

La Serra, Mediatrice fra Coltura e Clima

Cecilia Stanghellini

Agrotechnology & Food Science Group,
Wageningen UR
Wageningen, Paesi Bassi
E-mail: cecilia.stanghellini@wur.nl

Riassunto

Dopo una breve introduzione dei fattori critici per il successo di una impresa orticola, si osserva che il clima forse non è il principale, ma sicuramente è un fattore che influenza fortemente i costi di produzione. Una accurata analisi dei parametri di forma che contribuiscono a determinare le condizioni all’interno di una serra, permette di selezionare la combinazione più efficiente in determinate condizioni climatiche.

Attraverso l’analisi dei flussi di energia, si definisce la temperatura all’interno di una serra passiva, in condizioni meteorologiche date, come la risultante di due componenti indipendenti: una che è funzione esclusivamente delle proprietà termiche e radiative della copertura, e l’altra solo del tasso di ventilazione.

Si può notare che una determinazione a priori delle caratteristiche termo-radiative della copertura, in base ad un’analisi della situazione meteorologica a lungo termine, garantisce la massima “latitudine” possibile per la gestione della temperatura, attraverso la regolazione della ventilazione a breve termine. Naturalmente, per poter poi sfruttare questo spazio è necessario garantirsi la possibilità di ricambi d’aria adeguati anche nelle condizioni di massimo carico. Questo può essere realizzato modificando numero, tipo e superficie delle aperture e la loro esposizione.

Infine, si propone qualche aspetto di modificazione ambientale attiva (riscaldamento di soccorso, iniezione carbonica, schermi mobili) di cui potrebbe valer la pena analizzare la convenienza economica, nelle condizioni climatiche tipiche della Sicilia.

Parole chiave: serre passive, controllo climatico, proprietà radiative, ventilazione

Abstract

The Greenhouse as mediator between the Crop and the Climate

After a short introduction of the critical success factors of a horticultural holding, it is pointed out that the climate may be not the most important one, but certainly it is a factor with a large bearing on production costs. A careful analysis of the design parameters that affect conditions within a shelter, makes it possible to select the most efficient combination, once the climatic conditions are known.

The energy balance makes it possible to determine the temperature within a passive greenhouse in given meteorological conditions, as it follows from two independent components: one solely determined by the radiative and thermal properties of the cover, the other only by the ventilation rate.

In order to get the widest possible short-term management range, the properties of the cover should be selected through an analysis of the long-term climate. Short term management of temperature within this range is done through regulation of ventilation,

once number, area, place and type of openings has been determined in such a way that enough ventilation is possible also in the conditions of maximum load.

Finally, a short review is given of possible actuators (such as emergency heating; carbon dioxide injection, movable screens) whose profitability deserves to be analysed for the conditions typical of Sicily.

Keywords: passive greenhouses; climate management; radiative properties, ventilation

INTRODUZIONE

Per quanto in questo lavoro si parli di produzione in serra in relazione al clima, è bene tenere presente che il clima è solo uno dei fattori che contribuiscono al successo economico di una impresa orticola. Per esempio, in una analisi delle prospettive della nascente floricoltura Latino-Americana, la Rabobank International (2000) ha identificato ben nove “fattori critici di successo”, ed il clima è solo uno di questi. Nella valutazione in relazione alla situazione olandese ed israeliana, come riportato nella Tab. 1, il clima è indicato come uno dei fattori in cui l’America Latina (o almeno le parti dove si sta sviluppando l’orticoltura protetta) gode di un vantaggio competitivo rispetto a questi. Ciò nonostante, in considerazione dei fattori negativi potenzialmente critici, la Rabobank concludeva raccomandando la massima prudenza agli orticoltori olandesi che prendessero in considerazione l’investimento in America Latina. Lascio all’esperienza dei lettori il giudicare quali siano gli elementi più critici nel successo della serricoltura Siciliana.

D’altra parte un prodotto da vendere ci deve essere, e la produzione vegetale è determinata da luce e temperatura, quando la disponibilità d’acqua non sia limitante, con altri fattori aventi un ruolo minore.

Tab. 1. Fattori critici di successo e loro valutazione nel caso della floricoltura latino-americana in relazione a quella olandese e israeliana (Rabobank International, 2000).

Tab. 1. Critical success factors and their evaluation for latin American floriculture in relation to the Dutch and Israeli ones (Rabobank International, 2000)

	Olanda	Colombia Ecuador	Israele	Messico
Vicinanza al mercato estero	Sub-ottimale	Critico	Critico	Ottimo
Clima	Sub-ottimale	Ottimo	Sub-ottimale	Ottimo
Costo delle materie prime	Critico	Ottimo	Critico	Critico
Dimensione mercato interno	Sub-ottimale	Molto critico	Molto critico	Sub-ottimale
Costo della mano d’opera	Critico	Sub-ottimale	Sub-ottimale	Sub-ottimale
Costo del capitale	Ottimo	Critico	Critico	Molto critico
Infrastruttura	Ottimo	Sub-ottimale	Ottimo	Critico
Accesso a tecnici esperti	Ottimo	Sub-ottimale	Critico	Critico
Stabilità sociopolitica	Sub-ottimale	Critico	Critico	Critico

Fattore: ■ Molto critico ■ Critico ■ Sub-ottimale ■ Ottimo

È vero che con mezzi sufficienti si può coltivare tutto ovunque, ma i costi di produzione sono determinati in gran parte dal clima, cioè da quanta “climatizzazione” è necessaria per produrre.

È anche vero che più elementi climatici siamo in grado di manipolare, più elevata è la produzione e l’efficienza di uso dell’acqua (Fig. 1) ma questo non implica necessariamente che il guadagno netto sia anche più elevato.

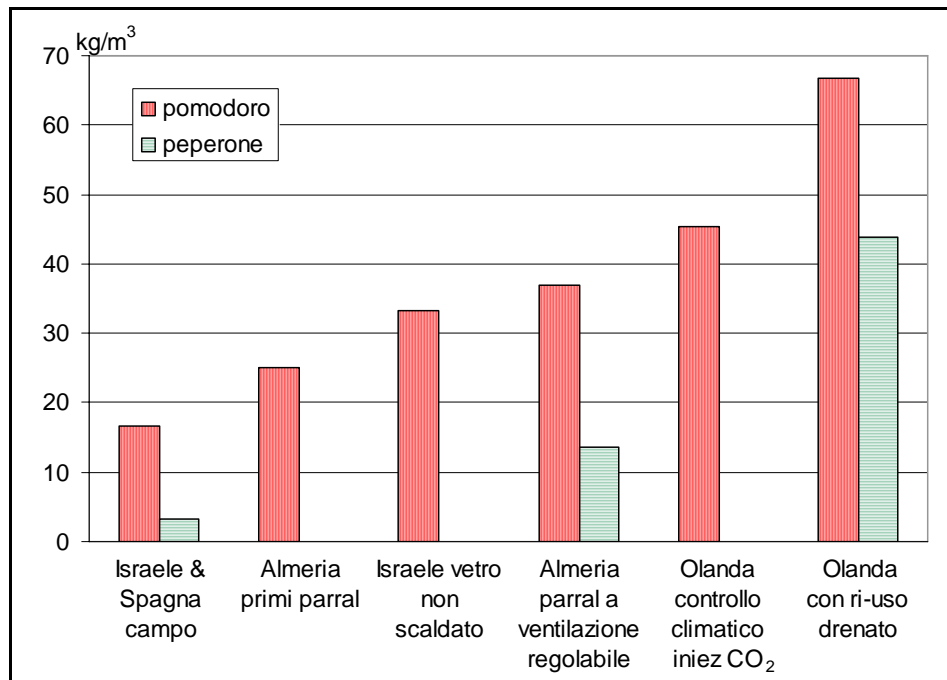


Fig. 1. Prodotto fresco (kg) di pomodoro e peperone per m³ di acqua utilizzata, per sistemi produttivi indicati (Stanghellini et al., 2003)

Fig. 1. Fresh yield per m³ of irrigation water, in various growing systems, from field (left) to fully controlled glasshouse, with re-use of drain water (right). From Stanghellini et al., 2003.

La serricoltura olandese è leader nel mondo, in termini di modificazione ambientale, innovazione e produttività. L’area coperta totale è rimasta abbastanza costante negli ultimi 25 anni, e tuttavia la produttività e il valore si sono moltiplicati, fino a raggiungere, grazie all’applicazione di tecnologie sempre più avanzate, un valore del prodotto superiore a 600,000 €/ha all’anno, medio su tutto il settore (CBS, 2004). Attualmente l’investimento in una serra nuova si aggira intorno al milione di € per ha. Non sottovalutiamo il fatto che, con costi di produzione intorno al 90% del prodotto lordo, la serricoltura olandese deve la sua redditività ai vantaggi competitivi di cui gode, in primis i prezzi elevati che ottiene sul mercato internazionale la sua produzione di alta qualità, certificata ed affidabile. Per esempio, il prezzo medio di asta del peperone olandese nel 2003 è stato maggiore di 0.96 €/kg al prezzo di quello coltivato su substrato in Almeria (Caballero & De Miguel, 2002; KWIN, 2003). Le maggiori spese di trasporto da Almeria alla Germania (che è il mercato di esportazione principale sia degli olandesi che degli spagnoli) non giustificano più di 0.15 €/kg di differenza.

Tuttavia, ovunque si siano costruite serre “all’Olandese” in paesi meno avanzati (e spesso con sussidi governativi) la produttività che si è ottenuta è molto, molto inferiore ai valori citati qui sopra. Stanghellini (2004) e Luo e Stanghellini (2005) hanno dimostrato che mentre “l’evoluzione” del disegno “Venlo” può essere perfettamente adattato alle condizioni olandesi, non ci si può aspettare che abbia la stessa performance se applicato in altre condizioni climatiche e di mercato. Quindi è necessario sviluppare un metodo che determini la configurazione ottimale, in modo di permettere all’ industria serricola di adattare le strutture di protezione alle condizioni locali. Allo stesso tempo, lo stesso metodo può aiutare l’operatore a stimare più realisticamente il potenziale produttivo (sotto coltura protetta) di una certa zona.

LA COLTURA, IL CLIMA E LA SERRA

I processi alla base della produzione vegetale sono la fotosintesi e la traslocazione degli assimilati. La fotosintesi dipende dalla quantità di luce disponibile, dalla concentrazione di anidride carbonica e dalla temperatura; la traslocazione degli assimilati solo dalla temperatura. Ognuno di questi fattori può essere limitante, nel senso che la produzione viene limitata dal fattore più sfavorevole, indipendentemente dal valore assunto dagli altri fattori. Se l’importanza dell’anidride carbonica è una scoperta relativamente recente, quella del calore e della luce era già nota anche ai romani. Infatti, l’imperatore Tiberio usava mangiare cetrioli che venivano “coltivati in ceste fornite di ruote, così che si potevano mettere facilmente al sole e trasportare dentro ripari trasparenti nelle giornate invernali” (Plinius, 77 A.D.). Per inciso, se ne può dedurre che c’era spazio per migliorare la trasparenza della mica dei romani.

Comunque è un fatto che fino a pochi anni fa l’unica modificazione ambientale possibile era migliorare le condizioni di temperatura, attraverso protezioni più trasparenti. La temperatura che si riesce ad ottenere dentro una tale protezione dipende dal bilancio dei vari flussi energetici, come illustrato nella Fig. 2.

In una serra senza scambi di ventilazione con l’esterno, per esempio un tunnel ben chiuso, trascurando le perdite attraverso il terreno, il bilancio dei flussi di energia è:

$$\text{radiazione solare trasmessa} = \text{perdite per conduzione} + \text{perdite radiative}$$

o, in simboli:

$$\tau I_{sole} \cong UC_1(T_{in} - T_{out}) + \varepsilon C_2(T_{in} - T_{cielo}) \quad (1)$$

dove I_{sole} è la radiazione solare; T_{in} , T_{out} e T_{cielo} sono rispettivamente la temperatura dentro, fuori e quella apparente del cielo (dipendente dalla temperatura e l’umidità esterna); τ , U ed ε sono rispettivamente: la trasmittività, il coefficiente di trasmissione termica e l’emissività della copertura; e C_1 e C_2 sono coefficienti. La temperatura che si ottiene all’interno di questo tunnel ideale (la chiameremo T_{tunnel}) è quella che bilancia i flussi, cioè la soluzione dell’equazione (1). Come si può dedurre dall’equazione, T_{tunnel} dipende dalle condizioni meteorologiche (radiazione solare, temperatura e, in misura minore, umidità esterne) e dai tre parametri che descrivono le proprietà termiche e radiative della copertura.

D’altra parte, in una serra perfettamente ventilata (con un numero elevato di ricambi d’aria) la temperatura sarebbe sempre uguale a quella esterna, indipendentemente dalla quantità di radiazione e dalle proprietà della copertura. Il tasso di ventilazione determina il valore della temperatura all’interno della serra, fra questi due estremi. Idealmente la temperatura che si vuole mantenere all’interno, per garantire condizioni

buone per la coltura, si trova in questo intervallo, così che la regolazione della ventilazione è sufficiente, Fig. 3.

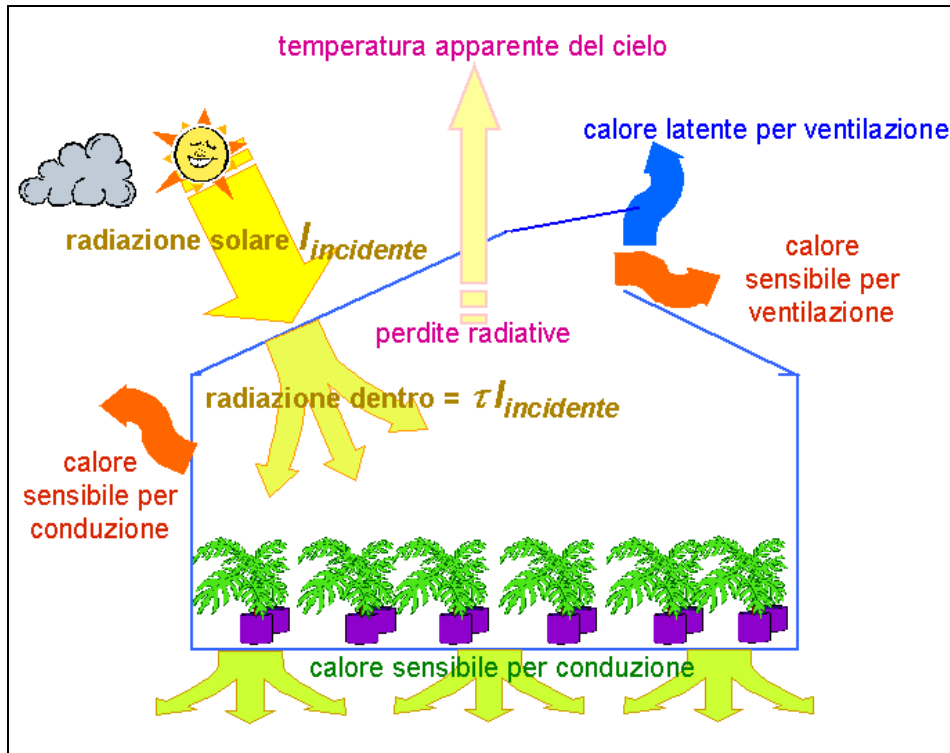


Fig. 2. Illustrazione schematica dei flussi di energia entranti ed uscenti da una serra. τ indica la trasmissività della copertura. Le perdite radiative dipendono dalle caratteristiche del materiale (emissività) di copertura e dalla temperatura apparente del cielo, che a sua volta dipende dalle condizioni meteorologiche (principalmente temperatura e umidità).

Fig. 2. Schematic representation of the energy fluxes in and out of a greenhouse. τ is the transmissivity of the cover. The radiative losses depend from the properties (emissivity) of the cover material and the apparent sky temperature that, in turn, is determined by meteorological conditions (mainly temperature and humidity).

Effetto della scelta delle proprietà termiche e radiative della copertura

La Fig. 3 mostra un esempio piuttosto comune di quando questo non è possibile: nel periodo invernale (o durante la notte) anche senza ventilazione la temperatura può essere troppo bassa. La soluzione ovvia è di somministrare energia all’ambiente riscaldando. Però si può anche ottenere un innalzamento della temperatura “tunnel” modificandone le proprietà, per esempio la conducibilità termica (doppio strato) o l’emissività (schermo di alluminio). Il caso opposto si ha d’estate (o a metà giornata): la temperatura “ideale” può essere molto vicina, o addirittura minore, alla temperatura esterna.

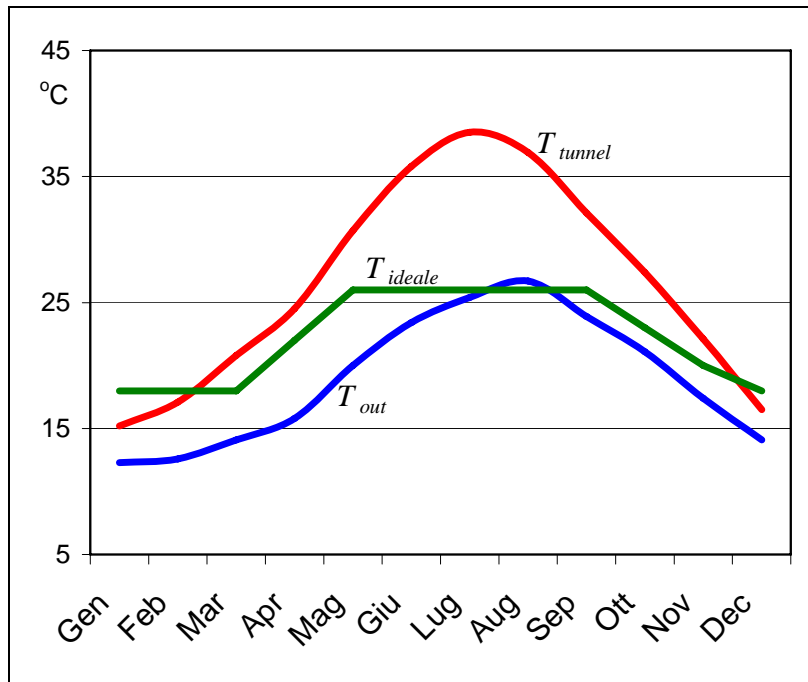


Fig. 3. Andamento delle temperature medie mensili: T_{out} rappresenta la temperatura esterna, T_{tunnel} rappresenta la temperatura all’interno di una copertura senza scambi di ventilazione e T_{ideale} è la temperatura ottimale per la coltura. T_{out} sono i valori di Gela, gli altri grafici sono solo un esempio. Una figura molto simile si applica anche all’andamento diurno della temperatura.

Fig. 3. Trend of mean monthly temperatures: T_{out} is outside temperature; T_{tunnel} represents temperature within a shelter without ventilation and T_{ideale} represents optimal temperature for the crop. T_{out} are actual values at Gela; the other lines are drawn just for example. A very similar figure would describe the daily trend of temperatures as well.

Si può dimostrare che la temperatura interna è data all’incirca da:

$$T_{in} \cong T_{out} + \frac{UC_1 + \varepsilon C_2}{UC_1 + \varepsilon C_2 + n(1 + C_3)} (T_{tunnel} - T_{out}) \quad (2)$$

dove C_3 è un fattore che tiene conto della differenza di umidità interna ed esterna (all’incirca contenuto fra 2 e 5) e n è il tasso di ventilazione (ricambi per ora). Come si vede dall’eq(2), la diminuzione della temperatura in funzione del tasso di ventilazione è asintotica, come illustrato dalla Fig. 4, cioè la temperatura si avvicina a quella esterna solo a tassi di ventilazione molto elevati. La ventilazione di una serra è comunque limitata, a maggior ragione quando ci siano reti anti-insetto (Campen, 2005), e quindi quello che si fa spesso è cambiare le proprietà della copertura, in questo caso la trasmittanza (per esempio con l’imbiancatura estiva), in modo da abbassare la temperatura di partenza, e ottenere quindi temperature più basse a parità di ventilazione (Fig. 4).

Naturalmente, dato che ridurre l’ingresso di luce all’interno della serra, ha comunque un effetto negativo sulla fotosintesi, l’imbiancamento di una serra ne riduce la

produzione. Si ricorre a questo perchè le temperature elevate avrebbero un effetto ancor peggiore. Stanno cominciando adesso ad apparire sul mercato dei films che offrono delle ottime possibilità sotto questo punto di vista (Hoffman e Waayenberg, 2002). Il principio è semplice: la fotosintesi si avvale di luce di lunghezze d’onda (PAR = Photosynthetically Active Radiation) che rappresentano circa la metà dell’energia contenuta nella radiazione solare. L’altra metà, che è a lunghezze d’onda nell’infrarosso vicino (NIR = Near Infra-Red) contribuisce al riscaldamento della serra, ma non direttamente alla crescita vegetale. Un film che blocchi la radiazione NIR, diminuisce il carico di energia della serra, ma non diminuisce la fotosintesi. Naturalmente in posti come la Sicilia ci sono molti mesi dell’anno in cui l’energia contenuta nello spettro NIR è molto utile e quindi l’ideale sarebbe un “imbiancamento” con un filtro NIR da eliminare alla fine dell’estate. Un prodotto di questo tipo è stato lanciato alla HortiFair di Amsterdam nel 2004 ed ha vinto il premio per l’innovazione nel settore tecnologia. Aspetti da migliorare sono il costo, l’efficacia e la durata.

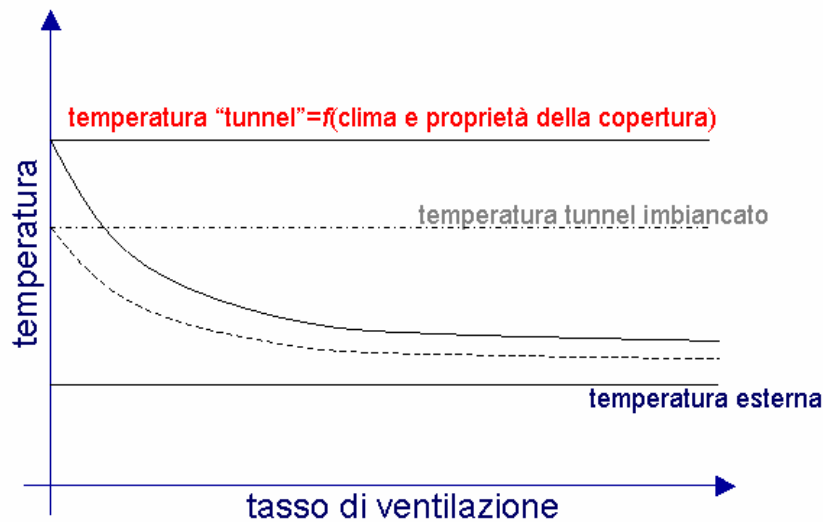


Fig. 4. Andamento della temperatura all’interno della serra, in funzione del tasso di ventilazione.

Fig. 4. Trend of temperature within a shelter as affected by the ventilation rate.

Effetto della progettazione delle aperture

Una volta stabilite le proprietà della copertura (e quindi T_{tunnel}), la serra deve essere progettata in modo da garantirsi la possibilità massima di controllo della temperatura nell’intervallo $T_{out}-T_{tunnel}$ attraverso la ventilazione. Come si deduce dall’eq.(2), questo equivale ad avere a disposizione un range molto esteso di valori del tasso di ventilazione n . Il tasso di ventilazione dipende all’incirca linearmente dalla velocità del vento e dalla superficie delle aperture. La quantità di energia che si riesce a dissipare (l’effetto raffreddante) ad un determinato tasso di ventilazione, dipende non solo dalla differenza di temperatura fra l’interno ed esterno, ma anche dalla differenza di umidità, come si è visto nella eq(2). Più secco è l’ambiente esterno e più alto è l’effetto raffreddante, sempre che la coltura sia fornita sufficientemente di acqua. Per la teoria rimando alla letteratura, dove si possono trovare lavori specialistici sul tema, anche relativi ad ambienti “Mediterranei” (per esempio: Mistriotis et al., 1997).

Quindi, una volta determinata la quantità di energia da dissipare nelle condizioni peggiori, la necessità di aperture può essere determinata se si conosce la velocità del vento in quelle condizioni (e.g. Hemming et al., 2005). Per esempio, a Gela una serra deve avere più aperture che in Almeria, come illustra la Fig. 5. Infatti, se si assume che la quantità di ore mensili sia un buon indice della energia che va dissipata (Almeria e Gela sono all’incirca alla stessa latitudine), allora come si vede dal pannello di sinistra, a parità di ore di sole ad Almeria c’è più vento, quindi in teoria basta una minor superficie di ventilazione. La temperatura esterna, infatti, è molto simile nei due posti, come dimostra il grafico di destra della Fig. 5.

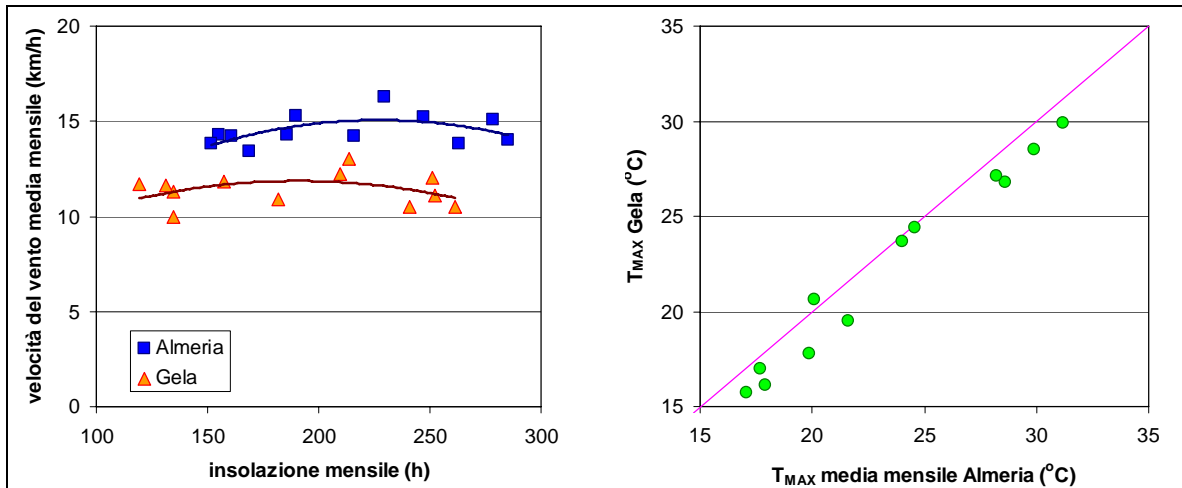


Fig. 5. Grafico a sinistra: velocità del vento media vs le ore di sole mensili, a Almeria ed a Gela. Grafico a destra: media mensile delle temperature massime di Gela vs quelle corrispondenti ad Almeria.

Fig. 5. Left hand side: monthly mean wind speed vs monthly sun hours, Almeria and Gela. Right hand side: monthly mean of daily maxima in Gela vs the corresponding values in Almeria.

Attraverso studi di fluidodinamica, Campen e Bot (2003) hanno dimostrato che non solo la superficie delle aperture, ma anche la loro geometria (roll-over o flap) è importante nel determinare l’efficienza di ventilazione. Per il caso specifico di Almeria Perez-Parra (2002) ha determinato l’imprescindibilità delle aperture laterali per ottenere una buona distribuzione di temperatura all’interno delle serre tipo “parral”.

Inutile rimarcare che, per la regolazione precisa della temperatura di cui stiamo trattando, è necessario che la capacità di ventilazione così stabilita possa anche essere utilizzata in maniera variabile, adattando continuamente il tasso di ventilazione (l’apertura) alle condizioni meteorologiche esterne, in funzione della temperatura che si vuole ottenere dentro lo serra. In pratica, si tratta di invertire l’eq(2), risolvendola per n , quando la T_{in} che si desidera sia nota, in considerazione di variazioni negli altri fattori, temperatura esterna, radiazione solare, umidità.

SERRA PASSIVA O SERRA ATTIVA?

Uno studio a priori delle condizioni climatiche permette di individuare quei parametri di progetto che contribuiscono a determinare la “gestibilità” dell’ambiente serra. Le condizioni tipiche della Sicilia sono tali che una serra “passiva” (cioè senza

riscaldamento e raffreddamento) ben progettata potrebbe mantenere al suo interno le condizioni vogliamo ottenere per le colture orticole, la maggior parte dell’anno. Naturalmente questo implica che ci sono periodi in cui le condizioni all’interno della serra sono sub-ottimali, con conseguente diminuzione di produzione. Come si dimostra nelle serre olandesi, abbiamo oggi la tecnologia per mantenere all’interno le condizioni che si possono desiderare, in termini di temperatura, luce, anidride carbonica e umidità, se siamo disposti ad investire a sufficienza.

Solo un’analisi costi/benefici (incremento di produzione contro il “costo” del miglioramento climatico) può permettere di decidere cosa veramente ha senso in determinate condizioni. È noto che è più facile quantificare i costi che l’incremento di produzione, sicuramente a priori. I modelli di produzione vegetale che uno potrebbe applicare sono stati sviluppati (e calibrati) nelle serre “ottimali” dell’Olanda (Heuvelink, 1999) e quindi la nostra conoscenza dell’effetto sulla produzione di eventi sporadici, come per esempio alcune notti a temperatura sotto 10°C, è molto limitata (per esempio, Peet and Bartholemew, 1996). Similmente, sappiamo poco dell’effetto di temperature elevate ma discontinue (Sato et al., 2000). È un fatto che un numero crescente di produttori in zone temperate, come la Sicilia o Almeria, dispone di qualche forma di riscaldamento di soccorso, mentre sembra più conveniente non coltivare in luglio ad Almeria, piuttosto che installare dei sistemi di raffreddamento.

Altre possibilità per ovviare a condizioni sporadicamente subottimali sono gli schermi mobili, le cui caratteristiche potrebbero essere determinate in funzione delle condizioni climatiche esterne, e l’immagazzinamento di energia in eccesso per il successivo rilascio quando occorre. In tutti questi casi, nell’analisi dei possibili benefici, è da tener conto anche che questi sistemi, quando ci sono, possono contribuire a migliorare le condizioni anche nei momenti in cui non sono strettamente limitanti.

Un’altra modifica “attiva”, che però viene spesso dimenticata, è la somministrazione di anidride carbonica. In Olanda questa è un sottoprodotto del riscaldamento, più costoso di quello che si potrebbe pensare, dato lo sfasamento fra la necessità di riscaldamento e il fabbisogno di CO₂. Poiché è più facile immagazzinare il calore che un gas, si sopperisce allo sfasamento producendo di giorno acqua calda che si immagazzina in grossi depositi isolati termicamente, per poi utilizzarla per il riscaldamento notturno. Uno sviluppo molto recente, reso possibile dalla liberalizzazione del mercato dell’energia elettrica in Olanda è la produzione di energia elettrica attraverso la cogenerazione (elettricità/calore), utilizzando il gas di scarico per iniezione carbonica. L’energia elettrica viene utilizzata in azienda (in gran parte per illuminazione artificiale) e la parte eccedente immessa in rete. Si sono già verificati alcuni casi critici nella rete di distribuzione olandese, in cui l’energia elettrica ha raggiunto prezzi di mercato così alti che ai produttori conveniva vendere tutta quella che riuscivano a produrre piuttosto che illuminare le serre.

CONCLUSIONI

L’ambiente climatico della Sicilia dovrebbe permettere una buona produttività anche in serre esclusivamente passive, purchè attraverso la regolazione continua della ventilazione si faccia il massimo uso dell’intervallo di cui si dispone per il controllo della temperatura. L’ampiezza di questo intervallo dipende dalle caratteristiche fisiche (trasmissività, emissività e conducibilità termica) del materiale di copertura, che dovrebbero essere determinate, per ciascuna proprietà, come il miglior compromesso fra i requisiti ideali in considerazione del clima locale.

Fra gli elementi attivi che vale la pena di studiare piú a fondo sono il riscaldamento notturno e l’iniezione carbonica. Un aspetto che merita forse piú considerazione in Sicilia è l’installazione di schermi mobili con caratteristiche spettrali (trasparenza, emmissività) e termiche da definire, come pure la possibilità di immagazzinare energia in eccesso per utilizzarla quando serve.

Bibliografia

- Caballero, P., De Miguel, M.D., 2002. Costes e intensificación en la hortofruticultura Mediterránea. In: J.M.Garcá (Ed), *La Agricultura Mediterránea en el Siglo XXI*. Instituto Cajamar, Almería: 222-244.
- Campen, J.B., Bot, G.P.A., 2003. Determination of greenhouse-specific aspects of ventilation using three-dimensional Computational Fluid Dynamics. *Biosystems Engineering* 84(1): 69-77
- Campen, J.B., 2005. Greenhouse design applying CFD for Indonesian conditions. *Acta Horticulturae*, 691: in press.
- Central Bureau for Statistics (CBS), 2004. *Landbouwtellingen 2003*.
- Heuvelink, E., 1999. Evaluation of a dynamic simulation model for tomato crop growth and development. *Annals of Botany* 83, 413-422.
- Hemming, S., Waaijenberg, D., Campen, J.B., Impron, Bot, G.P.A., 2005. Development of a greenhouse system for tropical lowland in Indonesia. *Acta Horticulturae*, in press.
- Hoffmann, S., Waaijenberg, D., 2002. Tropical and Subtropical greenhouses – a challenge for new plastic films. *Acta Hort.* 578: 163-169.
- Kantitatieve Informatie Glastuinbouw (KWIN), 2003. *Proefstation Bloemisterij en Glasgroente, Naaldwijk*.
- Luo, W., Stanghellini, C., 2005. Simulation of greenhouse management in the subtropics, Part II: Scenario study for the summer season. *Biosystems Engineering*, in press. 90(4): 433-441
- Mistriotis, A., Arcidiacono, C., Picono, P., Bot, G.P.A., Scarascia-Mugnozza, G., 1997. Computational analysis of ventilation in greenhouses at zero- and low wind speeds. *Agricultural and Forest Meteorology* 88: 121-135.
- Peet, M.M., Bartholemew, M., 1996. Effect of night temperature on pollen characteristics, growth, and fruit set in tomato. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121 (3): 414-519.
- Pérez-Parra, J.J., 2002. Ventilación natural de invernaderos tipo parral. PhD Thesis. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Departamento de Agronomía. Universidad de Córdoba, Spain.
- Plinius, S.G., 77. *Naturalis Historia. Liber XIX: 19,4 and 23,5*. Ajasson de Grandsagne (ed.), 1829-1833. *Bibliothèque Latine-Française*. C.L.F. Panckoucke, Paris.
- Rabobank International, 2000. *The Mexican Cut Flower Market*. Ministry of Agriculture, Environment and Fisheries, The Hague: 74 pp.
- Sato, S., Peet, M.M., Thomas, J.F., 2000. Physiological factors limit fruit set of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under chronic, mild heat stress. *Plant, Cell and Environment*. 23:719-726.
- Stanghellini, C., 2004. Producción de vegetales en cultivo protegido: manejo óptimo del microclima. *Proceeding 5th International Symposium of Hydroponics*, Universidad Autonoma de Chihuahua, Mexico, ISBN: 970-748-009-2: 31-39
- Stanghellini, C., Kempkes, F.L.K., Knies, P., 2003. Enhancing environmental quality in agricultural systems. *Acta Horticulturae* 609: 277-283.