

## Fertilizzazione e irrigazione delle colture in substrato: attuale stato dell'arte e tendenze future

Luca Incrocci\* e Alberto Pardossi

Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-Ambientali, Università di Pisa

### Current state-of-art and new trends on fertilization and irrigation of substrate cultures

**Abstract.** The low water use efficiency, typical of soilless cultures, is mainly due to an inaccurate irrigation scheduling and the use of highly porous substrates. The increase of the water use efficiency of these cultures is also crucial for improving their nutrient use efficiency. An higher irrigation efficiency can be achieved only through an improvement of irrigation scheduling and, at least, by the reuse of drainage water. The paper focused on how to calculate the optimal irrigation volume and the frequency of the irrigation events. The optimal irrigation volume can be easily determined by the knowledge of the substrate retention curve and the type of container, using a software developed by the University of Pisa (CAL-VIR). The calculation of the irrigation frequency required the knowledge of the crop evapotranspiration, that could be estimated by evapotranspiration models (i.e. FAO model) or directly assessed by gravimetric methods or by root zone sensors (RZS), able to measure the substrate volumetric water content. The use of controlled release fertilizers (CRF) and the fertigation are the main options adopted by the growers to feed the soilless culture crops. Finally, a free software (SOL-NUTRI), developed by the University of Pisa for the calculation of the nutrient solution, was described.

**Key words:** leaching, controlled release fertilizers, substrate water content sensors, evapotranspiration.

### Introduzione

Le colture su substrato, a causa del loro ridotto volume radicale rispetto alle colture in suolo, hanno una riserva idrica e nutritiva abbastanza limitata, che

impone quindi frequenti irrigazioni e fertilizzazioni entrambe di limitate quantità. L'elevata frequenza può comportare pericoli di ristagni idrici e per questo motivo si utilizzano substrati molto porosi che velocemente fanno drenare gli eccessi idrici ma che, al tempo stesso, favoriscono la lisciviazione di elementi nutritivi e/o di fitofarmaci. Una migliore gestione dell'irrigazione comporta anche un'incremento dell'efficienza nell'uso degli elementi nutritivi ed è per questo motivo che nel presente lavoro si darà ampio spazio a come ottimizzare l'irrigazione delle colture in vaso.

### Gestione ottimale dell'irrigazione

Ottimizzare l'irrigazione significa calcolare con precisione il volume irriguo (quanta acqua dare) e la frequenza irrigua (ogni quanto darla). La scelta del volume irriguo ottimale richiede la conoscenza dell'acqua disponibile nel sistema substrato-contenitore. Infatti, la forma del contenitore influenza la percentuale del volume di acqua trattenuta dal substrato, come dimostrato nella tabella 1 relativa al medesimo substrato torboso posto in tre contenitori di differente altezza. La quantità di acqua disponibile può essere calcolata integrando lungo l'altezza del contenitore, il volume di acqua ritenuta dal substrato (risultante dalla

Tab. 1 - Percentuali di aria, acqua e parte solida del substrato in torba, in funzione dell'altezza (H) del contenitore, a piena capacità di contenitore. A parità di substrato, contenitori più bassi contengono molta più acqua rispetto a contenitori più alti.

Tab. 1 - Influence of the different height of the container (H), filled with peat, on the percentage of water and air content, at full water capacity.

Tipo di vaso	Aria	Acqua	Solido
Vaso diametro 16 cm, H=16cm	20%	67%	13%
Vaso diametro 14 cm, H=14 cm	13%	74%	13%
Vaso diametro 8 cm, H= 8 cm	8%	79%	13%

\* Luca.incrocci@unipi.it

conoscenza della curva di ritenzione idrica di questo), assumendo che, alla fine di un intervento irriguo, sulla base del contenitore (quota 0) vi è acqua libera e che quindi tutta la porosità del substrato, in quel punto, è occupata dall'acqua.

Il volume irriguo ottimale si può suddividere in volume irriguo netto e volume irriguo lordo.

Il volume irriguo lordo (VIL, espresso come mm o  $L m^{-2}$ ) è la quantità d'acqua che è somministrata ad ogni intervento irriguo per fornire il volume irriguo netto e compensare le inefficienze dovute all'impianto irriguo, alla scarsa qualità dell'acqua irrigua o alla disomogeneità della coltura. Il VIL può essere calcolato come segue:

$$VIL = VIN/EI \times Ks \quad (\text{Eq. 1})$$

dove:

- VIN ( $L m^{-2}$ ) è il volume irriguo netto che rappresenta l'effettiva quantità di acqua che è trattenuta dopo l'intervento irriguo dal contenitore e disponibile per la pianta.
- EI è l'efficienza irrigua del sistema irriguo adottato, espressa come rapporto fra l'acqua che effettivamente arriva nella zona radicale della coltura e quella che è erogata: per impianti a goccia il valore è pari a 0,95, per impianti a microirrigazione a spruzzo è 0,90, mentre è compreso fra 0,50 e 0,80 per l'irrigazione per aspersione;
- Ks è il coefficiente irriguo di sicurezza, cioè quella quantità di acqua che deve essere somministrata in più al VIN per compensare le inefficienze dovute alla qualità dell'acqua, alla non perfetta uniformità della coltura (variabilità nella evapo-

traspirazione delle piante) e alla difformità di erogazione dei gocciolatori. Il coefficiente assume valori compresi fra 1 e 1,60. In tabella 2 è riportata una guida per la scelta del valore di Ks in base alle caratteristiche sopradette.

Nell'ambito del progetto IRRIFLORVIVA (Sviluppo di centraline innovative per il pilotaggio dell'irrigazione di specie florovivaistiche), finanziato dal MIPAAF, l'Università di Pisa ha sviluppato CALVIR, un foglio di Excel in grado di calcolare il volume irriguo ottimale, conoscendo il tipo di contenitore utilizzato e la curva di ritenzione idrica del substrato. Il foglio può essere scaricato gratuitamente all'indirizzo WEB: [www.cespevi.it/softunipi/softunipi.htm](http://www.cespevi.it/softunipi/softunipi.htm).

Una volta definito l'intervento irriguo ottimale lordo e netto, è possibile calcolare la frequenza e cioè ogni quanto effettuare l'intervento irriguo, attraverso la seguente formula:

$$FI = ETDAY / VIN \quad (\text{Eq. 2})$$

dove ETDAY è l'evapotraspirazione giornaliera della coltura ( $L m^{-2} giorno^{-1}$ ) e VIN è il volume irriguo netto che corrisponde alla evapotraspirazione della coltura ( $L m^{-2}$ ) nell'intervallo fra due interventi irrigui consecutivi.

La stima della evapotraspirazione (ET) rimane ancora oggi il principale ostacolo per una corretta gestione dell'irrigazione. La ET è influenzata sia dalla specie e dal suo sviluppo fogliare (LAI, *Leaf Area Index*), sia dalle condizioni evapotraspirative dell'ambiente in cui la pianta sta crescendo (radiazione, presenza di vento, umidità e temperatura dell'aria), le quali si possono modificare anche repentinamente

Tab. 2 - Calcolo del coefficiente irriguo di sicurezza (Ks). Il coefficiente si calcola sommando ad 1 il valore stabilito per ogni fattore che influenza l'efficienza irrigua. Ad esempio per una coltura con ottima uniformità, in cui l'irrigazione è effettuata con gocciolatori auto-compensanti (ottima uniformità di erogazione) e con un'ottima qualità dell'acqua irrigua, il Ks è pari a  $1,05=1+0,05+0,00+0,00$ .

Tab. 2 - Algorithm for the calculation of irrigation safety coefficient (Ks). For the calculation of the safety coefficient, it is necessary to add to 1 the correspondent sub-coefficients, chosen in the following table according to the water quality, the uniformity of water distribution and the uniformity of crop growth.

Qualità dell'acqua	Coefficiente	Uniformità di erogazione	Coefficiente	Uniformità della coltura	Coefficiente
Ottima qualità (EC<0,5 dS/m)	0,00	Ottima (es. gocciolatori autocompensanti)	0,00	Ottima (coltura molto uniforme)	0,05
Buona qualità (0,5 dS/m>EC<0,75 dS/m)	0,05	Buona (es. gocciolatori a spaghetto)	0,05	Buona (differenze fra gli individui entro il 10%)	0,08
Media qualità (0,75 dS/m>EC<1,25 dS/m)	0,10	Media (es. gocciolatori parzialmente ostruiti)	0,10	Media (differenze fra le piante entro il 15%)	0,10
Scarsa qualità (1,25 dS/m>EC<1,5 dS/m)	0,15	Scarsa (es. linee gocciolanti eccess. lunghe)	0,15	Scarsa (specie diverse, ma con ET simile)	0,15
Pessima qualità (EC>1,5 dS/m)	0,20	Pessima (es. aspersione in zone ventose)	0,20	Pessima (plot con specie diverse)	0,20

nell'arco della giornata. La frequenza irrigua nella maggior parte delle aziende è regolata con interventi irrigui ad orari e con durata prestabiliti, basati sull'esperienza del coltivatore o del tecnico e sull'osservazione dello stato idrico della pianta e del substrato, ipotizzando le condizioni evapotraspirative più elevate in quel periodo: il sistema è molto efficace, ma poco efficiente e si basa sulla capacità fortemente drenante dei substrati utilizzati, che permettono di smaltire con facilità gli eccessi idrici che si possono creare a causa delle riduzioni della ETP da quella massima ipotizzata.

La stima dell'ET può essere fatta con metodi diretti o indiretti. Tra i metodi indiretti, quello maggiormente utilizzato è il metodo proposto dalla FAO (Allen *et al.*, 1998), in cui la ET è stimata attraverso la moltiplicazione della evapotraspirazione potenziale (ETP) per un coefficiente colturale Kc.

$$ET = ETP \times Kc \quad (\text{Eq. 3})$$

La ETP è definita come l'evapotraspirazione massima che può avere un prato di *Festuca arundinacea* dell'altezza compresa fra gli 8 e i 13 mm, ben irrigata e concimata. Oggi la ETP si può calcolare facilmente dalla misura dei parametri climatici utilizzando l'equazione di Penman-Monteith mod. FAO. La determinazione del Kc, invece rimane ancora il principale ostacolo che, a livello aziendale, impedisce la facile applicazione del metodo. Nel florovivaismo, dove una stessa specie può essere coltivata in differenti contenitori, con differenti forme della chioma, con epoche di rinvasatura e di spuntatura assai diverse, il calcolo del Kc è ancora più difficile. Nell'ambito del progetto EU FLOW-AID ([www.wageningenur.nl/en/show/FlowAid-2.htm](http://www.wageningenur.nl/en/show/FlowAid-2.htm)) la sperimentazione effettuata dal nostro gruppo di ricerca su 4 specie di arbusti ornamentali (forsizia, fotinia, prunus e viburno) ha dimostrato che la stima del Kc, a livello aziendale, può essere fatta utilizzando delle relazioni sperimentali in cui il LAI è stimato come funzione lineare dell'altezza media (H) della coltura (Incrocci *et al.*, 2014). Sostituendo queste relazioni alla variabile Kc nella Eq.3 si ottengono le seguenti equazioni:

Forsizia:

$$ET = 0,392 \times (H \times 2,156 + 0,064) \times ETP \quad R^2 = 0,850 \quad (\text{Eq. 4})$$

Fotinia:

$$ET = 0,346 \times (H \times 3,152 - 0,594) \times ETP \quad R^2 = 0,820 \quad (\text{Eq. 5})$$

Prunus:

$$ET = 0,328 \times (H \times 2,711 - 0,426) \times ETP \quad R^2 = 0,767 \quad (\text{Eq. 6})$$

Viburno:

$$ET = 0,261 \times (H \times 5,362 - 0,551) \times ETP \quad R^2 = 0,752 \quad (\text{Eq. 7})$$

Altre conferme della validità del metodo proposto sono state fornite dall'attività di ricerca svolta nel progetto SEGIF ([www.rivieraflori.net/progetto-segif/](http://www.rivieraflori.net/progetto-segif/)), dove sono stati calcolati i Kc di diverse specie aromatiche e relative equazioni per il calcolo del Kc in funzione della misura dell'altezza media della coltura.

In serra, dove di norma è trascurabile l'effetto del vento sulla vegetazione e sul suolo, si possono utilizzare equazioni maggiormente semplificate come ad esempio l'equazione di Baille *et al.* (1994), in cui la ET è funzione della radiazione solare che penetra in serra (RG), del deficit di vapor acqueo (VPD) e dello sviluppo fogliare della coltura (LAI):

$$ET = a \times RG / \lambda \times (1 - e^{-(k \times LAI)}) + b \times VPD \times LAI \quad (\text{Eq. 8})$$

dove  $\lambda$  è il coefficiente di vaporizzazione dell'acqua, pari a 2,45 MJ/kg (a 20 °C), k è il coefficiente di estinzione della luce da parte della coltura (variabile da 0,60 a 0,70), e a e b sono coefficienti determinati sperimentalmente. Una buona raccolta di valori a e b di varie colture ortive e floreali è riportata in Bacci *et al.* (2013).

In serre in cui il riscaldamento non è utilizzato o lo è solo per condizioni di soccorso, un metodo ancora più semplice ma sufficientemente preciso è quello della radiazione cumulata, che si basa sull'assunto che la ETP in serra sia pari alla quantità dell'intera RG penetrata in serra, espressa come mm di acqua evaporata (divisa quindi  $\lambda = 2,45 \text{ MJ/kg}$ ):

$$ET \text{ (L/day)} = RG / \lambda \times a \quad (\text{Eq. 9})$$

La ET della coltura a pieno sviluppo fogliare in realtà è abbastanza costante e simile fra le varie colture: infatti il coefficiente a, oscilla da 0,65 per la fragola e la gerbera, 0,70 per la rosa e fino a 0,75 per il pomodoro. Il valore di a può essere facilmente calcolato anche dal coltivatore utilizzando i dati del controllo del drenaggio prodotto da ogni irrigazione: infatti, conoscendo il volume irriguo lordo e la quantità di drenato, è possibile calcolare la ET della coltura fra le due irrigazioni e ricalcolare il coefficiente a come rapporto fra la ET così misurata e la radiazione cumulata nello stesso periodo, espressa come mm di acqua.

La stima diretta della ET si basa su metodi in grado di misurare, su un campione rappresentativo di piante, il loro tasso di evapotraspirazione oppure di determinare le variazioni nel contenuto di umidità del substrato. La misura della evapotraspirazione si ese-

gue con l'uso di una bilancia che misura in continuo la perdita di peso (ET) di un campione rappresentativo di piante: al superamento di una determinata soglia di ET (corrispondente al VIN), il sistema attiva l'irrigazione.

La frequenza irrigua può essere determinata anche attraverso sensori radicali di umidità che si dividono in due categorie: i sensori in grado di misurare il potenziale idrico dell'acqua nel substrato (es. tensiometri) e quelli che misurano il contenuto idrico volumetrico (CIV), attraverso la misura della permittività del mezzo ( $\epsilon$ ). I primi hanno il vantaggio di fornire una misura direttamente correlabile al grado di stress idrico della pianta, indipendentemente dal tipo di substrato utilizzato, ma al tempo stesso hanno un prezzo, una fragilità e una manutenzione elevata, svantaggi che hanno limitato e limitano tutt'oggi la loro diffusione. Negli ultimi anni si sono invece abbastanza diffusi i sensori dielettrici con tecnologia FDR (*Frequency Domain Reflectometry*), sensori abbastanza economici, con scarsa manutenzione e in grado di misurare il CIV del substrato. Il principale svantaggio di questi sensori è la necessità di avere una calibrazione specifica per ogni substrato. In realtà, dal punto di vista pratico, per il controllo dell'irrigazione si è interessati non tanto al valore assoluto della misura, ma più alle sue variazioni nella lettura fra un'irrigazione e la successiva, in modo da individuare un valore di soglia di CIV sotto il quale attivare l'irrigazione. La soglia può essere semplicemente determinata correlando il peso dell'intero vaso con il valore di permittività letto dal sensore. Normalmente per ogni settore irriguo si utilizzano almeno due sensori, uno per pianta, posizionati nella zona di maggiore densità radicale, quella di solito intorno ai gocciolatori. L'uso di sensori dielettrici può ridurre la percentuale di drenaggio complessiva sostanzialmente facendo un minor numero di irrigazioni rispetto al controllo, permettendo un risparmio idrico intorno al 30% rispetto alla pratica tradizionale (Incrocci *et al.*, 2014).

### Ottimizzare la fertirrigazione

Così come per l'irrigazione, anche per la fertilizzazione è importante il frazionamento dell'apporto dei nutrienti per evitare che ci sia un accumulo di salinità nel substrato. Oggi la fertilizzazione delle colture in vaso è effettuata attraverso due principali metodi: la fertirrigazione con soluzione nutritiva (continua o discontinua) e/o l'utilizzo di concimi a rilascio controllato (CRC). L'uso della fertirrigazione continua è imprescindibile per le produzioni di serra con piante ad elevato ritmo di accrescimento come ortaggi o

piante da fiore reciso, mentre nei casi dove la pianta è coltivata all'esterno o ha ritmi di accrescimento medio-bassi, l'uso di CRC permette una forte semplificazione della fertilizzazione e soprattutto una riduzione della lisciviazione dei nutrienti rispetto alla fertirrigazione. Negli ultimi anni la tecnologia dei concimi a rilascio controllato ha creato CRC con cessione bifasica (ad esempio che rilasciano più concime nella fase finale della coltura) i quali permettono di soddisfare meglio le esigenze nutritive della coltura (Incrocci *et al.*, 2012).

L'ottimizzazione della fertirrigazione si può ottenere cercando di fornire alla pianta una soluzione nutritiva con una composizione chimica il più vicino possibile alla sua concentrazione di assorbimento, (rapporto fra la quantità di nutrienti assorbiti e di acqua assorbita in un dato intervallo di tempo).

Per aiutare i tecnici a preparare la giusta soluzione nutritiva a partire dalla conoscenza della composizione dell'acqua irrigua, il DiSAAA-a ha messo a disposizione il programma SOL-NUTRI ([www.cespevi.it/softunipi/softunipi.htm](http://www.cespevi.it/softunipi/softunipi.htm)): il software permette di effettuare il calcolo dei sali necessari per la preparazione delle soluzioni concentrate e, al tempo stesso, verificare la presenza di eventuali precipitati in queste, dovute ad una eccessiva concentrazione delle stesse.

Il controllo della fertirrigazione è effettuato principalmente con la misura della conducibilità elettrica (EC) e del pH sia della soluzione in entrata che della soluzione drenata: un valore elevato di EC nell'acqua di drenaggio può indicare un'eccessiva concentrazione di elementi nutritivi o di elementi non nutritivi (es. Na, Cl) che può ridurre la crescita e la produzione della coltura.

Aspetti innovativi nella fertirrigazione delle colture in vaso, sono l'uso di kit rapidi per la determinazione di alcuni elementi nutritivi come ad esempio i nitrati e l'uso di sensori dielettrici per la misura della *bulk EC*. La *bulk EC* è una grandezza dipendente dalla quantità di sali disciolti nella soluzione nutritiva presente nel vaso, dalla temperatura, ma anche dal tipo di substrato e soprattutto dal CIV del substrato stesso. Hilhorst (2000) ha fornito una formula per calcolare la EC della soluzione nutritiva a livello radicale (definita anche EC dell'acqua dei pori), a partire misura della *bulk EC*.

L'uso di questi sensori (fig. 1), se interfacciati a fertirrigatori computerizzati, permette il controllo in automatico del livello di nutrienti da aggiungere alla soluzione nutritiva oppure la possibilità di selezionare acqua di differente qualità in modo da evitare che nel substrato si raggiunga una salinità superiore a quella massima tollerata dalla coltura.

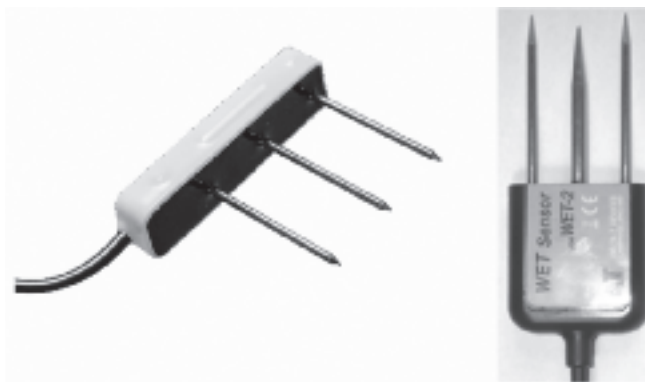


Fig. 1 - Sensori dielettrici per la misura della bulk EC, della temperatura e del contenuto idrico volumetrico di un substrato o un terreno. A destra: WET sensor, distribuito dalla Delta T-Device (Cambridge, UK) e a sinistra GS03 della Decagon Devices (Pulmann, USA).

*Fig. 1 - Some commercial dielectric sensors for the measurement of the bulk EC, the temperature and the volumetric water content. Right: WET sensor, distributed by Delta T-Device (Cambridge, UK); left: GS03 sensor, commercialized by Decagon Devices (Pulmann, USA).*

## Riassunto

Il presente lavoro focalizza su come quantificare le due variabili fondamentali per una gestione ottimale dell'irrigazione delle colture in substrato: il volume irriguo e la frequenza irrigua. Tecniche innovative della fertilizzazione nel substrato prevedono l'uso di concimi a rilascio controllato sempre più precisi e/o l'uso di sensori capaci di misurare direttamente la

salinità e il contenuto di alcuni nutrienti nella zona radicale, offrendo così la possibilità di un controllo automatico, non solo della frequenza e della durata delle irrigazioni, ma anche della salinità e del contenuto di elementi nutritivi nella soluzione nutritiva.

**Parole chiave:** Lisciviazione, concimi a rilascio controllato, sensore dielettrico, volume irriguo, evapotraspirazione.

## Bibliografia

- ALLEN R.G., PEREIRA L.S., RAES D., SMITH M., 1998. *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. Irrigation Drainage Paper 56. FAO, Rome.
- BACCI L., CARMASSI G., INCROCCI L., BATTISTA P., RAPI B., MARZIALETTI P., PARDOSI A., 2013. *Modellizzazione della evapotraspirazione delle specie coltivate in serra e in vivaio*. Italus Hortus, 20 (3): 69-78.
- 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*. Sci. Hortic., 59: 217-232.
- HILHORST M.A., 2000. *A pore water conductivity sensor*. Soil Sci. Soc. Am. J., 64: 1922-1925.
- INCROCCI L., MARZIALETTI P., INCROCCI G., DI VITA A., BALENDONCK J., BIBBIANI C., SPAGNOL S., PARDOSI A., 2014. *Substrate water status and evapotranspiration irrigation scheduling in heterogeneous container nursery crops*. Agr. Water. Manage. 131: 30-40.
- INCROCCI G., INCROCCI L., CARMASSI G., DIARA C., PULIZZI R., COZZI P., FIBBI F., MARZIALETTI P., PARDOSI A., 2012. *Uso di concimi a rilascio controllato per una gestione economica ed eco-sostenibile del vivaismo ornamentale*. Clamer Informa, 37 (7-8): 5-10.