

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE  
Istituto di Biometeorologia

**SISTEMI INTEGRATI  
PER IL MONITORAGGIO AMBIENTALE  
E IL SUPPORTO  
ALLA GESTIONE DELLE RISORSE**

*Componenti, procedure e prospettive*

A cura di  
Antonio Raschi  
Claudio Conese  
Piero Battista

2016



CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE  
Istituto di Biometeorologia

---

SISTEMI INTEGRATI  
PER IL MONITORAGGIO AMBIENTALE  
E IL SUPPORTO  
ALLA GESTIONE DELLE RISORSE

---

*Componenti, procedure e prospettive*

A cura di  
Antonio Raschi  
Claudio Conese  
Piero Battista

2016

**Comitato di redazione:**

Piero Battista, Bernardo Rapi, Maurizio Romani

CNR-IBIMET

Area della Ricerca di Firenze

Via Madonna del Piano 10

50019 Sesto Fiorentino (FI)

Email: [info@biofuturo.net](mailto:info@biofuturo.net)

**Pubblicato da**

CNR – IBIMET

Via Giovanni Caproni 8

50145 Firenze

**ISBN 9788895597324**

Copyright © 2016 by Istituto di Biometeorologia – Consiglio Nazionale delle Ricerche

ebook – distribuito con licenza



CCreative Commons Attribuzione- Non commerciale- Non opere derivate 4.0 Internazionale.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le fotocopie effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale, possono essere effettuate a seguito di specifica autorizzazione rilasciata da CLEARedi, Centro Licenze e Autorizzazioni per le Riproduzioni Editoriali ([www.clearedi.org](http://www.clearedi.org); e-mail [autorizzazioni@clearedi.org](mailto:autorizzazioni@clearedi.org)).

## 2.8

### STRUMENTI E PROCEDURE DI SUPPORTO PER SERRE A BASSA E MEDIA TECNOLOGIA.

**Battista P.<sup>(1)</sup>, Rapi B.<sup>(1)</sup>, Romani M.<sup>(1)</sup>, Sabatini F.<sup>(1)</sup>, Carmassi G. <sup>(2)</sup>, , Incrocci L.<sup>(2)</sup>,  
Massa D.<sup>(3)</sup>, Pardossi A.<sup>(2)</sup>**

1 CNR - Istituto di Biometeorologia, via Madonna del Piano 10, Sesto Fiorentino (FI)

2 UNIFI - Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali (DiSAAA-a), Pisa.

3 CREA - Unità di Ricerca per il Vivaismo e la Gestione del Verde Ambientale ed Ornamentale, via dei Fiori 8, Pescia (PT)

#### 2.8.1 INTRODUZIONE

In ambito europeo, le superfici coperte da serre e tunnel sono rapidamente aumentate negli ultimi quindici anni, con alcune differenze in termini tecnologici tra l'area mediterranea (Baudoin, 1999) e i paesi del Nord (La Malfa e Leonardi, 2001; Castilla, 2002; Castilla et al., 2004). Concorrenzialità, ottimizzazione delle risorse e sostenibilità, tuttavia, sono elementi chiave per la produzione di qualità in ambiente controllato, sempre più dipendente dall'adozione di procedure e tecnologie ad alta efficienza (Madden, 2013; Hemming, 2015; Oliveira et al., 2016). Queste esigenze sono ancora più marcate in quelle aree nelle quali, per trarre il massimo vantaggio dalla mitezza del clima, dalla disponibilità idrica e dalla facilità dei collegamenti, l'orticoltura protetta è condotta in ambienti sensibili e fragili, come quelli costieri.

Dove la sfida tecnologica è stata accettata (Olanda, Australia, Spagna e Giappone, ad esempio), negli ultimi anni sono stati investiti ingenti capitali nella ricerca e nell'innovazione, con grande determinazione e fiducia in un settore che ha in sé le potenzialità per dare risposte concrete e positive a molti dei problemi che affliggono l'agricoltura contemporanea (AA.VV., 2013), promuovendone, tra l'altro, la progressiva trasformazione in un sistema d'impresa di tipo industriale (CIS, 2012). Mentre in queste zone si vanno quindi affermando sistemi produttivi ad alta efficienza, con serre di grandi dimensioni, impianti di controllo e gestione automatizzata del clima, della nutrizione e dei presidi fitosanitari, in altre si preferisce puntare su criteri produttivi e metodologie più tradizionali, mantenendo basse cubature, ridotti livelli di controllo e frequenti trattamenti chimici. Questi sistemi *low-tech*, ancora prevalenti in Italia, sono in parte giustificati da valutazioni economiche che nella maggior parte dei casi inducono a stimare ritorni limitati rispetto agli investimenti richiesti, almeno nel breve e medio periodo (Baille et al., 1994; Baille, 1999; Baille, 2001; Pardossi et al. 2004; De Pascale e Maggio, 2005).

Con il tempo, pertanto, il divario tecnologico tra queste realtà (*high-tech e low-tech*) si è accresciuto, con importanti contraccolpi in termini di capacità di risposta ai mercati e di reazione alle mutate condizioni socio-economiche, politiche e ambientali che impongono il rispetto di norme sempre più severe e restrittive (Stanghellini et al., 2003; Stanghellini et al., 2005). Per colmare lo scarto esistente tra potenzialità e realtà produttiva in tempi rapidi, i sistemi a bassa tecnologia dovrebbero seguire la strada dei grandi investimenti, aggiornando apparecchiature, metodologie e personale (<https://ag.umass.edu/fact-sheets/starting-greenhouse-business>). Questo percorso, tuttavia, appare difficilmente praticabile, almeno per il momento, a causa anche della sfavorevole congiuntura economica e delle incertezze derivanti dalla concorrenza dei paesi emergenti.

Un'alternativa possibile consiste nell'intervenire in maniera graduale, iniziando con inserire le apparecchiature e le strutture esistenti in network locali, traendo il massimo vantaggio possibile dai più recenti sviluppi tecnologici dei settori trainanti, come l'ICT (*Information and Communication*

*Technologies*), e recuperando almeno parte del terreno perduto, tramite interventi che comportino soltanto una minima alterazione della struttura produttiva. Questa strada implica una valutazione attenta della condizione esistente e delle opportunità reali offerte da soluzioni di livello tecnologico appropriato, che permettano il massimo controllo possibile per ciascuna realtà e la progressiva automazione dei processi.

Si tratta, in sintesi, di attivare sistemi di supporto integrati di tipo modulare, che si pongano a metà strada tra la gestione tradizionale, a bassa tecnologia, e quella Hi-tech, con l'obiettivo di assicurare agli agricoltori un buon livello di concorrenzialità e una piattaforma per il rilancio tecnologico della propria realtà produttiva. Nel presente lavoro sono riportate alcune soluzioni messe a punto nel quadro di progetti di ricerca e sviluppo, di attività di collaborazione e consulenza che hanno coinvolto personale del Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali (DiSAAAa-UNIFI) di Pisa, del CREA di Pescaia e dell'Istituto di Biometeorologia (CNR-IBIMET) di Firenze. Tra i principali temi affrontati dall'unità di ricerca nel corso di questi ultimi anni, si ricordano in particolare:

- Definizione di metodologie e strumenti per il rispetto delle direttive comunitarie in tema di uso delle risorse e salvaguardia ambientale (Bacci et al., 2009; Battista et al., 2013);
- Messa a punto e validazione di modelli produttivi, fenologici e fitosanitari (Bacci et al., 2012; Bacci et al., 2013a; Romani et al., 2012);
- Sviluppo di sistemi per il controllo automatico e l'ottimizzazione delle pratiche irrigue e fertirrigue (Bacci et al., 2010; Bacci et al., 2013b; Carmassi et al., 2003; Incrocci et al., 2012);
- Integrazione di sistemi di supporto alla gestione di serre a basso contenuto tecnologico, tramite l'interfacciamento con le apparecchiature preesistenti (Battista et al., 2012b);
- Supporto all'individuazione e alla valutazione di soluzioni innovative ICT, di particolare interesse operativo per la produzione in serra (Battista et al., 2012 a, b; Battista et al., 2015).

## 2.8.2 STUDIO E SVILUPPO DI UN SISTEMA DI SUPPORTO PER SERRE A BASSA E MEDIA TECNOLOGIA

Generalmente, l'idea di produzione agricola in ambiente controllato è associata a quella dell'uso di strumenti molto avanzati, con rigide procedure gestionali di tipo industriale, se non addirittura con elevati gradi di automazione e apparecchiature robotiche. Su questa linea si sono infatti mossi molti tra i progetti europei più interessanti, nei quali sono state proposte e valutate nuove soluzioni per la gestione integrata delle produzioni in serra (es. GHIS, FLOW-AID, GREENERGY, HORTIMED, Future Farmm2, CROPS3).

Uno dei passaggi comunemente richiesti per il raggiungimento di un elevato grado di autonomia è quello di dotare la struttura produttiva di sistemi per il monitoraggio ambientale, in grado di raccogliere le informazioni di base richieste e dare indicazioni accurate sul corretto uso delle apparecchiature esistenti (condizionatori, ventilatori, finestrate, ecc.). Nella fase iniziale del processo d'innovazione tecnologica, diversi fattori rimangono sotto il controllo e la responsabilità diretta del personale e degli esperti locali che, tuttavia, confrontandosi con le nuove tecnologie, iniziano ad interagire con i principi e le logiche dei sistemi di supporto, all'interno dei quali sono progressivamente trasferite le conoscenze operative richieste.

Questo è stato l'approccio seguito nell'ambito del progetto SWIFF (Sistema Wireless per il controllo Integrato di varie Funzioni in ambito Florovivaistico) per la realizzazione del sistema prototipale con il quale si è inteso dare coerenza funzionale ai risultati di alcuni progetti di ricerca precedenti (IDRI, ECO.IDRI.FLOR).

Il sistema SWIFF è stato progettato per rispondere alle necessità di flessibilità ed espandibilità dei sistemi gestionali del settore florovivaistico, nell'ottica di un utilizzo polivalente all'interno di strutture operative pre-esistenti. Per tale motivo, una delle caratteristiche fondamentali del sistema è rappresentata dalla modularità, che permette l'inserimento in fasi successive di ulteriori elementi, sensori e attuatori, definito dall'utente in funzione delle esigenze operative. Si tratta, a tutti gli effetti di una "soluzione modulare", realizzata dalla Società Teckna Sistemi S.r.l., nella quale le componenti hardware sono in grado di giocare diversi ruoli, in funzione dell'ambiente produttivo nel quale

devono essere inserite. La rete di monitoraggio e controllo (sensori, trasmettitori e attuatori), infatti, può essere configurata per acquisire e gestire i parametri meteo-ambientali (temperatura e umidità dell'aria, temperatura e umidità del suolo, radiazione solare, salinità, pH, ecc.), ma anche per intervenire direttamente sulle apparecchiature presenti nell'ambiente che s'intende controllare (Al-Audidy et al., 2014).

Lo schema a blocchi di figura 2.61 mostra gli elementi principali di questo sistema modulare, la cui configurazione viene a dipendere dalle esigenze operative e dagli interessi dell'utente finale.

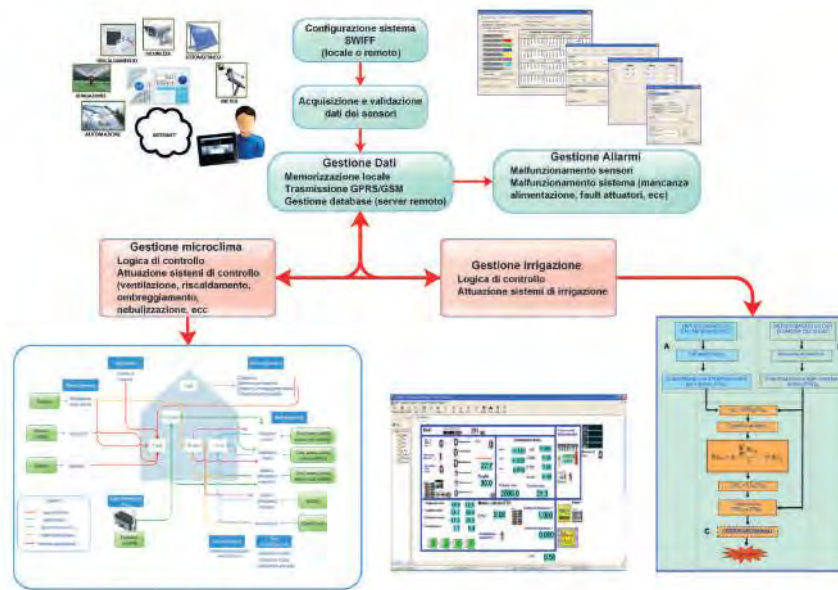


Fig. 2.61 - Schema a blocchi delle principali componenti del Sistema di Supporto alla Gestione della Serra, con indicazione dell'interdipendenza dei moduli e della scalabilità dell'intervento di aggiornamento e potenziamento, da definire in funzione delle esigenze dell'utente finale.

### Componenti hardware

Il sistema prevede una centralina di rilevamento e raccolta delle informazioni provenienti dai vari moduli I/O, che si interfaccia con il centro di controllo remoto e permette la gestione, tramite

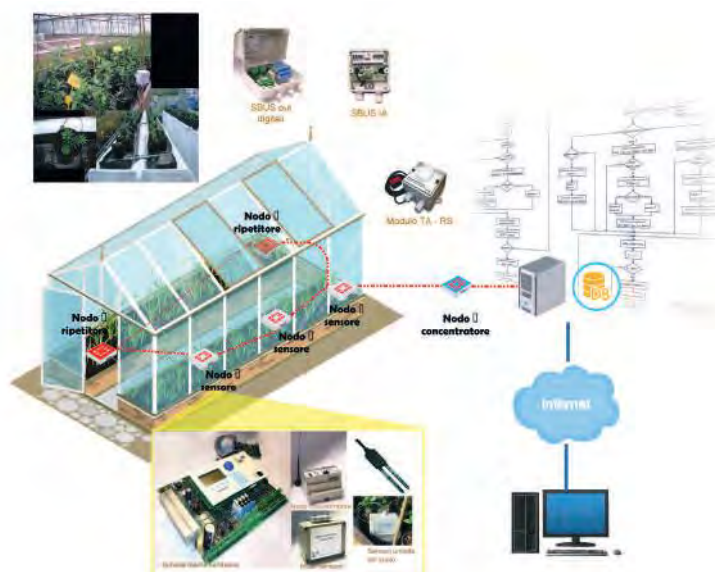


Fig. 2.62 - Componenti HW del sistema SWIFF e loro funzioni.

attuatori, di varie attività presenti in serra. Le principali componenti del sistema sono riportate in figura 2.62 e di seguito elencate in dettaglio.

1. **Unità centrale di controllo (Master), costituita da:**
  - scheda madre (configurazione di base con 8 ingressi analogici a 12 bit configurabili, 4 uscite digitali (relè), 4 ingressi digitali (counter));
  - alimentazione modulare del sistema:  $V_{in}=24\text{ Vcc} / 18\text{ Va}$ ;
  - connessioni RS-232, Ethernet, RS-485, modem GSM/GPRS
  - display + tastiera per visualizzazioni e modifiche alla configurazione in locale;
  - espandibilità ingresso/uscite attraverso nodi slave su bus RS-485 e S-BUS: moduli Wireless (max 64), moduli S-BUS (max 128).
2. **Moduli SBUS (Slave):** sono delle unità *slave* che rispondono alle richieste del *master*, comunicando tramite S-BUS lo stato degli ingressi o aggiornando le uscite digitali con il valore ricevuto dal *master*. Ai moduli possono essere collegati diverse tipologie di sensori (temperatura e umidità dell'aria, temperatura e umidità del suolo, potenziale idrico, ecc.).
3. **Modulo SBUS "output digitale":** per la gestione remota degli attuatori e il controllo delle elettrovalvole.
4. **Moduli Wireless (Slave):** acquisisce il valore di una grandezza fisica e lo comunica al Concentratore Radio secondo le modalità impostate in configurazione. La comunicazione radio avviene nelle bande ISM a 433MHz su 16 possibili canali spazati di 100 kHz da 433.2 a 434.7 MHz. Anche a questi moduli possono essere connessi diversi tipi di sensori, a seconda delle esigenze di monitoraggio.
5. **Concentratore radio:** dispositivo che connesso alla scheda madre permette l'acquisizione dei dati di 8 sonde radio.
6. **Sensoristica:** I sensori richiesti possono anche essere collegati direttamente agli ingressi analogici della scheda madre, dei moduli s-bus e wireless, con la sola condizione che questi soddisfino gli standard di trasmissione e alimentazione.

Ciascun sensore, inoltre, può essere predisposto per la trasmissione via radio (moduli wireless) o via cavo (moduli SBUS), in modo da rispondere alle esigenze locali privilegiando di volta in volta praticità e maneggevolezza oppure affidabilità e robustezza. In accordo con le funzioni inserite nel proprio firmware, oltre alle normali azioni di acquisizione e trasmissione dei dati, il sistema può gestire, in maniera autonoma o coordinata, diverse attività definite dall'utente in base alle proprie esigenze o priorità. Tra queste, le principali funzioni sono:

- controllo microclimatico (on/off di apparati specifici, quali ventilatori, termoconvettori, ecc.);
- gestione dell'irrigazione e della fertirrigazione (on/off di impianti irrigui);
- gestione illuminazione aggiuntiva e integrazione radiativa (on/off di apparati specifici).

### Componenti software

Una prima interfaccia utente è stata realizzata a partire dal software gestionale della Società Teckna Impianti S.r.l (STR3000), in grado di assicurare sia l'impostazione dei parametri di configurazione del sistema, sia una rapida consultazione e scambio di informazioni con il DataBase.

Nel corso della prima fase di sviluppo, per la visualizzazione e presentazione delle uscite numeriche e grafiche è stata adottata una procedura mista, che completava le funzioni di STR3000 con moduli specifici. Parametri meteorologici e micrometeorologici esterni e interni, disponibilità idrica e nutrizionale, esigenze manutentive e stato dei vegetali, potevano essere monitorati e valutati attraverso specifiche componenti interattive raggiungibili da un pannello di controllo (Fig. 2.63).

Le varie funzioni del Sistema sono state sottoposte a verifica operativa nell'ambito di programmi sperimentali e i risultati sono stati discussi con gli operatori del settore nel quadro di progetti di trasferimento tecnologico come SWIFF e MOSAIC 3P (Sistema per il Monitoraggio delle Serre e la programmazione delle Attività produttive In ambiente Controllato – Progetto Pilota Pomodoro, <http://www.mosaic3p.net/>).





Fig. 2.63 - Schermate del software STR3000: configurazione del sistema e visualizzazione dei dati.

### 2.8.3 ATTIVITÀ DI SPERIMENTAZIONE E VERIFICA

Il sistema, sviluppato nel corso degli anni, integra una serie di modelli in grado di lavorare con dati orari e sub-orari, per la valutazione di elementi ambientali, biologici e gestionali. Il controllo dei parametri ambientali e degli altri fattori della produzione è funzionale alla crescita delle piante e alla produzione, ma per poter essere considerato “ottimale” deve rispettare precisi criteri di ordine economico, ambientale e pratico. Le apparecchiature, pertanto, devono essere gestite in maniera coerente, per concorrere al raggiungimento degli obiettivi prefissati. Nel sistema, un ruolo chiave nella gestione integrata della serra è giocato dalla componente modellistica, che consente di pesare in tempo reale l’azione combinata dei vari fattori sulla crescita e produzione delle piante e/o sulla realtà produttiva d’interesse. In questo contesto, elemento chiave di tutto il sistema di supporto è il modello usato per simulare la risposta delle piante al mutare delle condizioni di crescita. Volendo mantenere un approccio schematico alla presentazione e discussione dei risultati conseguiti, tralasciando gli elementi ordinari, vediamo quali sono gli aspetti più controversi e innovativi affrontati nel corso delle sperimentazioni.

#### Caratterizzazione ambientale

In mancanza di efficienti impianti di condizionamento, qualunque sia la dimensione della serra e la struttura della rete di monitoraggio della quale dispone, l’utente finale dovrà gestire una certa variabilità dei principali parametri ambientali (temperatura, radiazione, ecc.), con inevitabili conseguenze sulla omogeneità delle condizioni di crescita e sulla generale validità delle scelte tecnico-operative.

I dati microclimatici raccolti possono, quindi, essere usati in modo diretto, per valutare azioni tese ad uniformare le condizioni di crescita, oppure in forma indiretta, tramite analisi spaziali e proiezioni che consentono stime più precise sugli effetti attesi dai singoli interventi. Anche in serre di dimensioni ridotte, infatti, si possono registrare differenze rilevanti delle condizioni microclimatiche, sia in senso verticale (dal piano dei bancali fino alla massima altezza di sviluppo dei vegetali) sia in senso orizzontale (dal centro ai lati della serra). Tali disomogeneità si concretizzano nell’instaurarsi di gradienti, in particolare termici, più o meno stabili, con scarti d’entità variabile nel corso del tempo. L’attività gestionale dovrà tendere quindi a uniformare la quantità di ore trascorse in condizioni

favorevoli allo sviluppo delle piante, prevenendo condizioni di stress che si possono verificare al superamento di determinate soglie.

In una serra con orientamento nord-sud, ad esempio, l'analisi dei dati di sensori di temperatura posti a stella (con quattro nodi-sensori laterali ad una distanza di circa 7 metri dal nodo-sensore centrale) e su due livelli (a 1 m e 2.6 m dal suolo), ha messo in evidenza gradienti di temperatura legati all'inerzia termica delle zone, influenzate anche dalla densità della vegetazione, con picchi massimi in corrispondenza delle condizioni di massima radiazione. Queste differenze sono dovute principalmente alle condizioni interne alla coltura e in particolare alla copertura fogliare, che influenza la quantità di radiazione che penetra negli strati più bassi, creando un forte gradiente termico verticale.

Le differenze tra i valori di temperatura, in termini percentuali, si sono mantenute piuttosto costanti nel corso del ciclo culturale (aprile-settembre), mentre in termini assoluti i gradienti maggiori si sono osservati in giorni di cielo sereno, nel periodo di massimo sviluppo vegetativo (luglio). In ogni caso, il numero di eventi con gradiente verticale superiore a 10 °C è percentualmente molto poco rappresentativo (Tab. 2.22).

Gradiente verticale Ta max (2.6 m) – Ta min (1 m)		Gradiente termico orizzontale alla quota di 1 m (Ta max–Ta min)		Gradiente termico orizzontale alla quota di 2.6 m (Ta max–Ta min)	
Classe (°C)	%	Classe (°C)	%	Classe (°C)	%
5 <	71	5 <	80	5 <	88
5 – 10	25	5 – 10	18	5 – 10	9
> 10	4	> 10	2	> 10	3

Tab. 2.22 - Percentuale di valori orari afferenti a ciascuna classe di differenza termica ( $Max_{t_i} - Min_{t_i}$ ) nel corso di un anno, rilevata all'interno della serra tra i due livelli (gradiente termico verticale) e nell'ambito dello stesso livello (gradiente termico orizzontale a 1 m e 2.6 m).

Se si considerano i valori medi dell'intero periodo, i gradienti termici orizzontali osservati nel livello inferiore B (altezza 1 m) sono stati maggiori di quelli registrati nel livello superiore A (altezza 2.6 m), e sono riconducibili in larga misura ad una disomogeneità nella copertura vegetale (Fig. 2.64).

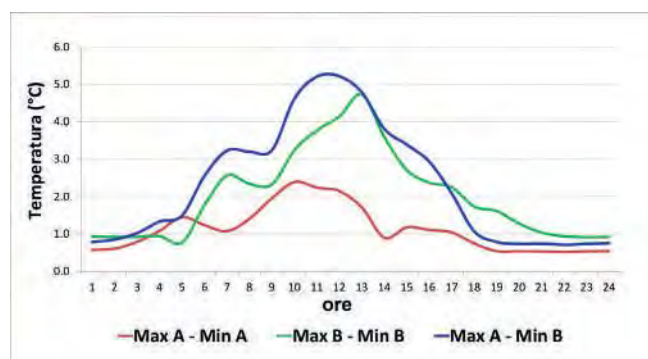


Fig. 2.64- Andamento orario delle differenze tra i valori massimi e minimi registrati nel corso del periodo sperimentale, ai due livelli (B - basso = 1 m; A - alto = 2.6 m) e all'interno di uno medesimo livello:

Max A - valore massimo livello alto; Min A - valore minimo livello alto;  
Max B - Valore massimo livello basso; Min B - valore minimo livello basso.

Nel caso in esame, le differenze tra i valori cumulati che derivano dell'uso di dati raccolti in punti diversi sono contenute entro i 2.5 °C nel livello superiore, mentre divengono più marcate in quello inferiore (4.7 °C). Se a ciascun punto di monitoraggio si associa un valore di temperatura ottenuto come media delle temperature misurate dai sensori posti ai due livelli (alto e basso), le differenze massime registrate si mantengono intorno al 5 %, riducendosi ulteriormente all'interno dell'area effettivamente messa a coltura. La significatività e il peso di queste differenze spingono a

sollecitare una maggiore attenzione da parte degli operatori del settore verso il mantenimento di condizioni di crescita omogenee, raggiungibili soltanto con una buona conoscenza delle dinamiche che si instaurano nell'ambiente di produzione. Tali informazioni consentono al sistema automatico di avere un quadro preciso della variabilità spaziale dei singoli fattori e, tramite i modelli fenologici e produttivi, sullo stato dei vegetali e sulle relative esigenze gestionali.

## Consumi idrici e irrigazione

### Metodi basati sui sensori di umidità del suolo e micrometeorologici

Nei vari contesti produttivi nei quali si utilizza l'irrigazione a ciclo aperto (*open-loop*), l'introduzione di sistemi semplici di controllo basati su sensori d'umidità del suolo ha consentito risparmi netti di acqua e nutrienti del 30-50 %, rispetto alla migliore gestione possibile con temporizzatori regolati da esperti (Bacci, et al., 2005; Farina, 2004 a, b). Tuttavia, l'uso di soglie d'irrigazione basate sull'umidità misurata da uno o pochi sensori non può essere ritenuta sufficientemente rappresentativa da poter gestire autonomamente impianti produttivi di grandi dimensioni e ad alto valore commerciale. Tra i fattori critici si sono registrati malfunzionamenti e "derive" dei sensori, superabili soltanto con l'introduzione di "controlli software" e "sistemi tampone", fondati su principi e criteri multilivello.

Malgrado la superiorità dei sistemi di controllo dell'irrigazione basati sull'umidità del terreno rispetto ai timer, infatti, anche questi devono essere sottoposti a verifiche ed analisi, che ne accertino il corretto funzionamento e la reale rappresentatività rispetto alle condizioni della coltura. Si tenga presente, ad esempio, che i sensori utilizzati rilevano l'umidità presente in un intorno molto ridotto (pochi cm<sup>3</sup>) rispetto alle reali dimensioni del contenitore e che l'accrescimento radicale modifica continuamente lo stato del sistema suolo/substrato-pianta che s'intende osservare.

Confrontando le stime di evapotraspirazione reale (ETR) ottenute dai dati dei sensori di umidità del suolo (ETRt) con le misure dirette effettuate tramite bilance di precisione (ETRb), si possono osservare comportamenti diversi nel corso del tempo, legati appunto alle dinamiche in atto nel sistema suolo-pianta-atmosfera. In figura 2.65 sono riportati gli andamenti dei valori orari cumulati di evapotraspirazione misurata (ETRb, linea nera) e stimata (ETRt, linea blu) tra due eventi irrigui per piante di due anni di *Hypericum hidcote*, poste in vasi da 6 L, nel corso di varie fasi di sviluppo, per le tesi A e C gestite da tensiometri. Il confronto sembra indicare una buona capacità dei sensori di seguire le variazioni del contenuto idrico, ma se analizziamo le relazioni tra i valori orari di ETRb e ETRt nei singoli mesi di luglio e agosto, si può notare una progressiva sottostima della perdita di acqua, specialmente per la tesi A, con un valore del coefficiente angolare che varia da 0.918 a 0.715 (Bacci et al., 2008).

Dall'osservazione degli andamenti, confermati nel corso di numerose campagne di misura, appare evidente che, anche in assenza di problematiche particolari, i sensori di umidità del terreno non sono sempre in grado di garantire una buona stima dell'evapotraspirazione e quindi un soddisfacente controllo dell'irrigazione. Mantenendo i sensori nella medesima posizione, ritenuta rappresentativa della condizione media del vaso, la relazione statistica tra dati stimati e misurati, che pure si mantiene altamente significativa se si considerano i valori tra due interventi irrigui, cambia nel corso del loro ciclo, rischiando di perdere di validità per piante e vasi molto grandi.

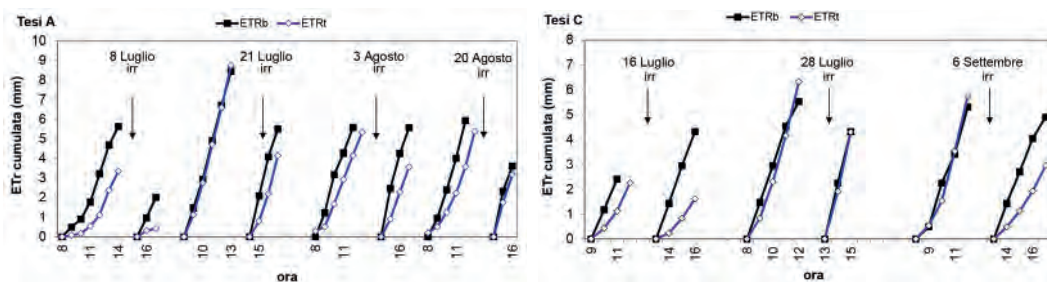


Fig. 2.65 - Andamento dei valori cumulati di evapotraspirazione tra due eventi irrigui o tra un evento e la fine della giornata di misure, per sette giorni (tesi A, 4 giorni; tesi C, 3 giorni) rappresentativi della stagione di crescita: ETRb (linea nera); ETRt (linea blu).

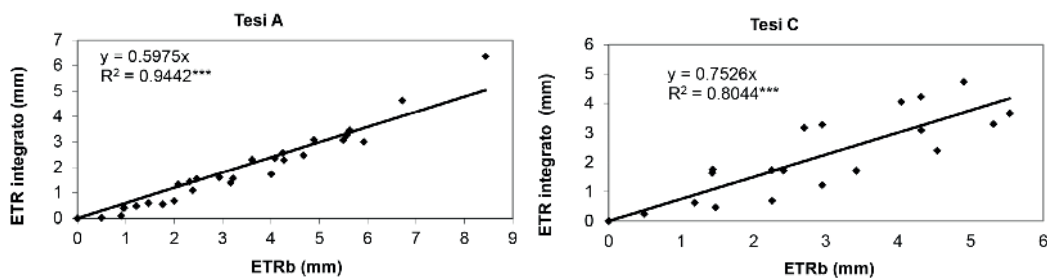


Fig. 2.66 - Relazione tra i valori orari cumulati di ETRb (bilancia) e di ETR integrato per le due tesi.

Tali problematiche possono essere superate con un modello integrato in grado di effettuare un bilancio idrico che tenga conto del comportamento dell'acqua nel substrato, dello sviluppo delle piante e delle condizioni ambientali (Bacci et al., 2008). Infatti adottando specifici criteri nell'ambito di un sistema che prevede l'impiego combinato di sensori di misura dell'umidità del suolo (*Soil method*) e di un modello di stima dell'ETR a partire da dati meteorologici (*Climate method*), è possibile migliorare le stime di evapotraspirazione reale, ottenendo un dato (ETR integrato) che si avvicina ai valori misurati dalla bilancia ETRb (Fig. 2.66). Le misure del contenuto idrico del suolo, oltre a rappresentare uno dei parametri guida dell'irrigazione, sono utilizzate dal sistema per la stima dei valori di ETR che, insieme ai valori stimati di ETo, permettono il calcolo del coefficiente culturale (Kc) della specie oggetto di studio (Bacci et al., 2008). In fase operativa il confronto tra i valori di ETRt e ETR integrato permette di verificare il corretto funzionamento dei sensori.

#### Metodo basato sull'indice di area fogliare

Nell'ambito del progetto MOSAIC 3P, finalizzato alla messa a punto di un sistema di supporto alla gestione del pomodoro in serra, per la stima dei consumi idrici orari è stato invece implementato un modello basato sui dati micrometeorologici e sull'indice di area fogliare (LAI), che ha consentito di ottenere stime ritenute soddisfacenti (Baille et al., 1994; Battista et al., 2012a):

$$CnH2O_j = ETR * (1+LF)/K_i \quad (L \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1})$$

dove

- CnH2O consumo idrico al metro quadro dell'ora j-esima (L m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>)
- LF percentuale di lisciviazione (es. = 0.2)
- Ki efficienza impianto irriguo  
(es. = 0.95 irrig. a goccia, 0.8 aspersione, 0.7 irr. a solchi)
- ETR evapotraspirazione oraria delle piante a metro quadro (kg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>)

con

$$ETR=A*Rad (1-\exp(-k*LAI))/\lambda + B*LAI*VPD$$

dove

- Rad radiazione solare oraria interna alla serra (MJ m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>)
- LAI indice di area fogliare (m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>)
- VPD deficit di pressione orario (kPa)
- A coefficiente adimensionale; per il pomodoro in condizioni di serra mediterranea A = 0.58
- B coefficiente; per il pomodoro in condizioni di serra mediterranea B=0.025 kg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> kPa<sup>-1</sup>
- K coefficiente di estinzione della luce della canopy, pari a 0.69
- λ calore latente di evapotraspirazione, pari a 2.45 MJ kg<sup>-1</sup>

Anche in questo caso la capacità del modello di seguire la traspirazione a scala oraria varia in funzione della cultivar e durante il ciclo produttivo, risultando fortemente influenzata dalle condizioni ambientali (Fig. 2.67).

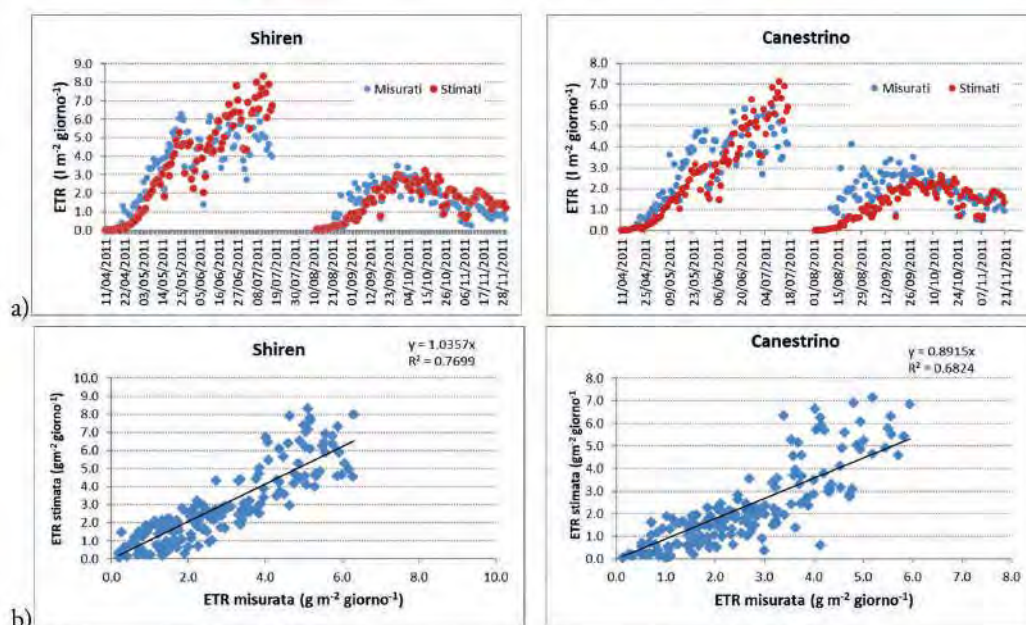


Fig. 2.67- a) Stima dell'ETR nel corso di due cicli di crescita (primavera-estate e estate-autunno) per due varietà di pomodoro (Shiren e Canestrino) e b) Relazioni tra dati stimati e misurati di ETR.

Osservando l'andamento dei dati reali e stimati nel corso di due cicli produttivi consecutivi (primavera-estate; estate-autunno), si può rilevare come il modello sia stato in grado di cogliere le risposte legate alle diverse condizioni ambientali (temperatura e radiazione), senza tuttavia mostrare la sensibilità necessaria per seguire le variazioni giornaliere o le differenze di fase.

Come si può rilevare dagli andamenti mostrati, anche se nel complesso le relazioni possono essere considerate soddisfacenti, una gestione professionale dell'irrigazione basata su questi sistemi richiede almeno un controllo periodico dei consumi idrici reali, con interventi correttivi che permettano un riallineamento dei valori stimati rispetto a quelli misurati, in modo da evitare pericolose derive del sistema.

### Crescita e produzione

Per il controllo sulla crescita e la stima delle produzioni un crescente interesse viene suscitato dai modelli integrati, in grado di simulare lo sviluppo delle piante, i loro fabbisogni e talvolta la qualità finale dei prodotti. Nell'ambito del progetto MOSAIC 3P, per il pomodoro, sono stati messi in relazione un modello traspirativo (Baile et al., 1994), un modello per la stima dell'assorbimento dei nutrienti (Massa et al., 2013) e un modello di simulazione della crescita e stima della produzione del pomodoro denominato TOMGRO (Jones et al., 1991; Jones et al., 1999), modificato per tener conto dell'effetto delle alte temperature (Vallejos et al., 1997) e corretto al fine di ottenere una stima più precisa dei nodi e della superficie fogliare (Bacci et al., 2012).

Le prove sperimentali necessarie per la calibrazione e la valutazione dei modelli di previsione sono state eseguite nel periodo aprile – novembre 2011 presso le strutture del DiSAAA-a di Pisa, all'interno di una serra con copertura in vetro, dotata di impianto di riscaldamento con aerotermini, sistemi automatici di ventilazione e ombreggiamento, impianto di fertirrigazione e sistema di coltivazione fuori suolo. Nel corso del periodo sperimentale sono stati eseguiti quattro cicli

produttivi, tre brevi (100 giorni) rispettivamente sulle varietà di pomodoro da mensa Caramba (ibrido F1), Canestrino e Shiren (ibrido F1) e uno lungo (224 giorni) sulla varietà Caramba. In tabella 2.23 sono mostrati i risultati ottenuti dall'applicazione del modello TOMGRO modificato (Bacci et al., 2012), per la stima di alcuni parametri d'interesse operativo: numero di nodi, indice di area fogliare (LAI), biomassa (W) e peso dei frutti (WF) (Battista et al., 2012a).

Al di là di considerazioni di tipo modellistico o teorico, dal punto di vista pratico i tre indici statistici utilizzati per l'analisi della regressione lineare, confermano la validità del modello TOMGRO modificato nella stima di tutti i parametri richiesti, seppure con qualche differenza:

- RMSE (radice dell'errore quadratico medio; Fox 1981), sensibile ai valori estremi per dataset piccoli; stima ideale per valori uguali a zero;
- EF (Efficienza del modello; Greenwood et al., 1985), valore ideale pari a 1; alcune criticità sono state rilevate nella stima della biomassa totale prodotta;
- CRM (Coefficiente di massa residua; Loague & Green 1991), espressione della tendenza di un modello a sovrastimare (valori negativi) o sottostimare (valori positivi). Il modello ha sempre prodotto valori molto prossimi alla condizione reale, mantenendo una leggera sottostima per tutte le grandezze.

Parametro	no.	Exp	Indici statistici per la valutazione dell'efficienza del modello				
			a	R <sup>2</sup>	RMSE	EF	CRM
Nodi	7	CR	0.967	0.998***	0.733	0.988	0.033
	7	SH	1.052	0.998***	1.364	0.976	-0.054
	7	CN	1.112	0.996***	2.968	0.865	-0.106
	7	CRcl	1.088	0.994***	1.908	0.921	-0.079
LAI	6	CR	1.023	0.981***	0.196	0.981	-0.061
	6	SH	1.012	0.986***	1.364	0.976	-0.054
	6	CN	1.053	0.995***	0.103	0.987	-0.071
	6	CRcl	1.012	0.993***	0.137	0.993	-0.013
W	6	CR	1.020	0.965***	145.4	0.852	-0.109
	6	SH	1.260	0.927**	582.9	-1.482	-0.826
	6	CN	0.972	0.979***	46.2	0.976	0.069
	9	CRcl	0.883	0.966***	175.6	0.944	0.09
WF	12	CR	1.015	0.992***	15.15	0.991	-0.014
	7	SH	0.996	0.989***	9.272	0.990	-0.008
	12	CN	0.975	0.997***	7.748	0.995	0.010
	24	CRcl	0.974	0.987***	49.24	0.986	0.015

Tab. 2.23 - Parametri delle rette di regressione e indici statistici calcolati per il confronto tra valori misurati e stimati dalla versione modificata del modello TOMGRO di: Nodi; Indice di area fogliare ((LAI), Sostanza Organica (W) e Sostanza Secca Frutti (WF) nel corso di quattro diverse prove: CR = Caramba; SH= Shiren; CN=Canestrino; CRcl = Caramba ciclo lungo. (\*\*\* P<0.001; \*\* P<0.01; \*P<0.05). Indici statistici: RMSE = Radice dell'errore quadratico medio; EF = Efficienza del modello; CRM = Coefficiente di massa residua.

La figura 2.68 mette in evidenza come il modello di crescita TOMGRO modificato sia stato in grado di seguire in maniera soddisfacente non soltanto la produzione media della biomassa, ma anche le variazioni legate alla diversa efficienza delle piante nelle varie condizioni ambientali. Confrontando i risultati delle simulazioni con i dati reali di produzione per la Cv. Caramba (Fig. 2.68 a, b), nel corso di due cicli produttivi (100 e 240 giorni), si può notare come il modello abbia fornito stime piuttosto precise e coerenti con i dati ambientali, seguendo sia la parte di sviluppo della pianta e incremento dell'efficienza, nella fase di aumento della superficie fogliare, sia la progressiva riduzione del tasso di crescita dovuta prevalentemente al peggioramento delle condizioni ambientali (temperature più fredde e riduzione della radiazione).

Analizzando i risultati delle simulazioni con i dati di produzione ottenuti dai campionamenti distruttivi (calibrazione) e da tutte le piante presenti nei bancali, il modello si è mostrato in grado di effettuare stime piuttosto precise e coerenti con i dati ambientali per il ciclo corto mentre per il ciclo lungo mostra una

leggera sovrastima (Fig. 2.68 c, d).

La validità dei risultati ottenuti spinge ad approfondire il grado di affidabilità del sistema nel produrre informazioni in forma previsionale, di maggiore interesse operativo rispetto a quelli real-time. Per tener conto dell'inevitabile incertezza legata a questo tipo di modellistica, la soluzione ritenuta più efficace è stata quella di ipotizzare diversi scenari, analizzandone i risultati dal migliore al peggiore, per dare indicazioni di tipo statistico da sottoporre all'attenzione degli esperti. In figura 2.69 sono mostrati, per i due cicli della cultivar Caramba, i range di produzione stimati a 10, 20 e 30 giorni: fascia compresa all'interno delle linee relative ai dati stimati di produzione minima (Prodmin) e produzione massima (Prodmax). Nel complesso l'errore commesso nelle stime di produzione cresce all'aumentare del periodo previsionale e si mostra più alto all'inizio del ciclo, quando la quantità di biomassa prodotta è ancora limitata e i dati generati pesano in maniera più significativa sulle stime.

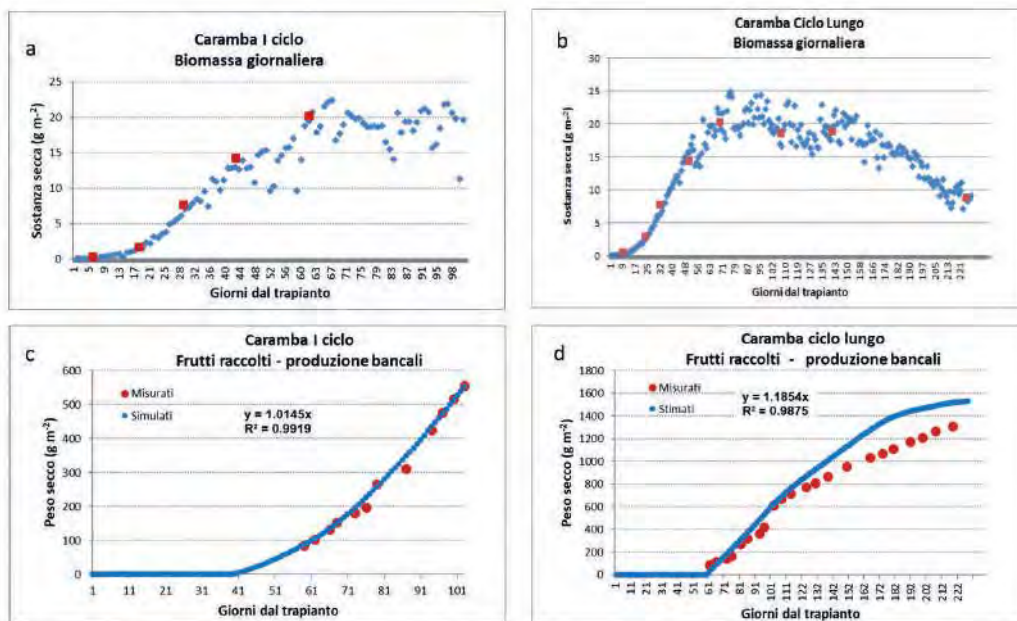


Fig. 2.68 - Confronto tra valori stimati e misurati di produzione giornaliera di biomassa (a, b) e di frutti raccolti (c, d) per la cultivar Caramba, nelle due tesi: ciclo corto e ciclo lungo.

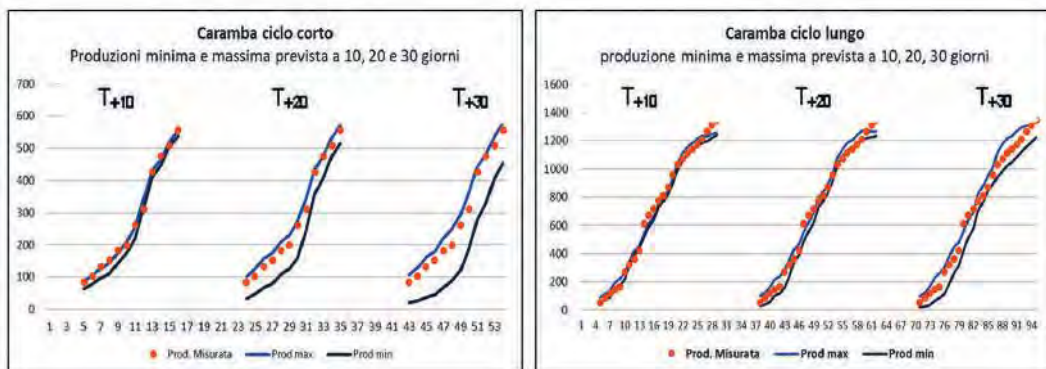


Fig. 2.69 - Confronto tra i dati osservati e le produzioni minime e massime di frutti (linee Prodmin e Prodmax) previste a 10, 20, 30 giorni per i due cicli della Cv. Caramba.

Il valore indicato dal modello come “probabile” dipenderà dalla scelta fatta dall'operatore, chiamato a dare in via preliminare un'indicazione del livello di efficienza della propria struttura produttiva (basso, medio, alto), espresso in percentuale. Nel caso in esame, la validità della previsione varia in maniera significativa a seconda che siano presi in considerazione i valori medi o i valori tendenziali, pesati in funzione della capacità gestionale e della produzione attesa. Sullo stato dei

vegetali e sulla produzione, infatti, oltre ai fattori genetici ed ambientali, agiscono in maniera determinate anche la capacità gestionale e le caratteristiche dell'impianto produttivo. Nel caso in esame (Fig. 2.69), il livello di produzione da utilizzare per valutazioni di tipo operativo dovrà quindi orientarsi verso valori prossimi alla linea di produzione massima (Prodmax) e comunque superiori alla media. In ogni caso, le forchette previsionali rimangono piuttosto strette e, anche prendendo in considerazione la sola condizione intermedia, l'errore commesso nella stima a 10 giorni si mantiene al di sotto del 10 % per tutte le cultivar (dati non mostrati). Inoltre, l'errore tenderà a ridursi man mano che vengono raccolti dati sullo stato della coltura, divenendo abbastanza stabile oltre i  $\frac{3}{4}$  del ciclo.

## 2.8.4 CONCLUSIONI

I sistemi di supporto alla gestione di ambientali controllati di basso o medio livello tecnologico, si basano su un insieme di strumenti, metodi e tecniche per la raccolta e l'analisi dei dati, che di fatto mirano a mettere in comunicazione i vecchi sistemi produttivi, attraverso le apparecchiature e le procedure tradizionali, con i più avanzati principi di razionalizzazione e automazione dei processi.

Nel corso delle nostre esperienze, in diversi ambiti e per diverse tipologie produttive, è emersa l'esigenza di mantenere due livelli operativi, uno immediatamente comprensibile, basato sui principi gestionali classici, ed uno più complesso, nel quale gioca un ruolo fondamentale la modellizzazione dei processi. Tra gli aspetti più delicati, verso i quali anche in futuro si dovrà prestare particolare attenzione, vi è senz'altro la sicurezza, che riguarda il mantenimento delle condizioni migliori per le piante e l'affidabilità delle indicazioni gestionali fornite. Sistemi professionali, infatti, devono possedere molteplici livelli di controllo e prevedere protocolli ed azioni precise che mettano in grado il sistema, in modo autonomo o supervisionato, di rispondere a qualsiasi evenienza.

Le stesse indicazioni operative, è bene che siano basate su criteri multipli e su principi prudenziali, oltre che trasparenti, in modo da evitare pericolose derive che possono allontanare il sistema dalla realtà che s'intende controllare. Tuttavia, le soluzioni adottate si sono mostrate in grado di coordinare e regolare il funzionamento delle apparecchiature di base (ventilatori, termoconvettori, irrigatori, ecc.) in funzione delle reali esigenze delle piante, con vantaggi economici, ambientali e produttivi. Grazie alla relativa stabilità dell'ambiente di produzione, inoltre, la virtualizzazione dei processi e la modellizzazione delle dinamiche dei vari elementi, fisici e biologici, permette di ottenere indicazioni e stime sufficientemente attendibili sulle potenzialità produttive di alcune colture, aprendo la porta a valutazioni di carattere strategico, di sicuro interesse economico e commerciale.

## 2.8.5 BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (2013). *Good agricultural Practices for greenhouse vegetable crops. Principles for Mediterranean climate area*. FAO Plant Production and Protection Paper n° 217, Rome, pag. 640. <http://www.fao.org/3/a-i3284e.pdf>
- Al-Aubidy K.M., Ali M.M., Derbas A.M., Al-Mutairi A.W. (2014). *Real-time monitoring and intelligent control for greenhouses based on wireless sensor network*. In IEEE 11th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD14), Barcelona, 11-14 Febbraio 2014, pp. 1-7.
- Bacci L., Battista P., Rapi B., Pardossi A., Incrocci L., Carmassi G. (2005). *A system for fertigation management in closed-loop soilless culture of tomato*. Acta Horticulturae 674: 263-268.
- Bacci L., Battista P., Rapi B. (2008). *An integrated method for irrigation scheduling of potted plants*. Scientia Horticulturae 116(1): 89-97. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2007.11.005>.
- Bacci L., Battista P., Rapi B., Sabatini F., Malorgio F., Petrognani L. (2009). *Validazione di un sistema automatico d'irrigazione su piante di Callistemon viminalis coltivate in serra*. Atti del IX Convegno Nazionale Associazione Italiana Ingegneria Agraria (AIIA) "Ricerca e Innovazione nell'ingegneria dei biosistemi agro-territoriali", Ischia Porto, 12-16 settembre 2009. Memoria 2-35, pp.10
- Bacci L., Battista P., Rapi B., Sabatini F., Saccardo F., Luccioli E., Marcucci A. (2010). *Applicazione e validazione*



- del sistema integrato HYDRO per la gestione dell'irrigazione su piante ornamentali coltivate in serra. IX Giornate Scientifiche SOI, Firenze, 10-12 marzo 2010.
- Bacci L., Battista P., Rapi B. (2012). *Evaluation and adaptation of TOMGRO model to Italian tomato protected crops*. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 40(2): 115-126.
- Bacci L., Battista P., Rapi B., Romani M., Incrocci L., Pardossi A. (2013a). *Growth and production estimation of Italian tomato protected crops by modified TOMGRO model*. Atti del XVI Convegno Nazionale di Agrometeorologia "Agrometeorology for environmental and food security", Firenze 4-5-6 Giugno 2013, IJAm, pag. 37-38.
- Bacci L., Battista P., Rapi B., Sabatini F., Bevilacqua M., Di Lonardo S., Martelli F., Matese A., Pace A., Serni P., Bianchini F., Bresci G. (2013b). *Progetto di ricerca SWIFF "Sistema Wireless per il controllo dell'Irrigazione e di altre Funzioni in ambito Florovivaistico": Relazione finale*, Firenze, maggio 2013, pag. 72.
- Baille M., Baille A., Laury J.C. (1994). *A simplified model for predicting evapotranspiration rate of nine ornamental species vs. climate factors and leaf area*. Scientia Horticulturae 59: 217-232.
- Baille A. (1999). *Greenhouse Structure and Equipment for Improving Crop Production in Mild Winter Climates*. Acta Hort. 491: 40-47.
- Baille A. (2001). *Water management in soilless cultivation in relation to inside and outside climatic conditions and type of substrate*. Italus Hortus 8:16-22.
- Battista P., Rapi B., Romani M., Bacci L., Conese C., Incrocci L., Carmassi G., Massa D., Pardossi A. (2012a). *Relazione Finale Progetto MOSAIC 3p "Sistema per il Monitoraggio e la programmazione delle Attività produttive In ambiente Controllato – Progetto Pilota Pomodoro"*, Firenze 30 aprile 2012, pag. 118.
- Battista P., Bacci L., Rapi B., Sabatini F., Simonti A., Serni P., Bianchini F., Marzialetti P. (2012b). *Sistema Wireless per il controllo dell'Irrigazione e di altre Funzioni in ambito Florovivaistico - Risultati del Progetto MIPAF "SWIFF"*. Workshop "Sistemi innovativi per il florovivaismo e un'agricoltura di precisione", Pistoia, 6 dicembre 2012.
- Battista P., Rapi B., Romani M., Sabatini F., Zipoli G. (2013). *Sviluppo di metodologie e componenti agrometeorologiche per il supporto alla gestione della risorsa idrica nel florovivaismo: risultati operativi e potenzialità applicative*. Review n. 21, Italus Hortus 20 (3), 2013: 33-48.
- Battista P., Rapi B., Romani M. (2015). *MOSAIC - un Decision Support System per la coltivazione del pomodoro in serra*. Workshop "Crop modelling for sustainable greenhouse horticulture - La modellistica applicata alla gestione sostenibile delle colture in serra", Corso di Dottorato di Ricerca in Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali, Università di Pisa, Pisa, 27 novembre 2015.
- Baudoin W.O. (1999). *Protected cultivation in the Mediterranean region*. Acta Hort. 491: 23-30.
- Carmassi G., Incrocci L., Malorgio M., Tognoni F., Pardossi A. (2003). *A simple model for salt accumulation in closed-loop hydroponics*. Acta Hort. 614: 149-154.
- Castilla N. (2002). *Current Situation and future Prospects of Protected Crop in the Mediterranean Region*. Acta Hort 582: 135-147.
- Castilla N., Fernandez J., Abou-Hadid A.F. (2004). *Strategic Crop and Greenhouse Management in Mild Winter Climate Areas*. Acta Hort. 633: 183-196.
- CIS (2012). *Australian vegetable industry Strategic Investment Plan 2012 -2017*. Ausveg, March 2012, pag. 113. <http://horticulture.com.au/wp-content/uploads/2016/01/HortInn-SIP-Vegetable.pdf>
- De Pascale S., Maggio A. (2005). *Sustainable Protected Cultivation at a Mediterranean Climate Perspective and Challenges*. Proc. International Conference on Sustainable Greenhouse Systems ISHS 2005, Acta Hort. 691: 29-42.
- Farina E. (2004a). *Regimazione idrico/nutrizionale in sistemi fuori suolo attraverso sonde FDR*. In: Atti del Workshop "Innovazione tecnologica per i sistemi fuori suolo". Napoli, 5 Maggio 2004. Ace International Editore, pp. 21-32.
- Farina E. (2004b). *Sonde FDR per l'automazione irrigua in fuori suolo*. Colture Protette 2: 75-78.
- Fox D.G. (1981). *Judging air quality model performance: a summary of the AMS workshop on*

- dispersion model performance*. Bulletin of the American Meteorological Society 62: 599-609.
- Greenwood D.J., Neeteson J.J., Draycott A. (1985). *Response of potatoes to N fertilizer: dynamic model*. Plant Soil 85: 185-203.
- Hemming S. (2015). *Innovations in greenhouse systems-energy conservation by system design, sensors and decision support systems* (invited speaker). In: Greensys 2015: International Symposium on New Technologies and Management for Greenhouses, Évora, Portugal. <http://www.greensys2015.uevora.pt/>
- Incrocci L., Massa D., Pardossi A., Bacci L., Battista P., Rapi B., Romani M. (2012). *A Decision Support System to Optimise Fertigation Management in Greenhouse Crops*. Acta Hort. 927: 115-122.
- Jones J.W., Dayan E., Allen L.H., Van Keulen H., Challa H. (1991). *A dynamic tomato growth and yield model (TOMGRO)*. Transactions of the American Society for Agricultural Engineers 34: 663-672.
- Jones J.W., Kenig G., Vallejos E. (1999). *Reduced state variable tomato growth model*. Transactions of the American Society for Agricultural Engineers 42: 255-265.
- La Malfa G., Leonardi C. (2001). *Crop Practices and Techniques: Trends and Needs*. Acta Hort. 578:31-42.
- Loague K. Green R.E. (1991). *Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application*. J. Contamin. Hydrol. 7: 51-73.
- Madden N. (2013). *The future of farming. Part 1: Controlling the environment*. <http://www.technewsworld.com/story/78646.html> (2013)
- Massa D., Incrocci L., Pardossi A., Delli Paoli P., Battilani A. (2013). *Application of a decision support system for increasing economic and environmental sustainability of processing tomato cultivated in Mediterranean climate*. Acta Hort., 971: 51-58.
- Oliveira J., Boaventura-Cunha J., Oliveira P.M. (2016). *Automation and Control in Greenhouses: State-of-the-Art and Future Trends*. In: Garrido P., Soares F., Moreira A. (eds) CONTROLO 2016. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 402: 597-606. Springer, Cham.
- Pardossi A., Tognoni F., Incrocci L. (2004). *Mediterranean greenhouse technology*. Chronica Hort. 44 (2), 28-34.
- Romani M., Rapi B., Battista P., Mati F., Bacci L. (2012). *Nuove tecnologie per il monitoraggio e la gestione dei giardini storici*. SCIRES-IT, Vol 2, Issue 1 (2012), 105-120. DOI 10.2423/i22394303v2n1p105
- Stanghellini C., Kempkes F.L.K., Knies P. (2003). *Enhancing Environmental Quality in Agricultural Systems*. Acta hort. 609: 277-283.
- Stanghellini C., Kempkes F., Pardossi A., Incrocci, L. (2005). *Closed water loop in greenhouses: effect of water quality and value of produce*. Acta Hort. 691: 233-242.
- Vallejos C.E., Jones J.W., Williams F.W. (1997). *High temperature tomato experiments. Chapter II-3*, In: Seginer I, Jones JW, Gutman P, Vallejos C eds. *Optimal environmental control for indeterminate greenhouse crops*. Research Report n° IS-1995-91RC, Agricultural Engineering Dept. Technion, Haifa, Israel.