

NUOVI APPROCCI ALLO STUDIO DELLE INTERAZIONI PIANTA-AMBIENTE NEL SISTEMA SERRA

Stefania De Pascale, Albino Maggio e Giancarlo Barbieri

Dipartimento di Ingegneria agraria e Agronomia del territorio.

Università di Napoli Federico II. Via Università, 100 – 80055 – Portici (Napoli) ITALY

Tel. +390812539127 Fax +390817755129 E-mail: depascal@unina.it

Riassunto: Le tecniche di produzione in ambiente protetto si discostano in maniera marcata da quelle tipiche del pieno campo in quanto in serra l'ambiente può essere modificato al fine di massimizzare la produttività della coltura. Nell'Europa centrale e settentrionale la tendenza predominante è verso un controllo totale dell'ambiente serra al fine di raggiungere la produzione potenziale della coltura. Di conseguenza, l'evoluzione della serricoltura è avvenuta parallelamente alla comparsa di sistemi a tecnologia avanzata (climatizzazione computerizzata, idroponica a ciclo chiuso, robotica). Al contrario, nei Paesi a clima mediterraneo, la presenza diffusa di serre caratterizzate da strutture leggere ha comportato lo sviluppo di tecniche colturali che favoriscono l'adattamento della coltura ad un ambiente sub-ottimale e solo parzialmente controllato. In queste aree, poiché vi è un minore controllo dell'ambiente serra, la coltura in sé gioca un ruolo predominante sul microclima in quanto lo definisce in virtù dei suoi scambi gassosi. Nell'ambito dell'orticoltura protetta, un'area di ricerca molto promettente è rappresentata dallo studio della biologia funzionale delle colture. Molti aspetti del metabolismo e della fisiologia dei sistemi vegetali in un determinato ambiente (serra) potrebbero essere analizzati in *funzione del processo produttivo* per poter individuare margini per migliorare l'efficienza d'uso delle risorse. Relativamente a questo aspetto, la possibilità di integrare informazioni provenienti da diverse discipline è un'opportunità che non deve essere sottovalutata ma, al contrario, rinforzata in virtù dei progressi fatti nell'ambito della biologia molecolare e di altre discipline in cui la comunità scientifica sta investendo molto.

Parole chiave: efficienza d'uso delle risorse, energia, idroponica, impatto ambientale.

INTRODUZIONE

Le colture protette dell'area Mediterranea hanno avuto una rapida espansione raggiungendo in poco più di 50 anni una superficie di circa 200.000 ha destinati a serre e serre-tunnel (tab. 1). Nell'Europa settentrionale prevale la tendenza ad ottimizzare l'ambiente serra per ottenere la produzione potenziale della coltura. Di conseguenza, la serricoltura si è evoluta parallelamente alla comparsa di sistemi a tecnologia avanzata tra cui la climatizzazione computerizzata degli ambienti di coltivazione, i sistemi di coltura idroponica, i sistemi di trasporto inter-aziendali (sistemi *agro-robot*). Al contrario, nei Paesi a clima mediterraneo, la tendenza dominante è quella di adattare la coltura ad un ambiente non-ottimale e solo parzialmente controllato. Nella serricoltura di queste aree, quindi, la coltura gioca un ruolo predominante sul microclima in quanto lo definisce in virtù dei suoi scambi gassosi. I ben noti vantaggi del clima mediterraneo (in termini di calore e luce), se da un lato hanno consentito lo sviluppo di una serricoltura caratterizzata da basso impiego di *input* energetici, hanno tuttavia determinato alcune criticità in termini di ventilazione, trasmissione della luce, controllo dell'umidità e climatizzazione in generale. Nelle aree più calde del Mediterraneo predominano così serre caratterizzate da strutture leggere coperte da semplici film plastici e, in genere, si ritiene che, specialmente nel caso degli ortaggi, non siano giustificati investimenti *high-tech* a causa di un rapporto costi/benefici troppo elevato (La Malfa e Leonardi, 2001).

I vincoli (tecnici ed economici) alla soluzione di questi punti critici condizionano però la sostenibilità della gestione di altri *input* (es. CO₂), l'impatto ambientale e l'efficienza di uso delle risorse disponibili (radiazione solare).

In questo contesto, la comprensione dei meccanismi fisiologici funzionali al superamento di situazioni transitorie di stress potrebbe contribuire all'individuazione di strategie per migliorare significativamente l'efficienza d'uso delle risorse nella serricoltura delle aree mediterranee. Un sostanziale contributo proviene dai recenti studi di genetica molecolare e dalla individuazione di meccanismi biologici che possono essere direttamente o indirettamente coinvolti in un uso efficiente (da parte della pianta) delle risorse nello specifico ambiente di coltivazione (De Pascale e Maggio, 2005).

EFFICIENZA D'USO DELLE RISORSE NATURALI IN COLTURA PROTETTA

Energia

Il riscaldamento in serra è un importante fattore in grado di garantire anticipi di produzione e livelli di produzione quanti-qualitativamente costanti necessari in un mercato caratterizzato da elevata competitività. In Italia, per la sola climatizzazione il consumo diretto di energia è stimato sull'ordine di 140.000 TEP con una incidenza sul costo totale di produzione del 20-30%. Durante il periodo invernale, la maggiore radiazione solare disponibile nelle serre mediterranee rappresenta un vantaggio economico e la necessità di energia per il riscaldamento è ridotta in confronto alle serre nord europee: in Italia meridionale per la produzione di steli recisi di rosa sono necessari tra 5.200 e 6.800 GJ contro i 16.000 GJ/ha in Olanda (Stanghellini *et al.*, 2003). Il miglioramento dell'efficienza d'uso delle risorse energetiche presuppone l'utilizzazione di tecnologie in grado di massimizzare la quantità di radiazione a livello di coltura (materiali di copertura con elevati indici di trasmittanza e di lunga durata) e di minimizzare le perdite di energia (strutture leggere, doppio telo, schermi termici) (Fig. 1). Infatti, la ridotta trasmittanza delle coperture induce perdite di produzione durante i mesi invernali e primaverili che sono quelli determinanti nella formazione del reddito. Sarebbe auspicabile, inoltre, l'impiego di fonti energetiche alternative (residui organici) o di fonti di energia rinnovabile (solare, eolica, biomasse) e di impianti per il miglioramento del rendimento energetico della serra (impianti per la co/tri-generazione di energia). Mentre l'incremento della temperatura in serra è un obiettivo tecnicamente più semplice da raggiungere e l'intensità e la durata del riscaldamento sono essenzialmente scelte di tipo economico, diverso è il caso della riduzione delle alte temperature nel periodo primaverile-estivo. In questo periodo nelle serre mediterranee si verifica un eccesso di energia radiante che deve essere dissipato. Questa riduzione (non uso di parte della risorsa) può essere ottenuta riducendo la radiazione in ingresso (reti ombreggianti, imbiancamento); tuttavia un sistema di ombreggiamento fisso (latte di calce) può comportare una riduzione di resa. Una soluzione potrebbe essere quella di reti ombreggianti mobili basate sulla saturazione luminosa della fotosintesi (Stanghellini *et al.*, 2003). L'eccesso di energia radiante può essere utilizzato per aumentare la traspirazione attraverso una maggiore e più efficiente ventilazione (o l'utilizzazione di impianti *misting*) che comporterebbe (in condizioni di buona disponibilità idrica) un incremento di produzione (incidendo però sul bilancio dell'acqua). Questo criterio trova in zone a minore latitudine limiti di applicabilità nelle elevate temperature e nella ridotta disponibilità idrica nel periodo estivo. Per zone meno problematiche e per colture a maggiore reddito (es. fiori recisi) sono ipotizzabili soluzioni tecnologicamente più avanzate quali quelle legate ad impianti di raffreddamento (*cooling system*) eventualmente alimentati da pompe di calore. I benefici possono essere quantificati sulla base dell'incremento di produzione ottenuto rispetto alle tecniche tradizionali (considerando anche il vantaggio economico e sociale ottenuto dalla continuità di produzione sull'unità di superficie). Allo stato attuale la tipologia della maggior parte delle serre mediterranee comporta una sotto-utilizzazione del vantaggio energetico potenziale a causa dell'alto carico di radiazione durante il periodo primaverile estivo, con un periodo di stasi produttiva da 3 a 5 mesi (secondo la latitudine) contro 1-2 mesi di stasi invernale nelle serre Nord Europee (Pardossi *et al.*, 2004).

Acqua

L'ambiente protetto offre la possibilità di seguire e valutare con precisione i fabbisogni idrici della coltura e di soddisfarli utilizzando tecnologie avanzate. Nonostante lo sviluppo di queste tecnologie, anche le colture in serra sono tuttavia esposte a diverse tipologie di stress tipici di realtà agricole del Mediterraneo, tra cui quello idrico, associato ad elevate temperature, e stress salino (De Pascale e Maggio, 2005). Rispetto alle colture in pieno campo, le colture protette sono normalmente caratterizzate da una maggiore efficienza d'uso dell'acqua per tre ragioni:

- 1) ridotta evaporazione potenziale (minore radiazione solare, ridotta ventosità, maggiore umidità relativa dell'aria);
- 2) applicazione di sistemi di irrigazione tecnologicamente avanzati (irrigazione a microportata, riciclo dell'acqua di drenaggio).
- 3) maggiore produttività (miglior controllo dei parametri ambientali e delle fitopatologie);

Nelle serre dell'Europa settentrionale, l'ottimizzazione di questi tre fattori possono migliorare fino a 5 volte l'efficienza d'uso dell'acqua, mentre in ambiente mediterraneo la climatizzazione meno efficiente della serra limita considerevolmente le possibilità di migliorare l'efficienza d'uso dell'acqua (Stanghellini *et al.*, 2003).

L'efficienza d'uso dell'acqua può essere migliorata attraverso:

- 1) la "modifica" dell'ambiente di coltivazione;
- 2) la "modifica" della pianta.

1) Modifica dell'ambiente di coltivazione

La temperatura dell'aria, l'umidità relativa, l'intensità luminosa, la concentrazione di CO₂ atmosferica sono parametri che influenzano i fabbisogni idrici delle colture e possono essere controllati e modulati nell'ambiente serra. Ad esempio, un innalzamento dell'umidità dell'aria nella serra determina un abbassamento del deficit di pressione di vapore con un effetto retroattivo sulla traspirazione. Questi parametri ambientali possono essere controllati anche in funzione di altri aspetti tecnici che devono essere considerati nell'intero processo produttivo. Ad esempio, una riduzione della traspirazione può compensare gli effetti deleteri di un'irrigazione con acqua ad elevata conducibilità elettrica (Ho, 2002). Analogamente, un aumento della temperatura a livello radicale può migliorare la tolleranza delle piante ad elevate concentrazioni di NaCl nella soluzione nutritiva (Dalton *et al.*, 2001).

L'interazione tra conducibilità elettrica, CO₂ e radiazione solare è un altro aspetto da tenere in considerazione per ottimizzare le produzioni e l'uso della risorsa idrica in coltura protetta (Maggio *et al.*, 2002a). La sincronizzazione dell'irrigazione con l'intensità luminosa nell'arco della giornata è un esempio di gestione colturale che può risultare particolarmente efficace per evitare di somministrare eccessi irrigui e controllare allo stesso tempo il rapporto tra fase vegetativa e riproduttiva (Ho, 2002).

Analogamente alle colture in pieno campo, la gestione dell'irrigazione in serra deve rispondere a due quesiti fondamentali: 1) quanta acqua è necessaria per soddisfare i fabbisogni idrici della coltura; 2) quando è necessario irrigare. Una considerazione generale, che risponde immediatamente alla prima domanda, è che sulla base della curva dose-risposta riportata in Figura 2 si può concludere che la resa di una coltura è inferiore a dosi d'acqua "molto basse" o "molto alte". Dal punto di vista pratico-applicativo possiamo ipotizzare tre obiettivi (Fig. 2):

A. Massimizzare la resa della coltura (Y_{max}). Questo obiettivo può essere perseguito restituendo alla coltura l'evapotraspirazione potenziale (ETP). Realisticamente, ciò è attuabile su superfici ridotte generalmente coperte da serre e con una risorsa idrica non-limitante (dal punto di vista quantitativo e qualitativo).

B. Massimizzare l'efficienza d'uso dell'acqua cioè la resa per quantità unitaria di acqua somministrata (Y_{eff max}). Questo obiettivo è critico per le aree a clima mediterraneo dove l'acqua è una risorsa limitata.

C. Massimizzare il tornaconto per l'agricoltore, differenza tra il ricavo lordo ed i costi di produzione (Y_{opt}).

Benché per le colture ortive e floricole gli obiettivi 1 e 3 in genere coincidono (in altre parole la resa decresce significativamente in assenza di acqua sufficiente a ripristinare l'ETP), il secondo obiettivo dovrebbe essere considerato con particolare attenzione in un contesto di risparmio idrico (Tognoni *et al.*, 2002).

Il secondo punto critico per una gestione sostenibile dell'irrigazione, cioè stabilire *quando* è necessario irrigare, può essere analizzato secondo tre criteri generali: 1) stima del contenuto idrico del suolo; 2) stima dello stress idrico nella pianta 3) misura di parametri micrometeorologici ed applicazione di modelli fisico-matematici di stima dei fabbisogni irrigui (uso di software specifici per calcolare tali fabbisogni sulla base del monitoraggio di parametri micrometeorologici). Quest'ultimo approccio consente un controllo automatico dell'irrigazione, grazie all'ausilio di sensori opportunamente posizionati all'interno della serra. Esistono inoltre sistemi integrati ad alta efficienza per la gestione irrigua basati sulla misura congiunta di parametri climatici e sulla valutazione dello stato idrico della pianta (Baille, 2001).

Relativamente al metodo irriguo, l'efficienza dell'irrigazione può variare da 25–50% per l'irrigazione per infiltrazione laterale, a 50–70% nei sistemi per aspersione fino all'80–90% dei sistemi a microportata (Tognoni *et al.*, 2002). La micro-irrigazione si è diffusa rapidamente nelle colture protette, anche perché permette una somministrazione simultanea di acqua ed elementi nutritivi. Va inoltre puntualizzato che nelle zone ove si dispone esclusivamente di acque salmastre, la necessità di utilizzare cospicui volumi di lisciviazione limita notevolmente l'efficienza dell'irrigazione. Lo studio di strategie appropriate per l'utilizzazione delle acque saline in agricoltura rappresenta un'area di ricerca molto attiva. La letteratura a riguardo è sufficientemente completa di classifiche, stime di tolleranza alla salinità delle diverse colture e criteri guida per una gestione efficiente dell'irrigazione con acque saline (Maas e Grattan, 1999). Tuttavia, studi sugli effetti di lungo-termine derivanti dall'uso di acque saline sulle proprietà chimico-fisiche dei suoli risultano abbastanza limitati (De Pascale *et al.*, 2003). Acque idonee per l'irrigazione possono essere ottenute attraverso il recupero delle acque piovane in contenitori superficiali o sotterranei.

Per una gestione efficiente, l'irrigazione dovrebbe essere idealmente sincronizzata con le esigenze della coltura. Questo obiettivo può essere ottenuto attraverso: 1) somministrazione controllata nei tempi e nella quantità dell'acqua apportata nella zona radicale e riduzione delle perdite per percolazione; 2) attuazione di tecniche per migliorare e massimizzare la capacità di assorbimento radicale della pianta (minimizzare le perdite di nutrienti per lisciviazione); 3) controllo del livello di salinizzazione nella gestione dell'irrigazione. Altre pratiche colturali includono quelle mirate a ridurre l'evaporazione dal suolo (pacciamatura) e quelle che possono favorire lo sviluppo rapido ed uniforme della coltura (trapianto e scelta ottimale della densità di impianto).

L'efficienza d'uso dell'acqua nelle produzioni in serra è migliorata considerevolmente in seguito all'introduzione di sistemi fuori suolo dove l'acqua può essere recuperata e riutilizzata (sistemi chiusi) (Figg. 3 e 4). Dal punto di vista ambientale, questi sistemi possono rappresentare una valida alternativa alla carenza di prodotti per la fumigazione del suolo in serra ed alla costosa pratica della sterilizzazione con vapore (Santamaria *et al.*, 2005). Oltre ad un impiego più efficiente dei fertilizzanti, le colture fuori suolo consentono di controllare più efficacemente le fitopatologie e di attuare la meccanizzazione di diverse fasi del processo colturale. Ovviamente questa tecnologia riduce sostanzialmente i problemi associati alla presenza di suolo tra cui la trasmissione di patologie, la salinizzazione e gli effetti legati alle modifiche delle proprietà chimico-fisiche e della fertilità dei suoli. I sistemi fuori suolo presentano però elevati costi di investimento, richiedono personale più specializzato e possono essere gestiti propriamente avendo a disposizione acque di buona qualità, limitandone l'impiego a colture da reddito elevato (Pardossi *et al.*, 2004). Per queste colture, e su superfici relativamente limitate (es. produzione di fiori recisi), si può suggerire l'uso di deionizzatori e sistemi di osmosi inversa per migliorare la qualità dell'acqua utilizzata per la fertirrigazione.

2) *Modifica della pianta*

Le risposte fisiologiche e morfologiche delle piante possono essere funzionalmente modificate per migliorare l'efficienza d'uso dell'acqua attraverso interventi di tecnica colturale. Ad esempio, una somministrazione ridotta di fosforo nelle prime fasi di sviluppo della pianta può determinare una diminuzione del rapporto chioma/radice che può indirettamente risultare vantaggiosa in condizioni di carenza idrica (Raghotama, 2000). In un recente studio sono state considerate diverse combinazioni di innesto in pomodoro per valutare come diversi rapporti chioma/radice possano influenzare la tolleranza allo stress salino (Estan *et al.*, 2005). I risultati ottenuti hanno confermato che è possibile individuare rapporti chioma/radice in grado di rallentare l'accumulo di Na⁺ e Cl⁻ nella parte aerea, e conferire una maggiore tolleranza allo stress (Dalton *et al.*, 2001). Questo ed altri meccanismi fisiologici più o meno direttamente legati al controllo dei flussi idrici nella pianta rappresentano importanti obiettivi del miglioramento genetico per incrementare l'efficienza d'uso dell'acqua nelle produzioni in serra (Maggio *et al.*, 2002b). Gli esempi che seguono descrivono alcuni casi in cui la modifica di alcuni caratteri morfologici può essere effettuata funzionalmente ad una migliore utilizzazione delle risorse da parte della pianta o ad un potenziamento della sua tolleranza a varie tipologie di stress.

Foglie

La riduzione della superficie fogliare può influenzare la quantità di acqua utilizzata dalla pianta. Specifiche forme e morfologie fogliari sono state associate a meccanismi di adattamento tipici di piante xerofitiche. Determinanti genetiche relative a questi caratteri sono state isolate in *Arabidopsis*, tra cui quelle che inducono la formazione di foglie aghiformi (Berná *et al.*, 1999) e quelle che determinano lo spessore della lamina fogliare (Bohmert *et al.*, 1998). La sovra-espressione di geni quali KNOTTED-1 ad esempio può indurre la formazione di foglie lobiformi e succulente tipiche di piante adattate ad ambienti aridi (Lincoln *et al.*, 1994). Questi mutanti potrebbero essere utilizzati per valutare come i cambiamenti della morfologia fogliare si riflettono sui consumi idrici e sulla produttività in ambienti dove la risorsa idrica è limitata. Altri aspetti fisiologici/morfologici che potrebbero avere un effetto sull'efficienza d'uso dell'acqua includono la capacità di variare l'inclinazione delle foglie (Berná *et al.*, 1999), la produzione di sostanze cerose (Negruk *et al.*, 1996) e lo sviluppo di tomentosità (Szymanski *et al.*, 1998), caratteri che possono aumentare le proprietà di riflettanza delle foglie.

La morfologia e la risposta degli stomi ai diversi stimoli ambientali sono certamente punti critici di controllo del bilancio idrico nella pianta da prendere in considerazione per migliorare l'efficienza d'uso dell'acqua. Se dal punto di vista fisiologico la chiusura stomatica è indubbiamente una strategia efficiente per superare una condizione più o meno prolungata di carenza idrica, dal punto di vista produttivo presenta implicazioni sfavorevoli dal momento che una riduzione del flusso traspirativo comporta parallelamente una riduzione dell'accumulo di biomassa. Tuttavia il controllo dell'apertura stomatica in termini di "tempi di risposta" ad una situazione transitoria di stress, come quella che si verifica nelle ore più calde della giornata (*midday-water stress*), è una caratteristica delle piante ad adattamento xerofitico tipiche degli ambienti aridi, che potrebbe risultare utile se trasferita in piante destinate alla coltivazione in serra. In *Arabidopsis* è disponibile un'ampia gamma di mutanti stomatici, molti dei quali con alterazioni nel metabolismo dell'ABA che potrebbero essere utilizzati per studiare la fisiologia della risposta allo stress nell'ambiente serra (Li *et al.*, 2000). Il controllo della sintesi di ABA, attraverso l'inserimento in pianta di geni codificanti per enzimi chiave del *pathway* biosintetico, permetterebbe una modulazione del meccanismo di apertura/chiusura stomatica in funzione delle specifiche esigenze ambientali e colturali. Mutazioni che alterano formazione, distribuzione e densità degli stomi sono state descritte in *Arabidopsis* e potrebbero rappresentare un modello interessante per studiare la relazione tra traspirazione, crescita e strategie di adattamento allo stress. Recentemente, la base genetico-fisiologica che controlla l'efficienza d'uso dell'acqua è stata individuata ed associata alla biologia della differenziazione e distribuzione degli stomi sulla superficie fogliare (Masle *et al.*, 2005).

Radici

Oltre a regolare la quantità di acqua traspirata, la pianta può superare situazioni di stress aumentando la sua capacità di estrazione di acqua dal suolo attraverso modifiche dell'architettura radicale (Passioura, 1996). La relazione specifica tra morfologia/architettura radicale e capacità di estrazione dell'acqua da parte della pianta potrebbe essere studiata utilizzando le collezioni di mutanti radicali disponibili in *Arabidopsis* o isolando nuove varianti genetiche direttamente in specie vegetali di interesse agrario (Maggio *et al.*, 2001). Geni che controllano la crescita dell'apparato radicale rispetto alla parte epigea sono stati identificati e potrebbero essere utilizzati per studiare la funzione del rapporto chioma/radice sulla distribuzione di biomassa in sistemi colturali particolari, quali quelli fuori suolo, dove il ruolo di ancoraggio ed assorbimento degli apparati radicali presenta caratteristiche peculiari rispetto al pieno campo. La morfologia dei vasi xilematici contribuisce in larga misura alla conducibilità idrica della pianta così come la composizione della parete cellulare che può influenzare la conducibilità dell'acqua apoplastica. Alterazioni di queste caratteristiche sono state riportate in letteratura, benché non sia stato studiato in sufficiente dettaglio quale possa essere il loro ruolo nell'assorbimento e trasporto idrico all'interno della pianta sottoposta a stress (Maggio *et al.*, 2002b). Infine non può essere omessa da questa analisi la funzione delle aquaporine (*membrane water channels*) nella regolazione dei flussi idrici. Le aquaporine sono state localizzate sul tonoplasto e sulla membrana plasmatica e possono facilitare il trasporto passivo dell'acqua secondo un gradiente di potenziale idrico. È stato dimostrato che le aquaporine mediano il trasporto idrico trans-membrana, tuttavia non è ancora chiaro quale possa essere il loro ruolo specifico nell'adattamento a situazioni di stress.

Suolo

Se da un lato l'incremento dell'efficienza d'uso della risorsa suolo può derivare dall'incremento della produzione/m² attraverso interventi su pianta (miglioramento genetico) o di tipo agronomico (densità di impianto, innesto), la sua conservazione richiede, necessariamente, un monitoraggio attento dei vari processi produttivi al fine di prevenire e/o ridurre l'immissione di sostanze chimiche nell'ambiente. Relativamente ai processi produttivi va sottolineato che gli agricoltori spesso utilizzano un eccesso di acqua e fertilizzanti rispetto alle effettive esigenze della pianta, con conseguenze negative per l'ambiente (salinizzazione dei suoli, accumulo di nitrati nelle acque di falda). Relativamente ad azoto e fosforo, oggi solo il 30–50% del primo e circa il 45% del secondo viene effettivamente assorbito mentre gran parte di questi elementi vanno ad inquinare l'ecosistema (Tilman *et al.*, 2002). Nelle serre olandesi, l'assorbimento di N non supera i 500 kg/ha, mentre più del 50% di quello somministrato (1200 kg N/ha) percola nel sottosuolo. L'apporto di fertilizzanti in una serra di pomodoro in Sicilia è pari a circa 6 t/ha per anno (Stanghellini *et al.*, 2003). In particolare in Sicilia, l'azoto assorbito da una coltura di pomodoro in serra varia tra 169 e 498 kg/ha, pari al 52-93% di quello effettivamente somministrato (La Malfa e Leonardi, 2001). Gli eccessivi apporti di nutrienti rispetto all'effettivo assorbimento, se per l'N si traducono in problemi di inquinamento delle falde, per gli altri elementi comportano un accumulo di sali nel terreno. In alcune serre in provincia di Napoli, su terreni sabbiosi di origine vulcanica, in 20 anni di coltivazione di specie floricole (garofano), alla naturale dotazione dei terreni si è aggiunto l'apporto continuo di concimi a base potassica, per cui il contenuto medio di K₂O assimilabile risulta elevato e superiore a 1.000 ppm, con punte di 1.800 ppm. Eccezionale, perché legato alla pratica della concimazione, è il contenuto di fosforo (in media 206 ppm come P₂O₅ assimilabile), dalle 5 alle 10 volte superiore alla normale dotazione di fosforo dei terreni della zona (De Pascale e Maggio, 2005). In queste situazioni, migliorare l'efficienza della fertilizzazione è essenzialmente un problema tecnico legato ad una più efficiente gestione della fertilizzazione che tenga conto delle asportazioni delle colture e della loro dinamica. In particolare, le normative europee recepite, con ritardo, anche in alcuni paesi mediterranei, impongono il rispetto nei piani di concimazione di vincoli sempre più stringenti nella gestione della nutrizione, in particolare azotata (Direttiva Nitrati della Unione Europea).

L'uso di risorse alternative al suolo vede in primo piano le tecniche di coltivazione su substrato, sviluppate soprattutto nel Nord Europa (attualmente nel 65% delle serre olandesi si coltiva su substrato), anche se di recente la superficie serricola fuori suolo ha mostrato consistenti trend di crescita anche nei paesi mediterranei (tab. 1), stimando che le colture fuori suolo in ambiente mediterraneo comportano redditi netti 4 volte maggiori rispetto alle colture su terreno (tab. 2). In Italia la maggior parte dei sistemi di coltura fuori suolo è realizzato su substrati e senza riciclo della soluzione nutritiva (ciclo aperto). Questo sistema richiede un volume di lisciviazione pari a circa il 20-35% della soluzione nutritiva somministrata per evitare accumulo di sali nel substrato. Ciò comporta un notevole rilascio di acqua e nutrienti nell'ambiente (De Pascale *et al.* 2001).

Condizione necessaria per l'ecocompatibilità degli impianti idroponici è il contenimento dei reflui chimici, conseguibile con la riduzione del drenato (moderatamente) o con i sistemi a ciclo chiuso, se l'EC dell'acqua di irrigazione non eccede 1 dS/m. In ambiente mediterraneo, gli elevati costi di investimento e la scarsa qualità dell'acqua, che spesso rende necessari trattamenti di desalinizzazione, stanno limitando la loro espansione (Stanghellini *et al.*, 2005).

Anidride Carbonica

La concimazione carbonica non è una pratica diffusa in ambiente mediterraneo a causa della necessità di ventilare le serre, anche se la concentrazione di CO₂ scende sotto il livello atmosferico anche quando la serra è aperta (Sanchez-Guerrero *et al.*, 2001). Durante l'inverno, in una serra mediterranea scarsamente ventilata, la concentrazione di CO₂ può raggiungere anche 100-200 vpm e l'arricchimento carbonico (2500 l/h ha) consente di mantenere la concentrazione di CO₂ a 600 vpm (con bassa radiazione e serra chiusa) e previene la caduta della CO₂ sotto i 350 vpm (con elevata radiazione e serra aperta) (De Pascale e Acampa, 1998). In Spagna, la produzione di cetriolo è stata significativamente aumentata dalla concimazione carbonica in serra con risultati maggiori controllando la temperatura minima (Sanchez-Guerrero *et al.*, 2001). Una gestione sostenibile dell'arricchimento carbonico presuppone la possibilità di utilizzare la CO₂ prodotta dagli impianti di riscaldamento che è ovviamente maggiore nelle serre olandesi dove il riscaldamento è effettuato anche durante il giorno e gli impianti sono alimentati a gas naturale. In alternativa il ricorso all'arricchimento carbonico deve essere valutato sulla base di considerazioni economiche quali l'incremento di produzione conseguibile e la presenza di fonti di CO₂ a basso costo (Stanghellini *et al.*, 2007).

CONCLUSIONI

La serra è un sistema complesso non solo per le notevoli interazioni che si creano tra i diversi fattori del processo produttivo ma anche, in particolare quelle mediterranee, per la varia tipologia strutturale e climatica che esso presenta. Fattori di variabilità includono il grado di preparazione tecnica degli operatori di settore, dall'organizzazione dell'attività e dal mercato cui è rivolto il prodotto.

La possibilità di "importare" nelle serre mediterranee tecniche innovative che comprendano anche costi sociali spesso difficili da quantificare dovrebbe basarsi su un'attenta analisi dei costi e dei benefici che possono derivare dall'introduzione di nuove tecnologie.

Inoltre, la previsione della risposta delle colture alla modifica dell'ambiente serra richiede studi di ecofisiologia applicata e la messa a punto di specifici modelli. La ricerca e l'industria devono rendere disponibili innovazioni biologiche (migliore comprensione dei meccanismi fisiologici di adattamento all'ambiente serra, nuove cultivar adatte alla coltura protetta) e tecnologiche rivolte alla soluzione dei problemi specifici per un determinato ambiente di coltivazione. Tuttavia l'affermarsi di una serricoltura avanzata, come di altri settori agricoli in genere, è legato alla capacità di perseguire una politica agricola che sia in grado non solo di valorizzare la qualità dei prodotti, ma anche di facilitare ed accelerare il cambiamento tecnologico, di orientare la ricerca e la sperimentazione e di promuovere un servizio di assistenza tecnica qualificato sul territorio.

BIBLIOGRAFIA

- BAILLE A., 2001. *Trends In Greenhouse Technology For Improved Climate Control In Mild Winter Climates*. Acta Hort., 559:37-47.
- BERNÁ G., ROBLES P., MICOL J.L., 1999. *A mutational analysis of leaf morphogenesis in Arabidopsis thaliana*. Genetics, 152:729-742.
- BOHMERT K., CAMUS I., BELLINI C., BOUCHEZ D., COBACHE M., BENNING C., 1998. *AGO1 defines a novel locus of Arabidopsis controlling leaf development*. EMBO Journal, 17:170-180.
- DALTON F.N., MAGGIO A., PICCINI G., 2001. *Assessing the affect of solar radiation on plant salt tolerance as defined by the static and dynamic indices*. Plant and Soil, 229:189-195.
- DE PASCALE S., ACAMPA V., 1998. *Concimazione carbonica su rosa: il suo effetto su produzione e scambi gassosi*. Colture Protette 6:71-77.
- DE PASCALE S., MAGGIO A., 2005. *Sustainable protected cultivation at Mediterranean climate: perspectives and challenges*. Acta Horticulturae, 691:29-42.
- DE PASCALE S., MATURI T., PARADISO R., BARBIERI G., 2001. *Comparison of Water and nutrients use of three cultivars of Cymbidium in a Soilless culture system*. Acta Hort., 559:535-542.
- DE PASCALE S., MAGGIO A., RUGGIERO C., BARBIERI G., 2003. *Growth, Water Relations, and Ion Content of Field-grown Celery [Apium graveolens L. var. dulce (Mill.) Pers.] under Saline Irrigation*. J. of Am. Soc. of Hort. Sci., 128:128-135.
- ESTAN M.T., MARTINEZ-RODRIGUEZ M.M., PEREZ-ALFOCEA F., FLOWER T.J., 2005. *Grafting raises the salt tolerance of tomato through limiting the transport of sodium and chloride to the shoot.* J. Exp. Bot., 56:703-712.
- HO L.C., 2002. *Manipulation of Physiological Processes for Better Yield and Quality in Crop Plants in Control Environment*. Acta Hort., 578:273-279.
- LA MALFA G., LEONARDI C., 2001. *Crop Practices and Techniques: Trends and Needs*. Acta Hort., 559:31-42.
- LI J.H., WANG X.Q., WATSON M.B., ASSMANN S.M., 2000. *Regulation of abscisic acid-induced stomatal closure and anion channels by guard cell AAPK kinase*. Science, 287:300-303.
- LINCOLN C., LONG J., YAMAGUCHI J., SERIKAWA K., HAKE S., 1994. *A knotted1-like homeobox gene in Arabidopsis is expressed in the vegetative meristem and dramatically alters leaf morphology when overexpressed in transgenic plants*. The Plant Cell, 6:1859-1876.
- MAAS E.V., GRATTAN S.R., 1999. *Crop yields as affected by salinity*. In: Agricultural Drainage, R.W.SKAGGS AND J. VAN SCHILFGAARDE (eds). Agron. Monogr. No. 38. Amer. Soc. Agron., Madison, Wis., pp. 55-108.
- MAGGIO A., HASEGAWA P.M., BRESSAN R.A., CONSIGLIO M.F., JOLY R.J. 2001. *Unravelling the functional relationship between root anatomy and stress tolerance*. Australian Journal of Plant Physiology, 28:999-1004.
- MAGGIO A., DALTON F.N., PICCINI G. 2002a. *The effects of elevated carbon dioxide on static and dynamic indices for tomato salt tolerance, water use efficiency, root-shoot ratio and leaf chloride accumulation*. Europ. J. of Agron., 16:197-206.
- MAGGIO A., JOLY R.J, HASEGAWA P.M., BRESSAN R.A. 2002b. *Can the quest for drought tolerant crops avoid Arabidopsis any longer?* In: SS Goyal, SK Sharma, DW Rains (eds), Crop Production Under Saline Environments: Global and Integrative Perspectives. Journal of Crop Production, 7:99-129.
- MASLE J., GILMORE S.R., FARQUHAR G.D., 2005. *The ERECTA gene regulates plant transpiration efficiency in Arabidopsis*. Nature, 436:866-870.
- NEGRUK V., YANG P., SUBRAMANIAN M., MCNEVIN J.P., LEMIEUX B., 1996. *Molecular cloning and characterization of the CER2 gene of Arabidopsis thaliana*. The Plant Journal, 9:137-145.
- PARDOSSI A., TOGNONI F., INCROCCI L., 2004. *Mediterranean Greenhouse Technology*. Chronica Hort., 44:28-34.
- RAGHOTHAMA G.K., 2000. *Phosphate transport and signalling*. Curr. Opin. Plant Biol., 3: 182-187.

- SÁNCHEZ-GUERRERO M.C., LORENZO P., MEDIANO E., GARCIA, M., ESCOBAR I., 2001. *Heating and CO₂ Enrichment in improved Low-cost Greenhouse*. Acta Hort., 559:257- 262.
- SANTAMARIA P., DE PASCALE S., PARDOSSI A., 2005. *La nutrizione idrica e minerale in fuori suolo*. Italus Hortus, 12:45-55.
- STANGHELLINI, C., KEMPKE, F.L.K., KNIES P. 2003. *Enhancing Environmental Quality in Agricultural Systems*. Acta Hort. 609:277- 283.
- STANGHELLINI C., KEMPKE K., PARDOSSI A., INCROCCI L., 2005. *Closed Water Loop in Greenhouses: Effect of Water Quality and Value of Produce*. Acta Hort., 691:233- 242.
- STANGHELLINI C., INCROCCI L., GÁZQUEZ J.C., DI MAURO B., 2007. *Carbon dioxide concentration in Mediterranean greenhouses: how much lost production?* Wageningen UR Publisher.
- SZYMANSKI D.B., KLIS D.A, LARKIN J.C., MARKS, M.D., 1998. *Cot1: A regulator of Arabidopsis trichome initiation*. Genetics, 149:565-577.
- TILMAN D., CASSMAN K.G., MATSON P.A., NAYLOR R., POLASKY S., 2002., *Agricultural sustainability and intensive production practices*. Nature, 418:671-677.
- TOGNONI F., LA MALFA G., BARBIERI G., SERRA G., MAGGIO A., LEONARDI C., 2002. *Some Aspects of the Vegetable Industry in Italy*. Acta Hort., 582:121-133.

Figura 1 - Percentuale di risparmio energetico annuo ottenibile in serra di vetro con doppio telo di differente materiale

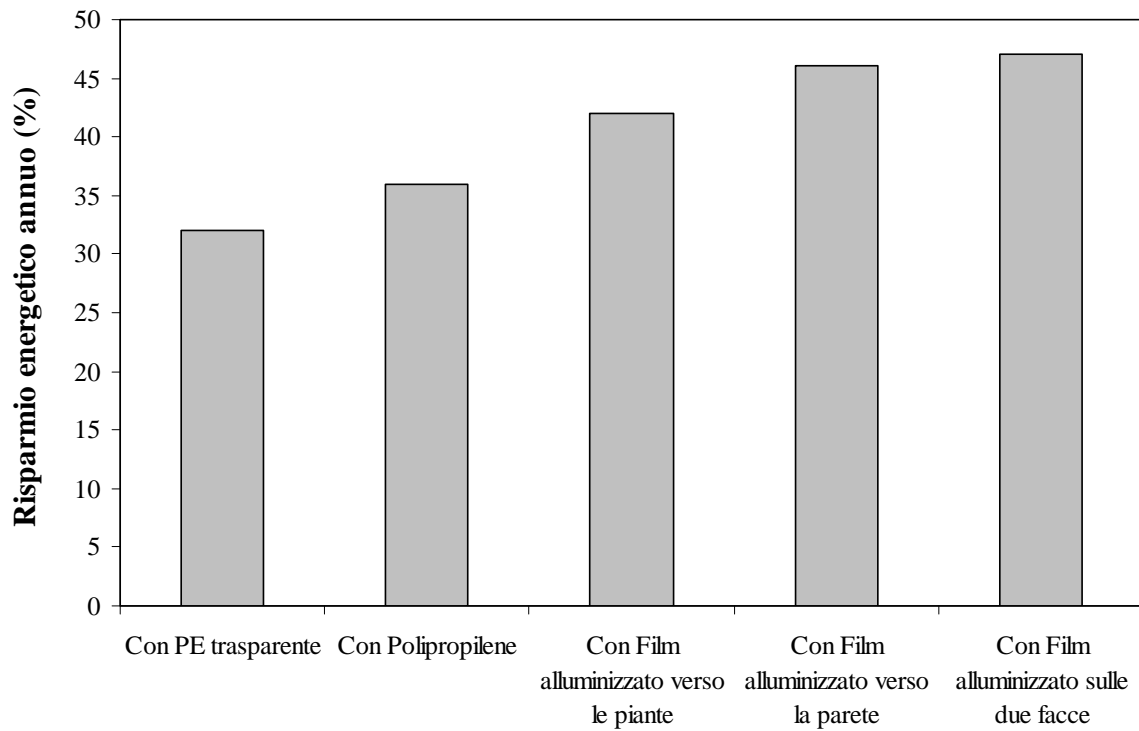


Figura 2 - Curva dose-risposta della produzione lorda vendibile al volume di irrigazione.

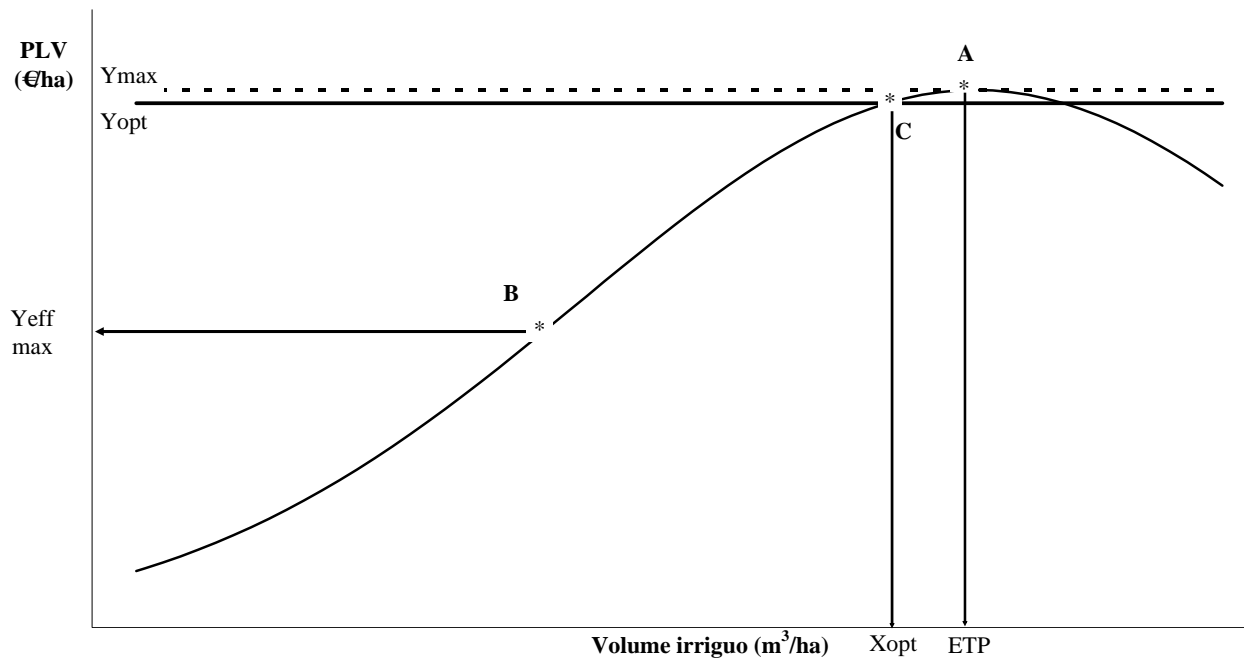


Figura 3 - Litri di acqua irrigua per kg di bacche di pomodoro prodotte in diversi sistemi colturali (Rielaborato da Pardossi *et al.*, 2004).

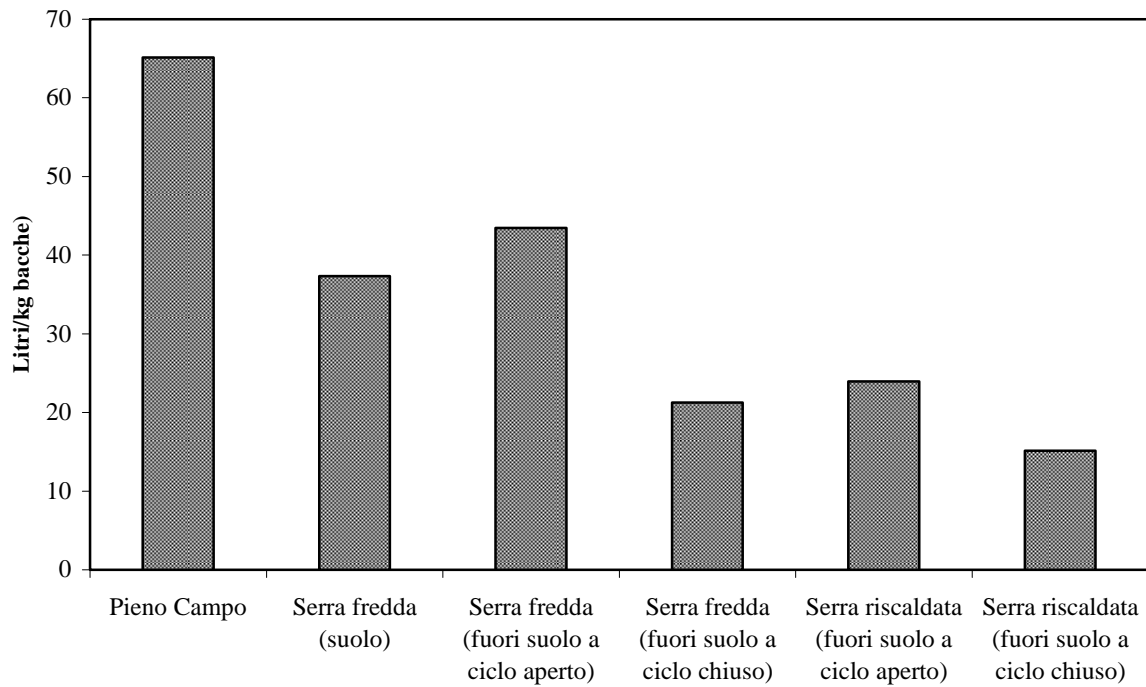


Figura 4 - Litri di acqua irrigua per stelo prodotto di colture floricole coltivate in impianti idroponici (Rielaborato da Santamaria *et al.*, 2005).

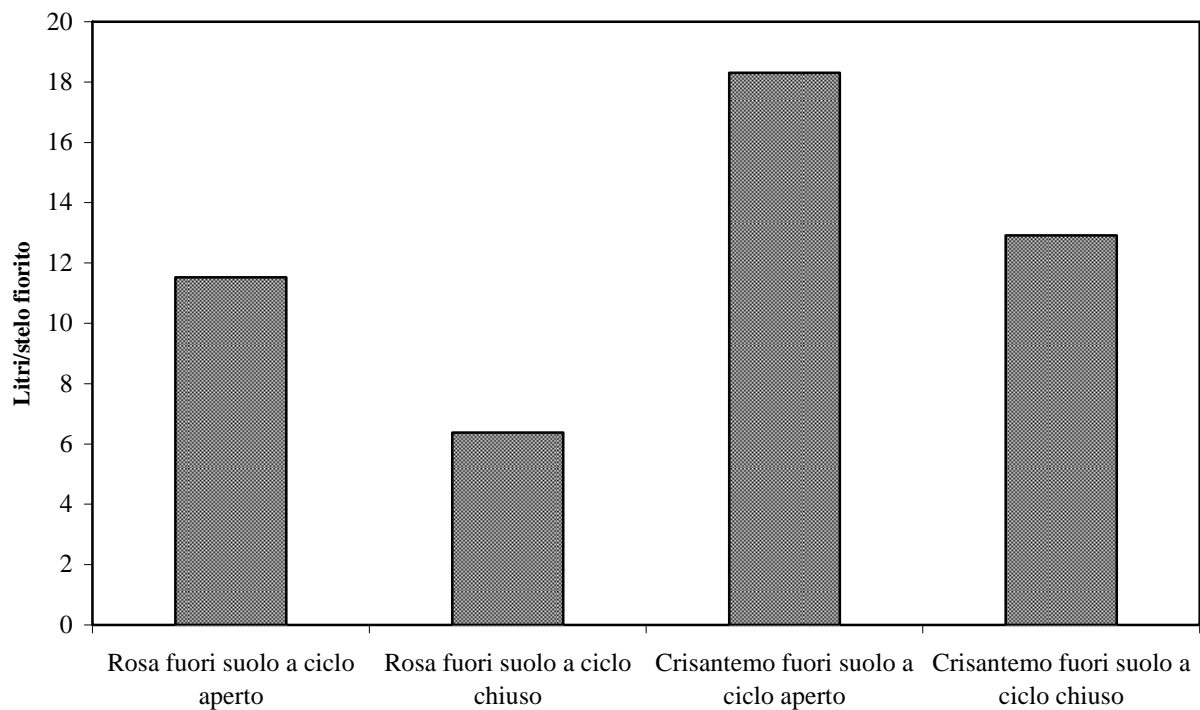


Tabella 1 - Colture protette nel Bacino Mediterraneo (superfici in ettari).

Paese	Serre e grandi tunnel in plastica	Piccoli tunnel	Totale colture protette	Fuori suolo
Algeria	6.000	200	6.200	60
Tunisia	1.307	11.000	12.307	17
Egitto	2.430	23.000	25.430	-
Marocco	10.000	-	10.000	-
Israele	6.500	15.000	21.500	1.500
Turchia	14.000	1.500	15.500	-
Cipro	235	-	235	-
Spagna	49.380	13.055	62.435	2.000
Italia	77.400	25.000	102.400	900
Francia	9.200	15.000	24.200	1.700
Grecia	3.000	4.500	7.500	-
Totale	179.452	108.255	287.707	6.177

Tabella 2. Costi di produzione e ricavi per colture di peperone in differenti sistemi produttivi in Olanda ed in Almeria.

	Piena terra (Almeria)	Fuori suolo (Almeria)	Fuori suolo (Olanda)
Produzione (kg/ha)	105.000	160.000	260.000
Prezzo (€/kg)	0,53	0,66	1,62
Ricavo lordo (€/ha)	56.000	106.000	421.000
Costi variabili (€/ha)	31.000	38.000	265.000
Costi fissi (€/ha)	13.000	27.000	55.000
Interessi (€/ha)	4.000	8.000	60.000
Ricavo netto (€/ha)	8.000	33.000	41.000