

## La serra da utilizzatrice a fornitrice di energia?

Lettura tenuta il 27 settembre 2010

### I. PREMESSA

Protezioni di vario tipo sono state usate fin dall'epoca romana per creare un microclima artificiale più favorevole di quello naturale alla produzione vegetale. Siamo passati dalla ingegnosa produzione di cetrioli fuori stagione per l'imperatore Tiberio<sup>1</sup>, attraverso la coltivazione di piante "esotiche" nelle limonaie/orangeries rinascimentali, fino alla produzione e godimento di massa di verdure e ornamentali, senza vincoli di stagione o origine, a cui siamo ormai abituati. Il "motore" di questa modificazione microambientale è sempre stato un utilizzo intelligente dell'energia del sole, affiancata da altre fonti di energia, quando ritenuto utile, anche già in epoca romana, tanto che Seneca<sup>2</sup> lamentò l'uso di acqua calda e vapore per la produzione di rose fuori stagione. Venendo a tempi più recenti, l'energia addizionale (metano per riscaldamento) necessaria per produrre un kg di pomodori in Olanda negli anni '80 era circa 32 MJ (Stanghellini e Van Os, 2000). Il costo crescente dell'energia fossile e gli stimoli governativi finalizzati alla limitazione delle emissioni di anidride carbonica hanno contribuito, insieme al forte incremento della produttività, a ridurre la necessità di energia addizionale agli odierni 16 MJ/kg di pomodoro (Vermeulen, 2010), che comunque non sembrano accettabili, in vista sia della

\* *Wageningen University & Research Center, Gruppo di Greenhouse Horticulture. L'autrice è senior scientist nel gruppo di Tecnologia delle serre dell'Università di Wageningen (Paesi Bassi) ed è il leader del progetto EU "Uso Efficiente degli Inputs nelle Colture Protette" (EUPHOROS, 7° programma quadro)*

<sup>1</sup> S.G. PLINIUS, *Naturalis Historia*, Liber XIX: 19, 4 e 23, 5, a cura di Ajasson de Grandsagne, Bibliothèque Latine-Française. C.L.F. Panckoucke, Paris, 1829-1833.

<sup>2</sup> L.A. SENECA, *Epistule morales ad Lucilium*, Liber XIX-XX: Ep. 13 (122), a cura di E. Romagnoli, Collezione Romana. Soc. An. Notari, Villa Santa (Milano), 1934.

pressione politica a limitare emissioni, sia del previsto aumento del costo dei combustibili fossili.

Un semplice calcolo dimostra che, se utilizzata intelligentemente, di energia solare ce ne sarebbe in sovrabbondanza su base annua, anche alla latitudine dell'Olanda, per non parlare di latitudini più basse. La serra senza fabbisogno di energia addizionale è quindi una possibilità reale. La parola "sovrabbondanza" però implica di più: la possibilità di utilizzare la serra come collettore di energia solare per conto terzi. Questo è alla base di svariate politiche governative a livello europeo: dagli stimoli olandesi alla "serra fornitrice di energia" ai sussidi italiani per l'integrazione di pannelli fotovoltaici. In questa lettura si analizzano i limiti (fisici e fisiologici) della produzione vegetale e di energia, per dimostrare che il prezzo della combinazione delle due nel sistema serra è un enorme abbassamento dell'efficienza di produzione di entrambe.

## 2. INTRODUZIONE: LA SERRA COME CONVERTITTORE DI ENERGIA SOLARE

L'energia solare, attraverso l'effetto diretto sulla fotosintesi e quello indiretto sulla temperatura, è il motore della produzione vegetale. La fotosintesi genera la materia prima che viene distribuita agli organi, il cui tasso di formazione è determinato dalla temperatura (De Koning, 1994). È necessario quindi un buon bilancio fra la produzione di assimilati (determinata principalmente dalla disponibilità di luce e anidride carbonica) e la loro ridistribuzione che è determinata quasi esclusivamente dalla temperatura. Uno qualunque di questi fattori può essere "limitante", nel senso che una disponibilità non ottimale di calore, luce o anidride carbonica limita inevitabilmente la crescita, anche se gli altri fattori di produzione hanno valori perfetti.

Il concetto di fattore limitante, almeno fra luce e temperatura, doveva essere familiare anche ai Romani, come dimostra il fatto che i cetrioli per l'imperatore Tiberio venissero coltivati in ceste dotate di ruote, così che si potevano metter facilmente al sole e nei giorni freddi potevano essere ritirati dentro strutture coperte di «*lapis specularis*»<sup>3</sup>. Columella descrive questa pietra come una che lascia passare la luce anche «di giorni senza sole»<sup>4</sup>.

Le serre moderne permettono molto di più: si investe molto per assicurar-

<sup>3</sup> S.G. PLINIUS, *Naturalis Historia*, Liber xix, cit.

<sup>4</sup> L.J.M. COLUMELLA, *De Re Rustica*, liber xi, 3, 52, a cura di R. Calzecchi Onesti, Einaudi, Torino, 1977.



*Fig. 1 Un'immagine tipica di produzione di pomodoro in una serra olandese: la produzione è in substrato, con irrigazione a goccia e reicircolo del drenato; la pacciamatura bianca garantisce un'alta riflettanza del terreno, soprattutto dopo il trapianto nei mesi invernali, e i tubi in basso sono quelli di riscaldamento che servono anche da binario per i carrelli di trasporto. La produzione annuale eccede facilmente i 70 kg/m<sup>2</sup> anche grazie all'immissione di anidride carbonica*

ne la massima trasparenza dove la disponibilità di luce è quasi sempre il fattore limitante (come l'Olanda), o si usano accorgimenti tecnici per diminuire la quantità di energia solare quando questa causasse temperature eccessive, o pigmenti e/o strutture superficiali per modificare la composizione della luce (Kempkes et al., 2009).

La trasparenza della serra per la radiazione solare è fondamentale per il suo funzionamento, e non solo per il fatto che la luce è essenziale per la reazione fotosintetica. Infatti, la radiazione solare apporta energia che riscalda la struttura e l'aria che vi è contenuta. In condizioni naturali quest'aria calda tenderebbe a salire e sarebbe sostituita da aria più fredda, cosa ovviamente impossibile nell'ambiente chiuso. Molto spesso la radiazione solare è così alta da causare temperature proibitive per la coltura: è necessario quindi ventilare la serra per controllarne la temperatura.

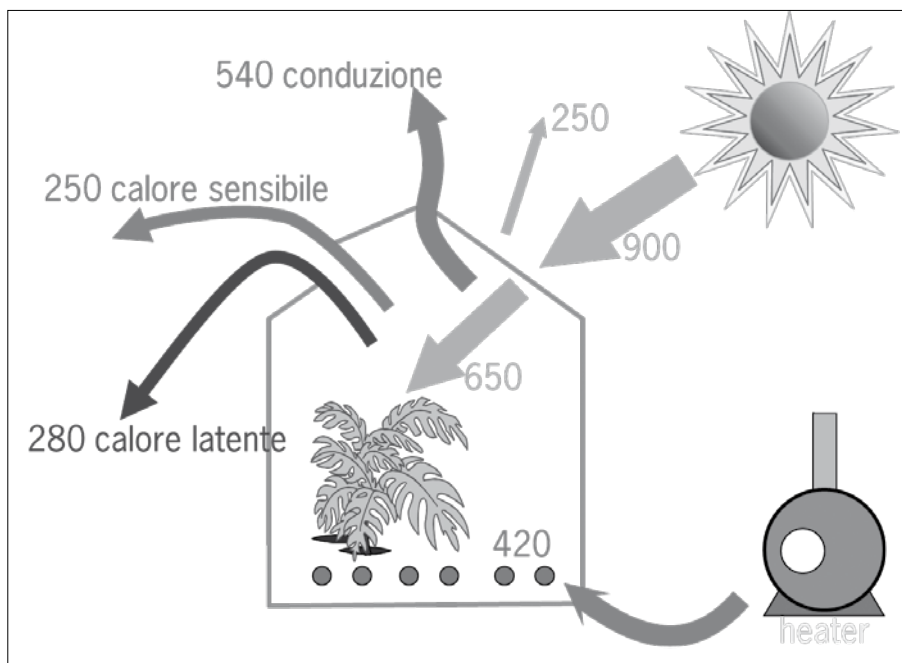


Fig. 2 Rappresentazione schematica del bilancio di energia di una serra in Olanda, tutti i valori sono kWh/m<sup>2</sup> per anno. Il sole fornisce circa 900 kWh/m<sup>2</sup>·anno, di cui solo circa il 70% penetra nella serra. La necessità di riscaldamento è circa 420 kWh/m<sup>2</sup>·anno, che potrebbe essere superfluo se non ci fosse la necessità di ventilare, eliminando in totale circa 530 kWh / m<sup>2</sup>·anno. Naturalmente una migliore coibentazione (doppio strato e/o schermi termici applicati la notte) potrebbe anche diminuire le perdite per conduzione attraverso la copertura: recentissimi risultati (Boonekamp et al., 2011) dimostrano che i 540 kWh/m<sup>2</sup>·anno possono ridursi a meno di 100

La scelta oculata del tipo di copertura, la gestione della ventilazione in relazione alle condizioni esterne e la somministrazione di energia addizionale (riscaldamento e luce artificiale) quando fosse necessario, hanno fatto sì che la produttività in serra possa essere anche 10 volte superiore alla produttività in campo (fig. 1).

### 3. LA SERRA COME FONTE DI CALORE?

In realtà di energia solare ce n'è a sufficienza, su base annua, anche alla latitudine dell'Olanda (52°N) come mostra la figura 2. Il problema è lo sfasamento della disponibilità: quando c'è l'energia solare di solito non c'è bisogno di

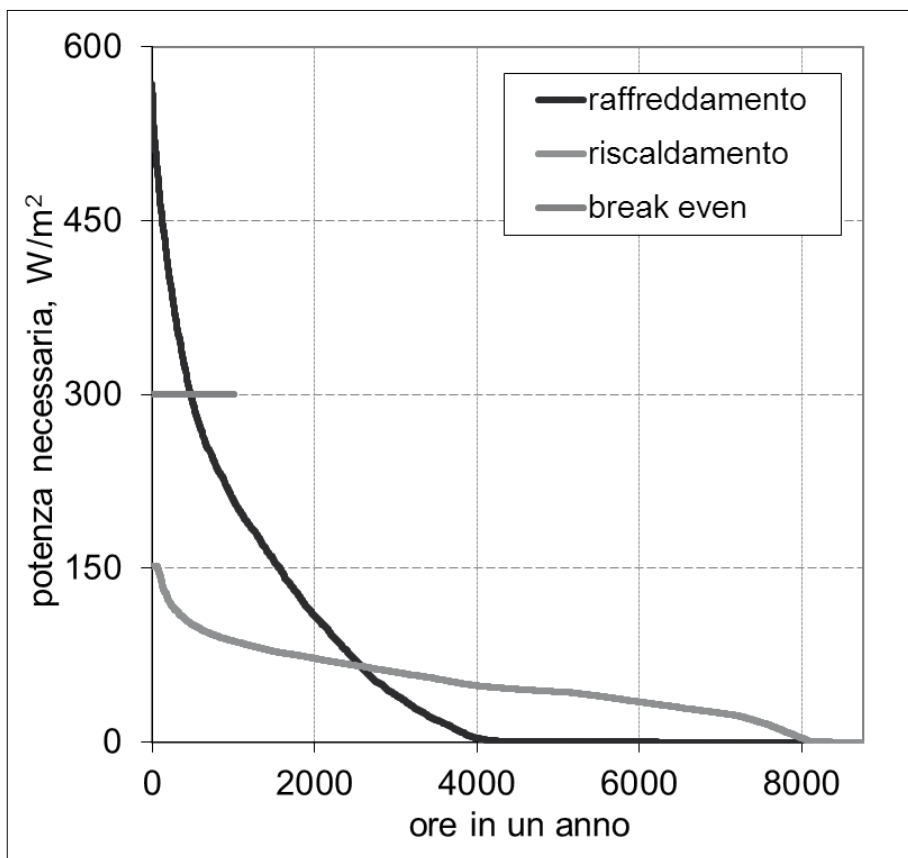


Fig. 3 Distribuzione annua della potenza necessaria per riscaldare e raffreddare una serra tipica in Olanda. Le linee rappresentano il numero di ore in cui è necessaria una determinata potenza. La potenza di raffreddamento è stata calcolata come l'entalpia sottratta alla serra dalla ventilazione. La linea "break even" è l'altezza a cui l'area sottesa (energia totale) dalla curva del raffreddamento è uguale all'area sottesa dalla curva del riscaldamento

riscaldamento e, per controllare la temperatura dentro la serra, l'energia solare in eccesso viene rimossa attraverso la ventilazione, che scambia aria ad alta entalpia (calore e vapore) con l'aria esterna, di solito più fredda e secca.

Naturalmente, se l'energia in eccesso potesse essere immagazzinata, invece che "ventilata via", e riutilizzata quando le condizioni esterne richiedono il riscaldamento della serra, si potrebbe coltivare anche alle latitudini dell'Olanda, senza input di energia, anzi, si raccoglierebbe più energia di quella necessaria alla serra. Questa osservazione è alla base del programma del governo olandese: "la serra come fonte di energia", che fornisce sussidi agli orticoltori

che installano sistemi mirati a ridurre la necessità di ventilazione delle serre e a recuperare e riutilizzare l'energia in eccesso.

Il mezzo di immagazzinamento dell'energia è l'acqua di acquiferi naturali (presenti ampiamente e a basse profondità in Olanda), utilizzata a ciclo chiuso. Cioè, in estate la serra viene raffreddata attraverso scambiatori di calore fra l'aria e acqua estratta dalla "fonte fredda"; l'acqua così scaldata viene immagazzinata nella "fonte calda", che viene utilizzata per scaldare l'aria in inverno. Date le basse differenze di temperatura, gli scambiatori di calore devono essere molto efficienti e sono anche molto costosi. In aggiunta, per garantire un sufficiente scambio di energia è necessario un sostenuto flusso di aria attraverso lo scambiatore di calore, che impiega energia elettrica (De Zwart, 2011).

La figura 3 mostra la distribuzione tipica di ore in un anno in cui è necessario rispettivamente scaldare e raffreddare con una determinata potenza. La potenza di raffreddamento è stata calcolata come l'entalpia rimossa dalla ventilazione. La superficie sotto le due curve (potenza x tempo) dà l'energia totale immessa o estratta.

La linea "break even" è l'altezza a cui l'energia estratta dal raffreddamento è uguale all'energia necessaria per il riscaldamento. Questo significa che, mentre una potenza di raffreddamento installata di  $300 \text{ W/m}^2$  è sufficiente a garantire la neutralità energetica della serra, per essere in grado di estrarre dalla serra l'energia in eccesso che potenzialmente c'è, è necessario installare una potenza di raffreddamento di circa  $500 \text{ W/m}^2$ , che si utilizza per poi poche decine di ore ogni anno, mentre questa energia residua potrebbe essere eliminata senza costi attraverso la ventilazione (Campen e Kempkes, 2011).

Un'ambizione limitata a garantire che la neutralità energetica della serra (piuttosto che farne una "sorgente" di energia) sarebbe probabilmente più appropriata.

#### 4. LA SERRA FOTOVOLTAICA: CHI PAGA?

Se c'è un eccesso di energia in serra dove l'energia solare annua è  $900 \text{ kWh/m}^2$ , si lascia al lettore stimare la sovrabbondanza di energia nelle serre italiane, dove si va dai  $1300 \text{ kWh/m}^2$  della pianura Padana ai  $1700$  della Sicilia. E infatti ci sono sussidi governativi (anche sostanziosi) per l'integrazione architettonica di pannelli fotovoltaici in edifici destinati ad altre attività, il che ha generato molto interesse per l'applicazione anche in serra.

Ovviamente, ciò che distingue una serra da altri edifici è la trasparenza

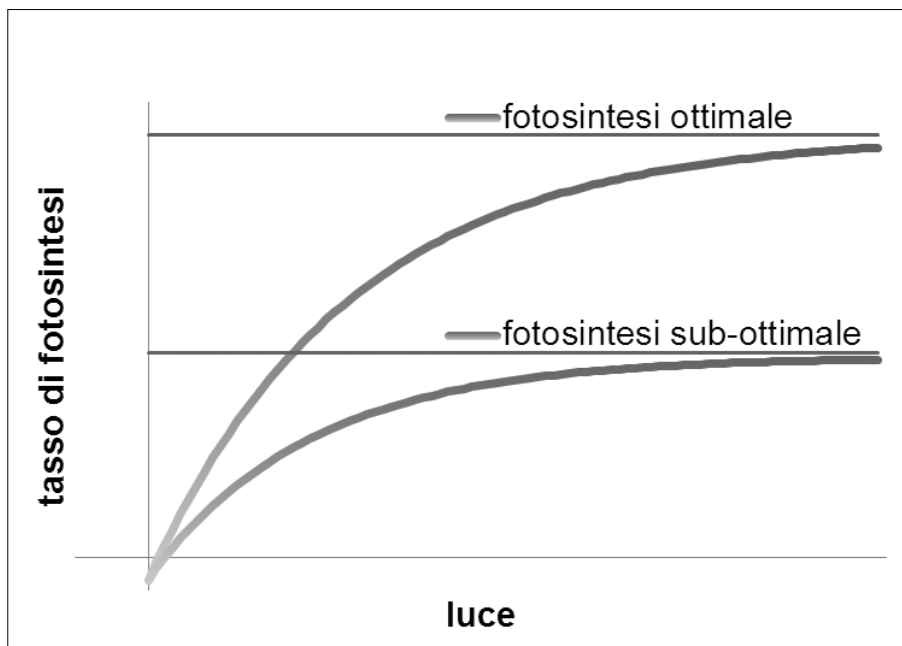


Fig. 4 Andamento qualitativo della fotosintesi di una foglia in relazione alla quantità di luce disponibile. Il livello di “saturazione”, cioè la quantità di luce oltre la quale non c'è effetto sulla fotosintesi dipende da altri fattori (disponibilità di anidride carbonica, temperatura, stato irriguo, ecc) e dal tipo e stadio della coltura

della copertura, dettata dalla necessità di utilizzare la luce solare come “carburante” della fotosintesi, che è il motore della produzione vegetale. È un fatto innegabile che ogni singolo fotone può essere utilizzato una sola volta e quindi la luce utilizzata per la produzione di energia elettrica nella cella fotovoltaica non è disponibile per la fotosintesi. Produzione di energia e produzione vegetale sono perciò in competizione, eccetto il caso in cui la coltura non fosse in grado di utilizzare tutta l'energia solare disponibile. È quindi necessaria un'analisi costi-benefici per valutare l'eventuale perdita di produzione vegetale e se e in che misura il valore dell'energia prodotta la compensi veramente.

*Quanto “vale” un kWh?*

È noto che la curva di risposta della fotosintesi alla luce ha una tendenza “a saturazione”, cioè incrementare la luce oltre un certo livello ha un effetto



Fig. 5 *Spaccato verticale di una coltura densa di peperoni in serra, per illustrare la disomogeneità dell'illuminazione.*

molto limitato (o non ne ha affatto) sulla fotosintesi, figura 4. Questo livello dipende da molti altri fattori – come la temperatura, la disponibilità di ani-





Fig. 6 *Distribuzione dell'ombra in una serra in cui pannelli fotovoltaici sono installati sulla falda sud di ogni campata*

dride carbonica e anche, ovviamente, dal tipo di cultura (p.e. Stanghellini e Heuvelink, 2007).

Dalla figura 4 si potrebbe quindi dedurre che ci sono condizioni in cui la luce è sovrabbondante e quindi potrebbe essere destinata ad altri usi senza danno. In realtà – mentre questo può essere vero per le foglie meglio esposte di una cultura – quelle sottostanti sono molto difficilmente “saturate” e quindi la luce viene sempre utilizzata a qualche livello (fig. 5).

Inoltre, come ben mostra la figura 6, un pannello fotovoltaico, una volta installato fa ombra anche nelle ore (molto più numerose) in cui non c'è saturazione a nessun livello.

L'effetto cumulato della fotosintesi è la produzione, e questa è molto più direttamente legata alla quantità di luce solare disponibile. Come mostra la figura 7 (relativa alla raccolta di pomodoro ciliegino), bisogna ovviamente cumulare della radiazione prima del primo raccolto, ma da quel momento in poi la produzione è ben linearmente correlata con la radiazione. Nel caso specifico della figura 7, in una serra passiva (il tipo più comune in Sicilia) si

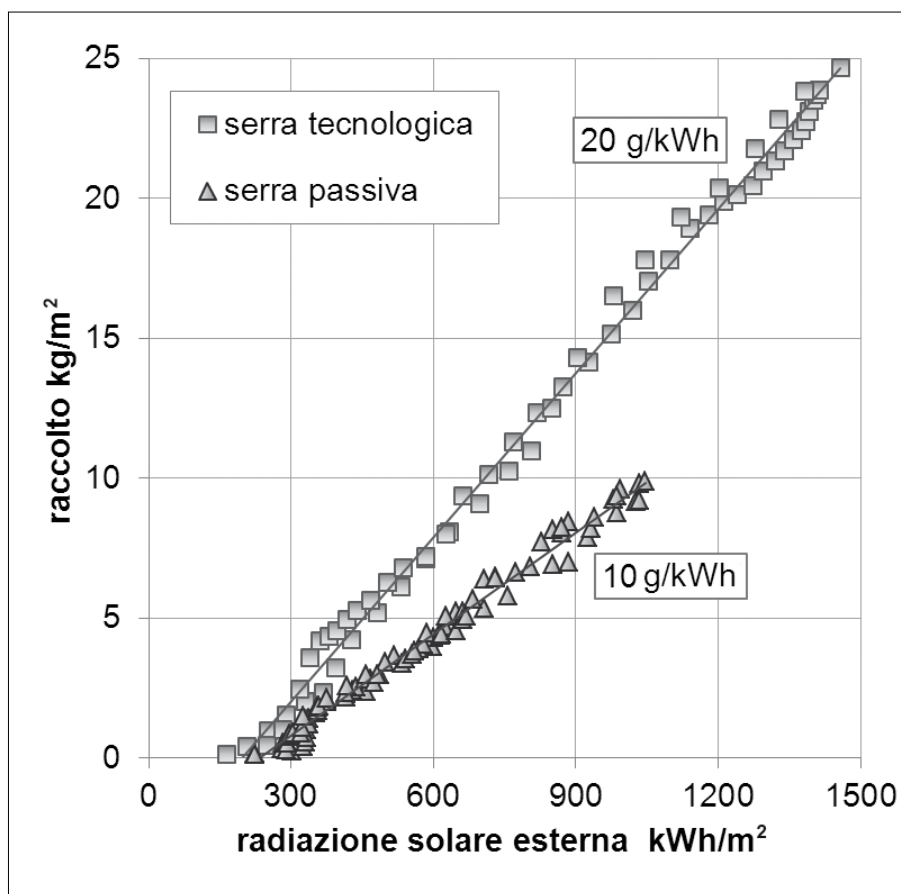


Fig. 7 Raccolto cumulato nel corso della stagione, in relazione alla radiazione solare cumulata nello stesso periodo. I dati (pomodoro ciliegino raccolto in grappolo, tre varietà e diverse annate) si riferiscono a tre serre semplici in Sicilia (triangoli) e due serre tecnologiche (quadrati), una in Sicilia e una nella pianura Padana. La radiazione solare è misurata all'esterno della serra

raccolgono circa 10 g di pomodori per ogni kWh di radiazione solare disponibile all'esterno della serra e si arriva a 20 g/kWh in serre climatizzate. In altre parole, ogni kWh sottratto alla coltura implica una perdita di produzione di 10 g in una serra semplice e di circa 20 in una serra tecnologica, cioè con controllo climatico.

Non è molto, se non ci fosse da tener conto della bassa efficienza di conversione dell'energia in una cellula fotovoltaica, circa il 12% nei modelli comunemente installati. In altre parole, ci vogliono circa 8 kWh di radiazione solare per generare un kWh di energia elettrica. Nell'esempio qui sopra,

questo significa che la produzione di 1 kWh elettrico implica una perdita di produzione di 80 o 160 g di ciliegini, rispettivamente nella serra passiva e in quella tecnologica. Assumendo un prezzo al produttore di solo 1 €/kg, la perdita di introito è rispettivamente 8 o 16 centesimi per kWh di energia elettrica prodotto.

Naturalmente si potrebbe obiettare che questo vale per il pomodoro ciliegino, e che ci sono colture di cui è noto che sono meno sensibili alla luce (per esempio Anthurium o Ruscus). Bisogna ipotizzare però che le colture che producono meno per unità di radiazione solare, inevitabilmente hanno un valore maggiore. In altre parole, la bassa efficienza di uso della luce (la pendenza della linee in figura 7) deve venir compensata da prezzi elevati della produzione. Infatti alla fin dell'anno i conti devono tornare e il produttore deve rientrare, con margine, delle spese. Le spese di produzione tipiche di una serra passiva nella regione di Almeria sono state recentemente analizzate con molto dettaglio dalla Cajamar (Anonimo, 2010), la banca fornitrice di servizi alla maggior parte dei produttori della zona. La stima finale sono costi di circa 6 € per m<sup>2</sup> per anno, e nessuna delle voci analizzate dà adito all'ipotesi di un costo più basso nelle serre simili in Italia. Un introito lordo dalla vendita del prodotto di almeno 10 €/m<sup>2</sup> per anno (che è l'ipotesi fatta sopra per il ciliegino) sembra quindi una stima accettabile per le serre passive.

In sostanza, ogni kWh di energia elettrica prodotto da pannelli fotovoltaici integrati nella copertura di serre “costa” una perdita di introito agrario di almeno 10 centesimi. Va tenuto ben presente che questa è una stima conservativa, perché si è ignorata la possibilità che la riduzione di luce abbia effetti collaterali, per esempio sull'induzione a fiore, l'allegagione, l'incidenza di malattie o la qualità.

### *Condizioni necessarie per l'integrazione di serre e produzione fotovoltaica*

È un fatto che ci sono mesi in cui neanche la ventilazione è sufficiente e – per evitare che l'energia solare produca un riscaldamento eccessivo – uno strato sottile di calce viene steso sulla copertura delle serre per riflettere una frazione della radiazione solare, il che comporta una perdita di produzione (De Pascale e Stanghellini, 2011). La presenza di pannelli solari in questo caso eviterebbe l'operazione e non comporterebbe perdita di produzione. Pannelli flessibili in rotoli sopra la serra, da poter “aprire” (come si fa con le tende da sole) avrebbero quindi il potenziale di produrre energia elettrica quasi senza interferire con la produzione vegetale.

Un'altra possibilità spesso ventilata è l'applicazione di pannelli fotovoltaici semi-trasparenti. Qui c'è bisogno di un chiarimento: se il pannello semitrasparente è semplicemente ottenuto distanziando le cellule fotovoltaiche (Minuto et al., 2010), si diminuisce il fattore di ombreggiamento (si sottraggono meno kWh alla coltura), ma non cambia nulla ai conti fatti sopra, dato che servono più metri quadri di pannello per produrre un kWh elettrico. L'altra ipotesi (che la cella fotovoltaica abbia bisogno di assorbire meno energia solare) è ovviamente molto più interessante. Purtroppo l'efficienza di conversione dei migliori (e più costosi) pannelli fotovoltaici esistenti oggi sul mercato non eccede il 17%. Un'ulteriore possibilità sarebbe la produzione di cellule fotoelettriche che utilizzino solo la radiazione non interessante per la fotosintesi, l'infrarosso vicino, che rappresenta circa il 50% dell'energia contenuta nella radiazione solare che raggiunge il suolo.

## 5. CONCLUSIONE

Con dei buoni accorgimenti è possibile ridurre a nulla la necessità di energia nelle serre del Nord Europa, e aumentare di molto la produttività di quelle Mediterranee, senza aumentarne l'utilizzo di risorse (Montero et al., 2009). D'altra parte, il passaggio dalla serra "collettore neutrale" di energia solare alla serra "fornitrice di energia" implica necessariamente che energia venga estratta dalla serra con una bassissima efficienza.

Nel caso di estrazione di calore residuo da serre del Nord Europa l'inefficienza è causata dalla energia elettrica necessaria per lo scambio di energia e dalla necessità di installare una potenza di raffreddamento che si utilizza una frazione minima del tempo. Si aggiunga a questo che il calore estratto è immagazzinato in acqua a relativamente bassa temperatura (e quindi con pochi usi).

L'applicazione di pannelli fotovoltaici per la produzione di energia elettrica dalle serre Mediterranee comporta un costo in termini di perdita di produzione vegetale stimabile conservativamente sui 10 €cent per ogni kWh elettrico prodotto, da aggiungersi ai costi di capitale e dell'integrazione architettonica. Non si può escludere che con particolarissime colture il costo della perdita di produzione possa essere sostanzialmente più contenuto.

Rimane comunque un fatto che la produzione di energia elettrica su edifici destinati alla conversione di energia solare in produzione vegetale (=serre) è inerentemente meno efficiente per la collettività che installare pannelli fotovoltaici su qualunque altro edificio.

## RIASSUNTO

Le serre aumentano l'efficienza della conversione di radiazione solare in produzione vegetale, grazie alla loro capacità di migliorare le condizioni microclimatiche per la coltura. In realtà di energia solare ce n'è in eccesso, anche alla latitudine dell'Olanda—per non parlare di latitudini più basse, e la necessità di controllare la temperatura implica che quest'eccesso di energia viene di solito rimosso attraverso la ventilazione. La serra senza fabbisogno di energia addizionale è quindi una possibilità reale. La parola "eccesso" però implica di più: la possibilità di utilizzare la serra come collettore di energia solare per conto terzi. Questo è alla base di svariate politiche governative a livello europeo: dagli stimoli olandesi alla "serra fornitrice di energia" ai sussidi italiani per l'integrazione di pannelli fotovoltaici. In questa lettura si analizzano i limiti (fisici e fisiologici) della produzione vegetale e di energia, per dimostrare che il prezzo della combinazione delle due nel sistema serra è un enorme abbassamento dell'efficienza di produzione di entrambe.

## ABSTRACT

The conversion of solar radiation into vegetable production is greatly enhanced by greenhouses, thanks to the improvement of microclimatic conditions for the crop. Indeed, there is an excess of solar energy (even at the latitude of The Netherlands, not to mention lower latitudes) that needs to be removed, usually through ventilation, in order to control temperature. This implies that energy-neutral greenhouses are a real possibility. In theory, the excess energy could be collected and transformed into useful energy for third parties. Both in The Netherlands and in Italy, there are subsidies for the growers who attempt exactly that. Calor generation and delivery is the rage in The Netherlands, whereas electricity produced by photovoltaic panels integrated into greenhouse covers is heavily subsidized in Italy. The physical and physiological limits of energy and vegetable production and conversion are discussed in this work, to show that attempting to combine vegetable and energy production implies a huge lowering of the efficiency of both processes.

## BIBLIOGRAFIA

- ANONIMO (2010): *Análisis de la campaña hortofrutícola de Almería: Campaña 2009/2010*, «Informes y Monografías», 28, Fundación Cajamar, Almería.
- BOONEKAMP G., KEMPKE F.L.K., JANSE J. (2011): *De VenLowEnergy-kas doet wat hij beloofde*, «Groenten en Fruit Actueel», 2011 (2), p. 11.
- CAMPEN J.B., KEMPKE F.L.K. (2011): *Climatic evaluation of semi-closed greenhouses*, «Acta Horticulturae», 893, pp. 495-501.
- DE KONING A.N.M. (1994): *Development and dry matter distribution in glasshouse tomato: a quantitative approach*, PhD Dissertation, Agricultural University, Wageningen, 240 pp.
- DE PASCALE S., STANGHELLINI C. (2011): *High temperature control in Mediterranean greenhouse production: The constraints and the options*, «Acta Horticulturae», 893, pp. 103-116.

- DE ZWART H.F. (2011): *The Sunergy greenhouse: one year of measurements in a next generation greenhouse*, «Acta Horticulturae», 893, pp. 351-358.
- KEMPKES F.L.K., STANGHELLINI C., HEMMING S. (2009): *Cover materials excluding Near Infrared radiation: what is the best strategy in mild climates?*, «Acta Horticulturae», 807, pp. 67-72.
- MINUTO G., TINIVELLA F., DANI E., GIMELLI F., MINUTO A. (2010): *Serre fotovoltaiche a duplice attitudine*, «Colture Protette», xxxix, 9, pp. 70-77.
- MONTERO J.I., STANGHELLINI C. e CASTILLA N. (2009): *Greenhouse Technology for Sustainable Production in Mild Winter Climate Areas: Trends and Needs*, «Acta Horticulturae», 807, pp. 33-44.
- STANGHELLINI C., VAN OS E.A. (2000): *Colture ornamentali fuori suolo in Olanda: Situazione presente, problemi ambientali e prospettive future*, in *Strategie per la riduzione dell'impatto ambientale*, Regione Campania, Napoli, pp. 23-31.
- STANGHELLINI C., HEUVELINK E. (2007): *Coltura e clima: effetto microclimatico dell'ambiente serra*, «Italus Hortus», 14 (1), pp. 37-49.
- VERMEULEN P.C.M. (2010): *Kwantitatieve Informatie voor de Glastuinbouw 2010: Kengetallen voor Groenten - Snijbloemen - Potplanten teelten*, Editie 21, Wageningen UR Greenhouse Horticulture, Bleiswijk, Rapporten GTB 1037.