

# L'automazione delle serre: rilievi sperimentali su realizzazioni attuali e criteri previsionali di gestione

*Allo scopo di valutare l'efficacia di alcune applicazioni sono stati condotti rilievi sperimentali su aziende floricole pugliesi dotate di sistemi computerizzati per la gestione degli impianti.*

**Giacomo Scarascia Mugnozza<sup>(1)</sup> - Pietro Picuno<sup>(2)</sup>**

*(1) Ricercatore Confermato, Istituto di Costruzioni Rurali, Università di Bari.*

*(2) Ricercatore Universitario, Istituto di Genio Rurale e Forestale, Università della Basilicata, Potenza.*

## 1. Introduzione

L'evoluzione tecnologica in corso nel settore serricolo e l'esigenza di controllare il maggior numero di parametri ambientali all'interno della serra, correlandoli tra loro, ha condotto allo sviluppo ed alla diffusione, grazie a studi intrapresi negli anni '70 in alcuni Paesi del Nord Europa (11), (12), dei sistemi di controllo e gestione degli apprestamenti per colture protette basati sull'utilizzo dei moderni elaboratori elettronici (3), (4), (7), (8).

Infatti la possibilità di ottenere incrementi nella qualità e quantità delle produzioni unitamente alla diminuzione della manodopera necessaria per il funzionamento degli impianti e alle economie nel consumo di combustibile per il riscaldamento, hanno determinato un incremento degli apprestamenti protetti dotati di un sistema informatico per la gestione automatizzata.

Particolarmente nel settore delle produzioni di più elevato valore, quali quelle floricole, vivaistiche e di piante ornamentali, a causa delle esigenze tecnico-commerciali volte a mantenere sotto costante controllo il microclima interno della serra, in modo da realizzare produzioni di elevata qualità disponibili sui mercati nel momento più idoneo, sono stati sviluppati sistemi computerizzati (1), (9), (10) con diversi livelli di automazione. Un ulteriore progresso delle tecniche di controllo informatico delle serre

può essere ottenuto approfondendo le seguenti tematiche:

- studio dei diversi livelli di gestione automatica in maniera da ricavare indicazioni, utili per l'imprenditore, circa il grado di automazione a seconda del tipo di coltura praticata e dell'indirizzo gestionale dell'azienda serricola: il massimo grado di informatizzazione può essere ottenuto integrando il controllo dell'ambiente con le esigenze fisiologiche della pianta sulla base della programmazione commerciale (5), (11);

- introduzione di nuovi sistemi e algoritmi per i software di gestione quali, ad esempio, i sistemi esperti;
- analisi e rappresentazione del complesso di fenomeni fisici che caratterizzano il comportamento climatico delle serre.

Quest'ultima tematica, in particolare, appare interessante quale campo di indagine specifica dei ricercatori per gli sviluppi che può determinare ad esempio nella elaborazione di modelli matematici del comportamento microclimatico dell'apprestamento protetto.

## 2. Realizzazioni attuali di serre automatizzate

L'automazione delle colture protette, strettamente legata all'aspetto gestionale e produttivo, può risultare occasione di contributi complementari e sinergici tra le aziende che producono sistemi e software per l'automazione serricola e la ricerca scientifica nel settore.

Allo scopo di analizzare il livello di automazione dei complessi serricoli che già si sono dotati di sistema informatico e di verificarne il funzionamento, è stata presa in esame un'azienda, situata in provincia di Bari, destinata a produzioni floricole di fiori recisi ed in vaso.

### 2.1. Rilievi sperimentali

L'azienda in cui si è svolta l'indagine è la «TRICARICO Giuseppe», sita a Terlizzi (BA), dotata di circa 7.000 m<sup>2</sup> coperti di serre (Fig. 1) automatizzate (serre n. 1 e n. 2) con sistema ELFO della SELEC (Figg. 2, 3, 4) per la produzione di lillium e stelle di natale.

Le serre 1 e 2, realizzate con struttura portante in acciaio zincato e materiale di rivestimento in lastre di vetro martellato, sono dotate dei seguenti impianti:

- riscaldamento con tubi alettati di alluminio (Fig. 5) serviti da una centrale termica con due caldaie, di cui una a gasolio e l'altra ad olio combustibile, pompe primarie e secondarie di distribuzione dell'acqua calda ai diversi settori delle serre dotati di valvole di miscelazione sul circuito di ritorno dell'acqua calda (Fig. 6);

- raffrescamento, con sistema di nebulizzazione;

- teli interni di ombreggiamento e schermo termico in tessuto LS50 (Fig. 7);

- irrigazione, con irrigatori ad aspersione e a goccia;

- ventilazione naturale, con aper-



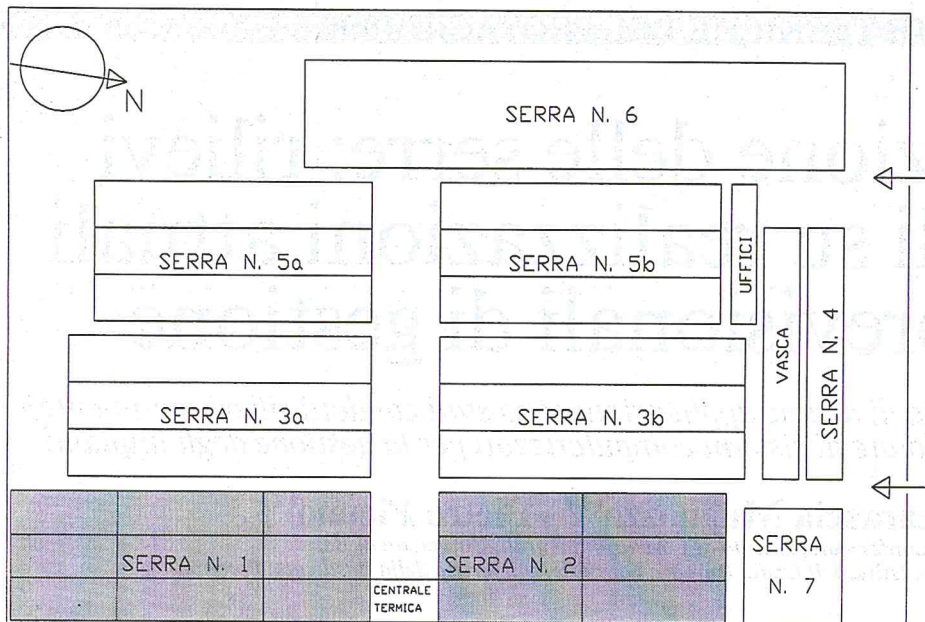


Fig. 1 - Disposizione planimetrica del complesso serricolo.



Fig. 2 - Vista dell'interno di una serra automatizzata.

ture laterali e di colmo.

I parametri rilevati dai sensori e confrontati con i valori impostati dall'utente, in base ai quali vengono regolati i diversi impianti limitatamente alle serre 1 e 2, sono i seguenti:

- Temperatura esterna, °C;
- Temperatura interna, °C;
- Umidità relativa interna, %;
- Radiazione solare interna,  $W/m^2$ ;
- Luminosità interna, lux;
- Sensori di presenza vento e pioggia.

Il sistema è inoltre in grado di controllare la concentrazione di  $CO_2$  e le operazioni di irrigazione e fertirrigazione.

I risultati in termini di controllo della temperatura interna delle serre sono mostrati nelle figure 8 e 9. Come si può osservare, il mantenimento della temperatura interna attorno al valore ottimale preimpostato viene ottenuto con buona precisione, con variazioni molto limitate nel periodo notturno, contrariamente a quanto succede generalmente in serre riscaldate con sistema tradizionale



Fig. 3 - Centrale di controllo a gestione automatica ELFO.

Tab. 1 - Simbologia utilizzata nel modello matematico.

Notazioni	
<b>A</b>	= trasmissione di calore per adduzione nell'unità di tempo, W;
<b>R</b>	= trasmissione di calore per radiazione nell'unità di tempo, W;
<b>H</b>	= trasmissione di calore latente di condensazione nell'unità di tempo, W;
<b>V</b>	= trasmissione di calore per convezione aria-suolo nell'unità di tempo, W;
<b>E</b>	= potenza termica fornita dal generatore, W;
<b>C</b>	= trasmissione di calore per conduzione attraverso gli strati del terreno nell'unità di tempo, W;
<b>Pedici</b>	
<b>i</b>	= interno;
<b>e</b>	= esterno;
<b>t</b>	= terreno;
<b>vc</b>	= volta celeste;
<b>cp</b>	= copertura;
<b>c</b>	= condensa.

di regolazione e controllo in cui si possono verificare oscillazioni, anche elevate, intorno al livello termico desiderato.

Nel corso dei rilievi effettuati presso l'azienda si sono confrontati i consumi specifici di combustibile per il riscaldamento notturno delle serre con e senza schermi termici, rilevando un risparmio energetico, variabile tra il 20 ed il 30% in funzione dello stato del cielo e della velocità del vento, nel caso di utilizzo dei teli disposti parallelamente alle falde all'interno dell'apprestamento protetto.



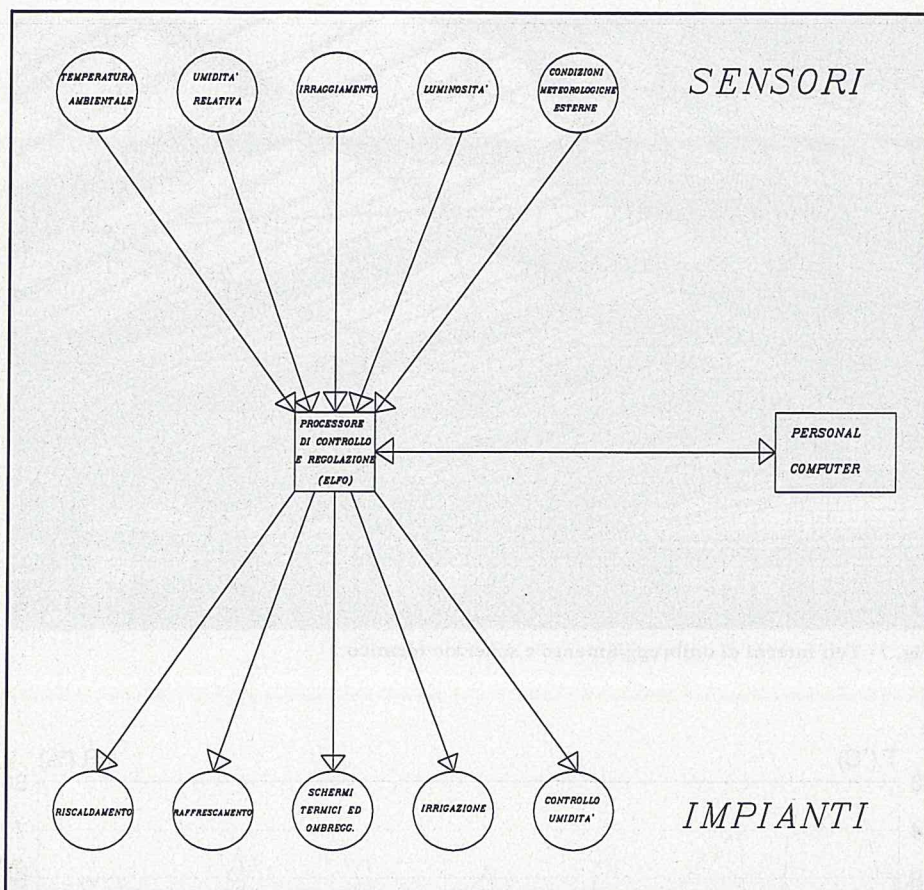


Fig. 4 - Schema a blocchi dell'impianto di regolazione e controllo delle serre automatizzate.

## 2.2. Aspetti economici e gestionali

Oltre al mantenimento dei parametri microclimatici interni in prossimità del valore desiderato, vi sono altri effetti positivi in merito all'ergonomia generale di esercizio del complesso serricolo. Tra i principali benefici che si sono riscontrati si possono evidenziare:

- la riduzione dei costi legati alla manodopera necessaria: le operazioni che il sistema informatico è in grado di effettuare richiederebbero l'impiego quotidiano di almeno una

unità lavorativa che abbia un grado di specializzazione tale da poter manovrare con competenza tutti gli impianti a servizio della serra;

- un aumento del grado di sicurezza contro danni derivanti da inadempienze o distrazioni dell'operatore addetto alla regolazione dei parametri ambientali;

- un incremento nella qualità del prodotto, rilevato in termini di maggiore lunghezza degli steli, numero di fiori, omogeneità della produzione;

- una diminuzione sensibile nei

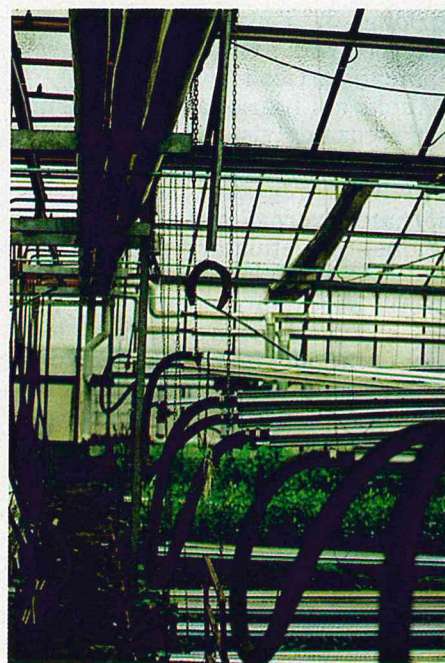


Fig. 5 - Tubi alettati di alluminio per il riscaldamento della serra.

consumi energetici: il consumo di combustibile necessario per il funzionamento dell'impianto di riscaldamento viene a ridursi sia per una limitazione dei tempi di funzionamento dell'impianto ai periodi in cui è realmente necessario, sia per un più razionale utilizzo degli schermi termici.

Secondo alcuni studiosi (2) le economie legate alla riduzione dei consumi energetici e dell'impegno di manodopera, negli apprestamenti per colture protette con sistema automatizzato di regolazione degli impianti, possono essere stimate pari ad oltre il 30% dei costi di esercizio.

Il complessivo contenimento degli apporti energetici può assumere, quindi, un rilievo non trascurabile anche in relazione alla dimi-

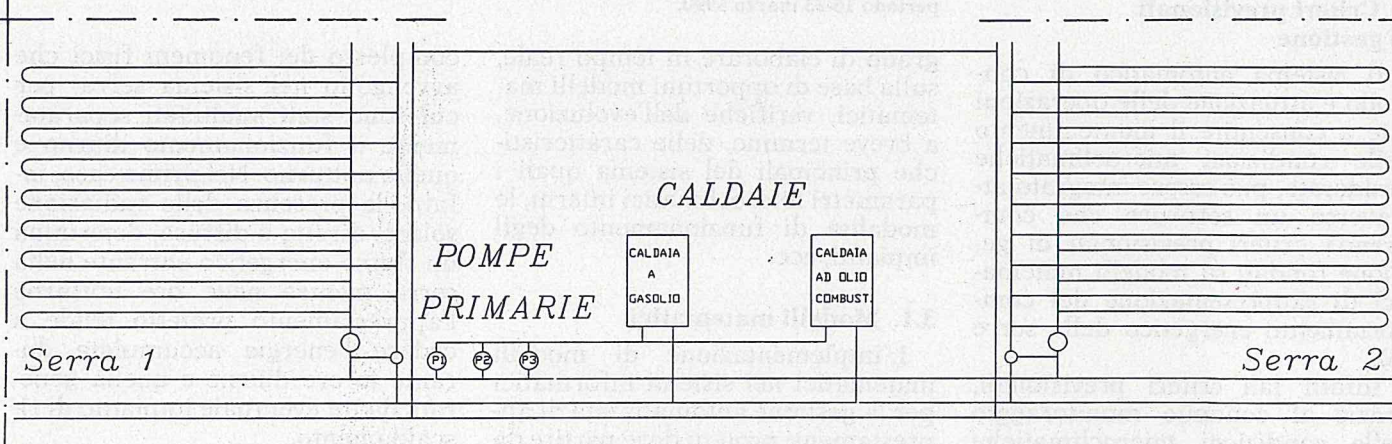


Fig. 6 - Schema della centrale termica e stralcio dell'impianto di riscaldamento delle serre 1 e 2.



nuzione di emissioni inquinanti dalle centrali termiche degli insediamenti serricoli.

Anche nel funzionamento diurno la presenza del sistema informatico consente di ottimizzare l'utilizzo dei teli ombreggianti; infatti, nelle giornate invernali con elevata insolazione, gli attuatori comandano con continuità la regolazione con diversi gradi di chiusura dei teli allo scopo di evitare sovrariscaldamenti e, quindi, anticipi di fioritura controllando la luminosità, la temperatura e, pertanto, il processo produttivo nel suo complesso.

A fronte di tali vantaggi, i costi di investimento per la realizzazione del sistema informatico appaiono interessanti per gli operatori, anche grazie alla continua discesa dei prezzi dei componenti elettronici (5).

Nel caso in esame il costo totale di informatizzazione delle serre, comprensivo di hardware, software di gestione, sensori di rilievo dei parametri ambientali, componentistica elettronica per il comando degli impianti, manodopera necessaria per l'installazione, personal computer per il rilievo, controllo e comando degli impianti collegati nonché per l'acquisizione e l'archiviazione dei dati storici, è risultato avere un'incidenza di circa il 4% sui costi di investimento globali dell'insediamento serricolo relativo alle serre 1 e 2.

Considerati quindi i modesti investimenti richiesti rispetto al valore delle strutture e degli impianti, è così possibile prevedere un ulteriore aumento della diffusione dei sistemi di automazione per serre con elevato contenuto tecnologico e per produzioni di pregio.

### 3. Criteri previsionali di gestione

Il sistema automatico di controllo e attuazione delle operazioni atte a consentire il mantenimento delle condizioni microclimatiche desiderate, può essere integrato attraverso un software che comprenda criteri previsionali di gestione fondati su modelli matematici di rappresentazione del comportamento energetico delle serre (6).

Infatti tali criteri previsionali, grazie al continuo monitoraggio delle condizioni microclimatiche esterne e interne alla serra, sono in



Fig. 7 - Teli interni di ombreggiamento e schermo termico.

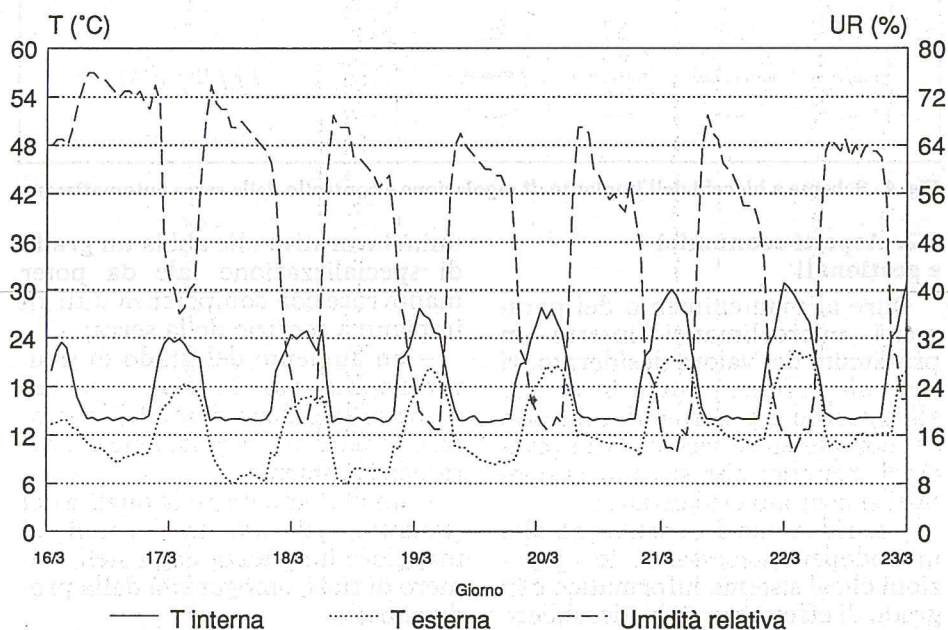


Fig. 8 - Andamento della temperatura e dell'umidità relativa all'interno della serra 1 nel periodo 16-23 marzo 1990.

grado di elaborare in tempo reale, sulla base di opportuni modelli matematici, verifiche dell'evoluzione, a breve termine, delle caratteristiche principali del sistema quali i parametri microclimatici interni, le modalità di funzionamento degli impianti, ecc.

#### 3.1. Modelli matematici

L'implementazione di modelli matematici nei sistemi informatici per la gestione automatizzata di apprestamenti protetti deve partire da una valutazione approfondita del

complesso dei fenomeni fisici che avvengono nel sistema serra, per cui sono stati analizzati separatamente il funzionamento diurno e quello notturno. Nel primo caso, infatti, la presenza della radiazione solare, diretta e diffusa, determina un flusso energetico entrante nella serra mentre nelle ore notturne l'apprestamento protetto tende a cedere l'energia accumulata durante le ore diurne e quella generata da un eventuale impianto di riscaldamento.

Allo scopo di esaminare il com-



portamento notturno, più critico per il funzionamento energetico della serra, è stato sviluppato (6) un modello matematico di rappresentazione del comportamento di una serra fredda che può essere completato considerando anche il più generale caso di presenza di un generatore di calore. Pertanto, con riferimento alla Fig. 10, all'equazione (I) di equilibrio tra calore entrante ed uscente lungo lo strato di copertura:

$A_i + R_{ti,vc} + R_{ti,cp} + R_{ti,c} + H = R_{ti,vc} + R_{cp,vc} + R_{cp,te} + R_{c,vc} + R_{c,te} + A_e$  (I)  
 si può affiancare, dando luogo ad un sistema, l'equazione (II) di equilibrio tra energia entrante e uscente per l'aria interna alla serra:

$$V + E = A_i + H$$

Ove:

$$V = C - R_{ti,cp} - R_{ti,vc} - R_{ti,c}$$

Per cui il sistema diventa:

$$A_i + R_{ti,vc} + R_{ti,cp} + R_{ti,c} + H = R_{ti,vc} + R_{cp,vc} + R_{cp,te} + R_{c,vc} + R_{c,te} + A_e$$

$$E = A_i + H - C + R_{ti,cp} + R_{ti,vc} + R_{ti,c}$$
 (III)

in cui i simboli hanno il significato di cui in Tabella 1.

Esplicitando e risolvendo il sistema (III) di equazioni si possono ricavare le incognite ( $t_{cp}$ ,  $E$ ) ovvero ( $t_{cp}$ ,  $t_i$ ).

L'implementazione di un siffatto modello nell'algoritmo di gestione della serra può consentire, in funzione della temperatura preimpostata  $t_i$  per l'interno dell'apprestamento protetto, di determinare la potenza  $E$  che il sistema di riscaldamento dovrà erogare, sulla base di una serie di parametri noti (geometria, caratteristiche radiometriche e di trasmissività termica del materiale di copertura, ecc.) nonché di valori di grandezze termoigrometriche interne ed esterne alla serra facilmente rilevabili ed acquisibili in modo automatico.

### 3.2. Applicazioni e risultati

Un sistema informatico di controllo del funzionamento delle serre che sia in grado di effettuare verifiche e previsioni sul comportamento del microclima interno ed esterno nel breve periodo, è nelle condizioni così di poter garantire una migliore ergonomia di esercizio.

Il primo effetto positivo, infatti, riguarda la riduzione delle inerzie di funzionamento: un sistema capace di effettuare previsioni sul successivo comportamento micro-

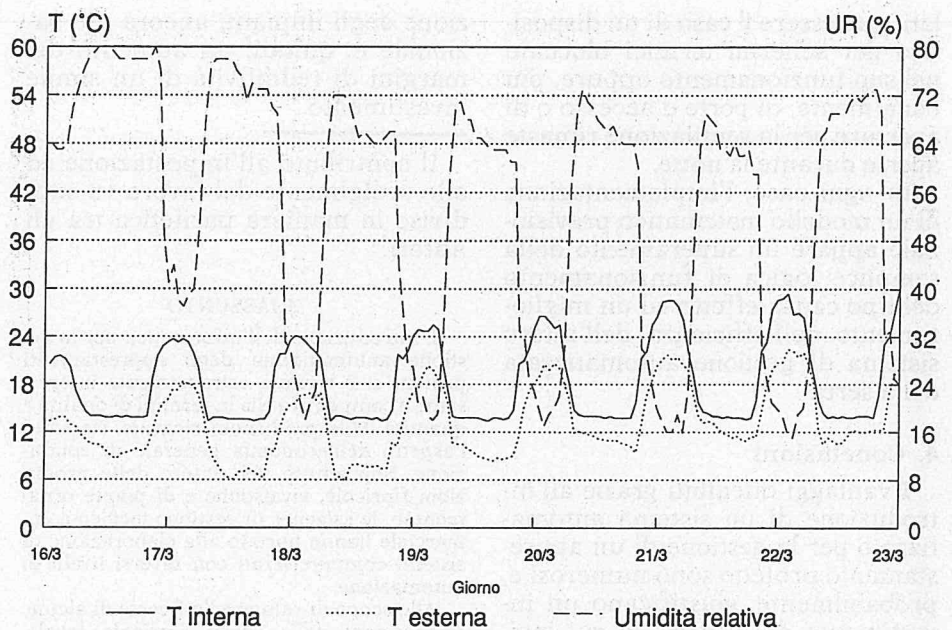


Fig. 9 - Andamento della temperatura e dell'umidità relativa all'interno della serra 2 nel periodo 16-23 marzo 1990.

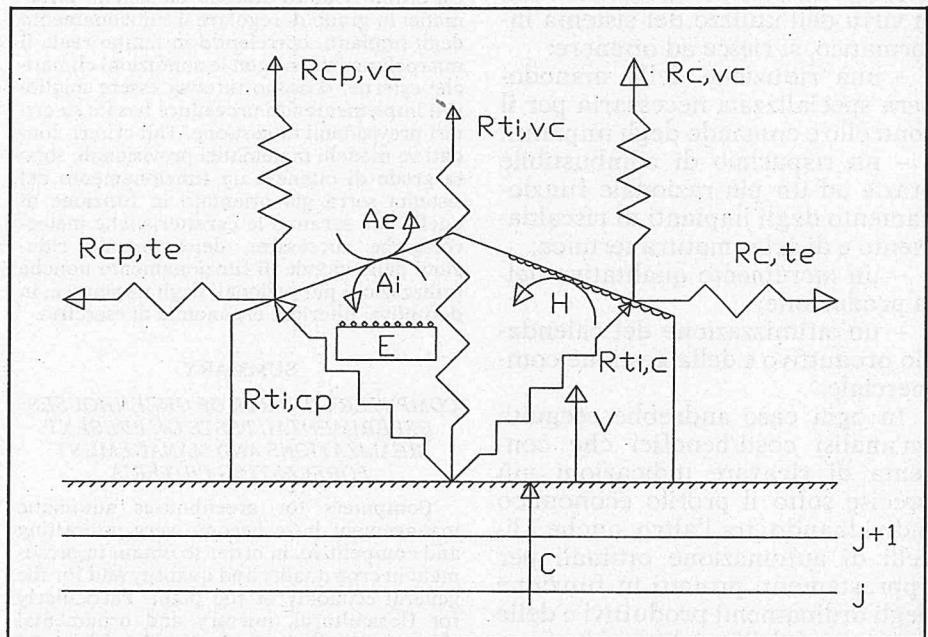


Fig. 10 - Schema della serra con l'indicazione dei singoli termini del bilancio energetico alla base del modello matematico di rappresentazione.

climatico può modulare l'intervento degli impianti in funzione della probabile evoluzione del sistema, correlando tra loro i vari parametri e consentendo di evitare, o comunque ridurre, comandi di continui avviamenti ed interruzioni da parte degli impianti.

Un sistema automatizzato per serre che utilizzi un modello matematico di gestione ha inoltre la possibilità di memorizzare e fornire all'operatore una serie di dati ed informazioni utili circa il mantenimento del microclima interno desi-

derato, l'evoluzione del clima esterno all'apprestamento protetto e lo stato ed il funzionamento degli impianti.

Essendo in grado di valutare i fabbisogni termici richiesti dalla serra in funzione delle caratteristiche termoigrometriche misurate all'interno ed all'esterno, un siffatto sistema è anche in grado di denunciare anomalie e malfunzionamenti degli impianti, dando un immediato allarme all'operatore nel momento in cui i consumi rilevati si allontanano dai fabbisogni calco-



lati; può essere il caso di un dispositivo per schermi termici bloccato nel suo funzionamento oppure, più banalmente, di porte d'accesso o di aperture per la ventilazione rimaste aperte durante la notte.

In ogni caso, l'implementazione di un modello matematico previsionale appare un superamento della semplice logica di funzionamento del tipo causa/effetto ed un miglioramento nell'efficienza dell'intero sistema di gestione automatizzata della serra.

#### 4. Conclusioni

I vantaggi ottenibili grazie all'introduzione di un sistema automatizzato per la gestione di un apprestamento protetto sono numerosi e, probabilmente, giustificano un investimento del genere, la cui incidenza sui costi globali non è molto elevata, soprattutto nel caso di coltivazioni di elevato pregio. Infatti, in virtù dell'utilizzo del sistema informatico, si riesce ad ottenere:

- una riduzione della manodopera specializzata necessaria per il controllo e comando degli impianti;
- un risparmio di combustibile grazie ad un più razionale funzionamento degli impianti di riscaldamento e di schermatura termica;
- un incremento qualitativo della produzione;
- un'ottimizzazione del calendario produttivo e della gestione commerciale.

In ogni caso andrebbe eseguita un'analisi costi/benefici che consenta di ricavare indicazioni più precise sotto il profilo economico individuando, tra l'altro, anche i livelli di automazione ottimali per apprestamenti protetti in funzione degli ordinamenti produttivi e delle dimensioni dell'insediamento.

I modelli matematici previsionali, implementati negli algoritmi di gestione della serra, potrebbero infine determinare una utilizza-

zione degli impianti ancora più razionale e, quindi, un aumento dei margini di redditività di un simile investimento.

Il contributo all'impostazione ed allo svolgimento del lavoro va suddiviso in maniera paritetica tra gli Autori.

#### RIASSUNTO

L'introduzione dell'informatica per la gestione automatizzata degli apprestamenti protetti si è rivelata estremamente interessante e competitiva, sia in termini di qualità e quantità delle produzioni ricavate, sia sotto l'aspetto dell'economia generale di conduzione. Soprattutto nel settore delle produzioni floricole, vivaistiche e di piante ornamentali, le esigenze di gestione tecnico-commerciale hanno portato alla elaborazione di sistemi computerizzati con diversi livelli di automazione.

Allo scopo di valutare l'efficacia di alcune applicazioni nella realtà serricola locale, sono stati condotti rilievi sperimentali su aziende floricole pugliesi dotate di sistemi computerizzati per la gestione degli impianti. Gli ottimi risultati ottenuti da sistemi informatici in grado di regolare il funzionamento degli impianti, correlando in tempo reale il microclima interno con le condizioni climatiche esterne, possono tuttavia essere migliorati implementando procedure basate su criteri previsionali di gestione. Tali criteri, fondati su modelli matematici previsionali, sono in grado di ottenere un funzionamento del sistema serra già orientato in funzione di quelle che saranno le caratteristiche meteorologiche successive, determinando riduzioni delle inerzie di funzionamento nonché utilizzazioni più razionali degli impianti e, in definitiva, ulteriore ergonomia di esercizio.

#### SUMMARY

##### COMPUTER CONTROL OF GREENHOUSES: EXPERIMENTAL TESTS ON PRESENT REALIZATIONS AND MANAGEMENT FORECASTING CRITERIA

Computers for greenhouses automatic management have become very interesting and competitive, in order to obtain improvement in crop quality and quantity and for the general economy of the plant. Particularly for floricultural, nursery and ornamental plant crops, the technical and commercial needs led to the formulation of systems with different levels of computer control.

With the aim to estimate the effectiveness of some applications in local greenhouses, experimental tests on computer controlled

floricultural farms of Puglia Region have been conducted. The good results obtained by computer systems for the equipment running regulation, correlating in real time the inside microclimate with outside climatic conditions, may be improved by implementing routines based on management forecasting criteria.

These criteria, based on mathematical models, are able to obtain a greenhouse working oriented toward the following meteorological characteristics, obtaining inertness reduction, more functional equipment running and, in conclusion, a better plant optimization.

#### BIBLIOGRAFIA

- 1) Cornagliotto C. (1988) - «L'Automazione degli impianti in serra». *Culture Protette*, 17, (11), 51-55.
- 2) Duml R. (1985) - «L'elettronica nella gestione delle serre». *Culture Protette*, 14, (6), 15-20.
- 3) Hesketh T., Skilton R.A., Studman C.J., (1986) - «Advanced digital control for New Zealand glasshouses». *J. Agr. Eng. Res.*, 34, 207-218.
- 4) Manera C., Scarascia Mugnozza G., Damiani P. (1988) - «La gestione automatica degli impianti per il controllo del microclima delle serre». *Culture Protette*, 17, (8), 87-94.
- 5) Manera C., Scarascia Mugnozza G., Damiani P. (1988) - «Gestione informatica delle serre». *Agricoltura e Innovazione - Notiziario ENEA/RENAGRI*, (8), 85-87.
- 6) Manera C., Picuno P., Scarascia Mugnozza G. (1989) - «Studio di un modello matematico previsionale del microclima notturno nelle serre fredde con singolo strato di copertura». *Culture Protette*, 18, (10), 81-88.
- 7) O'Flaherty T., Gaffney B.J., Walsh J.A. (1973) - «Analysis of the temperature control characteristics of heated glasshouses using an analogue computer». *J. Agr. Eng. Res.*, 18, 117-132.
- 8) Saffel R.A., Marshall B. (1983) - «Computer control of temperature in a glasshouse». *J. Agr. Eng. Res.*, 28, 469-477.
- 9) Serra G. (1989) - «Sistemi di automazione e controllo gestionale in serra». *Culture Protette*, 18, (7), 57-61.
- 10) Sottovia D. (1989) - «I vantaggi dell'automazione nelle serre». *L'Informatore agrario*, 45, (20), 61-69.
- 11) Udink Ten Cate A.J., Bot G.P.A., Van Dijkhoorn J.J. (1978) - «Computer control of greenhouse climates». *Acta Horticulturae*, 87, 265-272.
- 12) White R.A.J., Olsen B.G. (1978) - «Programmable calculator control of greenhouse environments». *Acta Horticulturae*, 87, 273-279.