

La sostenibilità delle colture protette in ambiente mediterraneo: limiti e prospettive

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 (NA)

Ricevuto 9 gennaio 2006; accettato 30 gennaio 2006

Sustainable protected cultivation in a Mediterranean climate. Perspectives and challenges

Abstract. Agriculture sustainability is fundamentally based on the following 5 aspects: 1) policy and problem management on an economic, cultural and social level; 2) energy and production inputs: energy sources, fertilizers, crop protection from pathogenic attacks, organic agriculture, research and technology; 3) genetic resources: identification, evaluation and use; 4) climate: impact on production; 5) soil and water: available resources and crop requirements.

The Protected Cultivation in a Mediterranean Climate system is currently characterized by:

- Poor knowledge of the most up-to-date techniques for greenhouse productions;
- Limited development of a specific greenhouse industry for Mediterranean areas;
- Farmers unfamiliarity with cost-benefits assessment of long-term investments;
- Limited access for farmers to long-term investment loans;
- Inadequate extension service and insufficient research actions.

The perspectives and objectives for future development depend on the possibility of identifying:

- at a crop level: new species, cultivars, and propagation techniques;
- at a management level: strategies to improve an efficient use of natural resources;
- at a technological level: new materials and architectural solutions for greenhouse structures;
- at a market level: 1) novel marketing strategies and promotion of brand-names that associate Mediterranean greenhouse productions to Mediterranean high-quality produce; 2) strategies to strengthen farmers education on basic business principles.

In order to achieve these objectives, investments in research and development are required in diverse areas connected to the greenhouse production system. The sustainability of these investments should be assessed based on the economic and social features of the Mediterranean greenhouse agroecosystem. The Northern European strategy for reducing the environmental impact of protected crops

is to envision the greenhouse as a fully-controlled “closed” system, that can be managed based on 1) the reduction/reuse of waste materials and toxic residues; 2) automation and computerization; 3) pest monitoring; 4) “soilless” cultivation; 5) nutrient solution recycling. Such a high-input system is economically sustainable only for cash crops. In contrast, the Mediterranean greenhouse has evolved toward a “semi-closed” agricultural system characterized by lightweight structures and simple covering materials. This greenhouse system requires additional research on 1) thermal and optical characteristics of the covering materials; 2) introduction of new crops and cultivars suitable for Mediterranean environments; 3) farmers appreciation of new concepts such as eco-compatibility and efficient use of natural resources. Based on our analysis it was concluded that despite the necessity of improving the technology of the greenhouse Mediterranean production system, farmers from these areas should take advantage of the reputation of the more tasty and flavored Mediterranean products that are generally perceived by the consumer as a more “natural” food compared to “artificial” Northern Europe greenhouse produce. In this respect the Mediterranean produce should be presented on the market with a specific quality label (i.e. an eco-label such as “Mediterranean greenhouse produce”) that emphasizes the link between its intrinsic high-quality properties, the origin of that specific product and the sustainability of its production process.

Key words: energy, environmental impact, greenhouse, soilless, water use efficiency.

Introduzione

Negli ultimi decenni in Europa si sta passando dal concetto di “agricoltura sostenuta” a quello di “agricoltura sostenibile”, in cui i sistemi agricoli sono capaci di mantenere la loro produttività per un tempo indefinito. Questi sistemi devono essere in grado di conservare risorse, essere utili socialmente, competitivi sul mercato e rispettosi dell’ambiente (Weil, 1990). In termini di politica agricola comunitaria questo concetto si è tradotto nel passaggio da una politica di aiuti

*depascal@unina.it

agli agricoltori basati sulla quantità delle produzioni ad una politica di incentivi per il raggiungimento di obiettivi ambientali. Sebbene la sostenibilità possa essere raggiunta in modi differenti essa, generalmente, implica un uso più efficiente delle tecnologie disponibili (Acutt e Mason, 1998). Va tuttavia segnalato che, poiché la sostenibilità dell'agricoltura presuppone la massimizzazione del beneficio netto per la società, il raggiungimento di questo obiettivo non può prescindere dal bilancio dei costi e dei benefici derivati (economici, sociali, ambientali, ecc.) nei diversi scenari possibili (Bakkes *et al.*, 1994).

Di recente, la dinamica evolutiva delle colture protette è stata descritta in termini di caratteristiche e di (in)efficienza d'uso delle risorse impiegate nel processo produttivo, di impatto ambientale e di aspetti politici e socio-economici correlati (Baille, 2001; La Malfa e Leonardi, 2001; Castilla *et al.*, 2004; Pardossi *et al.*, 2004). Le differenze emerse tra le colture protette del Nord-Europa e quelle dei Paesi del Bacino Mediterraneo consentono ormai di parlare di agrosistema serricolo mediterraneo (Castilla *et al.*, 2004). In questa review saranno analizzati alcuni aspetti dell'efficienza d'uso delle risorse e della sostenibilità dell'agroecosistema serricolo mediterraneo.

L'agroecosistema- serra

Nel secolo scorso la nascita e lo sviluppo dell'Ecologia hanno portato alla definizione del concetto di ecosistema (struttura che si auto-organizza, si auto-mantiene e si auto-evolve) (Odum, 1969). Il più semplice e comune modello di ecosistema è: Input-Ecosistema-Output in cui il sistema stesso è trattato come una "scatola nera". L'approccio ecosistemico è stato applicato anche alla realtà agraria ed in analogia con l'ecosistema è stato coniato il termine agroecosistema (= ecosistema utilizzato a scopi agrari) (Loucks, 1977).

La sostenibilità di un agroecosistema è la capacità di mantenere un dato livello di produttività nel tempo ed un dato livello quanti-qualitativo di risorse ambientali (Loucks, 1977). Anche la serra rappresenta un agroecosistema in cui, a differenza di altri agroecosistemi, l'ambiente può essere modificato al fine di massimizzare la produttività della coltura (Castilla *et al.*, 2004).

Altre differenze significative riguardano la maggiore stabilità della produzione, ovvero le minori fluttuazioni di produttività nel tempo, ma anche minori fluttuazioni di quantità e qualità delle risorse impiegate e la minore autonomia, misurata in termini di dipendenza dagli *input* esterni all'agroecosistema. In questo senso, le tecniche di produzione in ambiente

protetto si discostano in maniera marcata da quelle tipiche dell'agricoltura di pieno campo, fino a diventare dei veri e propri sistemi produttivi nei quali alcune tecnologie impiegate rappresentano una trasposizione pressoché diretta delle conoscenze scientifiche.

Identificare fisicamente un agroecosistema prefigura due tipi di scenario, quello interno all'agroecosistema prescelto e quello del più ampio contesto ambientale in cui l'agroecosistema è inserito. Nel caso della singola serra le componenti del sistema sono rappresentate dagli *input* (risorse naturali e risorse antropiche), mentre l'*output* è rappresentato dal prodotto utile per unità di superficie (sostanza secca, energia, proteine, valore monetario). Il concetto di *output* va inoltre esteso alla produzione di impatto ambientale (positivo o negativo), che riguarda la modifica delle risorse naturali ed ambientali (suolo, acqua, aria, organismi, paesaggio) (fig. 1). La misura della produttività non riguarda solo l'*output* ottenuto dal sistema ma, poiché il processo è attivato da *input*, anche il grado di trasformazione degli *input* in *output* ossia l'efficienza della trasformazione.

In termini di sostenibilità, l'agroecosistema serra è migliore quando a) riesce ad esprimere rese elevate con bassa intensità di utilizzazione delle risorse (bassi *input* di energia esterna per unità di *output*); b) riesce a mantenere integri i meccanismi di produzione (es. la fertilità del suolo) o della sua difesa (es. controllo biologico di fitofagi e fitopatie) (Brydges, 2001).

Colture protette mediterranee

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). Il sistema serra in ambiente mediterraneo è caratterizzato da alcune fon-

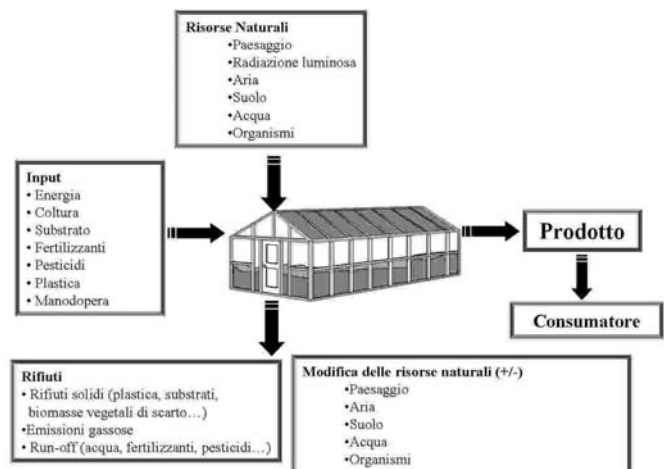


Fig. 1 - Determinanti di sostenibilità.
Fig. 1 - Determinants of Sustainability.

Tab. 1 - Colture protette nel Bacino Mediterraneo (superfici in ettari) (Fonte: Jouet, 2004).
 Tab. 1 - Protected horticulture in the Mediterranean Basin (area in hectares) (Source: Jouet, 2004).

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	
<i>Totale</i>	<i>179.452</i>	<i>108.255</i>	<i>287.707</i>	<i>6.177</i>

damentali differenze in termini di quantità e distribuzione temporale delle risorse naturali impiegabili, in primo luogo quelle energetiche (calore e luce). Queste differenze, 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 (Baille, 2001).

Al contrario, vi è una chiara tendenza nell'Europa settentrionale ad ottimizzare l'ambiente serra per ottenere la produzione potenziale della coltura (Baille, 2001; Castilla *et al.*, 2004). La serricoltura nell'Europa Nord Occidentale 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*) (Stanghellini *et al.*, 2003).

Nei Paesi a clima mediterraneo, la tendenza dominante è invece quella di adattare la coltura ad un ambiente non-ottimale. Poiché vi è un controllo minimo del microclima nella serricoltura di queste aree, la coltura in sé gioca un ruolo predominante nell'ambiente serra in quanto lo definisce in virtù dei suoi scambi gassosi. Nelle aree più calde del Mediterraneo predominano così serre caratterizzate da strutture leggere coperte da semplici film plastici. Questa tecnologia si fonda generalmente sul principio di minimizzare gli investimenti (capitale e tecnologia). In genere, si ritiene che investimenti *high-tech* non siano giustificati in questi ambienti specialmente nel caso degli ortaggi, a causa di un rapporto costi/benefici troppo elevato (Baille, 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).

Uso sostenibile delle risorse naturali in coltura protetta

Acqua

Una delle principali risorse, generalmente considerata rinnovabile, è rappresentata dall'acqua. In coltura protetta e nella conduzione di attività agricole intensive, quali quella ortofloricola, la gestione dell'acqua e della nutrizione delle colture è un punto critico in quanto la dispersione nell'ambiente di grossi quantitativi di reflui (acqua, fertilizzanti fino ad alcune tonnellate per ettaro all'anno) rende necessaria una revisione dei criteri di gestione della risorsa idrica per aumentare il suo uso sostenibile. Le tecniche irrigue adottate per le colture di pieno campo non sono immediatamente trasferibili alle colture protette ed ancor meno alle coltivazioni senza suolo. Occorre dunque applicare specifiche tecniche di gestione irrigua per l'ottimizzazione produttiva ed ambientale delle risorse idriche, spesso limitate e di scarsa qualità (es. per elevata salinità). Occorre cioè stabilire cosa si intende per "sostenibile" quando ci si riferisce ai fabbisogni idrici della pianta e quali possono essere le implicazioni civili/sociali derivanti da un uso intensivo di questa risorsa.

In questo contesto, una visione integrale di sostenibilità può semplificare l'individuazione di strategie adatte a migliorare il tornaconto economico dell'uso sostenibile della risorsa idrica in serricoltura. Benché la quantità totale di acqua utilizzata in agricoltura sia diminuita di circa il 20% dal 1960 ad oggi, esiste ancora una serie di problemi associati ad una disponibilità idrica decrescente (Tognoni *et al.*, 2002). Tra

questi citiamo la scarsa disponibilità di acqua potabile in alcuni Paesi, l'aumento dell'impiego di acqua di scarsa qualità per usi agricoli e la difficile ripartizione dell'acqua tra settori in competizione (agricolo, industriale, civile).

La ridotta disponibilità idrica che interessa molte regioni del Mediterraneo ha indotto le Istituzioni Comunitarie a rivedere i criteri di allocazione di questa risorsa e a ridefinire le priorità sociali ed economiche secondo cui dovrebbe effettuarsi la sua ripartizione. Nell'ambito di una gestione più efficiente della risorsa idrica, il settore serricolo gioca un ruolo determinante poiché in ambiente protetto l'economia d'uso dell'acqua risponde meglio, rispetto al pieno campo, al principio del *cost recovery* recentemente promosso dai regolamenti comunitari (Stanghellini *et al.*, 2003). Migliorare l'efficienza d'uso dell'acqua (*Water Use Efficiency*) nelle produzioni sotto serra è possibile attraverso un controllo accurato dei parametri ambientali e delle tecniche colturali. L'ambiente protetto offre la possibilità di seguire e valutare con precisione i fabbisogni idrici della pianta e di soddisfarli utilizzando tecnologie avanzate. I risultati della ricerca in questo settore hanno portato allo sviluppo di tecniche quali le colture idroponiche, il riutilizzo delle acque di drenaggio e l'impiego di sistemi a ciclo chiuso (Albright, 2002). Nonostante lo sviluppo di queste tecnologie, che consentono di soddisfare al meglio le esigenze fisiologiche della pianta, anche le colture in serra sono tuttavia esposte a diverse tipologie di stress tipici di realtà agricole del Mediterraneo, tra cui quelli indotti da una carenza idrica spesso associata ad elevate temperature e stress salino. In quest'ambito, lo studio e la comprensione dei meccanismi fisiologici che possono essere funzionali al superamento (o adattamento) di situazioni transitorie di stress potrebbe contribuire significativamente all'individuazione di strategie volte a migliorare la WUE nell'ambiente serra delle aree mediterranee. Un sostanziale contributo a questo settore proviene da studi recenti di genetica molecolare e dalla individuazione dei meccanismi biologici che possono essere direttamente o indirettamente coinvolti in un uso efficiente (da parte della pianta) dell'acqua in uno specifico ambiente di coltivazione.

Efficienza d'uso dell'acqua

Il rapporto tra biomassa prodotta ed acqua evaporata definisce l'efficienza d'uso dell'acqua (*Water Use Efficiency*) di una pianta e stima l'efficienza di una pianta nell'utilizzare acqua per produrre biomassa. La WUE è aumentata significativamente su scala mondiale negli ultimi 50 anni. Considerando che

l'evapotraspirazione annuale globale è rimasta invariata nello stesso periodo ($9,7 \cdot 10^{12}$ m³ di acqua), l'incremento della WUE è da associarsi ad un aumento delle rese (Tognoni *et al.*, 2002). La misura dell'efficienza è in genere effettuata calcolando l'indice di trasformazione dell'acqua irrigua nel sistema colturale secondo la relazione:

$$WUE = \frac{Biomassa}{Tr+Ev+Perdite} = \frac{Biomassa}{Tr+Ev+Lisciviazione+Perdite\ del\ Sistema}$$

Rispetto alle colture in pieno campo, le colture protette sono normalmente caratterizzate da una maggiore efficienza d'uso dell'acqua per tre ragioni:

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

Nelle serre dell'Europa settentrionale, questi tre fattori (e loro ottimizzazione) possono migliorare fino a 5 volte l'efficienza d'uso dell'acqua (Stanghellini *et al.*, 2003). Viceversa, in ambiente mediterraneo, l'assenza di una climatizzazione efficiente della serra limita considerevolmente le possibilità di migliorare la WUE (fig. 2). In una tipica serra fredda dell'area mediterranea una coltura di pomodoro utilizza 40 litri di acqua per kg di prodotto, una quantità inferiore di 1/3 a quella necessaria per produzioni in pieno campo (Stanghellini *et al.*, 2003).

La WUE può essere migliorata attraverso: 1) la modifica dell'ambiente di coltivazione; 2) la modifica

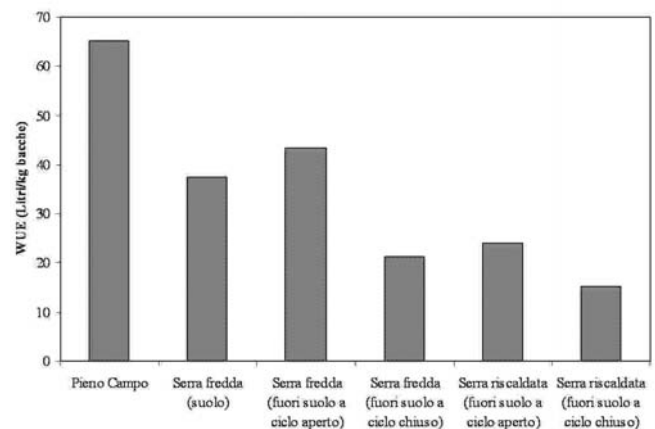


Fig. 2 - Water use efficiency (WUE) espressa come litri per kg di bacche di pomodoro prodotte in diversi sistemi colturali (Rielaborato da Pardossi *et al.*, 2004).

Fig. 2 - Water use efficiency (WUE) of tomato crops carried out using different growing systems (Source: Pardossi *et al.*, 2004).

della risposta fisiologica della pianta all'ambiente di coltivazione.

Modifica dell'ambiente di coltivazione

La temperatura dell'aria (Pearce *et al.*, 1993), l'umidità relativa (Ho, 2002), l'intensità luminosa (Grange e Hand, 1987), la concentrazione di CO₂ atmosferica (Li *et al.*, 1999) sono parametri che possono influenzare i fabbisogni idrici della coltura e possono essere controllati e modulati nell'ambiente serra. Ad esempio, un innalzamento dell'umidità dell'aria nella serra può determinare un abbassamento del VPD con un effetto retroattivo sulla traspirazione (Stanghellini, 1993).

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 (EC) (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 EC, CO₂ e radiazione solare (Dalton *et al.*, 2001; Maggio *et al.*, 2002a) è un altro aspetto da tenere in considerazione per ottimizzare rese e qualità delle produzioni ed *eco-uso* della risorsa idrica in coltura protetta. 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 di curve dose-risposta riportate in letteratura per diverse colture si può concludere che la resa di una coltura è inferiore a dosi d'acqua "molto basse" o "molto alte" (fig. 3).

Dal punto di vista pratico-applicativo possiamo ipotizzare tre obiettivi.

- Massimizzare la resa della coltura. Questo obiettivo può essere perseguito restituendo alla coltura l'evapotraspirazione massima (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).

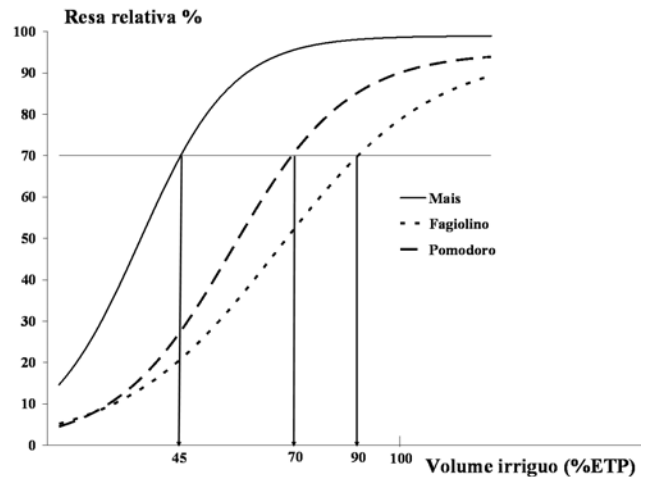


Fig. 3 - Curve dose-risposta della produzione al volume di irrigazione per diverse colture.

Fig. 3 - The general dose-response curve of crop yield to irrigation.

- Massimizzare la WUE (ottimizzare la resa per quantità unitaria di acqua somministrata). Questo obiettivo è critico per le aree a clima mediterraneo dove l'acqua è una risorsa limitata e sempre più costosa.
- Massimizzare il tornaconto per l'agricoltore. Ciò significa massimizzare la differenza tra il ricavo lordo ed i costi di produzione.

Benché per le colture ortive e floricole gli obiettivi 1 e 3 in genere coincidano (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 sostenibilità del processo produttivo.

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 (ispezione visiva del livello di umidità e/o uso di tensiometri o di altri sensori); 2) stima dello stress idrico nella pianta (ispezione visiva dell'approssimarsi della perdita di turgore cellulare o appassimento; misura della conduttanza stomatica, potenziale idrico fogliare e temperatura fogliare tramite termometria all'infrarosso, ecc.); 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).

Efficienza dell'irrigazione. L'efficienza dell'irrigazione può variare da 25–50% per l'irrigazione per infiltrazione laterale, a 50–70% nei sistemi per asperzione fino all' 80–90% dei sistemi a microportata. Conseguentemente, per uno specifico volume irriguo, le irrigazioni per asperzione e a microportata consentono un incremento della superficie irrigata rispettivamente del 20–30% e 30–40%, rispetto all'irrigazione per infiltrazione laterale. La micro-irrigazione si è diffusa rapidamente nelle colture protette mediterranee (La Malfa e Leonardi, 2001), anche perché permette una somministrazione simultanea di acqua ed elementi nutritivi. La fertirrigazione può tuttavia ridurre l'efficienza dell'irrigazione (Van Os, 1995). 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.

In generale, l'irrigazione può comportare problemi di sostenibilità nel lungo periodo. Tra questi citiamo quelli associati a: 1) accumulo di NaCl ed altri sali negli strati di suolo interessati dalle radici; 2) accumulo di nitrati e fitofarmaci in superficie e nelle falde acquifere, (conseguente ad un uso eccessivo di prodotti chimici addizionati all'acqua di irrigazione); 3) diminuzione della fertilità del suolo a causa di modifiche delle sue proprietà chimico-fisiche e della struttura; 4) spreco di acqua associato ad un'inefficiente distribuzione a livello comprensoriale ed aziendale.

Questi problemi possono essere controllati, entro certi limiti, attraverso una gestione efficiente dell'irrigazione, che idealmente dovrebbe essere sincronizzata con le esigenze idrico-fisiologiche della coltura. Questo 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 quali la pacciamatura e quelle che possano favorire lo sviluppo rapido ed uniforme della coltura (trapianto e scelta ottimale della densità di impianto). Acque idonee per l'irrigazione possono essere ottenute attraverso il recupero delle acque piovane in contenitori superficiali o sotterranei (Castilla *et al.*, 2004).

Salinità. I criteri guida da tener presente per una gestione efficiente dell'irrigazione con acque saline

sono stati ampiamente discussi da altri Autori (Maas e Grattan, 1999). 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 e stime di tolleranza delle diverse colture alla salinità. 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). Un uso razionale delle acque di scarsa qualità potrebbe aumentare significativamente la quantità totale di acqua utilizzabile per usi agricoli (Hamdy, 2002).

Sistemi fuori-suolo. La WUE nelle produzioni in serra è migliorata considerevolmente in seguito all'introduzione di sistemi fuori suolo dove l'acqua di irrigazione può essere recuperata e riutilizzata (sistemi chiusi) (fig. 4). Dal punto di vista ambientale, questi sistemi possono rappresentare una valida alternativa alla carenza di prodotti per la fumigazione dei suoli in serra ed alla costosa pratica della sterilizzazione con vapore (Jensen, 2002). 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 (Jensen, 2002). Per

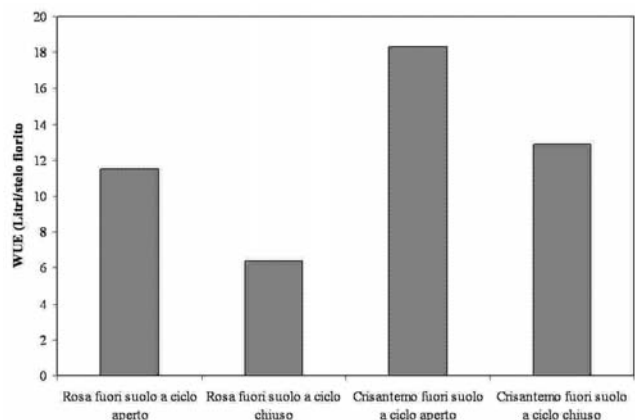


Fig. 4 - Water use efficiency (WUE) espressa come litri per stelo prodotto di colture floricole coltivate in impianti idroponici (Rielaborato da Santamaria *et al.*, 2005).

Fig. 4 - Water use efficiency (WUE) of flower crops carried out using different soilless systems (Source: Santamaria *et al.*, 2005).

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.

Modifica della fisiologia della pianta

Migliorare la capacità di utilizzazione dell'acqua traspirata da una pianta (WUE) è stato un obiettivo primario degli agricoltori e *breeders* nel corso dell'ultimo cinquantennio. Tuttavia la complessità di questo carattere non ha consentito di raggiungere risultati soddisfacenti sia attraverso i programmi di miglioramento genetico tradizionali sia utilizzando le più recenti tecniche di ingegneria genetica (Duvick e Cassman, 1999; Maggio *et al.*, 2002b). L'introduzione di piante modello quali *Arabidopsis* e più recenti *Arabidopsis Relatives Model Systems* (ARMS) (Inan *et al.*, 2004), associata ad un rapido sviluppo di tecniche di genetica molecolare e di generazione di mutanti, ha contribuito significativamente alla comprensione dei meccanismi che regolano la WUE. Molte risposte fisiologiche alla base dell'adattamento allo stress sono state legate alla funzione di specifici geni. Questi ed altri meccanismi fisiologici più o meno direttamente legati al controllo dei flussi idrici nella pianta potrebbero rappresentare *target* importanti per migliorare la WUE nelle produzioni in serra (Maggio *et al.*, 2002b).

Ruolo degli stomi nel controllo dei flussi idrici. La morfologia stomatica e la risposta stomatica ai diversi stimoli ambientali è certamente uno dei punti critici di controllo del bilancio idrico nella pianta che potrebbe essere preso in considerazione per migliorare la WUE. Se dal punto di vista fisiologico la chiusura stomatica è indubbiamente una strategia efficiente per superare una condizione più o meno duratura di carenza idrica, dal punto di vista produttivo presenta delle implicazioni sfavorevoli dal momento che una riduzione del flusso traspirativo comporterebbe 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 (Schulze e Hall, 1982) 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 (Raskin e Ladyman, 1988; 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 (Yang e Sack, 1995; Larkin *et al.*, 1997). Recentemente, la base genetico-fisiologica che controlla la WUE è stata individuata ed associata alla biologia della differenziazione e distribuzione degli stomi sulla superficie fogliare (Masle *et al.*, 2005).

Morfologia fogliare. La riduzione della superficie fogliare può influenzare il grado di utilizzazione dell'acqua disponibile. Specifiche forme e morfologie fogliari sono state associate a meccanismi di adattamento tipici di piante xerofitiche (Fischer e Turner, 1978). Alterazioni di questo tipo sono state isolate in *Arabidopsis*, tra cui quelle che inducono la formazione di foglie aghiformi (Berná *et al.*, 1999) e quelle che sono coinvolte nella determinazione dello spessore della lamina fogliare (Bohmert *et al.*, 1998). La sovraespressione 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). Anche in questo caso, questi mutanti potrebbero essere utilizzati per valutare come cambiamenti della morfologia fogliare possano riflettersi sui consumi idrici e sulla produttività in ambienti dove la risorsa idrica sia limitata. Altri aspetti fisiologici/morfologici che potrebbero avere un effetto sulla WUE includono la capacità di variare l'inclinazione delle foglie (Berná *et al.*, 1999), la produzione di sostanze cerosi (Negruk *et al.*, 1996) e lo sviluppo di tomentosità (Szymanski *et al.*, 1998), caratteri che possono aumentare le proprietà di riflettanza delle foglie.

Assorbimento idrico e morfologia radicale. 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. Geni che controllano la crescita dell'apparato radicale rispetto alla parte epigea sono stati identificati (Torii e Deng, 1995) 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.

L'architettura radicale può influenzare significativamente la capacità di estrazione di acqua dal suolo (Passioura, 1996). La relazione specifica tra morfo-

gia/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 nuovi varianti genetiche direttamente in specie vegetali di interesse agrario (Maggio *et al.*, 2001).

Conducibilità idrica radicale. Anche la resistenza al flusso idrico all'interno della radice può giocare un ruolo essenziale in situazioni di stress. 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 acquaporine (*membrane water channels*) nella regolazione dei flussi idrici. Le acquaporine sono state localizzate sul tonoplasto e sulla membrana plasmatica e possono facilitare il trasporto passivo dell'acqua secondo un gradiente di potenziale idrico. E' stato dimostrato che le acquaporine mediano il trasporto idrico trans-membrana (Maurel, 1997), tuttavia non è ancora chiaro quale possa essere il loro ruolo specifico nell'adattamento a situazioni di stress.

Fisiologia e tecnica colturale. Al di là di caratteri morfologici che possono essere più o meno direttamente collegati al controllo dei flussi idrici nel sistema suolo-pianta-atmosfera, vi è una serie di altri esempi in cui la fisiologia e/o morfologia della pianta può essere funzionalmente modificata per migliorare l'efficienza d'uso dell'acqua. Ad esempio, una somministrazione ridotta di fosforo nelle prime fasi di sviluppo della pianta può determinare una diminuzione del rapporto chioma/radice che potrebbe 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). E' stato concluso 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. Questi risultati hanno confermato le previsioni di un modello biofisico proposto da Dalton *et al.* (2001) secondo cui l'aumento del rapporto chioma/radice rallenterebbe il raggiungimento della soglia critica di tossicità da NaCl in pomodoro.

E' importante sottolineare che il riferimento a sistemi modello, tecniche di trasferimento genico inter-specifico e tecnologia transgenica per lo studio dei meccanismi di adattamento allo stress è, in questo contesto, esclusivamente finalizzato alla comprensione di funzioni fisiologiche importanti nell'adattamento allo stress ed all'individuazione di nuovi meccanismi di risposta (Maggio *et al.*, 2002b).

Energia

Gli obiettivi perseguiti per una gestione energetica sostenibile della serra sono rappresentati dalla massimizzazione dell'apporto e dalla limitazione di perdita di energia.

L'interazione dei fattori che condizionano la progettazione e l'utilizzazione della serra (tipo di serra e materiale strutturale impiegato, specie coltivata, pendenza del terreno, altimetria, clima esterno locale, esposizione, ventosità, ecc.) influenzano il bilancio energetico (fig. 5).

In riferimento alle serre mediterranee, l'obiettivo si modifica a seconda del periodo dell'anno: durante il periodo invernale, la maggiore radiazione solare disponibile rappresenta un vantaggio economico in confronto alle serre nord europee. In questo periodo, il miglioramento dell'efficienza delle risorse energetiche naturali 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) (tab. 2).

Infatti la ridotta trasmittanza delle coperture induce perdite di produzione durante i mesi invernali e pri-

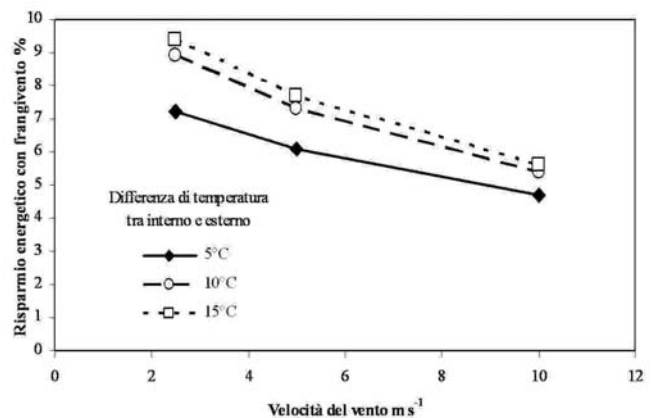


Fig. 5 - Percentuale di risparmio energetico annuo ottenibile in serra in presenza di frangivento in funzione del differenziale termico tra interno-esterno.

Fig. 5 - Potential annual energy savings in a greenhouse due to the presence of wind break at three different temperature regimes.

Tab. 2 - Percentuale di risparmio energetico annuo ottenibile in serra con doppio telo di differente materiale.
 Tab. 2 - Potential annual energy savings of greenhouse modifications compared to a single pane glasshouse.

Tipo di schermo protettivo	Risparmio d'energia (%)
Serra di vetro senza schermo	0
Con PE trasparente	32
Con polipropilene	36
Con film alluminizzato su una faccia (faccia alluminizzata verso le piante)	42
Con film alluminizzato su una faccia (faccia alluminizzata verso la parete)	46
Con film alluminizzato sulle due facce	47

maverili che sono quelli determinanti nella formazione del reddito. Le basse temperature invernali e l'elevata escursione termica diurna dell'aria e del suolo limitano le produzioni ottenibili (soprattutto sotto il profilo qualitativo) anche in periodo invernale.

Attualmente il riscaldamento è percepito dai produttori come elemento in grado di garantire anticipi di produzione (fig. 6) e livelli di produzione quantitativamente costanti necessari in un mercato caratterizzato da elevata competitività.

In Italia viene calcolato che per la sola climatizzazione il consumo diretto di energia si aggira sull'ordine di 140.000 TEP (Tonnellate Equivalenti di Petrolio) con una incidenza sul costo totale di produzione del 20-30%. Per i consumi energetici indiretti, relativi ai materiali di struttura e copertura, si stima che in ogni m² di plastica e di vetro siano incorporati rispettivamente circa 10-12.000 kcal e 80.000 kcal, rispettivamente.

La necessità di energia per il riscaldamento nelle serre mediterranee è ridotta rispetto alle serre nord europee. In Italia meridionale per un ettaro di rosa sono necessari tra 5.200 e 6.800 GJ contro i 16.000 GJ/ha stimati in Olanda per la produzione di fiori reci-

si (Stanghellini *et al.*, 2003). Tuttavia a fronte di minore esigenze in termini di riscaldamento occorre sottolineare la maggiore dipendenza dei sistemi serricoli mediterranei da fonti di energia non rinnovabile (combustibili fossili) in sistemi ad elevato impatto ambientale.

La sostenibilità può essere ottenuta attraverso l'impiego di fonti energetiche alternative quali residui organici o fonti di energia rinnovabile (solare, eolica, biomasse) e attraverso la riduzione o il riuso delle emissioni (impianti di cogenerazione) (Bot, 2004; Short, 2004). In Olanda in serra riscaldata vengono rilasciate 800 ton/ha per anno di CO₂ a fronte di 200 t/ha per anno di CO₂ equivalente al carbonio fissato dalla coltura (50 t/ha per anno) e tale bilancio rappresenta i costi ambientali dell'extra-stagionalità.

Tuttavia, mentre l'incremento della temperatura in serra è un obiettivo tecnicamente 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 più o meno proporzionale alla riduzione di radiazione. Una soluzione potrebbe essere quella di reti ombreggianti mobili basate sulla saturazione luminosa della fotosintesi (Stanghellini, 1993; Hansen *et al.*, 1996). L'eccesso di energia radiante può essere utilizzato per aumentare la traspirazione (calore latente) 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 (quantitativa) disponibilità idrica nel periodo

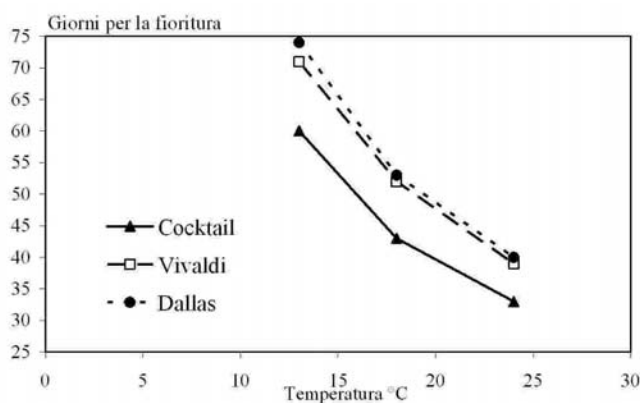


Fig. 6 - Effetto di tre regimi termici notturni in serra sull'intervallo tra due flussi di fioritura in tre cultivar di rosa da fiore reciso.

Fig. 6 - Effect of three greenhouse night temperature regimes on the number of days required for flower development in three rose cultivars.

estivo. Dal punto di vista tecnico ed economico deve essere valutato il limite di latitudine oltre il quale le produzioni estive in serra non sono sostenibili anche in considerazione della “competitività” con le colture di pieno campo (ortive). 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.

Suolo

In ambiente protetto mediterraneo il suolo deve essere considerato una risorsa limitata e non rinnovabile (almeno in tempi brevi) in quanto la bassa qualità dell’acqua di irrigazione, la scarsa profondità delle falde, l’irrigazione continua e ripetuta rendono nella maggior parte dei casi la coltivazione “rischiosa” per il mantenimento della fertilità di lungo periodo. Inoltre l’elevata specializzazione colturale predispone alla perdita di “fertilità” biologica dei suoli per accumulo di organismi patogeni (La Malfa e Leonardi, 2001). La sostenibilità di uso di questa risorsa necessita quindi di interventi in grado di ridurre il tasso di consumo e lo sviluppo di risorse alternative rinnovabili.

Le ricerche anche nel settore delle colture protette hanno privilegiato lo studio della risposta produttiva delle colture con risultati che consentono una possibilità di scelta tra specie a diversa tolleranza alla salinità (Maas e Grattan, 1999). Un criterio utilizzato per sta-

bilire il grado di tolleranza delle specie agrarie alla salinità è l’accrescimento relativo o la produzione relativa in suoli salini rispetto a suoli non salini, secondo il modello sviluppato da Maas e Hoffmann (Maas e Grattan, 1999). L’applicazione di questo criterio, sebbene con molti limiti, consente una stima del “costo” dell’impiego di risorse idriche non ottimali in termini di perdita di resa.

Tuttavia, in termini di sostenibilità ambientale è necessario definire limiti di impiego della risorsa suolo in funzione della riduzione di fertilità derivante dall’impiego di risorse idriche non ottimali. Per valutare gli effetti di lungo periodo dell’apporto al terreno di acque saline occorre però indirizzare la ricerca verso la soluzione non semplice di conciliare l’impiego di tali acque con una agricoltura sostenibile. La tutela della risorsa suolo implica quindi lo studio della dinamica dei principali indici della fertilità del suolo (chimica e biologica) e l’individuazione di valori soglia di fertilità (tra cui la conducibilità elettrica del suolo, EC_e) sui quali modulare nel tempo e nello spazio l’uso della risorsa (tempi di recupero), oltre alla messa in atto di tecnologie di gestione della coltura (lotta biologica, cultivar resistenti, innesto) e di tecnologie *soil saving* (concimazione organica, solarizzazione).

La riduzione dell’uso della risorsa può derivare a parità di *output* solo dall’incremento della produttività (produzione/m²) dell’unità di *input* impiegato. Questo obiettivo richiede interventi rivolti ad aumentare l’*harvest index* su pianta (miglioramento genetico) e di tipo agronomico (densità di impianto).

Lo sviluppo di risorse alternative rinnovabili vede in primo piano le tecniche di coltivazione su substrato che si sono sviluppate soprattutto nel Nord Europa (attualmente nei 2/3 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). Di recente, è stato stimato che le colture fuori suolo in ambiente mediterraneo comportano redditi netti 4 volte maggiori rispetto alle colture su terreno (tab. 3). Tuttavia gli

Tab. 3 - Costi di produzione e ricavi per colture di peperone in differenti sistemi produttivi in Olanda ed in Almeria (Caballero e De Miguel, 2002).

Tab. 3 - Production cost and income for sweet pepper crop in Holland and in Almeria (Caballero e De Miguel, 2002).

Dati	Piena terra (Almeria)	Fuori suolo (Almeria)	Fuori suolo (Olanda)
Produzione (kg/ha)	105.000	160.000	266.000
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

elevati costi di investimento e la scarsa qualità dell'acqua, in alcune aree, stanno limitando la loro espansione.

I sistemi fuori suolo a ciclo chiuso, con maggior grado di ecocompatibilità, ottimizzano l'efficienza d'uso della risorsa idrica e prevengono i problemi di contaminazione del suolo. Tuttavia la sostenibilità economica di questi sistemi in ambiente mediterraneo è un elemento ancora oggetto di discussione. Dall'altro lato, i sistemi aperti (i più comuni nelle serre mediterranee) sono caratterizzati da un elevato impatto ambientale.

Un problema da non sottovalutare è che i sistemi fuori suolo generano approssimativamente 2 t/ha per anno di substrati esausti minerali (lana di roccia, perlite) o organici (torba) da smaltire (Stanghellini *et al.*, 2003). In questo senso i substrati organici potrebbero presentare alcuni vantaggi in termini di sostenibilità perché possono essere riciclati (compost, biomassa per la produzione di energia).

In assenza di normativa specifica (come in Olanda) il ricorso a queste tecniche potrà in futuro riguardare solo parte della superficie coperta (quelle a colture a più alto reddito) con tecnologie economicamente ed ambientalmente sostenibili (ciclo chiuso) o potrà essere temporalmente limitato al periodo sufficiente al ripristino della fertilità dei suoli naturali (sempre che non convenga interrompere la coltivazione).

Le tecnologie impiegate dovranno tener conto della necessità del ciclo chiuso con costi contenuti e la scelta dei substrati dovrà privilegiare substrati organici il cui smaltimento a fine ciclo potrà prevedere il riuso per la produzione di energia o di sostanza organica. In alternativa dovrà essere considerato, anche nei Paesi del Mediterraneo, il costo dello smaltimento e/o della rigenerazione dei substrati minerali esausti e delle plastiche di imballaggio (in Olanda e Germania il produttore di lana di roccia è obbligato al ritiro ed allo smaltimento).

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 quando la serra è aperta. In Almeria, la riduzione di CO₂ è tra il 20% ed il 37% (Sanchez-Guerrero *et al.*, 2001) quando misurata in una serra aperta o chiusa, rispettivamente. Durante l'inverno, in una serra mediterranea scarsamente ventilata, la concentrazione di CO₂ può raggiungere anche 100-200 vpm e l'arricchimento carbonico (2.500 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). La sostenibilità dell'arricchimento carbonico in serra è associata alla possibilità di utilizzare sorgenti di CO₂ a basso costo (sottoprodotto dell'impianto di riscaldamento). Una gestione sostenibile dell'arricchimento carbonico presuppone quindi 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 valutazioni economiche quali la presenza di fonti di CO₂ a basso costo.

Impatto ambientale

Paesaggio

Le serre hanno un notevole impatto ambientale dal punto di vista paesaggistico ed aumentano la superficie di suolo impermeabilizzata.

Le serre (anche quelle che utilizzano sistemi a ridotto impatto ambientale) comportano una modifica del paesaggio che non può essere trascurato in alcune realtà del Mediterraneo come Almeria, Ragusa, Napoli, dove la superficie coperta si estende quasi senza soluzione di continuità. Nelle realtà mediterranee, inoltre, non possono più essere trascurate le valenze paesaggistiche, storico-culturali ed archeologiche di alcuni siti. Alcune amministrazioni pubbliche hanno già posto dei vincoli strutturali ed imposto pesanti freni all'ulteriore espansione delle superfici coperte in riferimento ad aree di particolare valore paesaggistico.

Rifiuti

Plastica. L'impiego di materiale plastico è in continuo aumento sia per condizionare l'ambiente sia per altri aspetti agronomici. Infatti, per quanto concerne il primo aspetto, nelle aree in cui la temperatura media minima mensile dei mesi più freddi non scende sotto i 12 °C e si ha una durata del giorno di almeno 9 ore/giorno nel trimestre novembre/gennaio è possibile effettuare la coltivazione in serra in plastica di specie mesotermiche senza ricorrere al riscaldamento.

Per le colture protette in Italia ogni anno si consumano circa 80.000 tonnellate di plastica, pertanto

notevoli sono i problemi legati al materiale di scarto di questo tipo (in Sicilia per il pomodoro si stima una produzione di plastica di 2,9 t/ per anno), mentre il suo costo, riferito alla copertura di serre per l'orticoltura, si aggira su 0,50 €/m². Si può osservare comunque che l'impiego di materiali plastici a lunga durata è poco diffuso a causa del maggiore costo e degli scarsi controlli sullo smaltimento (che contribuisce per 0,07 €/kg ai costi del polietilene). Dati relativi ad Almeria stimano produzioni annuali di 1,1 t/ha di polietilene per il rinnovo delle coperture (ogni 2-3 anni), 112 kg/ha di lacci in plastica per il tutoraggio delle piante, 50 kg/ha di trappole cromatiche di polipropilene per insetti, 500 kg/ha di plastica dai sistemi di irrigazione ed altro associati all'attività serricola. In Campania, il consumo annuale di plastica stimato per 1 ha di serre è approssimativamente di 3,7-4,5 t, di cui 2,2-3,0 t per le coperture in polietilene e 1,5 t per pacciamatura, sistemi di irrigazione, contenitori, ecc. Attualmente il riciclo di questi rifiuti per la produzione di granuli interessa solo il 30% della plastica utilizzata nell'industria terricola (La Malfa e Leonardi, 2001).

Agrochimici. Punti critici per possibili fonti di inquinamento "chimico" o interventi determinanti un impatto ambientale di rilievo legati all'attività serricola risultano:

- gestione della difesa delle colture;
- gestione della nutrizione delle colture;
- gestione delle acque.

L'agroecosistema serra è considerato tra quelli a più alto consumo di fitofarmaci. Infatti, per la difesa fitosanitaria delle colture si interviene mediamente con 10 trattamenti chimici/coltura, con punte che possono superare i 20 interventi/coltura per alcune specie floricole.

Orientativamente il numero dei trattamenti chimici che si effettuano per il controllo dei soli parassiti animali (acari ed insetti) può variare dai 4-12 per il pomodoro, a 2-5 per la fragola, 2-7 per il peperone, 2-10 per la melanzana, 2-6 per il cetriolo e 10 per le specie floricole. In Italia, si stima che relativamente alla sola categoria degli insetticidi ed acaricidi, si consumino circa 14 kg di prodotto/ha per ciclo colturale. Se riferiti ad un periodo di un anno, questi dati aumentano considerevolmente per gli avvicendamenti delle colture che generalmente si effettuano nelle serre: la quantità annuale di antiparassitari utilizzati in Italia nelle produzioni serricole intensive è di 47 kg/ha (principio attivo) contro i 31 kg/ha dell'Olanda. L'impiego di questi prodotti, che comprendono circa un centinaio di principi attivi autorizzati per coltura, può creare gravi problemi di ordine tossicologico/ambientale in considerazione dell'estensione della serricoltura, della classe di tossicità del principio

utilizzato, della modalità del loro impiego, dell'importanza che il sistema serricolo riveste nella produzione di prodotti freschi a largo consumo. Di questi prodotti circa il 30-50% viene perso nell'aria (Van Os, 1995). Questa percentuale aumenta col livello di ventilazione della serra, generalmente più elevato in quelle delle regioni mediterranee (Stanghellini *et al.*, 2003).

Una forte riduzione del consumo dei pesticidi potrebbe essere ottenuta perseguendo una strategia di difesa fitosanitaria basata sulla tecnica di lotta integrata applicata prima, durante e dopo il processo produttivo; in particolare gli interventi di controllo di tipo biologico e fisico possono considerare l'ambiente della serra, il suolo e la pianta.

Fertilizzanti. Relativamente agli *input* del processo produttivo 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 somministrati alle colture, 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). L'apporto di fertilizzanti in una serra di pomodoro in Sicilia è pari a circa 6 t/ha per anno (Stanghellini *et al.*, 2003). Secondo quanto riportato da La Malfa e Leonardi (2001) l'assorbimento di N nella produzione di pomodoro in serra in Sicilia varia tra 169 e 498 kg/ha, una quantità pari al 52-93% di quello effettivamente somministrato. Nelle serre olandesi, l'assorbimento di N non supera i 500 kg/ha, mentre più del 50% di quello somministrato (1.200 kg N/ha) percola nel sottosuolo. Ne consegue che la prevenzione ed il contenimento di effetti deleteri, per l'ambiente e per l'uomo, derivanti dall'immissione di sostanze chimiche nell'ambiente richiede necessariamente un monitoraggio attento dei vari processi produttivi.

Gli eccessivi apporti di nutrienti rispetto all'effettivo assorbimento della pianta, se per l'N si traducono in problemi di inquinamento delle falde (regolamentato dalla Direttiva Nitrati adottata dalla Unione Europea), 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 fortemente legato alla pratica della concimazione, è il contenuto di fosforo (in

media 206 ppm come P_2O_5 assimilabile), dalle 5 alle 10 volte superiore alla normale dotazione di fosforo dei terreni agrari della zona. 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. Una gestione più consapevole della concimazione organica anche in considerazione dell'aumento dei prodotti disponibili sul mercato potrebbe aiutare nel ridurre l'impatto delle concimazioni sull'ambiente.

In termini di sostenibilità ambientale è necessario il recupero ed il riciclo dei residui organici prodotti, anche se in orticoltura intensiva in generale non si può fare affidamento sui residui colturali degli ortaggi raramente consistenti (es. nel caso del pomodoro i residui colturali, come sostanza secca, variano tra 20 e 30 q/ha per anno equivalenti a 2,7 - 4 q/ha di humus stabile) ed è spesso preferibile distruggerli per motivi fitosanitari.

Il vantaggio ambientale conseguibile con l'utilizzazione del fuori suolo è limitato agli impianti a ciclo chiuso (van Os, 1995). 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 e Paradiso, 2001; De Pascale *et al.*, 2001). Condizione necessaria per l'eco-compatibilità 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 (Stanghellini *et al.*, 2005).

In ambiente mediterraneo quindi, la sostenibilità economica di questi sistemi deve essere valutata in considerazione della scarsa qualità dell'acqua irrigua che spesso rende necessari trattamenti di desalinizzazione (Stanghellini *et al.*, 2005). A titolo di esempio, indagini effettuate nella zona costiera della provincia di Napoli hanno evidenziato valori di EC dell'acqua irrigua compresi tra 1,6 e 3,2 dS/m. Nello stesso ambiente, la EC_e del terreno variava tra 1,6 e 8,9 dS/m con valori superiori a 4 dS/m nel 40 % dei terreni analizzati (fig. 7), a causa dell'accumulo di sali nel profi-

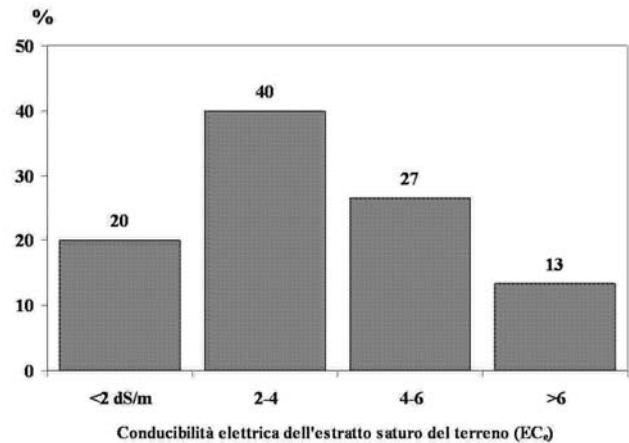


Fig. 7 - Conducibilità elettrica dell'estratto saturo (EC_e) di terreni in serra in provincia di Napoli.

Fig. 7 - *Electrical conductivity of saturated soil extracts (EC_e) measured in greenhouses in the area of Naples.*

lo per il verificarsi contemporaneo di diverse cause: gestione imprecisa della concimazione, in termini di quantità e di frequenza; impiego di acque di falda con salinità medio-alta; ridotto o mancato dilavamento dei terreni delle serre.

In sintesi, numerosi sistemi sono stati indicati per ridurre i rifiuti prodotti dalle colture protette:

- lotta integrata e biologica;
- riduzione della disinfezione chimica del suolo;
- corretta gestione della irrigazione e della fertilizzazione;
- uso di sistemi di coltivazione chiusi;
- miglioramento del controllo climatico ed uso di tecniche per il risparmio energetico;
- utilizzazione dei gas prodotti dal riscaldamento per l'arricchimento carbonico in serra;
- uso di film plastici *long-life* o copertura in vetro;
- riciclo dei materiali plastici;
- uso di film pacciamanti biodegradabili;
- riciclo di materiali organici e minerali.

L'applicazione di questi sistemi ha dei limiti tecnici che la ricerca specifica nei Paesi a clima mediterraneo deve ancora risolvere. I costi necessari per migliorare l'efficienza d'uso delle risorse rendono, in attesa che si inneschi il meccanismo endogeno di sostenibilità, meno competitive le serre più rispettose dell'ambiente. Come avvenuto nei paesi del Nord Europa, sono necessari interventi pubblici che costringano all'impiego di tecnologie più rispettose dell'ambiente. Tuttavia questo non può avvenire senza che siano risolti alcuni problemi infrastrutturali quali, ad esempio, il numero e la distribuzione sul territorio delle aziende preposte al recupero ed al riciclo dei materiali plastici e dei residui biologici.

Conclusioni e prospettive

La sostenibilità in agricoltura deve considerare 5 aspetti fondamentali: 1) politica e gestione della problematica al livello economico, culturale e sociale; 2) energia ed *input* produttivi: risorse energetiche, fertilizzanti, protezione delle colture da attacchi patogeni, agricoltura biologica, ricerca e tecnologia; 3) risorse genetiche: identificazione valutazione ed utilizzazione 4) clima: impatto sulle produzioni; 5) suolo ed acqua: risorse disponibili e fabbisogni delle colture.

Tuttavia mentre questi cinque punti individuano chiaramente i settori in cui sviluppare linee di azione per migliorare la sostenibilità, le possibili soluzioni sono tanto più complesse e articolate quanto più il sistema è complesso. In questa sorta di sistema a “vasi comunicanti” in cui la modifica di un fattore della produzione comporta variazioni dirette e indirette più o meno desiderabili e prevedibili quali sono le concrete possibilità di azione nella serricoltura mediterranea?

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 eco-fisiologia applicata e la messa a punto di specifici modelli. La ricerca e l'industria devono rendere disponibili innovazioni biologiche (nuove cultivar adatte alla coltura protetta; migliore comprensione dei meccanismi fisiologici di adattamento all'ambiente serra) 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.

Sarebbe auspicabile che nell'affrontare le varie tematiche di questo agroecosistema, si seguisse un

approccio multidisciplinare in cui l'impiego delle diverse tecnologie innovative disponibili sani la conflittualità che ancora esiste tra processo produttivo da un lato ed esigenze di ordine energetico, ambientale ed economico dall'altro. In questo contesto, una strategia innovativa per ridurre l'impatto delle colture protette sull'ambiente è quella che tende a trasformare la serra da sistema agricolo “aperto” a uno di tipo “chiuso”, sostanzialmente basato sulla riduzione/riutilizzo del materiale di scarto e dei residui tossici, sull'automatizzazione e sull'informatizzazione, sul monitoraggio dei parassiti, sulla coltivazione senza suolo, sul riciclo della soluzione nutritiva (strategia nord europea). Se per alcune colture ad alto reddito è ipotizzabile l'applicazione di una strategia di tipo nord europeo adattata ad uno specifico ambiente pedoclimatico, una strategia diversa potrebbe prevedere la trasformazione della serra in un sistema agricolo “semi-chiuso” (adatto al clima mediterraneo) caratterizzato da strutture di protezione leggere, da materiali di copertura con caratteristiche termiche ed ottiche tali da tener conto delle condizioni di radiazione che si verificano nel corso dell'anno (ad es., modificando la trasmissività in funzione della intensità di radiazione), dall'introduzione nella successione di nuove specie e cultivar più adatte alle condizioni mediterranee. Dal punto di vista tecnologico è necessario tuttavia formare i serricoltori mediterranei, non solo in riferimento alla gestione ecocompatibile delle risorse ma anche nella valutazione dell'efficienza di uso di queste.

Se è vero che la produttività delle serre mediterranee è inferiore a quella potenziale, occorre tuttavia sottolineare che i prodotti che provengono dai Paesi del Bacino Mediterraneo hanno un vantaggio di immagine rispetto a quelli nordeuropei. Infatti i prodotti mediterranei anche se ottenuti in serra (in una serricoltura che è meno dipendente da *input* esterni quali il riscaldamento) generalmente appaiono al consumatore più “naturali” ed il prezzo che i consumatori sono disposti a pagare, ad es. per i pomodori o i meloni che provengono da alcune zone della Sicilia e della Campania, è più elevato di quello di prodotti analoghi di altra provenienza. Questo vantaggio (*quality label*) potrebbe essere sfruttato in termini di marketing unitamente alla possibilità di utilizzare forme di certificazione ambientale (*eco-label*: “*A green-greenhouse*”).

Per poter assicurare reali prospettive di sviluppo alla serricoltura mediterranea affinché possa continuare a svolgere l'importante ruolo economico ed occupazionale che riveste, è necessario che ci si faccia carico, a livello pubblico e privato, di decisi e rapidi interventi di ammodernamento delle aziende, di razionalizzazione del processo produttivo, di riconversione

e diversificazione delle produzioni (da realizzare però secondo una “via mediterranea” allo sviluppo tecnologico, che tenga conto anche della difficile compatibilità tra le ridotte dimensioni di buona parte delle realtà aziendali e l’entità non certo esigua degli investimenti necessari). Questi interventi di innovazione tecnologica vanno però accompagnati da un intervento sulla qualità dell’organizzazione commerciale che deve svilupparsi in sintonia con un’idonea ristrutturazione del sistema serricolo mediterraneo. Dal punto di vista normativo è necessario che sulla base di analisi costi-benefici venga individuata una politica di costi ambientali e/o incentivi che rendano competitiva la gestione sostenibile delle risorse utilizzate in ogni “ambiente” così come definito da indicatori climatici, economici e sociali.

Riassunto

La sostenibilità in agricoltura si fonda su 5 aspetti fondamentali: 1) politica e capacità gestionale; 2) energia ed input di produzione; 3) risorse genetiche; 4) clima; 5) suolo ed acqua. Considerando le differenze sostanziali che caratterizzano il sistema serricolo “chiuso” dell’Europa settentrionale rispetto al sistema “semi-chiuso” delle aree a clima mediterraneo si discutono le linee strategiche che possono migliorare la sostenibilità delle produzioni in coltura protetta. Per la serricoltura mediterranea, si sottolineano uno scarso sviluppo tecnologico ed una limitata informazione degli imprenditori agricoli sulle tecniche più avanzate di produzione e marketing. La palese necessità di rinforzare questi settori richiede linee innovative per valorizzare il marchio Mediterraneo in termini di qualità di processo e di prodotto.

Parole chiave: efficienza d’uso dell’acqua, energia, fuori suolo, impatto ambientale, serra.

Bibliografia

- ACUTT M., MASON P., 1998. *Environmental Valuation, Economic Policy and Sustainability: Recent Advances in Environmental Economics*. Edward Elgar, Cheltenham, U.K. Northampton, MA, USA.
- ALBRIGHT L.D., 2002. *Controlling Greenhouse Environments*. Acta Hort., 578: 47-54.
- BAILLE A., 2001. *Trends In Greenhouse Technology For Improved Climate Control In Mild Winter Climates*. Acta Hort., 559: 37-47.
- BAKKES J.A., VAN DEN BORN G.J., HELDER J.C., SWART R.J., HOPE C.W., PARKER J.D.E., 1994. *An Overview of Environmental Indicators: State of the Art and Perspectives United Nations*

- Environment Programme. Global Dynamics & Sustainable Development Programme. GLOBO Report Series n. 4.*
- 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.
- BOT G.P.A., 2004. *The Solar Greenhouse; Technology for Low Energy Consumption*. Acta Hort., 633: 29-33.
- BYRDGES T., 2001. *Ecological Change and the Challenges for Monitoring*. Environmental. Monitoring and Assessment, Kluwer Academic Publishers, 67: 89-95.
- CABALLERO P., DE MIGUEL M.D., 2002. *Costes e intensificación en la hortofruticultura Mediterránea*. p.222-244. In: Garcá, J.M. (eds.), *La Agricultura Mediterránea en el Siglo XXI*. Instituto Cajamar, Almería.
- CASTILLA N., HERNÁNDEZ J., ABOU-HADID A.F., 2004. *Strategic Crop and Greenhouse Management in Mild Winter Climate Areas*. Acta Hort. 633: 183-196.
- 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., PARADISO R., 2001. *Water and nutrient uptake of roses growing in two inert media*. Int. Symposium on Growing Media and Hydroponics. Acta Hort., 548: 631-639.
- 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 (1): 128-135.
- DUVICK D.N., CASSMAN K.G., 1999. *Post-green revolution trends in yield potential of temperate maize in the North-Central United States*. Crop Sci., 39: 1662-1630.
- 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(412): 703-712.
- FISCHER R.A., TURNER N.C., 1978. *Plant productivity in the arid and semiarid zones*. Annual Review of Plant Physiology, 29: 277-317.
- GRANGE R.I., HAND D.W., 1987. *A review of the effects of atmospheric humidity on the growth of horticultural crops*. J. Hort. Sci., 62: 125-34.
- HAMDY A., 2002. *Sustainable Use and Management of Non-Conventional Water Resources in the Arid Regions*. Acta Hort., 573: 159-174.
- HANSEN J.M., EHLE N., KARLSEN P., 1996. *Decreasing the Environmental Load by a Photosynthetic Based System for Greenhouse Climate Control*. Acta Hort., 440: 105-110.
- HO L.C., 2002. *Manipulation of Physiological Processes for Better Yield and Quality in Crop Plants in Control Environment*. Acta Hort., 578: 273-279.
- JENSEN M.H., 2002. *Controlled Environment Agriculture in Deserts, Tropics and Temperate Regions - A World Review*. Acta Hort., 578: 19-25.
- JOUET J. P., 2004. *The situation of plasticulture in the world*. Plasticulture, 123 (5): 48-57.
- INAN G., ZHANG Q., LI P., WANG Z., CAO Z., ZHANG H., ZHANG C., QUIST T.M., GOODWIN S.M., ZHU J., SHI H., DAMSZ B., CHARBAJ T., GONG Q., MA S., FREDRICKSEN M., GALBRAITH

- D.W., JENKS M.A., RHODES D., HASEGAWA P.M., BOHNERT H.J., JOLY R.J., BRESSAN R.A., ZHU J.K., 2004. *Salt cress. A halophyte and cryophyte arabidopsis relative model system and its applicability to molecular genetic analyses of growth and development of extremophiles*. *Plant Physiol.*, 135: 1718-1737.
- LA MALFA G., LEONARDI C., 2001. *Crop Practices and Techniques: Trends and Needs*. *Acta Hort.*, 559: 31-42.
- LARKIN J.C., MARKS M.D., NADEAU J., SACK F., 1997. *Epidermal cell fate and patterning in leaves*. *The Plant Cell*, 9: 1109-1120.
- LI J.H., SAGI M., GALE J., VOLOKITA M., NOVOPLANSKY A., 1999. *Response of tomato plants to saline water as affected carbon dioxide supplementation. I. Growth, yield and fruit quality*. *J. Hort. Sci. Biot.*, 74, 232-7.
- 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.
- LOUCKS O.L., 1977. *Emergence of research on agro-ecosystems*. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 8: 173-192.
- 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 (1-2): 99-129.
- MASLE J., GILMORE S.R., FARQUHAR G.D., 2005. *The ERECTA gene regulates plant transpiration efficiency in Arabidopsis*. *Nature*, 436: 866-870.
- MAUREL, C. 1997. *Aquaporins and water permeability of plant membranes*. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 48: 399-429.
- 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.
- ODUM E.P., 1969. *The strategy of ecosystem development*. *Sci.*, 164: 262-270.
- PARDOSI A., TOGNONI F., INCROCCI L., 2004. *Mediterranean Greenhouse Technology*. *Chronica Hort.*, 44 (2): 28-34.
- PASSIOURA J.B., 1996. *Drought and drought tolerance*. *Plant Growth Regulation*, 20: 79-83.
- PEARCE B.D., GRANGE R.I., HARDWICK K., 1993. *The growth of young tomato fruit. I. Effects of temperature and irradiance on fruit grown in controlled environments*. *J. Hort. Sci.*, 68: 1-11.
- RAGHOTHAMA G.K., 2000. *Phosphate transport and signalling*. *Curr. Opin. Plant Biol.*, 3: 182-187.
- RASKIN I., LADYMAN J.A.R., 1988. *Isolation and characterization of a barley mutant with abscisic-acid-insensitive stomata*. *Planta*, 173: 73-78.
- 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., PARDOSI A., 2005. *La nutrizione idrica e minerale in fuori suolo*. *Italus Hortus*, 12 (6): 45-55.
- SCHULZE E.D., HALL A.E., 1982. *Stomatal responses, water loss and CO₂ assimilation rates of plants in contrasting environments*. In: O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond and H. Ziegler (eds.), *Encyclopedia of Plant Physiology, New Series Vol. 12b. Water Relations and Carbon Assimilation*. Springer-Verlag, Berlin. pp.181-230.
- SHORT, T.H. 2004. *Greenhouse Structures and Plant Growth Control Systems for Energy Efficient Crop Production*. *Acta Hort.*, 633: 17-27.
- STANGHELLINI, C. 1993. *Evapotranspiration in Greenhouse with special reference to Mediterranean Conditions*. *Acta Hort.*, 335: 295-304.
- STANGHELLINI, C., KEMPKES, F.L.K., KNIES P. 2003. *Enhancing Environmental Quality in Agricultural Systems*. *Acta Hort.* 609: 277- 283.
- STANGHELLINI C., KEMPKES K., PARDOSI A., INCROCCI L., 2005. *Closed Water Loop in Greenhouses: Effect of Water Quality and Value of Produce*. *Acta Hort.*, 691: 233- 242.
- 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.
- TORII, K.U., DENG, X.W. 1995. *Regulation of plant form: identification of a molecule controlling cell expansion*. *BioEssays*, 17: 383-386.
- VAN OS, E.A., 1995. *Engineering and environmental aspects of soilless growing system*. *Acta Hort.*, 396: 25-32.
- WEIL, R.R. 1990. *Defining and using the concept of sustainable agriculture*. *J. Agron. Educ.*, 19: 126-130.
- YANG M., SACK F.D., 1995. *The too many mouths and four lips mutations affect stomatal production in Arabidopsis*. *The Plant Cell*, 7: 2227-2239.