione dichiarata.

Concime composto: concime per il quale siano dichiarabili i titoli di almeno due elementi nutritivi principali e che è stato ottenuto per via chimica o per miscelazione, ovvero mediante una combinazione di questi due metodi.

Concime minerale: concime nel quale gli elementi nutritivi dichiarati sono presenti sotto forma di composti minerali ottenuti mediante estrazione o processi fisici e/o chimici industriali.

Concime ottenuto da miscelazione: concime composto ottenuto per miscelazione a secco, senza che si producano reazioni chimiche. Ogni granello non contiene gli elementi nutritivi nella composizione dichiarata.

Concime semplice: concime per il quale sia dichiarabile il titolo di un solo elemento nutritivo principale.

Concime: sostanza naturale o di sintesi, minerale o organica, idonea a fornire alle colture elementi chimici principali necessari per lo svolgimento del loro ciclo vegetativo e produttivo.

Concimi a lento rilascio (cessione) (FRL): concimi in cui la cessione dell'elemento è possibile solo grazie ad attacco microbico, a lenta solubilizzazione o reazione chimica: sono caratterizzati dal fatto che il tempo di rilascio non è prevedibile con precisione perché soggetto a fattori climatici e biologici.

Concimi a rilascio (cessione) controllato (FRC): sono concimi a lento effetto in cui gli elementi nutritivi sono incapsulati in speciali membrane sintetiche capaci di controllarne la solubilità. In questo caso la solubilità è dovuta a fattori abbastanza controllabili.

Concimi idrosolubili: sono tutti quei concimi caratterizzati da una elevata solubilità e con bassissimo tenore di solidi non solubili in acqua. Sono più costosi, ma indispensabili nella fertirrigazione.

Conducibilità elettrica (EC): rappresenta la capacità di una soluzione di condurre la corrente elettrica, ed è

- il reciproco della resistività. È correlata alla quantità totale di anioni e cationi presenti in una soluzione. Si misura in deciSiemens/m ($1 \text{ mS/cm} = 1 \text{ dS/m} = 1 \text{ mS/cm} = 1000 \text{ }\mu\text{S/cm}$).
- Conducibilità idraulica:** esprime la predisposizione del mezzo di coltura (terreno o substrato) a trasmettere l'acqua da un punto a un altro al variare del contenuto di umidità e del gradiente di potenziale presente.
- Conducimetro o conduttimetro:** strumento per la misura della conducibilità elettrica di una soluzione.
- Consumo (o fabbisogno) idrico:** coincide praticamente con l'evapotraspirazione effettiva della coltura (ETE), dato che nelle piante l'acqua costituzionale è relativamente insignificante rispetto a quella traspirata.
- Controllo biologico:** metodo per il controllo di patogeni e parassiti mediante l'uso di organismi viventi.
- Costante di tempo:** vedi Prontezza.
- Curva di ritenzione idrica:** esprime la relazione esistente tra il potenziale idrico nel substrato (detto potenziale matriciale, dal termine 'matrice' che sta a indicare il materiale poroso dove l'acqua si accumula) e il contenuto di liquido stesso presente nel mezzo poroso, in genere espresso come rapporto percentuale volumetrico.
- Deficit di pressione di vapore (VPD):** differenza fra la pressione di vapore saturo alla temperatura considerata e la pressione di vapore reale. Indica il 'grado di secchezza' dell'atmosfera.
- Densità apparente di laboratorio (peso specifico apparente di laboratorio):** è il peso per unità di volume apparente di substrato, inteso come volume dei solidi e degli spazi porosi, così come pervenuto in laboratorio.
- Densità apparente:** vedi peso specifico apparente.
- Deriva:** la variazione, nel tempo, del segnale fornito da uno strumento di misura quando la grandezza fisica a cui esso è sensibile rimane costante.
- Desalinizzazione:** tecnica che permette di eliminare o ridurre i sali presenti in un'acqua irrigua. Si effettua tramite resine scambiatrici, che adsorbono i cationi e gli anioni presenti, o tramite osmosi inversa.
- Durezza:** la somma delle concentrazioni di Ca e Mg.
- Ebb-and-flow:** termine inglese per indicare l'irrigazione a flusso e riflusso.
- Efficienza idrica (d'adattamento):** la percentuale dell'acqua somministrata che rimane immagazzinata nel terreno, ed è usufruibile dalla coltura.
- Elementi nutritivi principali:** azoto, fosforo, potassio.
- Elementi nutritivi secondari:** calcio, magnesio, sodio e zolfo.
- Elettrodo ionoselettivo:** sensore per la determinazione della concentrazione di uno ione specifico in una soluzione acquosa.
- Errore di quantizzazione:** vedi Risoluzione.
- Estratto acquoso (metodo dell):** protocollo per l'analisi rapida del terreno o dei substrati.
- Evaporimetro o vasca evaporimetrica:** vasca per la registrazione manuale o automatica dell'evapotraspirazione.
- Evapotraspirazione effettiva (ETE):** È l'acqua realmente consumata dalla coltura, in determinato periodo di tempo, per soddisfare i processi di traspirazione delle piante e di evaporazione dalla superficie del terreno e delle stesse piante. È funzione del clima, delle condizioni colturali e dello stadio di sviluppo della coltura.
- Evapotraspirazione potenziale (ETP) o di riferimento (ET₀):** rappresenta l'evapotraspirazione di una coltura standard costituita da un prato di estesa superficie, in fase attiva di accrescimento, privo di manifestazioni patologiche, ben rifornito di acqua e di elementi della fertilità e costituisce pertanto un parametro di misura della domanda evapotraspirativa dell'atmosfera. L'ET₀ rappresenta la domanda evapotraspirativa da parte dell'atmosfera, determinata dalle condizioni meteorologiche.
- Fabbisogno irriguo:** differenza fra evapotraspirazione effettiva della coltura e apporti idrici naturali, principalmente costituiti dalle piogge utili e da eventuali risalite capillari da falde superficiali.
- Fasce inerbite:** sponde dei fossi di prima raccolta nelle quali vengono piantate essenze erbacee perenni e/o arbusti in grado di rallentare la velocità di deflusso del runoff e di effettuare una prima intercettazione del sedimento presente e dei nutrienti in esso contenuti.
- Fedeltà o Ripetitività:** dispersione dei valori rilevati da uno strumento di misura, ripetendo più volte una stessa misura, intorno al loro valore medio. La fedeltà di uno strumento dà una indicazione dell'immunità da questo agli errori accidentali.
- Fertilizzante:** sostanza che contribuisce al miglioramento della fertilità del terreno o al nutrimento delle specie vegetali.
- Fertirrigazione:** tecnica con cui si effettua la distribuzione dei nutrienti necessari alla crescita della pianta insieme all'acqua di irrigazione.
- Filtrazione lenta su sabbia:** tecnica di disinfezione delle soluzioni reflue che si basa sul passaggio di queste attraverso un filtro di sabbia a una velocità di 100-300 litri per ora per metro quadro di superficie del filtro.
- Floating system (coltura galleggiante):** tecnica di coltivazione fuori suolo in cui le piante galleggiano su una soluzione nutritiva grazie a dei pannelli ultraleggeri (polistirolo).
- Flusso e riflusso:** tecnica di irrigazione delle piante in vaso che consiste nell'allagare l'area di coltivazione

- con soluzione nutritiva o acqua, con successivo prosciugamento e recupero dell'acqua residua.
- Fotometro:** strumento con cui si determina la concentrazione di una soluzione sulla base dell'assorbimento della radiazione che la attraversa.
- Fotosintesi:** processo mediante il quale, a partire da anidride carbonica e acqua (in casi particolari, altri composti) e con l'utilizzazione della luce solare quale fonte di energia, vengono prodotti glucosio e ossigeno.
- Frazione di lisciviazione:** percentuale di acqua rispetto a quella fornita che deve essere persa dal substrato per allontanare gli eccessi di sali che si sono accumulati nel terreno o nel substrato in seguito all'irrigazione o alla fertilizzazione.
- Gamma di misura o range:** è l'intervallo dei valori d'ingresso entro cui uno strumento di misura dà un'indicazione, in altre parole è la differenza tra il valore di span e lo zero.
- Granulometria (o distribuzione granulometrica):** composizione di un substrato rispetto alle dimensioni delle particelle costituenti.
- Idroponica (coltura fuori suolo):** particolare gruppo di sistemi di coltivazione fuori suolo caratterizzati dal fatto di non avere nessun tipo di substrato a sostegno delle radici; comprende la tecnica del floating system, del NFT e della aeroponica.
- Intensità di adacquamento o di applicazione irrigua:** volume mediamente erogato dall'impianto d'irrigazione, per unità di superficie, nell'unità di tempo, espresso in mm/ora ($L/m^2 \cdot ora$).
- Ione:** particella dotata di carica elettrica, data da un atomo o una molecola che abbia perso o acquistato uno o più elettroni; nel primo caso lo ione ha carica positiva ed è detto catione, nel secondo ha carica negativa e viene chiamato anione.
- Irrigazione ciclica:** metodo di controllo dell'irrigazione che prevede la suddivisione dell'irrigazione giornaliera in più interventi.
- Irrigazione:** apporto artificiale d'acqua al sistema suolo-piante-atmosfera per migliorarne l'attitudine alla produzione vegetale e aumentarne la redditività.
- Isteresi:** per uno strumento di misura, è determinata dal fatto che la caratteristica di funzionamento rilevata per valori crescenti della grandezza in ingresso, non coincide con quella rilevata per valori decrescenti. L'isteresi viene quantificata come rapporto percentuale tra il massimo scostamento fra le due curve di risposta (ottenute per variazioni dell'ingresso dallo zero allo span e dallo *span* allo *zero*) e il *range* dello strumento
- Kit:** confezione contenente tutta l'attrezzatura necessaria per eseguire una determinata analisi chimica.
- Linearità:** indica di quanto la curva di risposta di uno strumento di misura (valore in ingresso - valore indicato) si avvicina alla caratteristica ideale che è una retta a 45°. La linearità è tanto maggiore quanto minore è il numero che la rappresenta.
- Macroelementi:** elementi primari per la nutrizione delle piante (N, P, K, Ca, Mg, S).
- Metodo Kjeldahl:** metodo analitico per la determinazione dell'azoto organico e ammoniacale.
- Microelementi:** elementi minori per la produzione delle piante, richiesti in minori quantità (B, Mn, Zn, Cu, Mo, Fe ecc.).
- Microirrigazione:** particolare metodo di irrigazione a bassa pressione e portata (detta anche irrigazione localizzata), può essere a goccia o a sorsi.
- Nutrient Film Technique o NFT:** tecnica di coltivazione fuori suolo in cui la radice cresce in una canaletta, in cui scorre un sottile film di soluzione nutritiva.
- Orario o durata dell'adacquamento:** tempo necessario per effettuare un adacquamento, ovvero tempo necessario per erogare il volume di adacquamento lordo.
- Osmosi inversa:** tecnica di desalinizzazione dell'acqua che si basa sul principio dell'osmosi: l'acqua da purificare viene pressurizzata e fatta passare attraverso una membrana semipermeabile, che fa passare l'acqua ma non i soluti.
- Ozonizzazione:** trattamento delle acque di recupero con ozono per l'eliminazione dei patogeni presenti.
- Percolato indotto (metodo del):** protocollo per l'analisi rapida dei substrati.
- Percolato:** acqua derivata dal passaggio lento attraverso il substrato, potenzialmente contenente nutrienti, sostanze antiparassitarie e diserbanti, che viene raccolta e convogliata nei fossetti di raccolta.
- Permeabilità o velocità di infiltrazione del suolo saturo:** indica la dose di acqua in "mm" (litri/m²) che riesce a infiltrarsi, ogni ora, in un terreno saturo, senza generare ristagni.
- Peso atomico:** grandezza fisica che esprime la massa media degli atomi di un determinato elemento chimico. L'unità di misura del peso atomico riconosciuta dal Sistema Internazionale è l'*uma* (unità di massa atomica), definita come la dodicesima parte della massa dell'isotopo 12 del carbonio.
- Peso equivalente:** si ottiene dividendo il peso atomico o molecolare di uno ione o di una molecola per la sua valenza (numero di cariche elettriche).
- Peso formula:** vedi peso molecolare.
- Peso molecolare:** massa di una molecola espressa in *uma*. Nel caso dei sali, composti non formati da molecole, ma da legami ionici, è più corretto parlare di *peso formula* anziché di peso molecolare.

Peso specifico apparente (o densità apparente): è il rapporto fra il peso del terreno e del substrato essiccato (in stufa a temperatura di 105°C) e il volume, comprensivo di micro e macropori, occupato al momento del prelievo.

pH: logaritmo negativo della concentrazione idrogenionica ($\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$).

pHmetro: strumento per la misura del pH di una soluzione.

Plug: cella dei contenitori alveolari normalmente utilizzati nel vivaismo per la produzione di semenzali e talee radicate.

Porosità: la porosità totale indica, per un determinato volume di substrato, il volume degli spazi vuoti ed è definita come la differenza fra l'unità e il volume totale occupato dalla materia solida. La porosità è costituita dalla somma di due classi di dimensioni di pori: i micropori (i pori di dimensioni inferiori ai 30-50 micron) e i macropori. La microporosità è responsabile dei fenomeni di capillarità e del trattamento 'stabile' dell'acqua dopo drenaggio. La macroporosità è detta anche *porosità libera* in quanto è normalmente occupata dall'aria.

Portata (I) (o valore di fondo scala o span): è il valore massimo della grandezza che uno strumento può misurare.

Portata (II): nella meccanica dei fluidi, la portata di una corrente è definita come la quantità di liquido che transita attraverso una sezione trasversale nell'unità di tempo; nel campo dell'irrigazione, la portata è il volume d'acqua erogato nell'unità di tempo.

Potenziale idrico (Ψ_w): è l'energia potenziale dell'acqua per unità di massa; se il contenuto idrico ci dice quanta acqua è contenuta da un certo materiale (terreno, substrato, tessuto vegetale), il potenziale idrico ci dice quanto di questa è disponibile; in altre parole, Ψ_w esprime il lavoro necessario per estrarre una quantità unitaria d'acqua ritenuta dal sistema. Il potenziale idrico comprende tre diversi componenti: p. matriciale (Ψ_m), p. gravitazionale (Ψ_g), legato alla forza di gravità; p. osmotico (Ψ_o), determinato dal contenuto delle sostanze disciolte (in genere trascurabile nei substrati di coltura). Si ha potenziale zero teorico su una superficie libera di acqua distillata; in pratica si assume potenziale uguale a zero quello di un terreno completamente saturo di acqua. Tanto più basso è il potenziale idrico (maggiore il suo valore assoluto), minore è il contenuto idrico del sistema in esame.

Potenziale matriciale: il potenziale idrico matriciale determina la suzione necessaria per estrarre l'acqua dal terreno (quindi la tensione necessaria alla radice per assorbire l'acqua).

Potenziale osmotico: È la componente del potenziale matriciale dovuta alla presenza di soluti.

Pour-trough: vedi metodo del percolato indotto.

Precisione - Classe di precisione: la precisione è l'errore assoluto massimo che lo strumento può compiere. In pratica, è la differenza fra il valore misurato e quello vero. La precisione viene fornita dal costruttore; essa consente di accettare come valore di una misura il singolo valore letto, associando a esso l'incertezza del numero che rappresenta la precisione stessa. Per gli strumenti analogici, molto spesso non viene data la precisione ma la *Classe di Precisione*, come rapporto percentuale fra la precisione definita prima e il *Range* dello strumento.

Pressione o tensione di vapore: è la pressione parziale effettivamente esercitata dal vapore acqueo presente nell'aria in una certa situazione. Il vapore acqueo, cioè l'acqua nello stato aeriforme, esercita una pressione come ogni altro gas; si misura in Pascal, millibar o in una qualsiasi altra unità di misura di pressione.

Pressione osmotica: per una soluzione nutritiva corrisponde al potenziale osmotico (negativo), cambiato di segno; in un sistema di desalinizzazione a osmosi inversa, corrisponde alla 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.

Produzione integrata: è una tecnica di produzione agricola che riduce gli input chimici allo stretto necessario, cercando di integrare la lotta chimica con altri mezzi (agronomici, genetici, fisici, biologici...), e regolando il numero massimo di trattamenti consentito, i principi attivi ammessi, i criteri e le soglie di intervento chimico.

Programmi d'azione nelle zone vulnerabili: sono piani contenenti misure restrittive per gli agricoltori (periodi in cui non possono applicare fertilizzanti, modalità di applicazione...) volti a risanare le zone vulnerabili da nitrati di origine agricola.

Prontezza o tempo di risposta - costante di tempo: è il tempo, t_r , impiegato dallo strumento per indicare il 90% della variazione della grandezza al suo ingresso e dà un'indicazione della velocità con cui uno strumento di misura può fornire il risultato della misura. La prontezza è tanto maggiore quanto minore è il numero che la rappresenta. Per i sensori più spesso, invece del tempo di risposta, si parla di *Costante di tempo*; questa è il tempo necessario al sensore per rilevare il 63% di una variazione brusca tra due livelli del misurando.

Punto critico colturale: contenuto limite di umidità nel terreno tipico per ogni cultivar, oltre il quale è consigliabile non scendere. Assume valori sempre

superiori al punto di appassimento ed è spesso espresso in percentuale dell'acqua disponibile.

Punto di appassimento permanente: contenuto limite di acqua nel suolo oltre il quale la maggior parte delle piante non sono più in grado di assorbire l'acqua in quantità sufficiente e subiscono pertanto il danneggiamento permanente dei tessuti vegetali. Questo valore è generalmente espresso in peso, come grammi di acqua/grammi di suolo.

Resina a scambio ionico: sostanza in grado di scambiare ioni con una soluzione acquosa; è utilizzata negli impianti di deionizzazione o negli addolcitori (in questo caso, il calcio viene scambiato con il sodio o il potassio); in idrocoltura, particolare sostanza usata per fornire elementi nutritivi alla pianta (sono scambiati con gli ioni dell'acqua irrigua).

Riflettometro: strumento utilizzato per la misura della concentrazione di vari anioni e cationi in soluzioni acquose di suolo, calibrato direttamente in campo tramite un semplice sistema basato su codici a barre.

Risoluzione - errore di quantizzazione: la risoluzione è legata alla più piccola variazione del segnale che può essere apprezzata da uno strumento di misura. Il valore di questa minima variazione necessario a produrre una variazione del valore indicato prende il nome di errore di quantizzazione (δ). Il rapporto tra l'errore di quantizzazione δ e il range dello strumento prende il nome di risoluzione (R) e di solito è espressa in percentuale. Nella pratica è invalso l'uso di chiamare risoluzione l'errore di quantizzazione, ma ciò non deve portare a fraintendimenti perché la risoluzione è un numero puro (adimensionale); invece, l'errore di quantizzazione ha le dimensioni della grandezza misurata.

Ruscamento o runoff: la porzione di acqua piovana o irrigua di un'area che fuoriesce da essa. Il runoff che è perso senza passare dal suolo è chiamato runoff superficiale; quello che, invece, penetra nel suolo è chiamata runoff profondo (*drainage* o *seepage*). Il runoff è generalmente causa di erosione e trasporto di particelle di terreno fertile verso la rete superficiale di scolo.

Sali semplici per fertirrigazione: sali inorganici molto solubili usati per la preparazione delle soluzioni nutritive.

SAR: *Sodium Absorption Ratio* o rapporto di assorbimento del sodio.

Sensibilità: è il rapporto tra la variazione di grandezza di uscita e la corrispondente variazione di ingresso.

Sensore: dispositivo in grado di rivelare la presenza di un segnale (concentrazione ionica, temperatura, conducibilità elettrica...).

Sinergismo nutritivo o ionico: fenomeno per il quale la presenza di un elemento nutritivo (ione) nel mezzo di crescita stimola l'assorbimento di un altro elemento nutritivo (ione).

Soglia o valore di inizio scala o zero: è il più basso livello di segnale rilevato da uno strumento di misura, che non sempre coincide col valore nullo della grandezza da misurare.

Soluzione nutritiva: soluzione acquosa di sali minerali con una determinata concentrazione di nutrienti e di pH utilizzata per la fertirrigazione.

Soluzione-madre (stock): soluzione di nutrienti particolarmente concentrata; una sua diluizione con l'acqua irrigua permette di ottenere la soluzione nutritiva da somministrare alla coltura.

Spettrofotometria (spettrometria): tecnica analitica basata sull'assorbimento selettivo da parte di molecole (eventualmente ionizzate) delle radiazioni con lunghezza d'onda compresa tra 10 nm e 780 nm.

Stabilità: la stabilità è la proprietà di uno strumento o di un sensore di conservare nel tempo le proprie caratteristiche; si distingue in stabilità a breve termine (se riferita a intervalli di tempo dell'ordine dell'ora) e stabilità a lungo termine (se riferita a intervalli di settimane o mesi). Questo parametro dà un'indicazione di quanto frequenti devono essere le ricalibrature dello strumento.

Stoma: aperture sulla superficie fogliare che permettono il passaggio di acqua e gas (quali CO_2 e O_2) fra i tessuti interni della foglia e l'atmosfera.

Subirrigazione: particolare sistema di irrigazione largamente impiegato per la vasetteria; nella subirrigazione l'acqua entra dalla parte basale dei vasi e si muove, per capillarità, secondo un flusso pressoché unidirezionale dal basso verso l'alto.

Tappetino capillare: particolare sistema di subirrigazione utilizzato per piante in vaso.

Temperatura di bulbo secco: è l'effettiva temperatura dell'aria, misurata con un termometro normale.

Temperatura di bulbo umido: è la più bassa temperatura che si può ottenere per evaporazione di acqua nell'aria a pressione costante. Il nome deriva dalla tecnica di porre un pezzo di garza bagnato sul bulbo di un termometro a mercurio e di soffiare aria sul rivestimento per favorire l'evaporazione. La temperatura di bulbo umido e la temperatura di bulbo secco, determinate contemporaneamente affiancando due termometri, permettono tra l'altro di determinare il punto di rugiada e l'umidità relativa dell'aria.

Temperatura di rugiada: è la temperatura alla quale l'aria dovrebbe essere raffreddata per raggiungere il punto di saturazione di vapor d'acqua, dove avviene la condensazione. Nella determinazione del punto di rugiada si assumono costanti la pressione e il contenuto di vapor acqueo. La differenza tra la temperatura effettiva e il punto di rugiada è detta depressione del punto di rugiada.

Tensiometro: strumento per la misura della tensione di umidità di un terreno o di un substrato. Se associato

a un sistema di trasduzione del segnale e di controllo dell'irrigazione, si parla di tensiostato.

Tensione: potenziale matriciale del substrato. Nel linguaggio comune un aumento della tensione significa l'aumento della forza con cui l'acqua è trattenuta dal substrato man mano che questo si asciuga. Poiché, però, la tensione è una pressione negativa, la terminologia corretta sarebbe una diminuzione della tensione: ad esempio, -10 kPa è minore di -5 kPa (è maggiore il valore assoluto).

Test colorimetrico: test analitico basato su una reazione in cui si forma una sostanza colorata.

Test titrimetrico: test analitico basato su una titolazione, in cui un reagente, a concentrazione nota, viene aggiunto a un altro in presenza di una sostanza che subisce una variazione di colore quando la reazione è completa.

Titolo: concentrazione di una sostanza in una soluzione; contenuto (%) di un elemento o di un suo ossido in un concime.

Tossicità: fenomeno provocato dall'eccessiva concentrazione di un elemento nutritivo nel mezzo di crescita o dall'eccessivo assorbimento da parte della pianta.

Traspirazione: perdita di acqua dalla pianta attraverso gli stomi. Il tasso di traspirazione varia secondo diversi fattori, sia climatici che fisiologici.

Turno irriguo: intervallo di tempo che intercorre fra due interventi irrigui successivi.

Umidità assoluta: concentrazione del vapor d'acqua nell'aria; si esprime in g/m^3 .

Umidità relativa: è il rapporto percentuale tra il vapore acqueo effettivamente presente e quello che vi potrebbe essere se l'aria fosse satura nelle stesse condizioni di temperatura e pressione. L'umidità relativa si esprime in percentuale e può essere calcolata in molti modi, per esempio dividendo la pressione del vapore effettiva per la pressione di saturazione e moltiplicando per cento (per esprimerla in %).

Uniformità di erogazione (EU): parametro comunemente usato nella microirrigazione per valutare l'uniformità di distribuzione dell'acqua. Esprime, in termini percentuali, il rapporto fra la portata media del quarto dei punti di erogazione con le portate più

basse nel settore e la portata media di tutti i punti di erogazione del settore.

Valenza: nel caso di uno ione, indica il numero di carica (ad esempio, valenza 2 nel caso del Ca^{2+}).

Vasca evaporimetrica: vedi evaporimetro.

Virginia Tech Extraction method: vedi metodo del percolato indotto.

Volume commerciale: volume apparente (volume dei solidi e degli spazi porosi) di substrato contenuto nel sacco alla vendita.

Volume di adacquamento lordo (o effettivo): volume di adacquamento al lordo delle perdite legate all'inefficienza dell'irrigazione e all'eventuale fabbisogno di lisciviazione, connesso all'uso di acque saline. Rappresenta pertanto il volume che si deve effettivamente erogare, per unità di superficie. È il volume di acqua somministrato a un sistema substrato-contenitore in occasione di ogni irrigazione allo scopo di riportare il contenuto idrico alla capacità di contenitore, fissato il limite minimo di potenziale matriciale che si vuole raggiungere sul fondo del sistema prima di procedere a una nuova irrigazione; il volume effettivo è superiore a quello teorico per ragioni legate all'inefficienza del sistema irriguo e all'eventuale fabbisogno di lisciviazione.

Volume di adacquamento netto: volume di acqua, per unità di superficie, necessario per riportare alla capacità di campo tutto lo strato di terreno interessato dalle radici; (nelle colture in contenitore): quantità d'acqua necessaria a riportare alla saturazione capillare tutto il volume del substrato contenuto nel vaso.

Volume irriguo per contenitori: è la differenza fra il peso del sistema substrato-contenitore portato alla propria CIC e il peso al momento di iniziare l'irrigazione stessa.

Xilema: Tessuto conduttore formato da vasi (trachee, tracheidi) e fibre. Ha funzione di trasporto della linfa grezza (ascendente) e di sostegno.

Zona vulnerabile da nitrati di origine agricola: tutte le zone che scaricano in acque definite inquinate a causa delle attività agricole e per le quali sia necessario adottare un piano d'azione contenente restrizioni nelle attività agricole.

Unità di misura - Conversione ed equivalenze

Concentrazione di soluzioni acquose

- 1 mole/L = 1000 mmoli/L
- 1 kg/m³ = 1 g/L
- 1 mg/L = 1 ppm

Peso

- 1 t = 10 q = 1000 kg
- 1 kg = 1000 g = 1.000.000 mg

Precipitazioni

- 1 mm = 1 L/m² = 10 m³/ha
- 1 pollice (inch) = 25 mm

Pressione

Unità di misura valide per pressione atmosferica, pressione di vapor d'acqua e potenziale idrico del terreno o del substrato.

- 1 bar = 100.000 Pa (Pascal)
- 1 millibar = 100 Pa
- 1 atmosfera = 101,325 Pa
- 1 mm Hg = 133,3224 Pa
- 1 hPa = 100 Pa
- 1 kPa = 1000 Pa

Radiazione

- 1 W/m² = 1 J/m² · s
- 1 W/m² = 1,43 · 10⁻³ cal/cm² · min
- 1 cal/cm² · s = 41,880 W/m²
- 1 cal/cm² · min = 698 W/m²
- 1 cal/m² = 4,185 · 10³ J/m²
- 1 mm H₂O/cm² = 245 J/cm²
- 1 mm H₂O/cm² = 58,5 cal/m²
- 1 mEinstein/m² · s (PAR) = 1 mmoli/m² · s = 0,2174 · W/m²
- 1 lux = 4,24 · 10⁻³ W/m²

Superficie

- 1 ha = 10.000 m²
- 1 m² = 10.000 cm²

Volume

- 1 L = 1000 mL = 1000 cm³
- 1 m³ = 1000 L
- 1 gallone USA = 3,785 L
- 1 gallone UK = 4,546 L

*Fattori di conversione**Temperatura*

Mettere X uguale alla temperatura nell'unità data, per ottenere Y, la stessa temperatura nell'unità richiesta.

<i>Per convertire in</i>	<i>Gradi K</i>	<i>Gradi °C</i>	<i>Gradi °F</i>
Gradi Kelvin	$Y = X$	$Y = X + 273,15$	$Y = 5/9 (X + 459,67)$
Gradi Celsius	$Y = X - 273,15$	$Y = X$	$Y = 5/9 (X - 32)$
Gradi Fahrenheit	$Y = 9/5 X - 459,67$	$Y = 9/5 X + 32$	$Y = X$

Prefissi del Sistema Internazionale delle unità per multipli e sottomultipli

<i>Sottomultipli</i>	<i>Prefisso</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Multipli</i>	<i>Prefisso</i>	<i>Simbolo</i>
10 ⁻¹	deci	d	10	deca	da
10 ⁻²	centi	c	10 ²	etto	h
10 ⁻³	milli	m	10 ³	kilo	k
10 ⁻⁶	micro	μ	10 ⁶	mega	M
10 ⁻⁹	nano	n	10 ⁹	giga	G
10 ⁻¹²	pico	p	10 ¹²	tera	T
10 ⁻¹⁵	femto	f	10 ¹⁵	peta	P
10 ⁻¹⁸	atto	a	10 ¹⁸	esa	E

Gli Autori

Bacci Laura Istituto di Biometeorologia (IBIMET), CNR, Firenze [l.bacci@ibimet.cnr.it]

Baroncelli Paolo Demetra srl, Pescia [info@demetra.it]

Bertolacci Marcello Laboratorio Nazionale dell'Irrigazione, Università di Pisa, San Piero a Grado (Pisa) [mbertola@lni.it]

Bibbiani Carlo Dipartimento di Produzioni Animali, Università di Pisa [cbibbian@vet.unipi.it]

Bozzoli Tiziana Dipartimento di Agronomia e Gestione dell'Agroecosistema, Università di Pisa [bozzoli@agr.unipi.it]

Brunori Gianluca Dipartimento di Agronomia e Gestione dell'Agroecosistema, Università di Pisa [brunori@agr.unipi.it]

Carmassi Giulia Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie, Università di Pisa [gcarmassi@agr.unipi.it]

Checchacci Elisabetta Istituto di Biometeorologia (IBIMET), CNR, Firenze [e.checcacci@ibimet.cnr.it]

Ferrini Francesco Dipartimento di Produzione Vegetale, Università di Milano [francesco.ferrini@unimi.it]

Garibaldi Angelo Università di Torino, Grugliasco (Torino) [manaresi@rettorato.unito.it]

Incrocci Luca Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie, Università di Pisa [incrocci@agr.unipi.it]

Landi Stefano Demetra srl, Pescia [info@demetra.it]

Maggini Rita Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie, Università di Pisa [rmaggini@agr.unipi.it]

Malorgio Fernando Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie, Università di Pisa [fmalorgio@agr.unipi.it]

Marzialetti Paolo Centro Sperimentale per il Vivaismo (Ce.Spe.Vi.), Pistoia [info@cespevi.it]

Minuto Andrea Università di Torino, Grugliasco (Torino) [minuto.andrea@yahoo.it]

Montesano Francesco Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali, Università di Bari [francesco.montesano@agr.uniba.it]

Mugnai Sergio Dipartimento di Ortoflorofrutticoltura, Università di Firenze [sergio.mugnai@unifi.it]

Nicese Francesco Paolo Dipartimento di Ortoflorofrutticoltura, Università di Firenze [francesco.nicese@unifi.it]

Pardossi Alberto Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie, Università di Pisa [alberto.pardossi@agr.unipi.it]

Parente Angelo Istituto di Scienze delle Produzioni Alimentari (CNR), Bari [angelo.parente@ispa.cnr.it]

Pozzi Alessandro MAC - Minoprio Analisi e Certificazioni, Vertemate con Minoprio (Como) [maclab@tin.it]

Riccò Ernesto, Guastapaglia L'Irrigazione, Pescia [info@guastapaglia.it]

Santamaria Pietro Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali, Università di Bari [santamap@agr.uniba.it]

Scaramuzzi Silvia Dipartimento di Scienze Economiche, Università di Firenze [silvia.scaramuzzi@cce.unifi.it]

Valagussa Massimo MAC - Minoprio Analisi e Certificazioni, Vertemate con Minoprio (Como) [maclab@tin.it]

ARSIA, la comunicazione istituzionale al servizio dell'agricoltura

L'attività editoriale

L'ARSIA svolge la propria attività editoriale attraverso una specifica linea, articolata in varie collane (monografie, quaderni tecnici, atti di convegni e seminari, manuali tecnici) e provvede direttamente alla loro diffusione. L'Agenzia regionale, infatti, pubblica i risultati di studi, ricerche e sperimentazioni, realizzati dai propri tecnici o commissionati

all'esterno, con l'intento di fornire attraverso la stampa (o utilizzando gli strumenti telematici) il materiale tecnico per la divulgazione e l'aggiornamento.

L'elenco aggiornato di tutte le pubblicazioni edite dall'ARSIA è consultabile in internet all'indirizzo:

www.arsia.toscana.it/vstore

Collana Quaderni ARSIA

- 1/97. Supporti conoscitivi per l'attività di consulenza gestionale alle imprese agricole
a cura di G. Franchini, G. Lorenzini
 - 2/97. Progetto di meccanizzazione di vigneti su pendici terrazzate a forte declività
a cura di M. Vieri, M. Giovannetti, P.P. Lorieri, S. Tarducci, M. Zoli, M. Beltrami
 - 3/97. Indagine sugli aspetti ecologici ed economici dei vigneti nell'Appennino Tosco-emiliano
a cura di I. Ronchieri, T. Mazzei
 - 4/97. L'analisi del processo decisionale in agricoltura secondo il modello EPAAV nell'applicazione ad un caso concreto. *I. Malevolti*
 - 5/97. Vitigni extraregionali: osservazioni comparative sul comportamento agronomico e tecnologico di 17 cultivar ad uva bianca in ambiente collinare toscano. *G. Di Collalto, S. Mancuso, R. Bandinelli*
 - 6/97. Alcuni vitigni regionali minori tradizionalmente coltivati in Toscana: principali caratteristiche descrittive
G. Di Collalto, R. Bandinelli
 - 7/97. Osservazioni comparative su alcune forme di allevamento della vite in Toscana
G. Di Collalto, R. Bandinelli, P. Petroni
 - 8/97. Osservazioni comparative sulla produttività delle viti e la maturazione dell'uva in alcuni cloni di vitigni toscani
G. Di Collalto, M. Giovannetti
 - 9/97. Ricerche sul germoplasma viticolo della Toscana: 1. Vitigni ad uva da colore
P.L. Pisani, R. Bandinelli, A. Camussi
-
- 1/98. Il bacino idrografico del torrente Sova in Casentino. Studio preliminare per la pianificazione degli interventi di sistemazione idraulico-forestale in un bacino montano. *R. Chiarini, C. Fani, M. Miozzo, G. Nocentini*
 - 2/98. Introduzione alla "Qualità" nel settore agroalimentare. *P. De Risi, R. Moruzzo*
 - 3/98. Linee guida per l'applicazione del D.Lgs. 155/97 nelle aziende agricole toscane. Settore vinicolo
 - 4/98. Linee guida per l'applicazione del D.Lgs. 155/97 nelle aziende agricole toscane. Settore oleicolo
 - 5/98. Linee guida per l'applicazione del D.Lgs. 155/97 nelle aziende agricole toscane. Settore miele
 - 6/98. Linee guida per l'applicazione del D.Lgs. 155/97 nelle aziende agricole toscane. Settore ortofrutticolo
 - 7/98. L'innovazione nell'agricoltura toscana. Analisi del fabbisogno e criteri per la definizione delle priorità di azione
G. Brunori
 - 8/98. Il Vin Santo in Toscana. Composizione e caratteri sensoriali. *P. Buccelli, F. Giannetti, V. Faviere*
-
- 1/99. Linee guida per l'allevamento di galliformi destinati al ripopolamento ed alla reintroduzione
F. Dessi Fulgheri, A. Papeschi, M. Bagliacca, P. Mani, P. Mussa

- 2/99. Il latte ovino in Toscana. Indagine sulle aziende di produzione e studio dell'influenza dei fattori alimentari sulla qualità del latte
- 3/99. Rapporto sull'economia agricola della Toscana, *a cura di R. Pagni*
- 4/99. Strategie delle imprese agricole familiari e sviluppo rurale integrato, *a cura di I. Malevolti*
- 5/99. I danni causati dal cinghiale e dagli altri ungulati alle colture agricole. Stima e prevenzione
- 6/99. Linee guida per l'applicazione del D.Lgs. 155/97 nelle aziende agricole toscane. Settore cerealicolo
- 7/99. Il formaggio pecorino toscano, *a cura di R. Bizzarro*
- 8/99. Linee guida per l'applicazione del D.Lgs. 155/97 nella produzione delle conserve vegetali
- 9/99. Il legno di castagno e di douglasia della Toscana. Qualità del legno e selvicoltura.
Classificazione e valori caratteristici del legname strutturale
- 1/2000. Le tecniche di immissione della piccola selvaggina. *R. Mazzoni della Stella*
- 2/2000. Risultati delle prove funzionali su linee gocciolanti integrali (Parte I). *M. Bertolacci*
- 3/2000. La coltivazione del fungo pioppino in Toscana. Valutazione della fattibilità tecnica ed economica di un sistema produttivo. *G. Nocentini, M. Coluccia, G. Gaggio, S. Salvadorini*
- 1/2001. L'oidio della vite in Toscana. *P. Cortesi, M. Ricciolini*
- 2/2001. Linee guida per la ricerca europea nel settore agricolo-forestale e della pesca. *G. Torta*
- 3/2001. L'igiene dei prodotti agroalimentari. Guida pratica
- 4/2001. Metodologie alternative di lotta alle parassitosi gastrointestinali degli ovini
- 1/2002. Il miele in Toscana. Miglioramento della qualità e valorizzazione
- 2/2002. Il monitoraggio fitosanitario delle foreste, *a cura di A. Guidotti*
- 3/2002. Risultati delle prove funzionali su linee gocciolanti integrali e irrigatori a pioggia. Parte II. *M. Bertolacci*
- 1/2003. Anagrafe bovina - Istruzioni per l'uso
- 2/2003. Uso razionale delle risorse nel florovivaismo: i fabbisogni energetici (+ CD). *M. Vieri, M. Ceccatelli*
- 3/2003. Come produrre energia dal legno. *G. Mezzalana, M. Brocchi Colonna, M. Veronese*
- 4/2003. Interventi di ingegneria naturalistica in Toscana. Prime esperienze di monitoraggio
A.L. Freschi, G. Nocentini, F. Dinardo
- 5/2003. Macchine irroratrici agricole: controlli e tarature per una maggiore efficienza e sicurezza di impiego
R. Russu, M. Vieri
- 1/2004. Miglioramento qualitativo delle produzioni vitivinicole e del materiale di propagazione
a cura di A. Gemmiti
- 2/2004. Uso razionale delle risorse nel florovivaismo: i fertilizzanti
a cura di P. Baroncelli, S. Landi, P. Marzialetti, N. Scavo
- 3/2004. Trasformare la comunicazione rurale. Scenari ed esperienze in alcuni paesi europei
G. Brunori, P. Proietti, A. Rossi
- 4/2004. Un nuovo metodo ecologico per la prevenzione dei danni da uccelli alle colture agricole
F. Santilli, S. Azara, L. Galardi, L. Gorreri, A. Perfetti
- 5/2004. Uso razionale delle risorse nel florovivaismo: l'acqua (+ CD).
a cura di A. Pardossi, L. Incrocci, P. Marzialetti

Finito di stampare
nel luglio 2004
da Tipografia Il Bandino srl
a Firenze
per conto di
ARSIA • Regione Toscana

Quaderno ARSIA 5/2004

Uso razionale delle risorse nel florovivaismo: l'acqua

Con questo Quaderno 5/2004 sulle risorse idriche si conclude la collana di tre monografie dedicata da ARSIA all'uso razionale delle risorse nel florovivaismo (energia-fertilizzanti-acqua).

Nel Quaderno ARSIA 5/2004, realizzato a conclusione del progetto di ricerca IDRI, promosso e finanziato da ARSIA, vengono affrontate, attraverso una serie di contributi di qualificati esperti, tutte le tematiche legate all'impiego dell'acqua nelle colture ornamentali: dagli aspetti normativi a quelli fisiologici, analitici, economici, dagli impianti di distribuzione tradizionali a quelli a ciclo chiuso, dalle tecniche irrigue all'impiego di acque reflue, dalla fertirrigazione alla disinfezione delle acque.

Il Quaderno ARSIA 5/2004 è arricchito da un CD-rom contenente alcuni semplici e utili software per il calcolo di apporti idrici e nutrizionali alle colture e per la preparazione delle soluzioni nutritive.



L'ARSIA, Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel settore Agricolo-forestale, istituita con la Legge Regionale 37/93, è l'organismo tecnico operativo della Regione Toscana per le competenze nel campo agricolo-forestale, acquacoltura-pesca e faunistico-venatorio.

REGIONE
TOSCANA

