

L'impiego di tensiometri nel controllo automatico dell'irrigazione di specie ornamentali in contenitore[§]

Laura Bacci*, Piero Battista, Elisabetta Checcacci, Francesco Sabatini, Bernardo Rapi

Istituto di Biometeorologia, Consiglio Nazionale delle Ricerche
Via Caproni 8, 50145 Firenze

Data di presentazione: 14 giugno 2007

Data di accettazione: 21 ottobre 2007

Riassunto

La misura del potenziale idrico del substrato di coltivazione è una delle possibili tecniche per adattare gli interventi irrigui alle reali esigenze idriche delle piante, riducendo il consumo di acqua e nutrienti, nonché l'impatto di questa pratica agricola sull'ambiente.

L'obiettivo delle diverse prove sperimentali illustrate in questo lavoro era quello di valutare l'efficienza dei tensiometri, integrati in un sistema hardware/software appositamente sviluppato, nel controllare in modo automatico l'irrigazione o la fertirrigazione di alcune specie ornamentali coltivate in vaso. Le prove sono state condotte su quattro specie ornamentali, tre delle quali coltivate all'aperto con impianto d'irrigazione a goccia e la quarta coltivata in serra con due sistemi d'irrigazione (a goccia e subirrigazione).

In tutte le prove il sistema di controllo basato sui tensiometri ha permesso un risparmio di acqua o di soluzione nutritiva tra il 45% e il 25% rispetto al controllo con timer, senza influenzare negativamente né la crescita né le caratteristiche qualitative delle piante.

Nel presente lavoro sono anche riportati alcuni accorgimenti da applicare per migliorare l'efficienza di un sistema basato sui tensiometri.

Parole chiave: *Cornus alba*, *Cupressus macrocarpa*, *Geranium*, *Hypericum sp.*, potenziale idrico del suolo, ottimizzazione irrigazione, risparmio idrico.

Summary

THE USE OF TENSIMETERS TO AUTOMATICALLY CONTROL THE IRRIGATION OF ORNAMENTAL SPECIES IN CONTAINERS

The detection of soil water potential by means of tensimeters is one of the possible techniques to adapt water supply to real plant exigencies, reducing water and nutrient consumption and the environmental impact. The aim of the different experiments illustrated in this paper was the evaluation of tensimeter performances in the automatic control of the irrigation or fertigation of some ornamental species cultivated in containers. Different experiments were carried out over a two-year period on four ornamental species. Three species were cultivated outdoor and equipped with a drop irrigation system while the fourth was cultivated in greenhouse using two different irrigation techniques (drop and subirrigation). In all experiments, tensimeter-based system allowed water or nutrient solution saving ranging from 45% to 25% in comparison with timer-based irrigation management, without negatively affect plant growth and qualitative characteristics. Some arrangements to obtain the best performances of tensimeters in the automatic irrigation management are also illustrated.

Key-words: *Cornus alba*, *Cupressus macrocarpa*, *Geranium*, *Hypericum sp.*, soil water potential, irrigation optimization, water saving.

[§] Ricerca realizzata con il contributo finanziario dell'Ente Cassa di Risparmio di Pistoia e Pescia e dell'ARSIA – Regione Toscana.

Il lavoro è da attribuirsi agli Autori in parti uguali.

* Autore corrispondente: tel.: +39 055 3033711; fax: +39 055 308910. Indirizzo e-mail: l.bacci@ibimet.cnr.it.

1. Introduzione

Nei vivai molte specie ornamentali sono allevate in contenitore, spesso di piccole dimensioni, su substrati normalmente a base di torba. In questo sistema di coltivazione le piante hanno a disposizione una riserva d'acqua relativamente piccola e pertanto richiedono frequenti interventi irrigui. Nella gestione dell'acqua possono essere individuati due punti chiave: il primo è legato alla scelta del momento dell'irrigazione e l'altro alla definizione del volume d'acqua che deve essere distribuito ad ogni intervento irriguo. Mentre il volume d'acqua da distribuire ad ogni irrigazione può essere deciso a priori, essendo funzione del volume del contenitore, del substrato utilizzato e della frazione di lisciviazione desiderata, il momento dell'irrigazione è legato alla richiesta attuale della pianta. Irrigare solo quando è necessario determina una serie di vantaggi quali: la riduzione del consumo idrico e dei nutrienti, la riduzione dell'impatto delle attività vivaistiche sull'ambiente (inquinamento con nutrienti e fitofarmaci dei corpi idrici profondi e superficiali) e, spesso, il miglioramento della qualità del prodotto, soprattutto nel caso di colture floricole.

Il risparmio d'acqua e la salvaguardia dell'ambiente risultano fondamentali in aree ad elevato sfruttamento vivaistico, come alcune zone della Toscana. Solo in Provincia di Pistoia, con quasi 5000 ha di vivai, 800 dei quali in contenitore, si stima un consumo annuale di oltre 12 milioni di m³ d'acqua, prelevata per oltre il 90% da pozzi e distribuita per il 75-80% alla vasetteria (ARPAT, 2001).

Comunemente la gestione automatica dell'irrigazione è affidata a timer di tipo tradizionale, senza nessuna capacità di seguire le reali esigenze idriche delle piante. Tuttavia negli ultimi anni si è assistito ad un rilevante progresso nello sviluppo di sensori per la misura dello stato idrico del suolo e di modelli e software per il controllo dell'irrigazione (Zazueta, 1993). La misura del potenziale idrico del suolo mediante i tensiometri è una delle possibili tecniche per adattare i regimi irrigui alle reali esigenze delle piante, riducendo i consumi di acqua senza danneggiare la crescita e lo sviluppo delle piante stesse (Hensley e Deputy, 1999; Tilt, 2000). Un confronto tra i principali sistemi di misura del potenziale idrico del suolo e una sintetica

analisi delle problematiche del loro uso sono riportati in Bacci et al. (2004).

L'obiettivo del presente lavoro è quello di illustrare l'efficienza dei tensiometri, integrati in un sistema hardware/software appositamente sviluppato, nel controllare in modo automatico l'irrigazione o la fertirrigazione di alcune specie ornamentali coltivate in vaso. Sono presentati i risultati di tre prove condotte su quattro diverse specie ornamentali irrigate con impianto a goccia e, per una di queste, con subirrigazione.

2. Materiali e metodi

I tensiometri impiegati nelle diverse prove sono stati quelli della Skye Instruments (UK), mod. SKTM 650, poiché le loro ridotte dimensioni (lunghezza 100 mm, diametro 13.5 mm) li rendevano adeguati al volume dei vasi impiegati (da 1,5 a 9 L).

Le prove sperimentali di campo svolte nel periodo 2000-2004, sono state precedute da alcune prove di laboratorio, per le quali una descrizione dettagliata dei metodi e dei risultati è disponibile in Bacci et al. (2003). Tali prove hanno permesso di individuare la posizione più adatta del tensiometro rispetto al gocciolatore, al fine di ottenere una rappresentazione corretta della fase di bagnatura e di asciugatura dell'intero substrato del vaso, e la più efficiente modalità di distribuzione dell'acqua nel corso di ciascun intervento irriguo, per giungere ad un'uniforme bagnatura del substrato riducendo la frazione lisciviata. In base ai risultati di laboratorio, in tutte le prove di campo il tensiometro è stato posto, all'interno del vaso, ad angolo retto rispetto al gocciolatore e ad una profondità di circa 1/3 dell'altezza del vaso a partire dall'alto. Per quanto concerne la modalità di distribuzione dell'acqua, il volume d'acqua di ciascun intervento irriguo è stato distribuito in 2 o 3 dosi, intervallate da alcuni minuti di sospensione. I dettagli della modalità di distribuzione applicata nelle diverse prove sono descritti nella parte relativa agli esperimenti di pieno campo.

Sistema di controllo e gestione dell'irrigazione

Per gestire in modo automatico l'irrigazione in funzione dei valori tensiometrici, è stato necessario realizzare un sistema hardware/software di

controllo e attuazione. Tale sistema è stato sviluppato a partire da un datalogger programmabile, mod. Tattletale 5F (ONSET Computer Corporation, Pocasset, MA, USA), integrato con schede di amplificazione del segnale dei trasduttori tensiometrici (un amplificatore per ogni sensore) e con una scheda per la gestione delle elettrovalvole poste lungo l'impianto irriguo, necessarie per l'apertura e chiusura automatica delle linee d'irrigazione.

Il programma software sviluppato permetteva di impostare i controlli necessari al sistema, ed in particolare: il numero di tensiometri da controllare, la soglia di attivazione dell'irrigazione, i tempi di durata di attivazione e disattivazione delle elettrovalvole e una soglia tensiometrica di sicurezza. Il compito di quest'ultima era quello di riattivare un nuovo ciclo irriguo se, dopo il completamento del ciclo irriguo precedente, il valore tensiometrico non era stato ricondotto al di sotto della soglia tensiometrica impostata.

Al datalogger erano collegati anche sensori meteorologici per la misura di temperatura e umidità dell'aria, radiazione solare e velocità del vento. Mentre i parametri meteorologici erano registrati con passo temporale orario, i dati tensiometrici, acquisiti ogni minuto, erano memorizzati ogni 5 minuti tranne durante l'intervento irriguo nel quale la frequenza era maggiore (2 minuti).

Prove di campo

In tabella 1 sono riportate alcune informazioni di base delle diverse prove. A parte per il geranio (prova: "Pisa2004"), la cui sperimentazione si è svolta in serra, tutte le altre prove sono

state eseguite durante i mesi estivi in piazzali all'aperto, appositamente attrezzati, presso il Centro Sperimentale per il Vivaismo di Pistoia. Le tesi di riferimento sono state gestite tramite timer secondo le normali pratiche seguite dai vivaisti del comprensorio pistoiese.

La misura della quantità d'acqua distribuita a ciascuna tesi è stata effettuata mediante contaltri digitali inseriti sulle linee dell'impianto irriguo.

Prova "Cespevi2000"

In questa prova sono state confrontate due specie di piante ornamentali caratterizzate da diverse esigenze idriche: *Cupressus macrocarpa*, var. Golden crest, una conifera di piccole dimensioni con un buon tasso di crescita ma basse esigenze idriche, resistente a periodi siccitosi relativamente lunghi e *Cornus alba*, Var. Sibirica, un cespuglio con un elevatissimo tasso di crescita ed elevate esigenze idriche, estremamente sensibile a periodi di siccità anche di 2/3 giorni.

Per ciascuna specie, 40 piante di 2 anni di età allevate in contenitore, sono state divise in due gruppi di 20 piante ciascuno. Il gruppo di controllo prevedeva due irrigazioni giornaliere comandate da timer (ore 9:00 e 18:00) poi portate a 3, nella seconda fase di crescita, con l'inserimento di un intervento irriguo alle ore 14:00, al fine di soddisfare le crescenti esigenze idriche. La quantità d'acqua distribuita ad ogni intervento irriguo, per vaso, era di 1.2 L. Nell'altro gruppo l'irrigazione era controllata da un tensiometro posto all'interno di uno dei vasi centrali della parcella. La soglia tensiometrica di attivazione dell'irrigazione era di -70 hPa. La prima dose distribuita (0.5 L per vaso) era se-

Tabella 1. Specie ornamentale, sistema d'irrigazione, substrato e volume del vaso utilizzati nelle diverse prove.

Table 1. Ornamental species, irrigation system, substratum and pot volume used in the different experiments.

Nome della prova	Anno della prova	Specie	Sistema irrigazione		Substrato	Volume vaso (L)	Piante per tesi
Cespevi 2000	2000	<i>Cupressus macrocarpa</i>	a goccia	Irrigazione	Torba:pomice (1:1)	9	20
	2000	<i>Cornus alba</i>	a goccia	Irrigazione	Torba:pomice (1:1)	9	20
Cespevi 2004	2004	<i>Hypericum sp.</i>	a goccia	Fertirrigazione	Torba:pomice (1:1)	6	153
Pisa 2004	2004	<i>Geranium</i> tipo francesino	a goccia e subirrigazione	Fertirrigazione	Torba:perlite (1:1)	1.5	25

guita da un intervallo di 10' al termine del quale il sistema controllava il valore tensiometrico raggiunto. Se tale valore era inferiore a -25 hPa (soglia inferiore), era distribuita una seconda dose seguita, nuovamente, da un intervallo di 10' e da un controllo. Tale procedura poteva essere ripetuta più volte fino al raggiungimento della soglia impostata.

Nei trattamenti di controllo gestiti da timer, erano installati 3 tensiometri (uno per vaso) per il monitoraggio del potenziale idrico del substrato. Altrettanti sensori erano installati anche nei trattamenti gestiti da un tensiometro "attuatore" per verificarne il corretto funzionamento.

Al termine della stagione di crescita, tutte le piante sono state raccolte ed è stato determinato il peso secco totale epigeo, mediante essiccazione in stufa a 80 °C per 48 h.

Prova "Cespevi2004"

La prova è stata eseguita su piante di *Hypericum* sp. fertirrigate. Le piante sono state divise in 4 gruppi di 153 piante ciascuno. La distribuzione della soluzione nutritiva, mediante impianto a goccia, dei due gruppi di controllo era gestita da timer mentre negli altri due gruppi (A e B) era controllata da due tensiometri per tesi. La soglia di attivazione dell'irrigazione, pari a -60 hPa, era verificata calcolando la media dei valori dei due tensiometri installati per ciascuna tesi. La quantità di soluzione nutritiva distribuita per vaso era pari a 0.5 L, suddivisa in 3 dosi da 0.165 L con intervallo di 6' tra le dosi nel caso della tesi A e suddivisa in due dosi da 0.25 L con intervallo di 6' tra le dosi nel caso della tesi B. Al termine della distribuzione il sistema controllava il valore tensiometrico raggiunto. Se tale valore era inferiore a -25 hPa (soglia inferiore), era attivato un nuovo ciclo e un nuovo controllo. Tale procedura poteva essere ripetuta più volte fino al raggiungimento della soglia impostata.

Nelle tesi di controllo la soluzione nutritiva era distribuita in 2 interventi giornalieri (9:00 e 19:00). Per ogni intervento era distribuito 1 L per vaso in un'unica dose.

Poiché i gruppi di piante impiegati in questa prova si trovavano all'interno di un impianto pilota di grandi dimensioni che doveva gestire numerosi settori con specie ornamentali diverse, è stato necessario, per i gruppi di piante gestiti dai

tensiometri, inserire quattro fasce orarie; solo all'interno di queste l'irrigazione poteva essere attivata. Questo evitava che, una volta raggiunta la soglia tensiometrica impostata, l'irrigazione si attivasse indipendentemente dal fatto che altri settori fossero già in fase di adacquamento, incorrendo in problemi legati alla pressione e alla disponibilità d'acqua. La gestione dell'irrigazione per fasce irrigue è comunemente utilizzata nei vivai di grosse dimensioni.

Per la tesi A le fasce orarie erano: 6:00-7:00, 12:00-13:00, 16:00-17:00 e 20:00-21:00 per la tesi B: 8:00-9:00, 13:00-14:00, 17:00-18:00 e 21:00-22:00.

L'introduzione di queste fasce comportava, in alcuni casi, che l'irrigazione di un settore venisse posticipata da un turno all'altro perché, anche per pochi minuti, non veniva raggiunto il valore soglia di attivazione. Per cercare di evitare l'instaurarsi di condizione di stress nelle piante, la soglia di attivazione è stata portata dal valore di -70 hPa, utilizzato nelle prove "Cespevi2000", al valore di -60 hPa.

Nei giorni 22 e 29 luglio, caratterizzati da cielo sereno e alte temperature, sono state eseguite misure orarie della temperatura superficiale delle piante, mediante termometro all'infrarosso Everest mod.112.

Alla fine delle prove sperimentali sono stati eseguiti campionamenti distruttivi su 10 piante per tesi per la determinazione dell'area fogliare mediante planimetro LI-COR, LI-3000 (Lincoln, Nebraska, USA) e della biomassa epigea secca mediante essiccazione in stufa a 80 °C per 48 h.

Prova "Pisa2004"

La prova si è svolta nel periodo metà gennaio-metà marzo in serra su piante di *Geranium* tipo francesino coltivate in vasi da 1.5 L. Le piante sono state suddivise in 4 trattamenti (21 piante ciascuno).

Nei due trattamenti dotati di impianto a goccia, la soluzione nutritiva era distribuita considerando una frazione di lisciviazione < 30% per la tesi gestita da timer (controllo) e < 5% per la tesi gestita da tensiometri (attivazione irrigazione basata sulla media delle letture di due tensiometri. Soglia d'intervento: -60 hPa). Nella tesi gestita da timer era effettuato un unico intervento irriguo alle ore 8:00, con la distribuzione della soluzione nutritiva in un'unica dose,

la cui entità è variata con l'accrescimento delle piante (da 0.15 a 0.225 L a vaso). Nella tesi gestita da tensiometri, al superamento della soglia d'intervento, la soluzione nutritiva era distribuita in 3 dosi da 0.075 L per vaso con intervallo di 4' tra le dosi. Al termine della distribuzione il sistema controllava il valore tensiometrico raggiunto. Se tale valore era inferiore a -25 hPa (soglia inferiore), era attivato un nuovo ciclo e un nuovo controllo. Tale procedura poteva essere ancora ripetuta fino al raggiungimento della soglia impostata

Nei due trattamenti relativi all'impianto di subirrigazione, per ogni intervento irriguo, erano forniti 140 L di soluzione nutritiva. Nel trattamento controllato da timer l'intervento era attivato alle ore 8:00, in quello controllato da tensiometri al superamento della soglia di -60 hPa,

quale valore medio di 2 tensiometri. Era quindi inserito un blocco di 1 ora dopo l'adacquamento, durante il quale nessun altro intervento irriguo era possibile indipendentemente dal valore di potenziale idrico rilevato.

Al termine della prova le piante sono state distrutte ed è stato determinato il peso secco della biomassa epigea mediante essiccamento in stufa a 80 °C per 48 h.

3. Risultati e discussione

In tabella 2 sono riportati i risultati delle prove condotte, in termini di consumi idrici e di crescita delle piante. Come si può constatare, in tutte le prove si è registrato un risparmio di acqua variabile dal 45 al 24%, tranne naturalmente in

Tabella 2. Peso secco, area fogliare (media ± d.s.) e quantità d'acqua distribuita nelle diverse prove. Nell'ultima colonna a destra è riportata la percentuale di risparmio di acqua delle tesi gestite con tensiometri rispetto alle tesi gestite con timer.

Table 2. Dry matter, leaf area (mean ± s.d.) and water volume applied in the different experiments. The last right column shows the water saved (%) in the tensiometer-controlled theses in comparison with timer-controlled ones.

Specie	Trattamento	Peso secco totale (g/pianta)	Area fogliare (cm ² /pianta)	Acqua totale distribuita (L)	Risparmio
<i>Cupressus macrocarpa</i>	timer	489.6±59.8a		16154 (metà giugno - metà ottobre)	45%
	tensiometro	494.1±28.7a		8923 (metà giugno - metà ottobre)	
<i>Cornus alba</i>	timer	425.3±55.0a		13049 (metà giugno - metà settembre)	40%
	tensiometro	388.8±53.6a		7849 (metà giugno - metà settembre)	
<i>Hypericum sp. 2004</i>	timer	150.91±27.4b	5592±1136.0 b	44370 (luglio-settembre)	36% (tesi A)
	tensiometro (tesi A)	156.71±26.6 ab	6015.4±1133.6 b	28130 (luglio-settembre)	
	tensiometro (tesi B)	174.61±39.9 a	9249.3±2415.7 a	33537 (luglio-settembre)	24% (tesi B)
<i>Geranium</i> tipo francesino	timer (impianto a goccia)	22.0±0.4a		163 (metà gennaio - metà marzo)	30%
	tensiometro (impianto a goccia)	22.6±0.8a		114. (metà gennaio - metà marzo)	
	timer (subirrigazione)	21.8±0.9a		16.500* (metà gennaio - metà marzo)	48%**
	tensiometro (subirrigazione)	20.8±0.9a		8.600* (metà gennaio - metà marzo)	

Lettere diverse nella stessa colonna, per le diverse specie e tesi a confronto, indicano differenze significative per P = 0.05. Test di Duncan.

* Volume di acqua ricircolato.

** Risparmio sul volume di acqua ricircolato.

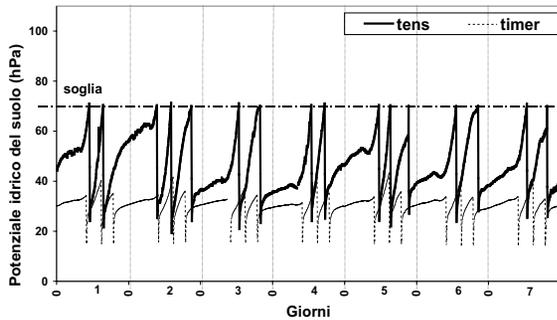


Figura 1. Andamento del potenziale idrico del suolo (valori assoluti) nelle due tesi a confronto (gestione dell'irrigazione a timer e gestione con tensiometro) per la prova "Cespevi2000" su *Cupressus macrocarpa* (22-28 agosto).

Figure 1. Daily soil water potential trend (absolute values) of tensiometer-controlled and timer controlled theses for the experiment "Cespevi2000" on *Cupressus macrocarpa* (22-28 August).

quelle relative al geranio con subirrigazione, dove la differenza tra i due sistemi di controllo ha influito solo sul numero degli "allagamenti" e, quindi, sul volume di acqua ricircolato.

Tra le specie esaminate, il maggior risparmio si è avuto su *Cupressus*, cioè sulla specie con il minor fabbisogno idrico. In esperimenti simili condotti su rosa (Oki et al., 1996), gerbera ed ortensia (Newman et al., 1991) sono stati rilevati, rispettivamente, risparmi di acqua del 45%, 43% e 23%. Ottimi risultati sono stati ottenuti anche da Kehoe et al. (2000) che utilizzarono i tensiometri per la gestione dell'irrigazione di

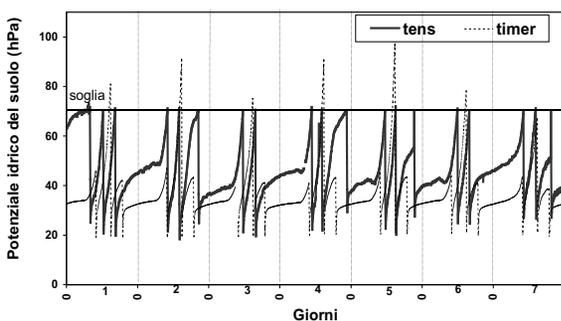


Figura 2. Andamento del potenziale idrico del suolo (valori assoluti) nelle due tesi a confronto (gestione dell'irrigazione a timer e gestione con tensiometro) per la prova "Cespevi2000" su *Cornus alba* (22-28 agosto).

Figure 2. Daily soil water potential trend (absolute values) of tensiometer-controlled and timer controlled theses for the experiment "Cespevi2000" on *Cornus alba* (22-28 August).

piante di *Viburnum Tinus* e *Hydrangea macrophylla* allevate in contenitore.

Nonostante la minor quantità d'acqua distribuita, in tutte le prove, non sono state rilevate differenze significative del peso secco tra le piante delle tesi gestite da tensiometri e quelle gestite da timer. Addirittura nella prova "Cespevi2004" su *Hypericum* le piante della tesi B, gestita con tensiometro, hanno avuto un accrescimento significativamente maggiore rispetto a quelle delle tesi gestite da timer che sono state spesso soggette, nelle ore centrali della giornata a possibili condizioni di stress idrico in conseguenza dell'innalzamento dei valori assoluti di potenziale idrico del substrato (Fig. 3). Relativamente allo sviluppo dell'area fogliare, la tesi B ha mostrato valori significativamente superiori anche rispetto alla tesi A. Le differenze tra le due tesi gestite da tensiometro sono da ricercare nella diversa distribuzione dell'acqua. Nella tesi A l'acqua di ciascun intervento irriguo era suddivisa in 3 dosi, distribuite a intervalli di 6 minuti, mentre nella tesi B, la stessa quantità d'acqua era suddivisa in 2 dosi. Nel primo caso, il maggior frazionamento dell'acqua degli interventi irrigui ha verosimilmente migliorato la distribuzione dell'acqua all'interno del substrato (quasi tutta l'acqua distribuita è stata trattenuta dal substrato) per cui anche nelle ore centrali della giornata è stato sufficiente un solo ciclo d'adacquamento per riportare il potenziale idrico del substrato a capacità di campo. Nel caso invece della tesi B, il minor numero di dosi nelle quali era suddiviso l'intervento irriguo, ha probabilmente determinato una maggiore perdita d'acqua per lisciviazione e quindi, spesso, un solo ciclo irriguo non è stato sufficiente a riportare il substrato a capacità di campo. Pertanto il sistema di gestione automatica dell'irrigazione ha attivato un nuovo ciclo d'irrigazione uguale a quello precedente. In conseguenza a ciò, la quantità d'acqua distribuita alle piante di queste tesi è stata maggiore (circa il 16% in più) rispetto a quella distribuita alle piante della tesi A. Questo ha avuto, evidentemente, un effetto positivo sullo sviluppo fogliare.

Nella prova "Pisa2004" nelle tesi irrigate a goccia, la quantità di acqua persa per lisciviazione è stata di soli 2 L per la tesi gestita da tensiometri contro i 37 L della tesi gestita da timer. Nelle tesi con impianto di subirrigazione,

il volume d'acqua che è stato fatto ricircolare nella tesi gestita da tensiometri è stato circa la metà di quello della tesi gestita con timer, con una razionalizzazione degli interventi, una riduzione del numero di adacquamenti (22 contro 47) e ore di lavoro delle pompe, con un conseguente risparmio energetico (non valutato). Anche per questa prova non si sono registrate differenze significative nell'accrescimento delle piante.

Il confronto dell'andamento giornaliero del potenziale idrico del substrato delle due tesi oggetto delle prove sperimentali (una tesi con gestione dell'irrigazione da timer e una tesi con gestione dell'irrigazione da tensiometro) permette di ben illustrare l'efficienza del sistema basato su tensiometri nel seguire i fabbisogni idrici delle piante

Esaminando, per il *Cupressus* (prova "Cespevi2000"), l'andamento del potenziale idrico (ψ) del substrato (Fig. 1), ad esempio in alcuni giorni d'agosto, si può notare che nella tesi gestita con il timer, il valore giornaliero di ψ oscillava tra 20 e 40 hPa (valore assoluto), cioè, gli interventi irrigui erano attivati in condizioni di elevati contenuti idrici del substrato; questo comportava, certamente, una forte perdita di acqua per lisciviazione. L'andamento di ψ nelle tesi gestite da tensiometri era invece in grado di seguire le effettive esigenze idriche della pianta. Si può infatti notare come il numero di interventi giornalieri variasse da 2 a 3 a seconda delle richieste evapotraspirative dell'atmosfera nei diversi giorni presi in considerazione.

Nel caso, invece, del *Cornus* (prova "Cespevi2000"), per la stessa settimana di agosto discussa per il *Cupressus*, nella tesi la cui gestione dell'irrigazione era gestita dal timer, il valore di ψ (Fig. 2), in alcuni momenti della giornata, superava il valore di 70 hPa (valore assoluto), ritenuto adeguato a garantire un buon rifornimento idrico alla pianta, raggiungendo valori anche di 100 hPa (valore assoluto). Anche se tale valore corrispondeva, comunque, ad una situazione di disponibilità idrica tale da non comportare una riduzione della crescita (Tab. 2), esso sottolinea la minore efficienza di questo sistema di controllo nel soddisfare le richieste idriche delle piante durante il giorno.

L'introduzione delle fasce orarie nella prova su *Hypericum* (prova "Cespevi2004") ha ridotto l'efficienza anche dei tensiometri nella gestione automatica dell'irrigazione. Infatti, come

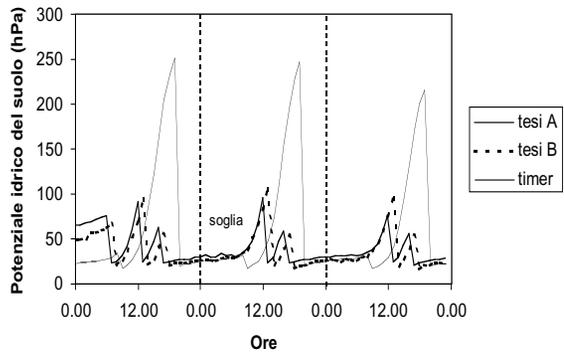


Figura 3. Andamento del potenziale idrico del suolo (valori assoluti) nelle tesi a confronto: gestione dell'irrigazione a timer (i valori si riferiscono alla media dei valori misurati sulle due tesi di controllo) e gestione con tensiometro (tesi A e tesi B) per la prova "Cespevi2004" su *Hypericum*. I dati si riferiscono ai giorni 21, 22 e 23 luglio.

Figure 3. Daily soil water potential trend (absolute values) of timer-controlled thesis (data are the mean of the two replicates) and tensiometer-controlled theses (A and B thesis) for the experiment "Cespevi2004" on *Hypericum*. Data refer to 21, 22 and 23 July.

mostrato in figura 3, relativa a tre giorni di luglio, il potenziale idrico del substrato delle tesi gestite da tensiometro ha più volte superato il valore soglia impostato (60 hPa) raggiungendo anche valori prossimi a 100 hPa (valori assoluti). Infatti, se il raggiungimento del valore soglia si verificava poco dopo la fine della fascia oraria nella quale era possibile attivare l'irrigazione, l'intervento irriguo era posticipato alla fascia oraria successiva. I valori di ψ raggiunti non hanno in ogni caso determinato effetti negativi sulle caratteristiche qualitative e, quindi, commerciali delle piante.

Nel caso delle tesi gestite da timer, la soppressione dell'intervento irriguo nelle ore centrali del giorno, decisa nell'ambito della programmazione giornaliera della fertirrigazione dei diversi settori dell'impianto pilota, ha creato di fatto i presupposti perché si verificassero condizioni di disponibilità idrica sfavorevoli alle piante. Infatti, per queste tesi, si sono registrati valori di ψ superiori a 200 hPa, con il conseguente instaurarsi di uno stato di stress, come rilevato anche dalle misure di temperatura superficiale effettuate (Fig. 4). Infatti, nelle tesi gestite da timer i valori di temperatura superficiale erano significativamente più alti di quelli

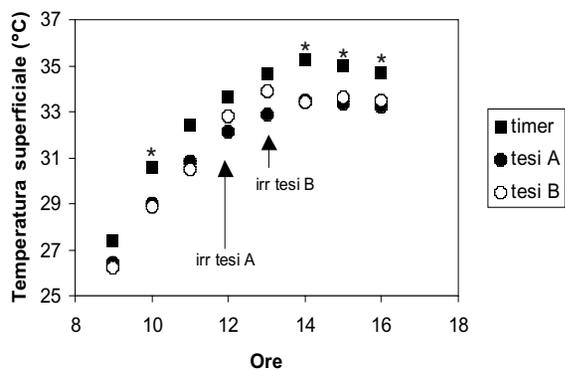


Figura 4. Valori giornalieri di temperatura superficiale della coltura relativi alla prova “Cespevi2004” su *Hypericum*. I dati si riferiscono al 21 luglio. I valori relativi alla tesi “timer” sono la media dei valori misurati sulle due tesi di controllo. Gli asterischi indicano differenze significative per $P = 0.05$.

Figure 4. Daily trend of crop temperature of *Hypericum* (experiment “Cespevi2004”). Data refer to 21 July. Data of timer-controlled thesis are the mean of the two replicates. Asterisks indicate significant differences for $P = 0.05$.

delle tesi gestite da tensiometri, nelle quali, frequentemente, si sono avuti interventi irrigui anche nelle ore centrali della giornata.

4. Conclusioni

Le prove effettuate su quattro diverse specie ornamentali allevate in vaso, hanno evidenziato come l’uso del tensiometro possa permettere risparmi di acqua significativi, anche del 45%, rispetto ad una gestione tradizionale con timer.

Per i sistemi nei quali all’irrigazione viene associata la fertilizzazione (fertirrigazione), al risparmio idrico si unisce una riduzione della quantità di fertilizzanti utilizzati, con vantaggi sia per il vivaista sia per l’ambiente.

La massimizzazione dei vantaggi dell’uso dei tensiometri per una gestione automatica dell’irrigazione si ha quando non esistono vincoli nell’attivazione dell’impianto irriguo o di fertirrigazione. L’introduzione delle fasce orarie per regolare l’irrigazione in aziende di grandi dimensioni, determina, necessariamente, una riduzione dell’efficienza dei tensiometri. È possibile, tuttavia, ipotizzare che l’irrigazione, anche di grandi vivai, potrebbe essere affidata a questi sistemi, ricorrendo allo sviluppo di un software di

controllo in grado di gestire eventuali richieste contemporanee di più settori, attraverso una scala di priorità, legata alle caratteristiche della specie coltivata.

L’impiego di più tensiometri nello stesso settore, per aumentare il grado di rappresentatività della misura effettuata, è consigliabile anche per proteggersi da un possibile malfunzionamento dei sensori. In ogni caso, all’interno del software devono essere introdotti anche altri controlli specifici in grado di garantire un adeguato rifornimento idrico nell’eventualità in cui il sistema di misura perda la propria capacità di seguire il potenziale idrico del substrato. Tali controlli potrebbero, ad esempio, portare ad un’attivazione del sistema tradizionale (timer) in caso di “rischio”, dando il tempo al tecnico di intervenire e ripristinare la piena operatività del sistema.

Le prove condotte, finalizzate all’ottenimento di informazioni utili ad una corretta gestione della risorsa idrica in ambito vivaistico, hanno fornito indicazioni utili trasferibili anche ai tradizionali sistemi di controllo con timer. In particolare, per quanto riguarda l’imbibizione del substrato, sembra preferibile frazionare l’intervento irriguo, fornendo la necessaria quantità d’acqua in più dosi, opportunamente distanziata nel tempo.

Ringraziamenti

Si ringrazia il Centro Sperimentale per il Vivaismo di Pistoia per la collaborazione nell’ambito delle prove eseguite all’aperto e il Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie, Università degli Studi di Pisa per le prove su geranio in serra. Le prove del 2000 sono state eseguite nell’ambito del progetto “Ottimizzazione delle risorse idriche in ambito vivaistico” gestito dal Ce.Spe.Vi e finanziato dall’Ente Cassa di Risparmio di Pistoia e Pescia. Le prove 2004 sono state eseguite nell’ambito del progetto IDRI finanziato dall’ARSIA – Regione Toscana.

Bibliografia

- ARPAT 2001. Valutazione dell’impatto ambientale delle pratiche vivaistiche e studio della vulnerabilità intrinseca della falda del territorio pistoiese, Firenze.
- Bacci L., Battista P., Rapi B., Sabatini F., Checcacci E.

2003. Irrigation control of container crops by means of tensiometers. *Acta Horticulture*, 609:467-474.
- Bacci L., Battista P., Checcacci E., Sabatini F., Rapi B. 2004. La misura dell'umidità del substrato per l'irrigazione automatica di colture in vaso. *Italus Hortus*, 11:47-51.
- Hensley D., Deputy J. 1999. Using tensiometers for Measuring Soil Water and Scheduling Irrigation. <http://www2.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/L-10.pdf>
- Kehoe E., Maher M.J., Hunter A., Campion J. 2000. The use of tensiometers to control the irrigation of nursery stock in containers. <http://www.teagasc.ie/research/reports/horticulture/4460/eopr4460.htm>
- Newman J.P., Lieth J.H., Faber B. 1991. Evaluation of an irrigation system controlled by soil moisture tension for container-grown plants. In: *Flower & Nursery Report for Commercial Growers*, University of California.
- Oki L.R., Lieth J.H., Tjosvold S. 1996. Tensiometer-based irrigation of cut-flower roses. 1995 Project Report to the California Cut-flower Commission.
- Tilt K. 2000. Small steps to improving your irrigation system, reducing labour and increasing your bottom line. Newsletter Something to Grow On, Dep. Hort., Auburn University, USA.
- Zazueta F.S. 1993. New technologies in the management of microirrigation systems. *Acta Hort.*, 335:305-312.