

La qualità dell'acqua e la gestione della risorsa

A. Valente

Comunicazione della Scienza ed Educazione, IRPPS-CNR, Roma

La terza sessione, la qualità dell'acque e la gestione della risorsa, vede interventi incentrati sulle questioni politiche e tecnico-scientifiche relative alla qualità delle acque, così come sull'utilizzo delle acque in agricoltura, ed in particolare sulle sperimentazioni con acque reflue depurate e saline.

Giuliana Trisorio Liuzzi, della Facoltà di Agraria dell'Università di Bari, evidenzia la necessità di operare una svolta nelle politiche di gestione delle risorse agricole, con particolare riferimento al bacino del Mediterraneo, dove il 65% della risorsa idrica è allocata nell'agricoltura, con punte dell'85%. Se ciò pone evidenti problemi di sicurezza globale e sostenibilità ambientale, è anche vero che la soluzione principale è da rinvenirsi proprio nell'agricoltura, che, se pure usa la più alta percentuale di acqua disponibile, detiene anche il più alto potenziale di risparmio idrico. Un nuovo percorso, il cosiddetto "soft path approach", basato sul criterio di aumentare la produttività dell'uso dell'acqua, prevede un insieme articolato di interventi. Ciò chiama in causa questioni tecniche e scientifiche, ma anche responsabilità istituzionali.

Vengono subito posti all'attenzione della sessione temi che saranno ripresi nella fase di discussione: l'importanza di una efficace relazione tra scienza e tecnologia, gestione e politica, del riconoscimento della complessità dei piani e degli interventi. L'ottica sistemica dovrebbe coinvolgere le politiche, che non possono restare "ingabbiate per settori".

Si passa subito all'analisi degli aspetti qualitativi delle acque, in particolare i parametri chimico-fisici. Luigi Campanella, del Dipartimento di Chimica dell'Università La Sapienza di Roma, introduce ai diversi aspetti legati alla qualità dell'acqua, sollevando le diverse problematiche della disponibilità, della potabilizzazione e del monitoraggio; in particolare si sofferma sull'importanza della velocità dell'intervento in caso di immissioni inquinanti negli acquedotti, e dunque sul fatto che la precisione del metodo di analisi sia temperata con la rapidità del metodo (sensoristica e biosensoristica).

Ancora sugli aspetti qualitativi delle acque è il contributo di Franco Abballe della Dionex spa, che si sofferma

sull'innovazione tecnologica, descrivendo le caratteristiche ed i vantaggi delle tecniche cromatografiche (HPIC - high performance ion chromatography).

Un altro insieme di contributi prende in esame l'utilizzo delle acque in agricoltura, ed in particolare delle acque reflue depurate e saline. Si tratta di un filone di ricerca molto attivo, che potrebbe dare un notevole impulso alla soluzione del problema della scarsità idrica e dei problemi politici a questo connessi.

Alberto Pardossi, del Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie dell'Università di Pisa, introduce il tema, tracciando una sintesi delle esperienze effettuate con approvvigionamenti idrici non convenzionali pervenendo alla conclusione che, in caso di fenomeni siccitosi, è possibile limitare gli effetti delle criticità ricorrendo ad un uso avveduto delle acque reflue depurate e delle acque saline. In alcune colture è addirittura possibile "sfruttare un moderato stress idrico e/o di sali per il miglioramento qualitativo del prodotti".

Donato Ferri, Marcello Mastroianni, Angelo Domenico Palumbo, Laura D'Andrea e Grazia Convertini, dell'Unità di Ricerca per i Sistemi Colturali degli Ambienti caldo-aridi di Bari, comunicano i risultati positivi delle loro esperienze sperimentali di irrigazione con acque reflue depurate, concludendo che questa tecnica non compromette la resa delle due colture esaminate e non ha effetto inquinante nello strato di terreno interessato dalle radici.

Antonio Lonigro e Pietro Rubino del Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali dell'Università di Bari, nel presentare esperienze analoghe di irrigazione con acque reflue urbane depurate, evidenziano anch'essi come i risultati non abbiano mostrato effetti negativi sul terreno né sulle colture, mentre l'acqua convenzionale in alcuni casi è risultata "più inquinata dal punto di vista microbiologico".

Come migliorare l'efficienza dell'acqua irrigua salvaguardando l'ambiente è il tema denso presentato da Bartolomeo Dichio, Giuseppe Montanaro e Cristos Xiloanis del Dipartimento Scienze, Sistemi Colturali, Forestali e dell'Ambiente dell'Università della Basilicata; alla possibilità di gestire l'irrigazione con ridotti volumi irrigui

per mezzo dello stress idrico controllato (*deficit irrigation*) si affianca la considerazione della pericolosità derivante dagli elevati volumi irrigui stagionali che conducono alla salinizzazione dei suoli.

L'importanza della prospettiva sistemica nello studio delle acque è evidenziata da Ettore Capri e Maura Calliera, dell'Istituto di Chimica Agraria ed Ambientale dell'Università Cattolica del Sacro Cuore di Piacenza, che si occupano dello stress chimico delle acque superficiali e che prendono in considerazione soprattutto gli aspetti qualitativi della WFD (*Water Framework Directive*), che ha imposto il raggiungimento di "un buono stato ecologico" delle acque entro il 2015.

Gli ultimi autori chiudono anche idealmente il ciclo delle presentazioni riportando il dibattito sulle tante sfide nel campo della gestione delle acque.

La discussione plenaria si è soffermata sulle ricerche e le politiche di gestione dell'acqua, così come sulla necessità di trattare le questioni in un'ottica sistemica e sulle pratiche comunicative. Gli scienziati devono fare ricerca scientifica ma anche informazione trasferibile. La disponibilità in tal senso è netta, una recente indagine del

CNR (Comunicazione della Scienza ed Educazione) mostra che ricercatori e ricercatrici del CNR, oltre ad essere disponibili ed interessati alla comunicazione, sono pronti a mettere in discussione se stessi (il proprio tempo, le modalità di rapportarsi col pubblico e le energie dedicate alla comunicazione) prima ancora che il sistema dei mass media o i limiti dei destinatari stessi dell'informazione scientifica.

Oltre alla comunicazione con il resto della società, nelle molteplici vesti di opinione pubblica, di destinatari delle ricerche, di cittadini, potenziali partecipi del dibattito scientifico e sociale, si è posta la questione dell'interazione con interlocutori particolari, con politici ed amministratori. Si tratta di un obiettivo comunicativo particolarmente delicato, affrontato in maniera diversa nei diversi contesti locali e nazionali, che per di più deve tener conto del fatto che in capo alla stessa istituzione possono insistere sia ruoli tecnico-scientifici che politico-amministrativi. L'assunzione di responsabilità è dunque elevatissima e il processo comunicativo mostra la sua natura complessa di relazione pluri-direzionale e non necessariamente verticale ed unilaterale.

L'implementazione della Direttiva Quadro delle Acque (WFD 2000/60/CE) in europa: spunti per il monitoraggio e la gestione delle risorse

M. Calliera*, A. Finizio**, E. Capri*

*Istituto di Chimica Agraria ed Ambientale, Facoltà di Agraria, Università Cattolica del Sacro Cuore

**Dipartimento di Scienze Ambiente e Territorio (DISAT), Università di Milano Bicocca
per GEMMA Gruppo Esperti Misure di Mitigazione Agroambientali

Riassunto

La direttiva quadro sulle acque UE 2000/60/CE (WFD: Water Framework Directive) e, per restare in ambito nazionale, il Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale" (G.U. n. 88 del 14 aprile 2006), stabiliscono un quadro di riferimento per sviluppare delle azioni di conservazione, protezione e di miglioramento dello stato di qualità delle acque in quanto risorsa limitata e vulnerabile.

Nell'applicazione della direttiva, il monitoraggio ambientale è fondamentale e strategico per la definizione dei piani di bacino e tutela delle acque e per la definizione delle misure da attuare, ma la sua pianificazione deve essere fatta in un'ottica di analisi del rischio e

non può più prescindere dall'uso della modellistica ambientale e dei Sistemi Informativi Territoriali, fondamentali per individuare aree a criticità ambientale e per allocare le risorse disponibili in modo mirato ed efficace.

Viene presentata una sintesi di un lavoro più ampio di analisi dell'implementazione della direttiva negli stati membri della comunità europea, concentrandoci sulla situazione italiana ed in particolare sul problema della presenza di prodotti fitosanitari nelle acque.

Parole chiave: WFD, monitoraggio acque, sistemi informativi territoriali, armonizzazione.

Introduzione

L'acqua non è un prodotto commerciale al pari degli altri, bensì un patrimonio che va protetto, difeso e trattato come tale." Questa è la prima considerazione della Direttiva 2000/60/CE (WFD) del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 Ottobre 2000, che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque. Rappresenta un passo molto importante verso una gestione responsabile delle acque e del territorio, di cui l'acqua è parte integrante e si fonda su principi ispiratori quali l'uso sostenibile dell'acqua e della sua protezione nel lungo periodo. Già nell'articolo 1 vengono sanciti i principi di azione ambientale e sostenibile. Ovvero, la tutela dell'ambiente, degli ecosistemi naturali e del patrimonio culturale deve essere garantita mediante una adeguata azione che sia improntata sui principi della precauzione, dell'azione preventiva, della correzione, in via prioritaria alla fonte, dei danni causati all'ambiente, nonché al principio «chi inquina paga». Inoltre il soddisfacimento dei bisogni delle generazioni attuali non deve compromettere la qualità della vita e le possibilità delle generazioni future.

L'applicazione della direttiva comporta la valutazione dell'impatto ambientale di tutte le attività umane, l'analisi economica della risorsa idrica con incluso i costi ambientali, attività di monitoraggio e conseguenti azioni mirate, atte a limitare o impedire il deterioramento delle acque. Questi obiettivi devono essere perseguiti in un'ottica di gestione integrata e partecipativa di tutti i soggetti portatori di interesse presenti su un territorio (art 14 della direttiva). La consultazione deve poter essere attiva e le informazioni di base accessibili per poter garantire una giusta visione delle misure di gestione adottate o da adottare a livello di bacino. In sintesi la gestione delle acque stabilita nella WFD può essere vista come un processo ciclico di *pianificazione (policy design)* e *azione* (implementazione delle politiche), supportato da due differenti "meccanismi di controllo" quali il monitoraggio e la pubblica partecipazione. La ripetizione del processo dovrebbe idealmente portare ad un miglioramento dello stato delle acque¹ (figura 1).

L'articolo 8 della WFD richiede agli stati membri di stabilire dei piani integrati di monitoraggio per valutare lo stato chimico ed ecologico delle acque superficiali e sotterranee per ciascun bacino precedentemente identificato. Su tali piani, operativi dall'inizio del 2007 si definiranno e pianificheranno le misure da adottare entro la fine del 2009 e che verranno ridiscusse nel 2012.

L'implementazione e le modalità di progettazione dei monitoraggi è supportata da allegati della direttiva stessa e da linee guida prodotte nell'ambito della *Common Implementation Strategy* per la WFD².

L'attività di monitoraggio deve consentire una valutazione sia dello stato chimico che ecologico. È importante ricordare che la qualità ecologica non è soltanto dipendente dalla contaminazione chimica poiché anche altre cause, (es. i cambiamenti idromorfologici, i cambiamenti climatici etc.) possono determinare deterioramenti dello stato ecologico.

Per una valutazione completa è necessario conoscere non solo il livello dei contaminanti nei diversi comparti del bacino idrografico, ma anche i loro effetti sugli organismi acquatici e i processi che possono determinare o concorrere alla presenza di tale contaminante a quel livello. Strettamente correlato al monitoraggio è quindi l'articolo 5 della direttiva (caratterizzazione del distretto idrografico e l'esame dell'impatto ambientale dell'attività umana) che impone la valutazione del rischio a livello territoriale secondo l'allegato II.

Materiali e metodi

L'applicazione della politica ambientale europea è ostacolata da una serie di lacune a livello informativo³. Per questo la UE ha promosso una serie di iniziative per favorire lo scambio di informazioni tra i diversi portatori di interesse quali le autorità di bacino e i diversi ricercatori coinvolti nelle attività di monitoraggio.

Un esempio è il progetto europeo RISKBASE nel cui ambito è stata effettuata un'indagine esplorativa sull'implementazione della direttiva nei diversi stati della comunità europea, per comprendere le procedure e i criteri adottati e verificarne la loro comparabilità. L'indagine ha fornito alcuni spunti di riflessione soprattutto in relazione all'applicazione del decreto legislativo n.152/06 in Italia che di fatto ha rappresentato il recepimento della WFD in ambito nazionale.

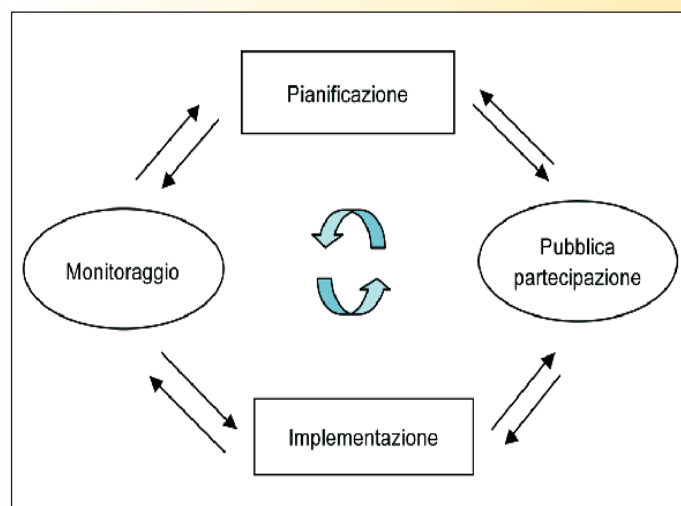


Fig. 1 - Ciclo azione-pianificazione nella gestione delle acque della WFD (da RiskBase 1th Thematic workshop)

Di seguito verranno discussi degli esempi correlati al monitoraggio degli agrofarmaci in alcune regioni italiane e alla identificazione di aree vulnerabili a queste sostanze, in quanto l'agricoltura viene ritenuta dall'agenzia europea dell'ambiente come una delle principali attività economiche con una maggiore pressione ambientale.

Risultati

In Italia l'implementazione della direttiva è leggermente in ritardo (dicembre 2008). Per quanto riguarda i piani di monitoraggio degli agrofarmaci e i dati che da questi ne derivano è risultato che non sono ottenuti in modo armonico e non sempre sono analizzati in un'ottica di valutazione del rischio. Dalle informazioni reperite sembra emergere un quadro poco omogeneo e abbastanza frammentato, anche a causa della mancanza di linee guida di riferimento chiare ed adeguate.

Alcune regioni hanno proposto in modo autonomo diversi approcci per approfondire le conoscenze sulla dinamica dei prodotti fitosanitari e per promuoverne l'uso sostenibile su base territoriale. Lo scopo principale era in alcuni casi definire piani di azioni mirati per la limitazione di alcuni principi attivi in aree a particolari criticità (aree vulnerabili). Numerose regioni hanno infatti basato l'identificazione delle aree vulnerabili agli agrofarmaci esclusivamente su dati di monitoraggio.

Tuttavia, l'impiego dei dati di monitoraggio ambientale in un contesto di pianificazione territoriale come quello dell'identificazione delle aree vulnerabili presenta delle problematiche. Di fatto, la misura di una determinata concentrazione ambientale è il risultato di complessi fenomeni di distribuzione della sostanza nel tempo e nello spazio; inoltre, è difficile stabilire se i composti più frequentemente ritrovati siano realmente quelli che più comunemente sono presenti nell'ambiente o se essi sono quelli più frequentemente ricercati a causa di altre ragioni (es. difficoltà analitiche).

Un altro aspetto da più parti riconosciuto e che va considerato è che, oltre alle tradizionali vie di contaminazione di origine diffusa sul territorio (deriva e scorrimento superficiale, lisciviazione etc.) vi sono anche una serie di altre vie di contaminazione di tipo puntiforme che derivano da usi non agricoli (es. diserbo ferrovie) e/o, cattive pratiche di gestione.

In altre regioni, invece, sono stati promossi progetti il cui scopo era quello di pianificare in modo mirato il monitoraggio ottimizzando i costi e focalizzando l'attenzione nelle aree dove sono stati identificati i caratteri di criticità ambientali. A titolo di esempio possiamo citare il SuSAP (*Supplying Sustainable Agriculture Production*), FitoMarche e l'approccio della Regione Calabria.

Il primo, utilizzato dalla regione Lombardia è un sistema che integra differenti data base esistenti (suolo, clima, coltura, agrofarmaco) e modelli di percolazione in un GIS, con lo scopo di supportare i diversi operatori o decisori nella valutazione del rischio da agrofarmaci⁴.

FitoMarche⁵ invece è un software sviluppato per simulare la lisciviabilità di prodotti fitosanitari a scala regionale, attraverso l'integrazione del modello MACRO 5,0 con il software GIS ESRI ArcGIS 9.0/9.1.

Valuta gli effetti della rotazione delle colture sulla qualità dell'acqua sotterranea. L'Agenzia Regionale per i Servizi di Sviluppo Agricolo (ARSSA) della Regione Calabria nel 2005 ha realizzato nelle aree identificate come vulnerabili un sistema di supporto alla scelta degli agrofarmaci⁶ in relazione al rischio di inquinamento delle falde acquifere che utilizza il modello PEARL (*Pesticide Emission Assessment at Regional and Local scales*).

Un altro aspetto critico emerso dal questo studio sul territorio italiano ha riguardato la totale assenza di linee guida (nel D.Lgs 152/06) e di azioni programmatiche degli enti territoriali preposti in merito all'identificazione delle aree vulnerabili agli agrofarmaci per le acque superficiali. E' già stato ricordato, tuttavia, che la WFD ha l'obiettivo di tutelare le risorse idriche nell'insieme (acque superficiali e sotterranee).

Discussione

Tenendo in considerazione gli aspetti sopra evidenziati, si propone di seguito un modello concettuale ed alcuni spunti di riflessione che potrebbero risultare utili nell'ottica di sviluppare delle nuove linee guida di riferimento da utilizzare in maniera armonica sul tutto il territorio italiano. In particolare, viene sottolineata l'esigenza di sviluppare dei sistemi di supporto alle decisioni (es. indici di rischio) che integrino in ambiente GIS differenti modelli previsionali per il calcolo dell'esposizione nelle acque superficiali o nelle acque di falda nonché le informazioni derivanti da campagne di monitoraggio ambientale.

La procedura richiama alcuni concetti derivanti dall'esperienza maturata in progetti scientifici a livello UE sulla gestione del rischio da agrofarmaci per le acque. Prevede come primo passo l'identificazione del problema, quale la presenza di un particolare agente stressante (*stressor*) o di una sorgente (*sources*), l'identificazione dei soggetti a rischio (*receptors*) e degli *endpoint*, e l'identificazione di un modello concettuale che consenta la valutazione delle interrelazioni tra i sistemi considerati (figura 2).

Il modello concettuale si può definire come una rappresentazione semplificata del sistema che si sta investigando e rappresenta la base del processo di caratterizzazione del rischio. All'aumentare della quantità e del livello

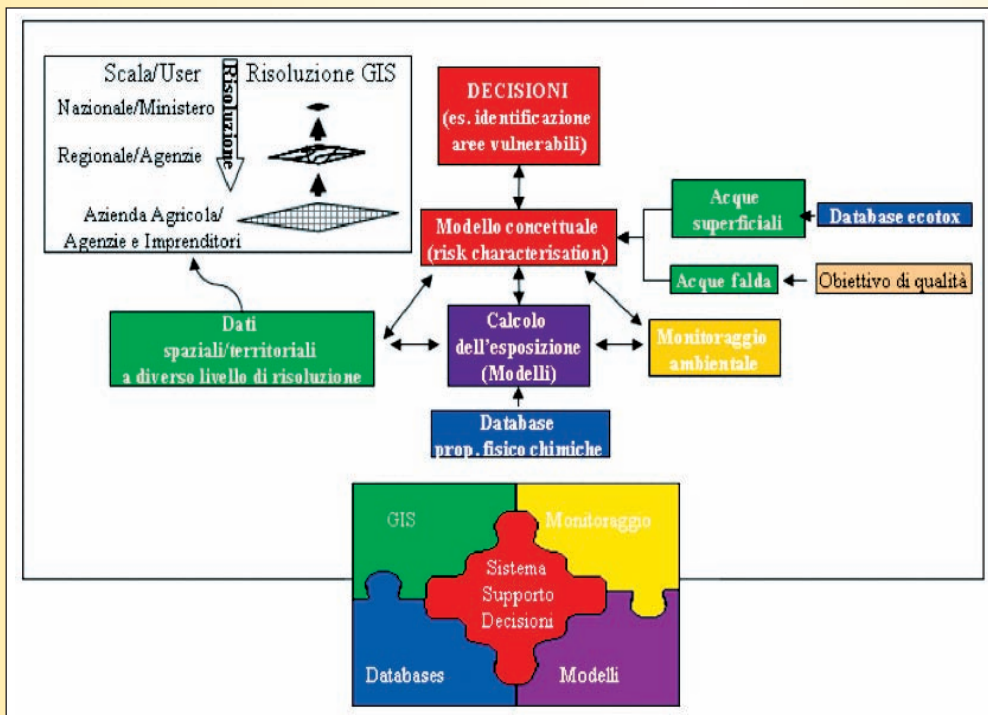


Fig. 2 - Modello concettuale proposto per l'identificazione di aree vulnerabili agli agrofarmaci (acque superficiali e profonde) e per orientare le azioni di monitoraggio ambientale.

di confidenza delle informazioni ambientali disponibili, aumenta la complessità del modello ma anche la sua accuratezza.

La caratterizzazione dell'elemento territoriale viene effettuata quindi sulla base dei dati disponibili (vero e proprio limite in alcuni casi) e con l'impiego dei sistemi informativi territoriali, mentre per il calcolo dell'esposizione vengono anche utilizzati modelli previsionali validati in quanto le concentrazioni misurate possono essere associate ad un grado di incertezza temporale e spaziale. Sulla base dei risultati ottenuti vengono pianificati i monitoraggi dai cui risultati dipendono poi le azioni e misure prese dai decisori.

Inoltre, lo sviluppo di un sistema di supporto alle decisioni come quello proposto, potrebbe porre le basi per affrontare il problema della presenza di miscele di agrofarmaci nelle acque superficiali venendo incontro agli obiettivi previsti nella WFD di tutela degli ecosistemi acquatici⁷. A tal proposito giova ricordare che questi ultimi nella realtà sono sottoposti all'azione contemporanea di più sostanze chimiche.

Conclusioni

Gli attuali modelli di consumo e di produzione sfruttano una quantità crescente di risorse naturali che devono invece essere gestite in modo sostenibile per poter garantire il futuro delle prossime generazioni.

L'attuazione delle politiche ambientali comunitarie esistenti è quindi fondamentale. La WFD ha modificato molto la programmazione dei piani di monitoraggio rispetto al passato, in quanto richiede dati più complessi e dinamici. L'esperienza europea ci indica che nell'applicazione della direttiva quadro sulle acque il monitoraggio ambientale è fondamentale e strategico per la definizione dei piani di tutela delle acque e per la definizione delle misure da attuare, ma la sua pianificazione non può più prescindere dall'uso della modellistica ambientale e dei Sistemi Informativi Territoriali, fondamentali per individuare aree a criticità ambientale e per allocare le risorse disponibili in modo mirato ed efficace. Il presente studio ha messo in evidenza la mancanza a livello nazionale di linee guida chiare e di riferimento che ha avuto come conseguenza la produzione di risultati frammentati e poco omogenei.

Bibliografia

- 1) Outcome 1st WS WP1b: Book chapter: RISKBASE 1st Thematic Workshop. "Monitoring and Assessment of River Pollutant: Case studies of Portuguese rivers". Lisbon 17-18 May 2007.
- 2) WFD CIS Policy Summary-Monitoring under the Water Framework Directive. Working group 2.7 Monitoring. <http://ec.europa.eu/environment>.
- 3) Comunicato stampa del 10.10.2007 Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA), www.eea.europa.eu.
- 4) C. Riparbelli, D. Auteri, S. Brenna, G. Azzali, P. Jean, B. Cavagna, N. Chinaglia, C. Capetta, Individuazione di aree vulnerabili ai prodotti fitosanitari: il caso della regione Lombardia. Convegno Nazionale Gestione del rischio ambientale dei prodotti fitosanitari: verso un uso sostenibile. Milano 5-8 Giugno 2007.
- 5) M. Balderacchi et al., The effect of crop rotation on pesticide leaching in a regional pesticide risk assesment, *Environ.Sci. Technol* 2008,42, 8000-8006.
- 6) G.Aramini, M.Calliera, M.Balderacchi, M.Trevisan, Individuazione di aree vulnerabili ai prodotti fitosanitari: il caso della regione Lombardia Convegno Nazionale Gestione del rischio ambientale dei prodotti fitosanitari: verso un uso sostenibile. Milano 5-8 Giugno 2007.
- 7) R. Verro, A. Finizio, S. Otto, M. Vighi, 2008. Predicting pesticide environmental risk in intensive agricultural areas. II: risk of complex mixtures in surface waters (in corso di stampa, *Environ. Sci & Technol.*).

Monitoraggio della qualità delle acque irrigue e tecnologie GIS: supporti strategici per un'agricoltura sostenibile

D. Cassano, V. La Ghezza, G. Pappagallo, V. F. Uricchio
CNR-IRSA (Bari)

Riassunto

Nel presente lavoro vengono presentati alcuni dei risultati derivanti dall'attività di monitoraggio della qualità delle acque irrigue e dei suoli agricoli, svolta nell'ambito del *Progetto di Ampliamento della Rete di Rilevazione Agro-meteorologica Regionale*, promosso dall'Assessorato alle Risorse Agro-alimentari della Regione Puglia e condotto, tra il 2004 e il 2007, dall'AssoCoDi Puglia, dal CNR-IRSA di Bari e dall'Università di Bari. Nel contesto di tale attività sono stati analizzati 1021 campioni di acqua prelevati presso i pozzi di 473 aziende agricole rappresentative della complessa

realtà produttiva regionale. Le analisi hanno riguardato i principali parametri chimico-fisici e microbiologici delle acque sotterranee. Nel presente lavoro l'attenzione verrà focalizzata sui valori di *conducibilità elettrica* e sulle concentrazioni di *cloruri*, *nitrati* e *ammonio*, indicati dal D.Lgs. 152/99 e dal D.Lgs.152/06 fra i parametri di riferimento per la classificazione delle acque sotterranee.

Parole chiave: *monitoraggio ambientale; qualità delle acque e dei suoli; GIS; BMP.*

Introduzione

L'Assessorato alle Risorse Agro-alimentari della Regione Puglia nel periodo 2003-2007, d'intesa con l'Asso.Co.Di.Puglia, ed in collaborazione con il CNR-IRSA e l'Università di Bari, ha attuato il progetto di *Ampliamento della Rete di Rilevazione Agro-meteorologica Regionale*. Il progetto prevedeva forme diversificate d'intervento finalizzate al supporto tecnico-scientifico, all'informazione ed all'aggiornamento delle conoscenze degli operatori agricoli, con l'obiettivo di sostenere e favorire la diffusione di pratiche agricole eco-compatibili, basate sull'uso razionale delle risorse agro-ambientali e sulla riduzione di input chimici ed energetici, nel rispetto dell'ambiente e della salute.

Al fine di perseguire tali obiettivi, oltre all'ampliamento e potenziamento della rete agro-meteorologica, sono stati sperimentati e calibrati alcuni modelli matematici per la razionalizzazione delle pratiche irrigue, delle fertilizzazioni e dei trattamenti fitosanitari ed all'implementazione di un *web-site* info-divulgativo rivolto agli operatori agricoli coinvolti nel progetto.

In tale contesto è stata quindi realizzata una campagna di monitoraggio della qualità delle acque irrigue e dei suoli agrari che ha interessato l'intero territorio regionale, basata sulle determinazioni analitiche dei principali parametri chimico-fisici e microbiologici dei campioni in esame. In particolare, nel corso del triennio 2005-2007 sono stati analizzati campioni di acqua irrigua provenienti da 473 pozzi, appartenenti ad aziende agricole rappresentative (per distribuzione territoriale, tipologie di colture e pratiche agronomiche) della complessa realtà produttiva regionale.

Per ragioni statistiche e di verifica della qualità delle acque sono stati prelevati più campioni di acqua dal medesimo sito, sempre nel periodo di massimo sfruttamento della falda (stagione estiva). Il numero dei campioni analizzati è stato complessivamente di 1021 (261 prelevati in provincia di Bari, 104 in quella di Brindisi, 231 in agro di Foggia, 166 nel territorio di Lecce, 259 nel tarantino). Le analisi chimico-fisiche effettuate sui campioni di acqua sono state eseguite presso il Laboratorio Regionale dei Consorzi di Difesa (La.R.C.D.), allestito, in funzione delle attività progettuali, presso la sede del CNR-IRSA, ed

hanno riguardato i seguenti parametri: pH; conducibilità elettrica; solidi totali disciolti; salinità; ossigeno disciolto; ioni Na⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺, Cl⁻; SAR; durezza; azoto ammoniacale e nitrico; COD; ortofosfato solubile; carbonati; bicarbonati; metalli pesanti: Cu, Zn, Ni, Cd, Pb.

Sono state condotte, inoltre, anche analisi microbiologiche finalizzate a verificare la presenza di: organismi vitali a 22 e 36 °C; coliformi fecali e totali; *escherichia coli*; streptococchi fecali; salmonelle. In una fase successiva, i risultati relativi a ciascun sito di campionamento sono stati sottoposti ad analisi statistica e quindi interpolati in ambiente GIS, in modo da realizzare per ciascun parametro analizzato la relativa cartografia numerica e verificare sull'intero territorio regionale la presenza e l'andamento di possibili fenomeni di alterazione della risorsa. Le operazioni di spazializzazione, inoltre, hanno permesso di valutare gli effetti delle correlazioni, lì dove presenti, fra i diversi parametri, nonché le interazioni fra uso del territorio e qualità delle acque irrigue. Va sottolineato che un'attenzione particolare è stata rivolta ai parametri indicati dalla normativa vigente in materia di tutela delle risorse idriche (D.Lgs. 152/99; Dir. 2000/60/CE; D.Lgs. 152/06, e successive modifiche e integrazioni).

Materiali e metodi

Le stazioni di emungimento sono state individuate all'interno di campi pilota scelti in modo da prendere in esame le colture e le relative tecniche di gestione più diffuse in ciascun ambito provinciale, così come indicato: a) Olivo, Vite, e Ciliegio (Bari); b) Olivo, Vite, e Pomodoro (Brindisi); c) Olivo, Vite, Pomodoro e Frumento (Foggia); d) Olivo Pomodoro e Agrumi (Lecce); e) Olivo, Vite e Agrumi (Taranto). Affinché i risultati analitici raccolti potessero essere appieno interpretati, l'individuazione dei campi pilota è stata guidata da criteri chiari e precisi contenuti in un apposito protocollo.

In particolare, le aziende prescelte dovevano: a) avere un'estensione minima di 1 Ha; b) irrigare le colture esclusivamente con l'acqua emunta dal pozzo aziendale; c) aver regolarmente compilato negli ultimi due anni il quaderno di campagna. Inoltre, al fine di poter interpretare i risultati analitici anche alla luce dei dati climatici, sono state preferite le aziende che, oltre ai requisiti su indicati, avessero sede entro un raggio di 5 Km da una stazione agrometeorologica. La raccolta dei campioni è avvenuta in condizioni dinamiche, prelevando direttamente dall'erogatore, dopo aver fatto scorrere abbondante acqua per circa 30 minuti. I campioni sono stati raccolti in contenitori di polietilene dotati di tappo e sottotappo, riempiti fino all'orlo al fine di impedire sia il trasferimento degli analiti nello spazio di testa, sia la loro perdita all'atto del-

l'apertura dei contenitori. Dopo il prelievo i campioni sono stati riposti in contenitori a tenuta termica e trasportati in laboratorio in tempi brevi. Le determinazioni di tutti i parametri in esame sono state eseguite secondo i *Metodi ufficiali di analisi delle acque per uso agricolo e zootecnico* (D.M. del 23/03/2000). In particolare, i parametri chimico-fisici (pH, conducibilità elettrica, O₂ disciolto) sono stati determinati sul campione tal quale mediante sonde Hanna Instruments. I parametri chimici sono stati determinati previa filtrazione del campione sotto vuoto su filtri di acetato di cellulosa con porosità di 0.45 µm. La determinazione dei cationi è stata effettuata mediante assorbimento atomico a fiamma Perkin-Elmer, quella degli anioni in cromatografia ionica (cromatografo Dionex), i metalli pesanti sono stati determinati mediante assorbimento atomico con fornello di grafite Thermo Optic. La determinazione dello ione ammonio è stata effettuata con metodo spettrofotometrico. Ciascun parametro è stato analizzato in tre repliche mediate aritmeticamente fra di loro, previa verifica della deviazione standard (σ). Ai fini della rappresentazione cartografica, nel caso di campioni provenienti dal medesimo sito come valore rappresentativo della stazione, si è fatto riferimento, per ciascun parametro, alla media aritmetica dei valori rilevati, verificandone, anche in questo caso, la deviazione standard. Le carte tematiche sono state realizzate in ambiente GIS attraverso l'interpolazione dei dati puntuali, effettuata secondo il metodo dell'IDW (Inverse Distance Weighted). L'attenzione è stata rivolta, in particolare, sulla concentrazione nelle acque di nitrati, ammonio e cloruri e sui valori della conducibilità elettrica, parametri ai quali fanno riferimento il D.lgs n. 152/99 e il D.lgs 152/06, per la classificazione delle acque sotterranee.

Risultati e discussione

Conducibilità elettrica

Su tutto il territorio regionale (Fig. 1) sono stati riscontrati valori superiori alla soglia di 0,4 mS/cm, indicata dalla legge come il limite per le acque di *Classe 1*, ovvero con *impatto antropico nullo o trascurabile*. A ciò va aggiunto però un dato forse più preoccupante: in particolari aree, ad esempio in Capitanata, nell'arco Jonico-Tarantino ed in parte della penisola Salentina, sono stati rilevati valori di EC che superano abbondantemente il limite di 2,5 mS/cm, ovvero il limite della *Classe 4* (impatto antropico rilevante). La situazione emersa dalle determinazioni analitiche relativamente ai valori di EC viene riassunta in tabella 1. Va precisato che in questa e nelle tabelle che seguono, per le province di Foggia, Bari, Brindisi e Taranto, per ciascun parametro, si fa riferimento ai valori medi relativi ai singoli siti di campionamento, mentre per la

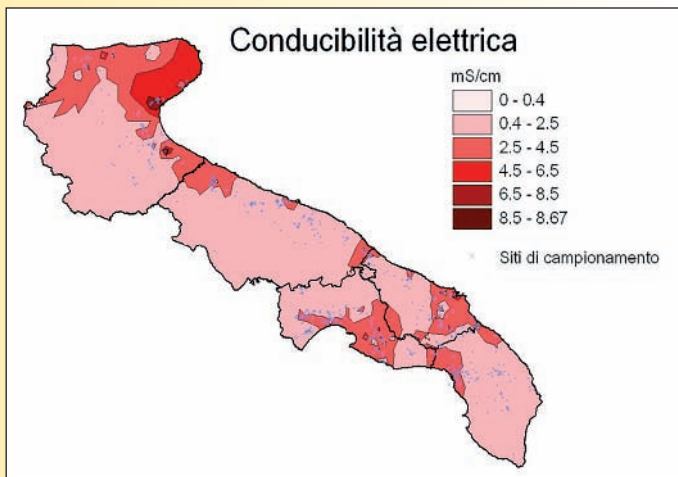


Fig. 1 - Spazializzazione dei valori di EC.

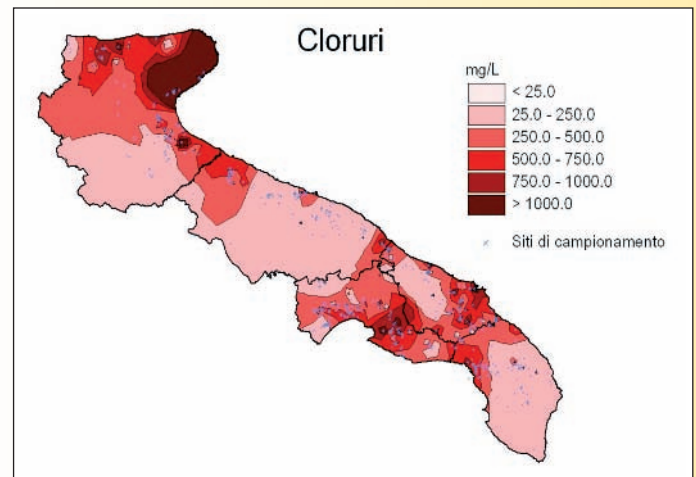


Fig. 2 - Spazializzazione delle concentrazioni di Cl-.

Tab. 1 - Valori medi di Conducibilità elettrica.

Valori medi di EC (mS/cm)	(Classe 1) ≤ 0,4	(Classi 2-3) 0,4 - 2,5	(Classe 4) 2,5 - 4,0	(Classe 4) 4,0 - 6,0	(Classe 4) ≥ 6,0
n. siti prov. FG	–	51	20	6	6
n. siti prov. BA	–	76	18	1	–
n. siti prov. BR	–	53	23	10	–
n. siti prov. TA	–	75	40	4	–
n. camp. prov. LE	–	48	27	5	–

provincia di Lecce, a causa di verifiche geostatistiche non ancora completate, si fa riferimento ai valori dei singoli campioni di acqua analizzati.

Come si può notare in provincia di Foggia dovuta attenzione va rivolta ai 6 siti di campionamento in cui si sono stati registrati valori superiori a 6,0 mS/cm, ed in particolare ai picchi riscontrati nei territori comunali di Mattinata (8,54 mS/cm), Cerignola (9,23 mS/cm) e Manfredonia. (10,03 mS/cm) In provincia di Brindisi i valori medi di EC hanno raggiunto punte massime (> 5 mS/cm) nelle acque prelevate in agro di Mesagne e Cellino S. M., ad oltre 16 km dal mare. Nel Leccese invece in 5 pozzi è stata superata la soglia di 4,0 mS/cm, con un valore significativo di 6,83 mS/cm nel territorio di Nardò. Mentre in provincia di Taranto 4 sono state le stazioni caratterizzate da valori medi di EC superiori a questa soglia, con il valore medio di EC più alto registrato nell'agro di Taranto (5,9 mS/cm). Meno critica risulta quindi la situazione riscontrata in provincia di Bari, dove in un solo caso è stata superata la soglia di 4,0 mS/cm (5,41 mS/cm a Monopoli).

Tab. 2 - Concentrazione medie dei cloruri.

Concentraz. medie di Cl ⁻ (mg/l)	(Classe 1) ≤ 25	(Classi 2-3) 25-250	(Classe 4) 250-500	(Classe 4) 500-750	(Classe 4) 750-1000	(Classe 4) ≥ 1000
n. siti prov. FG	–	36	15	14	9	10
n. siti prov. BA	6	69	7	9	4	1
n. siti prov. BR	3	35	17	13	8	10
n. siti prov. TA	3	33	38	29	12	4
n. camp. prov. LE	11	92	22	29	4	4

Cloruri

I dati relativi all'EC risultano coerenti con quelli riguardanti le concentrazioni dei cloruri (Fig. 2), dall'analisi di questi ultimi, infatti, emerge una situazione pressoché speculare a quella appena descritta. Concentrazioni medie di Cl⁻ inferiori a 25 mg/l (limite della Classe 1) sono state rilevate in appena 24 siti. Anche in questo caso, inoltre, i valori più elevati sono stati registrati in Capitanata, nel Salento ed in provincia di Taranto. Dall'esame della tabella 2, nella quale sono riportati i risultati relativi ai cloruri, emerge che nei pozzi della provincia di Foggia la concentrazione di Cl⁻ non è mai risultata inferiore a 25 mg/l. Inoltre, 10 di queste stazioni hanno presentato valori di [Cl⁻] superiori a 1 g/l, con punte estreme di 2,2, 2,4 e 2,7 g/l, rispettivamente a Cerignola, Manfredonia e Mattinata, caratterizzate, come abbiamo visto, anche da elevati valori di EC.

In merito è importante sottolineare che concentrazioni maggiori di 1 g/l sono state riscontrate anche a distanze di 6 km dalla costa (Cerignola, Manfredonia, Sannicandro G).

Inoltre, per quanto riguarda il Salento leccese, in ben 23 casi sono emersi valori compresi fra 500 e 1.000 mg/l ed in 4 valori addirittura superiori, con un estremo di 1,878 mg/l. Nel Salento brindisino invece sono state registrate punte superiori anche a 1.200 mg/l non solo in stazioni prossime alla linea di costa, come nel caso di Brindisi (1.427 mg/l) e Ostuni (1.275 mg/l), ma anche a considerevole distanza da essa, ad esempio in un pozzo nell'agro di Cellino S.M (1.268 mg/l), ubicato a circa 15 km dal mare, a dimostrazione della notevole penetrazione anche nell'entroterra del cuneo salino. Come si può osservare la situazione rilevata in provincia di Taranto è pressoché

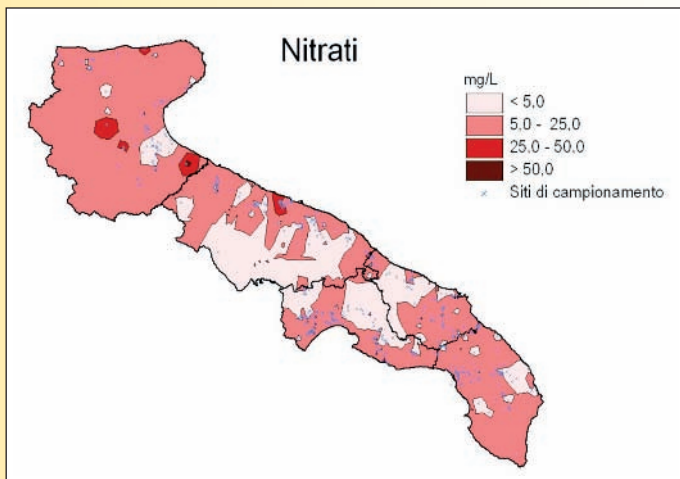


Fig. 3. Spazializzazione delle concentrazioni di NO₃⁻.

simile a quella delle precedenti province. A destare un certo allarme sono i 4 siti in cui sono stati riscontrati valori medi di [Cl⁻] maggiori di 1.000 mg/l, con punta massima di 1.548 mg/l registrata nell'agro di Taranto. Meno critica, anche in questo caso, appare la situazione in provincia di Bari, fatta eccezione per l'unico caso in cui si sono stati superati 1.000 mg/l: 1.166 mg/l a Monopoli.

Nitrati. Sulla base dei limiti normativi, il territorio pugliese si caratterizza per la diffusa presenza (Fig. 3) di acque sotterranee appartenenti alla *Classe 2*, ovvero caratterizzate da concentrazione medie di nitrati comprese tra 5 e 25 mg/l. Risultano, altresì, presenti vaste aree caratterizzate da acque di *Classe 1* ([NO₃⁻] ≤ 5 mg/l), come ad esempio in corrispondenza dell'altopiano murgiano. Tuttavia il dato analitico rivela alcune criticità dovute al superamento di 50 mg/l di concentrazione media, che costituisce la soglia di passaggio dalla *Classe 3* alla *Classe 4*, in campioni prelevati nelle province di Foggia (57,3 mg/l nell'agro di Trinitapoli; 50 mg/l in quello del capoluogo) e Bari (73,5 e 96,1 mg/l nel territorio di Bitonto; 75,5 mg/l in quello di Monopoli), facendo prospettare il rischio di contaminazione da nitrati per le falde acquifere (tab. 3).

Tab. 3 - Concentrazione medie (mg/l) dei nitrati.

Concentrazioni medie di NO ₃ ⁻ (mg/l)	(Classe 1) ≤ 5	(Classe 2) 5 - 25	(Classe 3) 25 - 50	(Classe 4) ≥ 50
n. siti prov. FG	34	38	5	2
n. siti prov. BA	45	43	7	3
n. siti prov. BR	41	44	1	-
n. siti prov. TA	60	45	7	-
n. camp. prov. LE	60	89	1	-

Continuando ad esaminare nel dettaglio lo stato delle singole province, si osserva che nel leccese, nel brindisino e nel tarantino nella maggior parte dei pozzi campionati sono state rilevate acque appartenenti alle *Classi 1 e 2*.

Mentre la presenza di acque di *Classe 3* è stata riscontrata soltanto in un campione prelevato nell'agro di Lecce (29,2 mg/l), in un sito in provincia di Brindisi (26,4 mg/l), ed in sette pozzi del tarantino (valore massimo 41 mg/l).

Ione ammonio

Le determinazioni analitiche (Tab. 4) relative ai contenuti di ammonio hanno rivelato una netta prevalenza di acque caratterizzate da concentrazioni di NH₄⁺ comprese fra 0,05 e 0,50 mg/l (*Classi 2 e 3*), in misura minore concentrazioni inferiori a 0,05 mg/l (*Classe 1*) e solo pochi pozzi dotati di acque con contenuti di NH₄⁺ superiori a 0,50 mg/l (*Classe 4*) (Fig. 4). Questo dato, certamente positivo, va tuttavia sottoposto ad un esame più accurato, in considerazione della naturale tendenza dell'ammonio ad un'elevata mobilità che lo rende particolarmente soggetto a disperdersi nell'ambiente.

Meritano pertanto attenzione i siti in cui, anche se in numero esiguo, sono stati osservati valori elevati di [NH₄⁺]. Un accurato esame della tabella 4, infatti, evidenzia che nessuno dei distretti provinciali è esente da criticità. In provincia di Foggia, ad esempio, in 6 siti sono state riscontrate concentrazioni medie di NH₄⁺ maggiori di 0,5 mg/l (*Classe 4*) ed in 3 di questi addirittura valori medi maggiori di 1,0 mg/l (1,76 mg/l a Trinitapoli; 1,28 mg/l a Manfredonia; 1,10 mg/l a Cerignola).

Tab. 4 - Concentraz. medie (mg/l) dello ione ammonio.

Concentrazioni medie di NH ₄ ⁺ (mg/l)	(Classe 1) ≤ 0,05	(Classe 2) 0,05 - 0,5	(Classe 3) ≥ 0,5
n. siti prov. FG	56	22	6
n. siti prov. BA	69	25	1
n. siti prov. BR	71	13	2
n. siti prov. TA	95	22	2
n. camp. prov. LE	138	12	2

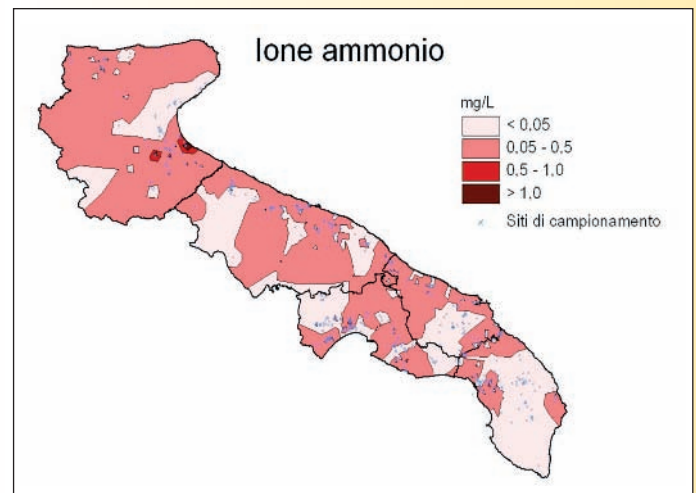


Fig. 4. Spazializzazione delle concentrazioni di NH₄⁺.

Concentrazioni medie elevate sono state riscontrate anche nelle altre province : 1,99 mg/l a Taranto; 1,21 mg/l in provincia di Brindisi; 0,87 mg/l in provincia di Bari; 0,80 mg/l in provincia di Lecce.

Conclusioni

La valutazione integrata dei risultati delle determinazioni analitiche, relativi ai principali parametri chimico-fisici delle acque irrigue, si è rivelata interessante sul piano della comprensione dei fenomeni naturali ed antropici, consentendo di verificare lo stato generale delle qualità delle acque impiegate in agricoltura allo scopo di favorire l'individuazione delle probabili cause funzionali alla pianificazione dei possibili rimedi. I dati raccolti, in particolare, hanno evidenziato come la gestione non sempre razionale del territorio e lo sfruttamento intensivo delle acque sotterranee stiano favorendo situazioni di alterazione e degrado delle risorse idriche sotterranee, correlate principalmente a fenomeni di salinizzazione delle falde e di inquinamento da nutrienti azotati.

Per quanto riguarda i fenomeni di salinizzazione, particolarmente delicata si è rivelata la situazione in prossimità delle coste, dove alla vulnerabilità intrinseca del territorio, connessa alla natura del substrato geologico ed alle dinamiche idro-geologiche caratteristiche delle zone litoranee, si associa un palese fattore di pericolosità, rappresentato dal sovrasfruttamento delle acque sotterranee per usi agricoli. Gli emungimenti dal sottosuolo, infatti, risultano particolarmente elevati nel periodo estivo, quando la ricarica della falda è pressoché nulla (Portoghesi et al. 2004; Piano di Tutela delle Acque della Regione Puglia; 2007); ciò inevitabilmente finisce col favorire l'intrusione del cuneo salino (Cotecchia e Polemio, 1995) che, a sua volta, determina l'innalzamento dell'EC nelle acque. In caso di eccessivo ricorso alla falda sotterranea, in casi sporadici, si possono addirittura registrare casi in cui i valori di EC superano i limiti fissati dalla legge per l'uso irriguo delle acque (4 mS/cm; D.M. 02/05/2006) anche a 10-15 Km di distanza dalla costa.

Il riscontro, invece, di siti caratterizzati da un sovraccarico di sostanze azotate conferma la presenza di fenomeni di inquinamento di tipo diffuso delle acque, riconducibili, con ogni probabilità, all'impatto delle attività agricole (Novotny e Olem, 1993). L'indagine condotta infatti, coerentemente con quanto già evidenziato dalla delibera della Giunta Regionale n. 2036/2005, che individuava le "Zone Vulnerabili da Nitrati di origine agricola" presenti in Puglia, ha evidenziato come l'esistenza di tali situazioni di degrado sia maggiormente evidente

nelle aree interessate da produzioni agricole di tipo intensivo. Le elevate concentrazioni di nitrati e di ammonio, dunque, riscontrate in particolare nel Tavoliere e nella piana di Bari, potrebbero essere il risultato della lisciviazione di fertilizzanti azotati distribuiti in quantità superiori rispetto alle reali esigenze nutritive delle colture agricole (Piva, 2004), con la loro conseguente mobilitazione verso il sottosuolo e la falda acquifera.

Qualora non si potesse rimediare a tali situazioni di nascente criticità, nel lungo periodo potrebbero instaurarsi ben più gravi processi degradativi che andrebbero ad inficiare la qualità delle acque sotterranee, compromettendone la disponibilità sia a fini irrigui che idro-potabili, ambiti di utilizzo di importanza strategica, se non addirittura vitale, per la Puglia.

Alla luce di queste considerazioni, diviene quanto mai indispensabile definire un'attenta politica di gestione del territorio e di utilizzo delle risorse idriche, capace di arginare i processi di alterazione attualmente in atto, attraverso il sostegno di pratiche agricole sostenibili e delle norme di condizionalità, che permettano di ridurre al minimo l'accumulo di nutrienti, di pesticidi, e di sali, nei suoli e nelle acque, mediante la razionalizzazione delle lavorazioni, delle tecniche irrigue, delle fertilizzazioni e degli interventi fitosanitari. Passaggio obbligato diviene dunque l'informazione e la sensibilizzazione degli operatori agricoli sulle problematiche agro-ambientali ed il loro coinvolgimento in fase decisionale. Solo così è possibile garantire il successo degli interventi in favore della salvaguardia delle acque sotterranee e, conseguentemente, del suolo, dei prodotti agro-alimentari e della salute umana.

Bibliografia

- 1) M. Perelli, F. Pampini; *Il nuovo manuale di concimazione*, ARVAN, 2003.
- 2) Decreto Ministeriale del 13 Settembre 1999; *Metodi ufficiale di analisi chimica del suolo*.
- 3) L. Cavazza, A. Caliandro; Guida alla formulazione della concimazione delle principali colture in Puglia.
- 4) *Metodi Analitici per le Acque*. CNR – IRSA & APAT, 2003.
- 5) G. Picci e P. Nannipieri; *Metodi di analisi microbiologica del suolo*. Franco Angeli, 2002.
- 6) I. Portoghesi et al. *A GIS tool for hydrogeological water balance evaluation on a regional scale in semi-arid environments*. Computers & Geosciences, 2005.
- 7) C. Piva; *Agronomia e nitrati: cause ed effetti sull'ambiente coltivato*. Genio rurale, 2004.
- 8) V. Cotecchia e M. Polemio; *L'inquinamento e il sovrasfruttamento delle risorse idriche sotterranee pugliesi*. Atti del 6° workshop Progetto strategico "Clima Ambiente e Territorio nel Mezzogiorno", Taormina, 1995.
- 9) V. Novotny e H. Olem; *Water Quality*. VNR – New York, 1993.
- 10) *Piano di Tutela delle Acque della Regione Puglia; 2007*.

Influenza della salinità dell'acqua irrigua sulla produzione e la qualità del finocchio

G. Cucci¹, G. Lacolla¹, V. Cantore²

¹Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali, Università di Bari, Bari

²Istituto di Scienze delle Produzioni Alimentari, CNR, Bari

Riassunto

In Italia meridionale la salinità dei suoli coltivati è molto diffusa a causa dell'uso irriguo di acqua salmastra, soprattutto nelle aree costiere dove le colture vengono irrigate con acqua di falda salinizzata dall'intrusione marina. La salinità causa riduzioni delle produzioni se vengono superati i livelli soglia; mentre, a livello qualitativo, può causare il peggioramento di alcuni parametri e/o il miglioramento di altri.

È stata realizzata una ricerca per studiare l'effetto della qualità dell'acqua sulla produzione e la qualità del finocchio (*Foeniculum vulgare* Mill., subsp. *sativum* (C. Presl.) Janchen ex Holub.), ortaggio molto diffuso in Puglia. Sono stati confrontati due tipi di terreno e 7 tipi di acque irrigue: acqua di fonte non salina e 6 tipi di acque salmastre ottenuti dissolvendo nell'acqua di fonte NaCl e CaCl₂ 1:1 o solo NaCl in modo da realizzare tre concentrazioni saline.

L'elevata salinità dell'acqua ha determinato effetti negativi riducendo la produzione e la pezzatura dei grumoli e alterando la loro forma; mentre ne ha miglio-

to alcuni aspetti qualitativi, in particolar modo il contenuto di solidi solubili. Il peso dei grumoli commerciabili si è ridotto da 349,8 g del controllo a 113,9 g del trattamento più salino; invece, la sostanza secca e i solidi solubili totali sono aumentati da 8,4 g 100 g⁻¹ p.f. e 6,0 °Brix a 11,3 g 100 g⁻¹ p.f. e 10,7 °Brix, rispettivamente tra il controllo e il trattamento più salino. La salinità da solo Na ha fatto registrare la produzione dell'18% più bassa e il contenuto di solidi solubili totali dei grumoli del 4% più elevato, rispetto al trattamento in cui gli equivalenti livelli di salinità erano stati ottenuti con NaCl e CaCl₂.

Nessun effetto di rilievo sulla produzione e sui parametri qualitativi è stato osservato in relazione ai due tipi di terreno. Dall'applicazione del modello di risposta alla salinità di Maas e Hoffman, il finocchio si è collocato tra le specie moderatamente sensibili alla salinità.

Parole chiave: CaCl₂; NaCl; *Foeniculum vulgare*; qualità; produzione.

Introduzione

La salinità è una delle maggiori cause di stress che limitano la crescita e la produttività delle specie coltivate, condizionando la scelta degli ordinamenti colturali e causando, spesso, il completo abbandono dei terreni per la riduzione della fertilità.

Le superfici agricole afflitte da questo problema sono considerevoli ed in continuo aumento. A livello mondiale la salinità ha già interessato 80 milioni di ettari di terreni coltivati (Ghassemi *et al.*, 1995) e continua ancora ad aumentare (FAOSTAT, statistics database, <http://apps.fao.org/cgi-bin/nph-dp.pl>). Altre stime più pessimistiche indicano che oltre il 50% delle aree irrigue possono essere affette dalla salinità (Flowers, 1999).

In Italia questo problema è particolarmente presente in alcune zone costiere come quelle dell'Emilia Romagna, della Sicilia e della Puglia per effetto dell'eccessivo emungimento dai pozzi e della rottura dell'equilibrio tra

alimentazione naturale e prelievo che causano l'intrusione negli acquiferi costieri di acqua marina (Cotecchia e Polemio, 1997; Polemio e Limoni, 2001).

In molte aree litoranee come quelle pugliesi in cui è molto sviluppata l'orticoltura, l'utilizzo dell'acqua di falda per soddisfare gli elevati fabbisogni irrigui delle colture determina l'apporto annuo di grandi quantità di sali al terreno. Pertanto, le colture in successione alle orticole estive spesso vengono coltivate in condizioni di elevata salinità sin dall'inizio del ciclo colturale con conseguenti effetti negativi sulle produzioni, variabili in relazione all'andamento climatico e alle specie coltivate.

Infatti, i fattori che interagiscono con la salinità nel determinarne gli effetti sulle colture sono molteplici e ascrivibili a tre categorie: a) pedoclimatici (tipo di terreno; temperatura e umidità dell'aria, regime pluviometrico ecc.); b) agronomici (gestione dell'irrigazione, concimazione, lavorazioni ecc.); c) colturali (specie, cultivar, fase fenologica).

Le diverse specie rispondono in maniera differente alla salinità e, nell'ambito della stessa specie, ci sono variazioni in relazione alla cultivar, alla fase fenologica in cui la coltura è esposta allo stress salino e per i diversi organi della pianta. La salinità causa riduzioni delle produzioni se vengono superati i livelli soglia (Maas e Hoffman, 1977); mentre, a livello qualitativo, può causare il peggioramento di alcuni parametri e/o il miglioramento di altri (Flagella *et al.*, 2002).

Oltre al livello di salinità, la risposta della coltura può essere diversa in funzione del tipo di sali così come osservato, per esempio, sul pomodoro in cui la salinità, causata solo da NaCl rispetto a quella determinata dall'apporto di NaCl e CaCl₂, determina un maggiore incremento della sostanza secca e del contenuto di solidi solubili delle bacche (Cucci *et al.*, 2000) e una maggiore dolcezza e serbevolezza (Petersen *et al.*, 1998).

Il finocchio (*Foeniculum vulgare* Mill., subsp. *sativum* (C. Presl.) Janchen ex Holub.) è una specie molto diffusa nelle aree orticole a rischio di salinità dell'Italia meridionale, dove subisce gli effetti residui dell'irrigazione con acqua salmastra delle colture estive.

I dati della letteratura circa la tolleranza alla salinità del finocchio usato come ortaggio sono contrastanti. Infatti, mentre Gabriels (1972) attribuisce a questa specie una moderata tolleranza alla salinità, altri Autori riportano un grado di tolleranza alla salinità tra moderatamente sensibile (De Pascale e Barbieri, 1995; Abou El-Magd *et al.*, 2008) e sensibile (Graifenberg *et al.*, 1996). A livello qualitativo, invece, viene riportato che l'aumento della salinità determina significative variazioni morfologiche del grumolo (De Pascale e Barbieri, 1995; Graifenberg *et al.*, 1996; Abou El-Magd *et al.*, 2008).

Anche per la produzione di seme la specie si colloca tra le moderatamente sensibili alla salinità (Ashraf e Akhtar, 2004).

La salinità, inoltre, influenza la resa in olio dei semi e la composizione in olii essenziali in relazione anche alla sottospecie. Infatti, mentre per la subsp. *sativum* l'aumento di salinità determina la riduzione del contenuto in olio dei semi (Ashraf e Akhtar, 2004), nel finocchio selvatico (*Foeniculum vulgare* Mill.) si verifica l'effetto contrario, con un significativo aumento di quest'ultimo e la riduzione della percentuale di anetolo (Abd El - Wahab, 2006).

Considerando l'importanza economica del finocchio in molte aree orticole a rischio di salinità dell'Italia meridionale, i dati contrastanti della letteratura circa la tolleranza alla salinità di questa specie e la scarsità di dati degli effetti sulla qualità, presso la Facoltà di Agraria dell'Università di Bari è stata realizzata una ricerca per fornire un contributo alla conoscenza del comportamento produttivo del finocchio al livello e al tipo di sali.

Materiali e metodi

La prova è stata effettuata in vasi del volume di 88 dm³ dislocati in serra fredda. Il piano sperimentale ha previsto il confronto tra due tipi di terreno (entrambe non salini e con elevata percentuale di limo e argilla: uno povero di sesquiossidi di ferro e alluminio e non calcareo - T₁; l'altro più caolinitico, calcareo e ricco di sesquiossidi - T₂) (Tab. 1) e 7 tipi di acque irrigue: acqua di fonte non salina (EC_w = 0,5 dS m⁻¹) (S0) e 6 tipi di acque salmastre ottenuti dissolvendo nell'acqua di fonte NaCl e CaCl₂ 1:1 (NC) o solo NaCl (N) in modo da realizzare tre concentrazioni saline (EC_w = 4 - S1, 8 - S2, 12 - S2 dS m⁻¹). È stato adottato lo schema sperimentale a split plot con 3 ripetizioni, con i tipi di terreno nei parcelloni e i tipi di acqua nelle parcelle di cui 6 tesi fattoriali (2 tipi di sali e 3 EC_w) e il confronto irrigato con acqua dolce.

Prima del trapianto il terreno è stato fertilizzato con 150, 100 e 150 kg ha⁻¹ di N, P₂O₅ e K₂O, rispettivamente. Il finocchio cv. Trevi, trapiantato il 25/9/2000 con due piante per vaso, è stato raccolto il 5/2/2001. È stato adottato il medesimo regime irriguo durante il ciclo colturale (limite intervento irriguo pari al 30% dell'acqua disponibile), somministrando il volume di acqua necessaria a riportare il terreno alla capacità di campo, aumentata della frazione di lisciviazione (30%).

All'inizio del ciclo colturale, il 2 dicembre e alla raccolta, sono stati prelevati campioni di terreno lungo il profilo di ciascun vaso, di cui è stata determinata la conducibilità elettrica dell'estratto di pasta satura (EC_e). Alla fine del ciclo colturale, sono stati rilevati i seguenti param-

Tab. 1 - Principali caratteristiche dei terreni impiegati per la prova.

	T1	T2
Caratteristiche chimiche:		
Azoto totale (met. Kjeldahl) (%)	1,14	1,05
Fosforo assimilabile (met. Olsen) (mg kg ⁻¹)	22,5	38,0
Potassio scambiabile (met. acetato ammonico) (mg kg ⁻¹)	521,0	323,9
Sostanza organica (met. WalkleyBlack) (%)	6,31	2,01
Calcare totale (%)	7,02	46,0
Calcare attivo (%)	1,50	6,4
Reazione (pH in H ₂ O)	8,40	8,1
EC _e (dSm ⁻¹)	1,38	1,29
ESP	1,87	2,05
Composizione granulometrica:		
Sabbia grossa (%) 2>f>0,2mm	29,94	23,80
Sabbia fine (%) 0,2>f>0,02mm	3,30	21,70
Limo (%) 0,02>f>0,002mm	36,30	27,30
Argilla (%) f>0,002mm	30,46	27,20
Costanti idrologiche:		
Capacità idrica di campo (det. in campo) (% p.s.)	37,0	33,0
Coefficiente di appassimento (-1,5 MPa) (% p.s.)	20,4	14,0
Massa volumic apparente (kg dm ⁻³)	1,2	1,2

tri: altezza delle piante, produzione commerciabile, biomassa e percentuale di sostanza secca delle foglie e dei grumoli, la larghezza, lo spessore e la lunghezza dei grumoli, il contenuto di solidi solubili totali dei grumoli. Per ottenere quest'ultimo parametro i grumoli sono stati frullati e il succo così ottenuto, dopo filtrazione, è stato analizzato con un rifrattometro. I dati sono stati sottoposti all'analisi della varianza e le differenze tra le medie sono state analizzate secondo il test SNK.

Risultati e conclusioni

La ECe è aumentata durante il ciclo colturale in funzione della ECw e del tipo di sali, mentre non sono state osservate variazioni in relazione al tipo di terreno. Essa, come media delle tre date di rilievo e del tipo di terreno, è aumentata da 1,3 dS m⁻¹ di S0 a 7,3 dS m⁻¹ di S3 per il trattamento N, e da 1,3 dS m⁻¹ di S0 a 6,9 dS m⁻¹ di S3 per NC (Tab. 2).

Tab. 2 - ECe medio ± SD del terreno contenuto nei vasi in relazione ai livelli di salinità (S0-S3) e al tipo di sali (N, NC), espresso in dS m⁻¹. Ogni valore rappresenta la media dei due terreni e di tre date di campionamento (25 settembre, 2 dicembre e 5 febbraio).

Livelli di salinità	N	NC
S0	1,3±0,11	1,3±0,15
S1	3,0±0,32	0,29±0,28
S2	4,6±0,45	4,4±0,37
S3	7,3±0,61	6,9±0,71

Il tipo di terreno non ha mostrato effetti di rilievo sui parametri esaminati che, invece, sono stati influenzati dai trattamenti salini (Tab. 3). In generale, l'aumento della salinità ha progressivamente ridotto lo sviluppo vegetativo delle piante e influenzato la qualità dei grumoli. Infatti, l'altezza delle piante, il peso delle foglie e dei grumoli e la produzione commerciabile dei trattamenti salini fattoriali (S1, S2, S3), in media, sono stati rispettivamente di circa il 21, 30, 42 e 42 % più bassi rispetto a S0 e, nell'ambito dei trattamenti salini fattoriali, si sono ridotti rispettivamente del 26, 38, 61 e 61%, passando da S1 a S3 (Tab. 3). Il contenuto di sostanza secca e di solidi solubili totali sono aumentati con l'aumento della salinità; in media, sono risultati rispettivamente di circa il 26 e 58 % più elevati rispetto a S0 e, nell'ambito dei trattamenti salini fattoriali sono aumentati rispettivamente del 13 e 26 %, passando da S1 a S3. Inoltre, l'aumento della salinità ha favorito l'appiattimento dei grumoli il cui rapporto tra larghezza e spessore è stato di circa l'11% più elevato nei trattamenti salini fattoriali rispetto a S0 ed è aumentato del 21% tra S1 e S3 (Tab. 3).

Il tipo di sali ha influenzato lo sviluppo delle piante e il contenuto di solidi solubili totali dei grumoli. L'altezza delle piante, il peso delle foglie e dei grumoli e la produzione commerciabile sono risultati, rispettivamente, di circa l'8, 17, 18 e 18 % più elevati in NC rispetto a N, dimostrando l'effetto negativo della maggiore quantità di sodio presente nell'acqua, probabilmente per l'accumulo

Tab. 3 - Caratteristiche delle piante di finocchio e della produzione in relazione al tipo di terreno, al livello di salinità e al tipo di sali.

	Altezza pianta (cm)	Foglie		Grumoli						Produzione Commerc (g vaso ⁻¹)
		Peso fresco (g pianta ⁻¹)	Sostanza secca (mg 100 g ⁻¹ p.f.)	Peso fresco (g pianta ⁻¹)	Sostanza secca (mg 100 g ⁻¹ p.f.)	Indice rifrattometrico (*Brix)	Spessore (cm)	Larghezza (cm)	Lunghezza (cm)	
Tipi di terreno (TT)										
T1	57,9	221,7	14,1	229,5	10,4	9,0	6,8	8,6	9,7	459,0
T2	59,1	228,4	14,3	218,3	10,2	9,0	6,8	8,4	9,5	436,6
Livelli di salinità (LS)										
S0	71,2	302,9	13,5	349,8	8,4	6,0	8,0	9,1	9,8	699,6
Media trattamenti fattoriali (S1, S2, S3)	56,4	212,1	14,3	202,9	10,6	9,5	6,6	8,4	9,5	405,8
S1	65,5a	251,8a	13,7c	290,6a	10,0c	8,5c	7,5a	8,9a	9,7a	581,3a
S2	55,1b	228,0b	14,3b	204,2b	10,5b	9,4b	6,8b	8,4ab	9,7a	408,5b
S3	48,6c	156,6c	14,9a	113,9c	11,3a	10,7a	5,5c	7,9b	9,2b	227,8c
Tipo sali (TS)										
NC	58,7	232,6	14,2	223,3	10,5	9,3	6,7	8,4	9,6	446,6
N	54,1	191,6	14,4	182,6	10,7	9,7	6,5	8,4	9,4	365,2
<i>Significatività⁽¹⁾</i>										
TT	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
LS fattoriali vs S0	**	**	*	**	**	**	**	*	ns	**
LS fattoriali	**	**	*	**	**	**	**	**	*	**
TS	*	*	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	*
Interazioni	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

(1) Lettere diverse nell'ambito delle colonne indicano valori significativamente differenti secondo il test SNK (p=0,05).

nelle foglie fino a livelli tossici, con inibizione del meccanismo fotosintetico. La maggiore quantità di Na ha invece favorito l'accumulo dei solidi solubili, che sono stati di circa il 4 % più elevati in N rispetto a NC.

Per individuare i parametri caratteristici del modello di risposta alla salinità di Maas e Hoffman (1977) è stata calcolata la regressione lineare della produzione relativa in funzione della ECe media del ciclo colturale per ciascun tipo di sale. Dall'analisi della retta di regressione si evidenziano i valori della soglia critica di ECe al di sopra della quale inizia la riduzione della produzione relativa, della pendenza ovvero la riduzione di produzione relativa per ogni incremento unitario di ECe al di sopra della soglia critica, dell'ECe₅₀ ovvero del valore di ECe a cui si verifica la riduzione del 50% della produzione relativa.

La soglia critica, la pendenza e la ECe₅₀ sono risultate, rispettivamente, pari a circa 1,4 dS m⁻¹, 11 % m dS⁻¹ e 6,2 dS m⁻¹ per NC e a circa 1,3 dS m⁻¹, 13 % m dS⁻¹ e 5,1 dS m⁻¹ per N (Fig. 1). Questi risultati confermano la posizione di questa specie tra le moderatamente sensibili alla salinità, come già riportato da alcuni Autori (De Pascale e Barbieri, 1995; Abou El-Magd *et al.*, 2008). Il contrasto con quanto riportato da Gabriels (1972), che invece colloca la specie tra le moderatamente tolleranti la salinità, probabilmente risiede nel metodo di valutazione adottato dall'Autore che è di tipo qualitativo. Invece, i risultati di questa ricerca differiscono di poco rispetto ai dati di Graifenberg *et al.* (1996) che colloca il finocchio tra le specie sensibili alla salinità. Inoltre, viene confermato il peggioramento della morfologia dei grumoli (appiattimento) all'aumentare della salinità, già riportato da altri Autori (De Pascale e Barbieri, 1995; Graifenberg *et al.*, 1996; Abou El-Magd *et al.*, 2008). I parametri di tolleranza alla salinità del finocchio ottenuti in questa ricerca dimostrano l'effetto più sfavorevole della salinità da Na, rispetto a quella derivante da Na e Ca in rapporto equivalente.

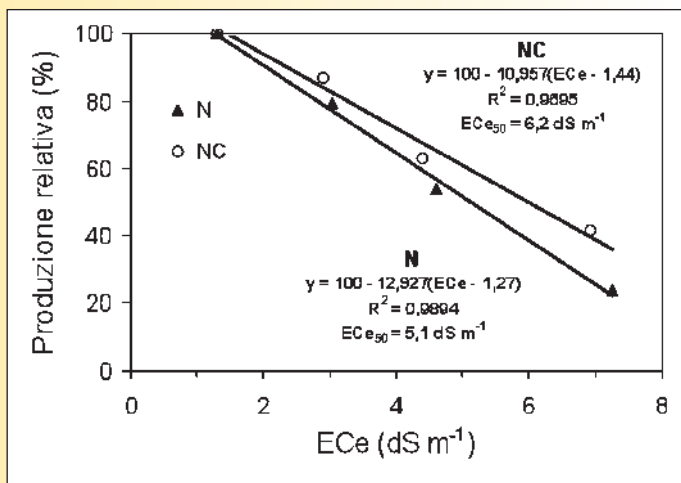


Fig. 1 - Parametri che caratterizzano la tolleranza alla salinità secondo il modello di Maas e Hoffman (1977) di riduzione della produzione relativa in funzione della ECe del terreno.

Ciò può essere attribuibile agli effetti negativi del sodio sia sulla pianta (tossicità, competizione nell'assorbimento degli elementi nutritivi) che sul terreno (riduzione della fertilità fisico-chimica). Al contrario, operando con terreno simile e con trattamenti salini equivalenti, non sono state osservate variazioni dei parametri di crescita e delle produzioni di pomodoro in relazione al tipo di sali (Cucci *et al.*, 2000). La maggiore quantità di Na ha favorito l'accumulo di sostanza secca e di solidi solubili totali nei grumoli di finocchio, confermando quanto già osservato sul pomodoro (Cucci *et al.*, 2000). Dai risultati della ricerca si può concludere che il finocchio, pur confermandosi moderatamente sensibile alla salinità, è tra le specie che da questo problema può trarre un parziale beneficio per il miglioramento del contenuto di solidi solubili.

Ricerca eseguita con fondi CNR nell'ambito del GRU.S.I., responsabile scientifico U.O. Prof.ssa G. Cucci.

Bibliografia

- 1) Abd El - Wahab M.A. (2006). The efficiency of using saline and fresh water irrigation as alternating methods of irrigation on the productivity of *Foeniculum vulgare* (Mill.) subsp. *vulgare* var. *vulgare* under North Sinai conditions. Res. J. Agric. Biol. Sci., 2 (6), 571-577.
- 2) Abou El-Magd M.M., Zaki M.F., Habou Hussein S.D. (2008). Effect of organic manure and different levels of saline irrigation water on growth, green yield and chemical content of sweet fennel. Austr. J. Basic and Appl. Sci., 2 (1), 90-98.
- 3) Ashraf M., Akhtar N. (2004). Influence of salt stress on growth, ion accumulation and seed oil content in sweet fennel. Biol. Plant., 48 (3), 461-464.
- 4) Cotecchia V., Polemio M. (1997). Monitoraggio idrogeologico continuo per salvaguardare le acque sotterranee pugliesi. Dimensione Ricerca, 2, 11-15.
- 5) Cucci G., Cantore V., Boari F., De Caro A. (2000). Water salinity and influence of SAR on yield and quality parameters in tomato. Acta Hort., 537, 663-670.
- 6) De Pascale S., Barbieri G., 1995. Effects of soil salinity from long-term irrigation with saline-sodic water on yield and quality of winter vegetable crops. Sci Horti., 64,145-157.
- 7) Flagella Z., Cantore V., Giuliani M.M., Tarantino E., De Caro A. (2002). Crop salt tolerance: Physiological, yield and quality aspects. In: S.G., Pandalai (Ed.), Recent Res. Devel. Plant Biol., 2, 155-186, ISBN:81-7736-149-X.
- 8) Flowers T.J. (1999). Salinisation and horticultural production. Sci. Horti., 78, 1-4.
- 9) Gabriels R. (1972). Tollerance aux sels des cultures agricoles et horticoles. Rev. Agric., 53-72.
- 10) Ghassemi F., Jakeman A.J., Nix H.A. (1995). Salinization of land and water resources: human causes, extent management and case studies. UNSW Press/CAB International, Sydney, Australia/Wallingford, UK.
- 11) Graifenberg A., Botrini L., Giustiniani L., Lipucci di Paola M. (1996). Salinity affects growth, yield and elemental concentration of fennel. HortSci., 31, 1131-1134.
- 12) Maas E.V., Hoffman G.J. (1977). Crop salt tolerance - current assessment. J. Irr. and Drain. Div., 103, 115-134.
- 13) Petersen K.K., Willumsen J., Kaack K. (1998). Composition and taste of tomatoes as affected by increased salinity and different salinity sources. J. Horti. Sci. & Biotech., 73 (2), 205-215.
- 14) Polemio M., Limoni P.P. (2001). L'evoluzione dell'inquinamento salino delle acque sotterranee della Murgia e del Salento. Mem. Soc. Geol. It., 56, 327-331.

Acqua irrigua e qualità dei prodotti agricoli

A. Pardossi

Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie, Università di Pisa, Pisa

Riassunto

Tra le varie pratiche agronomiche, l'irrigazione è quella che più condiziona la resa delle colture agrarie e la qualità dei prodotti raccolti. Purtroppo, in seguito alla crescita della popolazione mondiale e al conseguente aumento della domanda d'acqua anche per impieghi diversi da quello agricolo, in molte aree geografiche la disponibilità di acqua irrigua di buona qualità è andata diminuendo con ovvie ripercussioni sulle colture. Il peggioramento qualitativo delle acque irrigue è determinato soprattutto dai fenomeni di salinizzazione (in genere, per la presenza di cloruro di sodio). In alcuni casi, a determinare la scarsa idoneità delle acque all'uso irriguo è la presenza di un'eccessiva concentrazione di elementi pesanti o di microelementi, come ad es. il boro. La necessità di ridurre i consumi d'acqua irrigua e/o di usare acque saline, o comunque di scarsa qualità, ha stimolato, anche nei paesi storicamente non colpiti dal problema della siccità, lo sviluppo di nuove tecnologie irrigue (ad es. microirrigazione, *deficit irrigation*, colture idroponiche a ciclo chiuso) in grado di aumentare l'efficienza d'uso dell'acqua delle colture e di

evitare il peggioramento qualitativo delle produzioni, che generalmente viene determinato dallo stress idrico e/o salino. Utilizzando alcuni esempi (in particolare, il pomodoro), la relazione esamina i possibili effetti delle tecniche d'irrigazione sopra ricordate e delle caratteristiche chimiche dell'acqua irrigua sulla qualità dei prodotti agricoli. Sono anche esaminate le possibilità offerte da particolari sistemi di coltivazione come l'idroponica, che per definizione intende controllare la crescita e lo sviluppo delle piante attraverso una specifica manipolazione della concentrazione di sali nell'acqua irrigua. La conclusione generale è che l'impiego di particolari tecniche irrigue può limitare i danni generalmente associati ad una riduzione dei volumi idrici e/o ad un aumento della salinità dell'acqua e che, almeno in alcune colture, è possibile addirittura sfruttare un moderato stress idrico e/o salino per un significativo miglioramento qualitativo dei prodotti.

Parole-chiave: boro, irrigazione, prodotti ortofrutticoli, qualità dell'acqua irrigua, salinità.

Introduzione

Tra le varie pratiche agronomiche, l'irrigazione è quella che più condiziona la resa delle colture agrarie e la qualità dei prodotti raccolti. Purtroppo, in seguito alla crescita della popolazione mondiale e al conseguente aumento della domanda d'acqua anche per impieghi diversi da quello agricolo, in molte aree geografiche la disponibilità di acqua irrigua di buona qualità è andata diminuendo con ovvie ripercussioni sulle colture. Il peggioramento qualitativo delle acque irrigue è determinato soprattutto dai fenomeni di salinizzazione (in genere, per la presenza di cloruro di sodio). In alcuni casi, a determinare la scarsa idoneità delle acque all'uso irriguo è la presenza di un'eccessiva concentrazione di elementi pesanti o di microelementi, come ad es. il boro. La necessità di ridurre i consumi d'acqua irrigua e/o di usare acque saline, o comunque di scarsa qualità, ha stimolato, anche nei paesi storicamente non colpiti dal problema della siccità, lo sviluppo di nuove tecnologie irrigue (ad es. microirrigazione, *deficit irrigation*, colture idroponiche a ciclo chiuso) in grado di aumentare l'efficienza d'uso dell'acqua delle colture e di evitare il peggioramento qualitativo delle pro-

duzioni, che generalmente viene determinato dallo stress idrico e/o salino. Utilizzando alcuni esempi (in particolare, il pomodoro), la relazione esamina i possibili effetti delle tecniche d'irrigazione sopra ricordate e delle caratteristiche chimiche dell'acqua irrigua sulla qualità dei prodotti agricoli. Sono anche esaminate le possibilità offerte da particolari sistemi di coltivazione come l'idroponica, che per definizione intende controllare la crescita e lo sviluppo delle piante attraverso una specifica manipolazione della concentrazione di sali nell'acqua irrigua.

Irrigazione e qualità dei prodotti agricoli

Limitando l'attenzione alle caratteristiche organolettiche, che sono quelle più facilmente apprezzabili da parte dei consumatori (almeno nel caso dei prodotti ortofrutticoli), possiamo fare due esempi sulla relazione tra irrigazione e qualità dei prodotti agricoli.

Poiché il primo esempio riguarda il pomodoro, conviene ricordare che in questo frutto (una bacca) il gusto ed altre caratteristiche, come la consistenza e la serbevolezza, sono strettamente legate alla concentrazione di zuccheri e acidi solubili (glucosio, fruttosio, acido citrico); è facile

intuire l'influenza dell'irrigazione sulla qualità di un frutto costituito per più del 90% da acqua.

Un pomodoro dalle straordinarie caratteristiche in termini di contenuto di zuccheri e acidi, particolarmente apprezzato per la preparazione di sughi e dotato di una straordinaria serbevolezza, è il pomodoro "seccagno" di Villalba (Caltanissetta; <http://www.comune.villalba.cl.it/tu-rismo/pomodoro/Menu.htm>). La sua qualità è legata alla coltivazione in asciutta (e non piuttosto all'impiego di particolari varietà locali), ma si associa a rese irrisorie (100-150 qli/ha), di un ordine di grandezza inferiori a quelle di una normale coltura irrigua, che rendono questo pomodoro adatto ad un diffusione di tipo amatoriale o per percorsi di turismo eno-gastronomico, non certo al grande mercato, dominato dalla GDO. L'altro esempio è costituito dalla vite (da vino). Almeno nei nostri ambienti, l'irrigazione della vite era considerata, fino a qualche anno fa, assolutamente incompatibile con il concetto di enologia di qualità. Pratica necessaria nelle regioni della nuova viticoltura, come la California e l'Australia, o in Israele, l'irrigazione era ritenuta in Italia e in altri paesi europei una pratica di forzatura, in grado di aumentare le rese ma, proprio per questo, da evitare nel modo più assoluto per la produzione di vini di pregio. Oggi, invece, anche in Italia - almeno in certi vigneti - si pratica l'irrigazione di "soccorso" per consentire alla pianta di svolgere in modo ottimale l'attività fotosintetica nelle fasi in cui è più sensibile allo stress idrico, cioè nella fase di fioritura-allegagione e tra la pre-chiusura e l'invaiaatura del grappolo (e.g. Poni, 2000). Ovviamente, occorre evitare di irrigare, o di farlo in eccesso, in altre stadi di sviluppo della coltura, allo scopo di ridurre la vigoria vegetativa ed evitare un accrescimento sproporzionato della chioma della pianta, che potrebbero - ombreggiando ad esempio in modo eccessivo i grappoli - influenzare negativamente la sintesi di antociani e fenoli durante la maturazione, con ripercussioni negative sulla vinificazione. La gestione dell'irrigazione dei vigneti rimane comunque abbastanza complessa in quanto si basa, in molti casi, su di un continuo monitoraggio dello stato idrico della pianta, effettuato in genere attraverso la misura diretta in campo del potenziale idrico fogliare con una camera a pressione.

Irrigazione ed efficienza d'uso dell'acqua delle colture

Negli ultimi anni è stato notevole il progresso nel campo dell'irrigazione e oggi sono disponibili tecniche e dispositivi in grado di garantire un significativo incremento dell'efficienza d'uso dell'acqua (WUE) delle colture, cioè del rapporto tra resa produttiva e volume irriguo. Una tecnica interessante per gli indubbi vantaggi in termini di WUE e i possibili riflessi sulla qualità dei prodotti è la cosiddetta *deficit irrigation* (DI; FAO, 2002).

La DI prevede una sostanziale diminuzione del volume irriguo (fino al 50% in meno rispetto ad una coltura irri-

gata normalmente), riducendo sistematicamente le dosi applicate rispetto all'evapotraspirazione della coltura (ET), oppure irrigando solo in certe fasi o in certe condizioni fisiologiche della coltura, come già visto nel caso della vite. I presupposti fisiologici della DI sono la diversa sensibilità allo stress idrico della fotosintesi e della crescita per espansione e il fatto che, almeno in alcune specie arboree, la crescita degli organi verdi e dei frutti mostra cinetiche diverse durante la stagione di coltivazione. Uno stress idrico (moderato) influenza la crescita delle parti verdi più della fotosintesi e, se applicato in certe periodi, riduce lo sviluppo della chioma più di quello dei frutti. Nella risposta della pianta alla DI è coinvolto anche quell'affascinante sistema di comunicazione chimica tra radici e foglie (*root-to-shoot communication* o RSC) basato sulla variazione del pH e/o della concentrazione di alcuni ormoni, come l'ABA, nella linfa xilematica (Davies e Hartung, 2004; Kang e Zhang, 2004). La pianta appare, in effetti, dotata di un sistema per avvertire la carenza idrica nel terreno e di influenzare il comportamento degli stomi e la crescita per distensione degli organi più giovani, riducendo la traspirazione fogliare prima che si manifesti un vero e proprio deficit idrico. L'applicazione pratica di queste conoscenze sulla fisiologia della pianta, però, trova spesso delle serie difficoltà a causa dell'influenza di numerosi fattori climatici, pedologici e di altra natura difficilmente controllabili, e spesso i risultati sono insufficienti o scoraggianti, se non addirittura opposti a quelli previsti; la tecnica della *partial root drying* (PRD) appare un ottimo esempio, in questo senso.

La PRD è una variante della DI oggetto di molti studi, anche recentissimi (e.g. Shao *et al.*, 2008), condotti su diverse colture. Questa tecnica consiste nel ridurre il volume di acqua somministrato alla pianta irrigando ora una metà ora l'altra della zona radicale. Nel caso dell'irrigazione per scorrimento, ad esempio, invece di irrigare tutti i solchi, se ne irriga uno sì e uno no; all'irrigazione successiva, si irrigano i solchi lasciati asciutti in precedenza. Nel caso della microirrigazione, si predispongono due linee di gocciolatori - a destra e a sinistra del filare di piante - che verranno utilizzate alternativamente.

Nel caso di una normale DI, dove si somministra sistematicamente un volume d'acqua molto più basso rispetto al normale regime irriguo, il progressivo disseccamento del terreno può determinare la morte di una parte più o meno grande delle radici con ovvie conseguenze, ad es. sulla nutrizione minerale delle piante o sullo stesso sistema RSC e, alla lunga, sulla crescita e la produzione. Nel caso della PRD, invece, le radici rimangono vitali, si riduce il vigore vegetativo della pianta senza influenzare la fotosintesi e la crescita dei frutti (e.g. Davies e Hartung, 2004). La tecnica PRD ha suscitato molti interessi e entusiasmi; eppure, almeno in orticoltura chi scrive non conosce

esempi significativi di applicazione di PRD su scala commerciale e questo sembra valere anche per le colture arboree (e.g. Poni, 2000).

Qualità dell'acqua irrigua e dei prodotti agricoli

Sono diversi i parametri fisici, chimici e microbiologici che è necessario conoscere quando si valuta la qualità di un'acqua ad uso irriguo. Ad esempio, l'assenza di microrganismi patogeni e/o di composti tossici (ad es. metalli pesanti) è un requisito indispensabile per la sicurezza igienico-sanitaria. Molto spesso, comunque, la valutazione si basa su pochi parametri (v. Tabella 1), come l'alcalinità (più che il pH), la conducibilità elettrica (EC) e la concentrazione di NaCl (in genere, strettamente correlata alla EC) e di microelementi come il boro (B).

La salinità e la concentrazione di B possono influenzare la qualità dei prodotti in modo sostanzialmente diverso, almeno in alcune specie come il pomodoro.

In funzione delle caratteristiche genetiche e delle condizioni di coltivazione, le specie coltivate mostrano una diversa sensibilità al B (Nable *et al.*, 1997); la sintomatologia provocata dall'eccesso di B nel terreno o nell'acqua irrigua e la sensibilità della specie dipendono soprattutto dal modo con cui il B si muove all'interno della pianta.

Come confermato in un nostro studio ancora in corso all'Università di Pisa sugli effetti di una concentrazione relativamente alta di B (2.0 mg/L) nell'acqua irrigua su colture senza suolo a ciclo chiuso, nel pomodoro il movimento del B è praticamente ristretto al flusso xilematico e i sintomi tipici sono rappresentati dalla clorosi e dalla necrosi marginale delle foglie.

La funzionalità fotosintetica delle porzioni di lamina fogliare che non presentano questi sintomi rimane praticamente inalterata, come dimostrato dall'analisi dell'immagine della fluorescenza. La Tabella 2 riporta un confronto tra i due livelli di B nell'acqua irrigua utilizzati nell'esperimento sopra ricordato per quanto riguarda sia la concentrazione di B nelle foglie e nei frutti sia la produzione. Al contrario delle foglie, i frutti, che invece sono relativamente isolati rispetto al flusso xilematico, non accumulano B anche in presenza di concentrazioni particolarmente elevate nell'acqua irrigua. L'effetto negativo del B sulla qualità dei frutti, piuttosto che sulla resa, appare spiegato dalla riduzione (-10% circa rispetto al controllo) della super-

Tab. 1 - Principali parametri utilizzati per la valutazione della qualità dell'acqua irrigua (da Ayers e Westcoat, 1985).

Parametro	Rischio di tossicità per la maggior parte delle colture		
	Nessuno	Crescente	Grave
Alcalinità (meq/L HCO ₃ ⁻)	<1.5	1.5 - 8.5	>8.5
Conducibilità elettrica (dS/m)	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
Sodio (Na ⁺ ; mg/L)	< 70	71 - 180	> 180
Cloruro (Cl ⁻ ; mg/L)	< 70	71 - 300	> 300
Boro (B; mg/L)	< 0.5	0.6 - 2.0	> 2.0

ficie fotosinteticamente attiva e, conseguentemente, dei livelli di assimilati disponibili per i frutti in via di sviluppo. Di fatto, l'eccesso di B – almeno nel pomodoro e con i livelli saggiati nel nostro esperimento – sembra provocare una sorta di reazione di ipersensibilità che, in ultima analisi, riduce la superficie fogliare e quindi la fotosintesi.

Diverso è l'effetto della salinità, soprattutto se legata alla presenza del NaCl.

Un pomodoro maturo è costituito principalmente da acqua con un contenuto di sostanza secca in genere non inferiore a 4-5% (del peso fresco) e non superiore a 8-10%. Quindi, la produzione di una coltura di pomodoro dipende essenzialmente dal flusso di acqua nelle bacche, che avviene soprattutto attraverso il floema (Ho, 1988).

D'altra parte, il movimento d'acqua dallo stelo (dal rachide, più precisamente) verso il frutto è determinato dal gradiente di potenziale idrico tra i due organi e diversi lavori (e.g. Guichard *et al.*, 2001; Li *et al.*, 2002) hanno dimostrato che il tasso di crescita e le dimensioni finali delle bacche di pomodoro possono essere ridotti quanto si ha una diminuzione di questo gradiente provocata da una diminuzione del potenziale idrico dello stelo, a causa ad esempio dell'intensa traspirazione fogliare, di un ridotto rifornimento idrico e/o di uno stress osmotico a livello radicale (come quello indotto, appunto, dall'irrigazione con acque saline). In condizioni di salinità, però, tende ad aumentare la frazione di acqua fornita ai frutti attraverso il floema e la concentrazione di assimilati della stessa linfa floematica.

Pertanto, la salinità riduce la crescita idrica della bacca molto di più dell'accumulo di sostanza secca; in altre parole, a maturità le bacche saranno sì più piccole, ma anche più ricche in zuccheri, acidi, ecc.. e migliori dal punto di vista organolettico (e.g. Petersen *et al.*, 1998; Sirigu *et al.*, 1999).

Recenti studi all'Università di Pisa hanno evidenziato anche l'effetto positivo della salinità dell'acqua irrigua sulle caratteristiche nutraceutiche del pomodoro legato ad un maggior contenuto di vitamine (C e E), di acido lipico e di acido clorogenico (e.g. Sgherri *et al.*, 2008).

Tab. 2 - Effetto della concentrazione di boro nell'acqua irrigua sul contenuto di questo elemento nelle foglie e nei frutti e sulla produzione e sulla qualità dei frutti di pomodoro (del tipo "insalatato") coltivato in serra su perlite (sistema chiuso). Le medie (n=3) seguite la lettere identiche non sono statisticamente (p<0.05) diverse (ANOVA).

	[B] (mg/L)	
	0.50	2.0
Contenuto di B nei frutti (mg/kg DW)	76 a	86 a
Contenuto di B nei frutti (mg/kg DW)	230 b	561 a
Produzione di frutti (kg/m ²)	10.0 a	9.7 a
Peso medio dei frutti (g)	153.2 a	165.2 a
Residuo ottico (°Brix)	5.10 a	4.48 b
Acidità titolabile (g a.citrico./100 g FW)	0.86 a	0.62 b

In alcuni comprensori orticoli la salinità delle acque irrigue è in effetti diventata un'opportunità, anche se rimane da valutare l'effetto a lungo termine sulle proprietà fisico-chimiche del terreno dell'uso di acque saline. I ben noti pomodori e meloni di Pachino (coltivati in una zona tra le province di Ragusa e Siracusa) devono, infatti, la loro straordinaria qualità organolettica proprio all'irrigazione con acque con un elevato contenuto di NaCl.

La relazione tra qualità dell'acqua irrigua e dei prodotti agricoli può essere esaminata anche considerando la possibilità di modificare ad arte la qualità dell'acqua d'irrigazione per ottenere specifici miglioramenti qualitativi dei prodotti raccolti. L'aumento del valore nutrizionale dei prodotti vegetali mediante tecniche d'arricchimento (fortificazione) con sostanze come ferro, selenio, ecc. è stata molto studiata in questi ultimi anni seguendo un approccio genetico-molecolare (e.g., Cattaneo *et al.*, 2006) o più squisitamente tecnologico (cioè, ricorrendo a specifiche concimazioni al terreno o per via fogliare). In Italia, l'esempio di fortificazione tecnologica più noto a livello commerciale è certamente rappresentato dalla patata e della cipolla al selenio (Selenella™; <http://www.consorziodellebuoneidee.it/>).

Quando parliamo di controllo della qualità delle produzioni vegetali attraverso la modifica delle caratteristiche dell'acqua irrigua, non possiamo certo dimenticare le colture idroponiche. L'idroponica è una particolare tecnica di coltivazione utilizzata quasi esclusivamente nel settore ortoflorovivaistico, anche se non mancano esempi di applicazione ad altre colture come l'uva da tavola. L'idroponica presenta molti vantaggi e uno di questi è la possibilità di controllare la crescita e lo sviluppo delle piante attraverso l'uso di soluzioni nutritive con particolari concentrazioni di elementi nutritivi. In proposito, l'esempio più importante riguarda la riduzione del contenuto di nitrati (composti potenzialmente tossici per il nostro organismo; EFSA, 2008) negli ortaggi da foglia, che può essere ottenuta modulando la concentrazione di azoto nella soluzione nutritiva e/o il rapporto tra nitrato e ammonio, eliminando l'azoto dalla soluzione nutritiva negli ultimi giorni di coltivazione o aggiungendo alla soluzione nutritiva ioni antagonisti come i cloruri che possono ridurre l'assorbimento radicale dei nitrati e sostituirli nel processo di osmoregolazione cellulare (Van der Boon, 1986; Pardossi *et al.*, 1999).

Conclusioni

L'emergenza idrica che affligge l'intero pianeta ha originato lo sviluppo di nuove tecniche d'irrigazione (ad es. microirrigazione, *deficit irrigation*, *partial root drying*, colture idroponiche a ciclo chiuso,...) in grado di aumentare la WUE delle colture e limitare i danni generalmente associati ad una riduzione dei volumi irrigui e/o ad un aumento della salinità dell'acqua. In alcune colture come il po-

modoro, è addirittura possibile sfruttare un moderato stress idrico e/o salino per un significativo miglioramento delle caratteristiche organolettiche e nutrizionali. Infine, con le colture idroponiche, il cui impiego è ancora poco diffuso e comunque limitato al settore ortoflorovivaistico, è possibile modificare ad arte la qualità dell'acqua d'irrigazione per ottenere specifici miglioramenti qualitativi, come ad es. una riduzione del contenuto di nitrati o un aumento del valore nutrizionale attraverso una fortificazione con particolari sostanze come il selenio o il ferro.

Bibliografia

- 1) Ayers R.S., Westcot D.W. (1985). Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper. FAO, Roma.
- 2) Boon J. van der, Steenhuizen J.W., Steingrover E.G. (1990). Growth and nitrate concentration of lettuce is affected by total nitrogen and chloride concentration, NH₄/NO₃ ratio and temperature of recirculating nutrient solution. *J. Hort. Sci.* 65 (3): 309-321.
- 3) Cattaneo M., Negri S., Vigani G., Zocchi G. (2006). La biofortificazione nel futuro del grano. *L'Informatore Agrario* 52 (33), pag. 54-55.
- 4) Davies W.J., Hartung W. (2004). Has extrapolation from biochemistry to crop functioning worked to sustain plant production under water scarcity?, *Proceeding of the 4th International Crop Science Congress* 26 September–1 October 2004, Brisbane, Australia (2004).
- 5) European Food Safety Authority - EFSA (2008). Nitrate in vegetables: Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food chain. (Question No EFSA-Q-2006-071). Adopted on 10 April 2008. http://www.efsa.europa.eu/EFSA/efsa_locale-1178620753820_1178712852460.htm
- 6) FAO, 2002. Deficit irrigation practices. Food and Agriculture Organization of United Nations, Water reports 22.
- 7) Guichard S, Bertin N, Leonardi C, Gary C. (2001). Tomato fruit quality in relation to water and carbon fluxes. *Agronomie* 21:385–392.
- 8) Ho L.C., Grange R.I., Picken A.J. (1987). An analysis of the accumulation of water and dry matter in tomato fruit. *Plant Cell and Environment* 10: 157–162.
- 9) Li Y.L., Stanghellini C., Challa H. (2002). Response of tomato plants to a step-change in root-zone salinity under two different transpiration. *Scientia Horticulturae* 93: 267-279.
- 10) Kang S., Zhang J. (2004). Controlled alternate partial root-zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency. *Journal of Experimental Botany* 55 (407): 2437-2446.
- 11) Nable R.O., Banuelos G.S., Paull J.G. (1997). Boron toxicity. *Plant and Soil* 193: 181-198.
- 12) Pardossi A., Bagnoli G., Malorgio F., Campiotti C.A., Tognoni F. (1999). NaCl effects on celery (*Apium graveolens* L.) grown in NFT. *Scientia Horticulturae*, 81, 229-242..
- 13) Petersen K.K., Willumsen J. and Kaack K. (1998). Composition and taste of tomatoes as affected by increased salinity and different salinity sources, *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 73: 205–215.
- 14) Poni S. (2000). Sensibilità della vite allo stress idrico e implicazioni per la tecnica irrigua. *L'Informatore Agrario* 47: 71-81.).
- 15) Sgherri C., Kadlecová Z., Pardossi A., Navari-Izzo F., Izzo R. (2008). Irrigation with Diluted Seawater Improves the Nutritional Value of Cherry Tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, in press.
- 16) Shao G.C., Zhang Z.Y., Liu N., Yu S.E., Xing W.G. (2008). Comparative effects of deficit irrigation (DI) and partial rootzone drying (PRD) on soil water distribution, water use, growth and yield in greenhouse grown hot pepper *Scientia Horticulturae* 119 (1): 11-16.
- 17) Sirigu A., Leoni S., Pisanu A.B. & Gradina R., 1999. Concentrazione salina e caratteristiche qualitative del pomodoro Camone. *L'informatore Agrario* 55(6): 55-58.