

# I FABBISOGNI IDRICI DEL POMODORO DA INDUSTRIA IN CAPITANATA

## WATER USE OF PROCESSING TOMATO IN THE CAPITANATA REGION (SOUTHERN ITALY)

Michele Rinaldi\* e Gianfranco Rana

Istituto Sperimentale Agronomico - via C. Ulpiani, 5 70125 Bari Tel +39 080 5475016 Fax: +39 080 5475023

### Riassunto

Il pomodoro da industria (*Lycopersicon esculentum* Mill.) è un'importante coltura irrigua del Sud Italia e della Capitanata in particolare. Gli elevati volumi stagionali di adacquamento impongono una razionalizzazione della pratica irrigua, che passa anche attraverso una verifica ed una più attenta stima dei coefficienti colturali ( $Kc = ET_m/ET_o$ ). Nella presente ricerca, tale verifica è stata attuata misurando l'evapotraspirazione massima ( $ET_m$ ) con il metodo dell'"Eddy covariance", utilizzando, tra l'altro, un anemometro sonico per la misura del flusso di calore sensibile. Le prove sono state condotte su pomodoro nel 2000 (varietà a bacca lunga, da pelato) e nel 2001 (varietà a bacca tonda, da concentrato), su ampi appezzamenti omogenei nella provincia di Foggia. L'evapotraspirazione di riferimento ( $ET_o$ ) è stata stimata con la formula di Penman-Monteith e, in alternativa, con quella di Hargreaves che richiede solo le temperature massima e minima, previa una sua calibrazione locale.

I  $Kc$  ottenuti, confrontati con quelli suggeriti dalla FAO, evidenziano valori maggiori nella fase intermedia (+0.13), specie nel pomodoro a bacca lunga. La calibrazione locale della formula di Hargreaves ha consentito di migliorare molto la stima dell' $ET_o$ . I fabbisogni idrici così determinati (500 e 550 mm, rispettivamente nelle due annate) sono stati in accordo con l'acqua effettivamente erogata dagli agricoltori, con efficienze del metodo irriguo (a microportata) variabili tra l'83 e l'85%.

**Parole chiave:** Coefficienti colturali, evapotraspirazione, Hargreaves, anemometro sonico, Eddy covariance.

### Abstract

*Processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) is an important irrigated crop in Southern Italy and, mainly, in the Capitanata plain. High values of seasonal irrigation water force the farmer to a more rational water management, that can be obtained by means of a more precise estimation and evaluation of crop coefficients ( $Kc = ET_m/ET_o$ ).*

*In this research  $Kc$  estimation was carried out by measuring maximum evapotranspiration ( $ET_m$ ) with "Eddy covariance" method using, among the others, a sonic anemometer to measure sensible heat flux. The field experiments were carried out with "square shape" tomato (for peeled) in 2000 and "deep globe shape" tomato (for paste) in 2001, placing the instruments in the center of large homogenous fields (> 10 ha) in the Foggia plain (Capitanata).*

*Reference evapotranspiration ( $ET_o$ ) was estimated by means of the Penman-Monteith formula and, in addition, with Hargreaves equation requiring maximum and minimum daily temperatures only and a local calibration.*

*Experimentally measured and FAO suggested crop coefficients were compared: peeled tomato, in the intermediate phase, showed  $Kc$  greater of 0.13 than that reported by FAO.*

*Local calibration of Hargreaves equation allowed a significant improvement of  $ET_o$  estimation. Seasonal water use was estimated (500 and 550 mm, in 2000 and in 2001, respectively) and resulted in accordance to the actual farmer irrigation supply, taking into account an irrigation efficiency of drip irrigation of about 83-85%.*

**Keywords:** crop coefficient, evapotranspiration, Hargreaves, sonic anemometer, Eddy covariance.

### Introduzione

La Capitanata (provincia di Foggia) è una delle aree più vocate all'agricoltura di qualità e alla coltivazione del pomodoro in particolare, con circa 28.000 ha investiti mediamente ogni anno nel periodo 1998-2003. I fabbisogni idrici di questa coltura altamente produttiva sono elevati e, considerando gli scarsi apporti di pioggia, essi devono essere soddisfatti quasi completamente con l'irrigazione: 500-600 mm di acqua sono forniti, in media,

per l'irrigazione di questa coltura con punte di 800 mm in funzione dell'annata e della varietà. Attualmente, pertanto, risulta di particolare interesse pratico lo studio e la determinazione accurata e puntuale dei consumi idrici del pomodoro in aree meridionali a scarsa disponibilità idrica, per una gestione, il più razionale possibile, dell'acqua per irrigazione.

In quest'articolo sono presentati i risultati sperimentali di una prova svolta in Capitanata dai ricercatori dell'Istituto Sperimentale Agronomico di Bari, con l'obiettivo di determinare i consumi idrici stagionali del pomodoro da industria.

\*Corresponding author. tel. +39 080 5475046  
fax. +39 080 5475023  
e-mail: michele\_rinaldi@libero.it (M.Rinaldi).

Un altro obiettivo dell'esperimento è quello di studiare il metodo più idoneo per la stima dell'evapotraspirazione reale della coltura (ET<sub>c</sub>) da utilizzare nella gestione dell'acqua d'irrigazione nell'area in oggetto, sia a livello aziendale che comprensoriale.

Per scopi pratici legati alla gestione efficiente dell'irrigazione, la determinazione dei fabbisogni irrigui di una coltura necessita di misure meteorologiche e avviene in due fasi successive: innanzitutto si determina il potere evaporativo dell'ambiente calcolando l'ET di riferimento (ET<sub>0</sub>); tale valore si moltiplica quindi per un coefficiente culturale empirico (K<sub>c</sub>) che tiene conto delle caratteristiche della pianta, ottenendo così l'evapotraspirazione effettiva della coltura (Doorenbos e Pruitt, 1977), che coincide con l'evapotraspirazione massima della coltura (ET<sub>m</sub>) nel caso di condizioni idriche non limitanti.

Questi coefficienti sono stati determinati oltre 20 anni fa (con tecniche di coltivazione e varietà anche diverse dalle attuali) e spesso in zone differenti da quelle in cui vengono applicati; da qui ne discende la necessità di una loro verifica, anche in considerazione del fatto che possono portare a situazioni di stress idrico, se sono stati sottostimati, e a sprechi di acqua se, invece, sono stati sovrastimati. Con queste informazioni, sarà possibile razionalizzare la pratica irrigua del pomodoro da industria, le cui produzioni, sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo, possono essere limitate sia da deficit che eccessi irrigui.

## Materiali e Metodi

### Le prove sperimentali

Sono state eseguite due prove: una nel 2000 su pomodoro a bacca allungata (da pelato) e una nel 2001 su pomodoro a bacca rotonda (da concentrato).

Nel primo anno la prova si è svolta presso l'azienda agricola dei f.lli Zerillo, in agro di Manfredonia (FG) località Cutino, il cui terreno è di medio impasto tendente al limoso. Il pomodoro da industria a bacca allungata (cv Pull) è stato trapiantato tra il 14 e il 22 aprile 2000, a file binate distanti tra loro 50 cm e 180 cm tra le bine, con un investimento di circa 2.5 piante m<sup>-2</sup>. Il metodo irriguo a microportata prevedeva ali gocciolanti lungo la bina, con gocciolatori autocompensanti da 4 L ora<sup>-1</sup>; l'acqua prelevata da un serbatoio attiguo era distribuita ad ogni settore con cadenza bisettimanale, con quantitativi variabili da 20 a 30 mm, secondo i consumi calcolati con l'equazione di Penman-Monteith. A questi regimi idrici la coltura era nello stato idrico ottimale per cui l'ET<sub>c</sub> può essere considerata l'evapotraspirazione massima. La raccolta meccanica del pomodoro è iniziata il 20 luglio e la produzione finale si è attestata sulle 100 t ha<sup>-1</sup> di bacche commercializzabili.

Nel 2001 la prova si è svolta presso l'azienda agricola del Dr. Vincenzo Fratta, in agro di Foggia, località Cunicella. Il terreno aveva le stesse caratteristiche medie del terreno precedentemente descritto. Il pomodoro da industria a bacca rotonda (ibrido PS 1296) è stato trapiantato tra il 2 e il 9 maggio 2001. Il sesto d'impianto e le modalità d'irrigazione erano identiche a quelle della prova precedente e riflettono, in media, il comportamento degli agricoltori della Capitanata nei riguardi del pomodoro da in-

dustria. In questo caso la raccolta meccanica del pomodoro è iniziata il 27 luglio ed ha reso circa 110 t ha<sup>-1</sup> di bacche.

I volumi irrigui sono stati misurati con un contatore posto all'ingresso del campo.

### I metodi di misura dei consumi idrici

L'ET<sub>c</sub> della coltura è stata misurata con un metodo micrometeorologico d'avanguardia, il cosiddetto metodo "Eddy covariance" (Kaimal *et al.*, 1972; Tanner *et al.*, 1985), come

$$ET_m = ET_c = \frac{R_n - G - H}{\lambda} \quad (1)$$

dove R<sub>n</sub> (W m<sup>-2</sup>) è la radiazione netta misurata direttamente con un net-radiometro tipo Fritschen (REBS Q\*6, USA), G (W m<sup>-2</sup>) è il flusso di calore nel suolo misurato direttamente con tre piastre di flusso (Campbell Scientific, USA) poste a 3 cm nel terreno, H (W m<sup>-2</sup>) è il flusso di calore sensibile misurato direttamente con un anemometro sonico (USA-1 Metek, Germany). ET è in mm con λ calore latente di evaporazione dell'acqua in J kg<sup>-1</sup>. I sensori sono stati installati al centro del campo, di dimensione superiore ai 10 ettari in entrambi gli anni, il giorno dopo la fine della fase di trapianto della coltura. I dati che presentiamo sono, dunque, relativi all'intera stagione culturale.

Il metodo della "Eddy covariance" necessita, come si vede, di sensori complessi e difficili da gestire, per cui è un metodo di misura dell'evapotraspirazione reale ancora ristretto all'ambito della ricerca. Per applicazioni pratiche, il metodo più idoneo per stimare l'evapotraspirazione reale è quello consigliato dalla FAO (Allen *et al.*, 1998), in cui l'ET<sub>m</sub> si calcola come:

$$ET_m = K_c \cdot ET_0 \quad (2)$$

con K<sub>c</sub> coefficiente culturale ed ET<sub>0</sub> evapotraspirazione di riferimento giornaliera, in mm. Il metodo ideale per la stima di quest'ultima grandezza è il modello di Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998):

$$ET_0 = \frac{0.408 \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot u)} \quad (3)$$

dove Δ è la pendenza della curva pressione vapore (kPa °C<sup>-1</sup>), γ è la costante psicrometrica (kPa °C<sup>-1</sup>), T è la temperatura dell'aria (°C), u è la velocità del vento a 2 m di altezza dal suolo (m s<sup>-1</sup>), e<sub>s</sub> è la pressione di vapore saturo dell'aria (kPa), e<sub>a</sub> è la pressione di vapore reale dell'aria (kPa). Nel nostro caso i parametri in input al modello sono stati prelevati nel 2000 dalla stazione agrometeorologica di Tavernola, a 3 km dal sito sperimentale (rete agrometeorologica del Consorzio di Bonifica della Capitanata) e nel 2001 dalla stazione agrometeorologica curata della Syngenta S.p.A. e sita nell'azienda stessa.

**Il coefficiente colturale**

Dalla descrizione precedente sui metodi di stima dell'ETc risulta evidente il ruolo chiave del coefficiente colturale Kc. Infatti, mentre l'evapotraspirazione di riferimento, dipendendo esclusivamente da parametri climatici, rappresenta la domanda evapotraspirativa dell'atmosfera, il Kc è un coefficiente empirico che deve tenere conto sia delle caratteristiche colturali (architettura della pianta, comportamento idrico) ma che dipende anche dal pedoclima locale (Rana e Katerji, 2000).

Il Kc si trova tabulato in letteratura (p. es. Allen *et al.*, 1998) e può anche essere corretto per il clima locale (Kc "single"). In questo lavoro abbiamo voluto confrontare il Kc "single" dato dalla letteratura per il pomodoro coltivato in ambiente mediterraneo e il Kc realmente misurato in campo come:

$$Kc = \frac{ETm}{ET_0} \quad (4)$$

**Alternative alla Penman-Monteith**

Poiché il modello di Penman-Monteith (3) ha bisogno di numerosi parametri in input, dal punto di vista pratico riveste particolare importanza il poter avere a disposizione una formula alternativa a questa, più semplice ed operativa. Seguendo sempre i suggerimenti di Allen *et al.* (1998) qui si propone di analizzare le performance del modello di Hargreaves e Samani (1985). Tale modello necessita della sola temperatura minima e massima giornaliera:

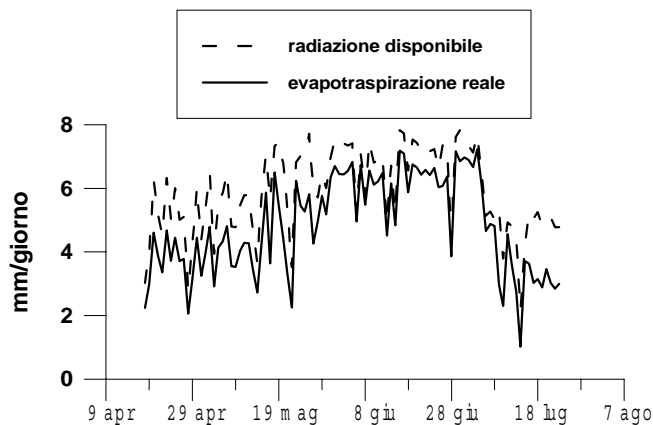
$$ET_0 = a \cdot (T_{media} + b) \cdot (T_{max} - T_{min})^c R_a \quad (5)$$

con R<sub>a</sub> radiazione solare massima teorica per il giorno in questione, funzione della sola latitudine del luogo, tabulata o ricavabile dall'equazione (21) sul quaderno 56 della FAO (Allen *et al.*, 1998). Nella formulazione originale i coefficienti "a", "b" e "c" valgono rispettivamente 0.0023, 17.8 e 0.5, ma è consigliata una ricalibrazione per tener conto delle caratteristiche pedoclimatiche locali. Noi abbiamo ricalcolato questi coefficienti.

**Risultati**

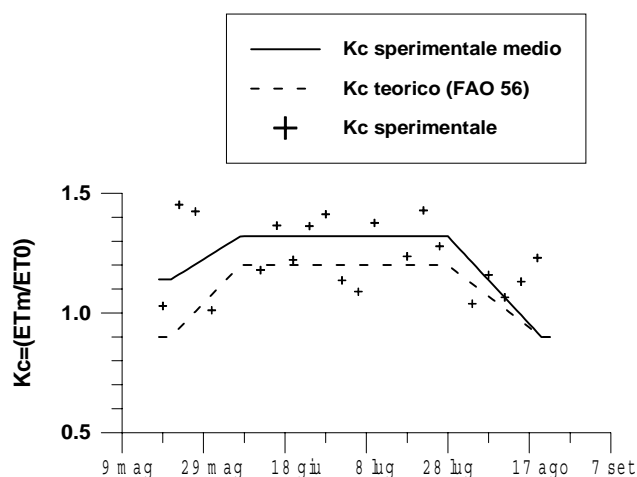
In figura 1 sono mostrati gli andamenti giornalieri di evapotraspirazione reale del pomodoro per l'anno 2000 (pomodoro a bacca allungata).

Si può osservare che durante il primo periodo, quello di crescita attiva delle piante (da 25 a 30 giorni dal trapianto) l'ETc rappresenta il 70% circa della radiazione disponibile in quanto la coltura copre il suolo solo per il 50% circa (LAI inferiore a 1). A fioritura avvenuta (da 30 a 60 giorni dal trapianto), in presenza di un LAI compreso tra 1 e 2, l'ETc rappresenta circa il 90% della radiazione disponibile. Nella fase finale l'ETc è circa il 50 % della radiazione, segno che la pianta inizia a chiudere gli stomi e ad invecchiare. Analogo comportamento ha mostrato nell'anno successivo il pomodoro a bacca rotonda.



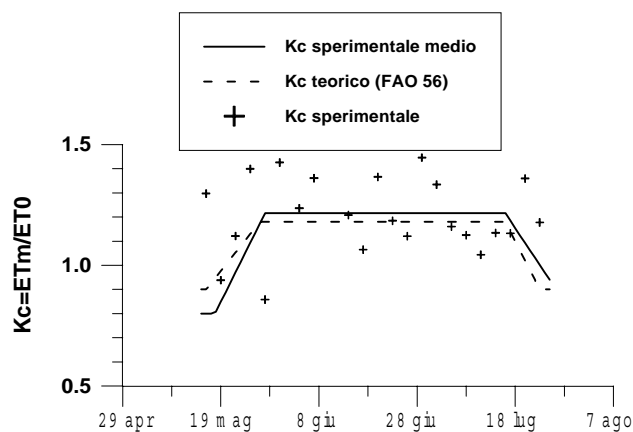
**Fig. 1** - Evapotraspirazione reale e radiazione disponibile giornaliera durante il ciclo colturale del pomodoro a bacca lunga nel 2000.

*Fig. 1 - Daily crop evapotranspiration and available radiation during "square shape" tomato crop cycle in 2000.*



**Fig. 2** - Valori del coefficiente colturale (Kc) del pomodoro a bacca lunga nel 2000.

*Fig. 2 - Daily crop coefficients (Kc) of "square shape" tomato crop in 2000.*



**Fig. 3** - Valori del coefficiente colturale (Kc) del pomodoro a bacca tonda nel 2001.

*Fig. 3 - Daily crop coefficients (Kc) of "deep globe shape" tomato crop in 2001.*

Nelle Figure successive, sono riportati i valori di Kc per il pomodoro a bacca allungata (Fig. 2) e per il pomodoro a bacca rotonda (Fig. 3). Sono rinvenibili (i) alcuni va-

Tab. 1 - Valori dell'evapotraspirazione (mm) e dei volumi stagionali irrigui del pomodoro nei due anni di prova. lori giornalieri del Kc sperimentale ottenuto con la relazione (3), (ii) i valori medi del coefficiente calcolati con delle interpolazioni lineari dei dati e (iii) i valori del Kc teorico così come suggeriti del quaderno 56 della FAO nella modalità "single crop coefficient".

Come si vede dalle figure 2 e 3, i valori di Kc trovati sperimentalmente sono differenti da quelli teorici tabulati: nella fase intermedia sono superiori di 0.13 per il pomodoro a bacca allungata e di 0.03 per il pomodoro a bacca rotonda. Quest'osservazione evidenzia come il pomodoro a bacca allungata consumi mediamente il 10-15% più del pomodoro a bacca rotonda.

Se si utilizza il metodo di Hargreaves per la stima dell'evapotraspirazione di riferimento si constata una sovrastima (del 150%) se vengono utilizzati i coefficienti "a", "b" e "c" standard, sia per il 2000 che per il 2001. Una ricalibrazione della formula di Hargreaves fornisce i seguenti risultati:

Agro di Manfredonia (anno 2000):

$$ET_0 = 0.002 \cdot (T_{media} + 14) \cdot (T_{max} - T_{mn})^{0.45} R_a \quad (6)$$

Agro di Foggia (anno 2001):

$$ET_0 = 0.0018 \cdot (T_{media} + 8) \cdot (T_{max} - T_{mn})^{0.31} R_a \quad (7)$$

I risultati complessivi della prova sono riportati in Tabella 1: nella prima colonna (acqua data dall'agricoltore) è riportata la quantità d'acqua fornita realmente alla coltura; nella seconda colonna (ET misurata) è riportato il valore di evapotraspirazione reale, misurata con il metodo "Eddy covariance"; nella terza colonna viene calcolata l'efficienza irrigua (rapporto tra evapotraspirazione reale della coltura e acqua fornita) e nella quarta vi è il valore teorico stimato dalla relazione  $ET_m = K_c \cdot ET_0$ , con Kc tabulato nel quaderno 56 della FAO (metodo "single crop coefficient") ed  $ET_0$  stimato con la Penman-Monteith.

**Tab. 1** - Valori dell'evapotraspirazione (mm) e dei volumi stagionali irrigui del pomodoro nei due anni di prova.

Tab. 1 - Evapotranspiration values (mm) and seasonal irrigation depths of tomato in the two years of experiment.

Anno	Acqua data dall'agricoltore	ET misurata (Eddy covariance)	Efficienza irrigua (%)	ETm (FAO-56) Single crop coefficient method	ETm con ET0 da Hargreaves calibrata localmente
2000	600	500	83.3	442	475
2001	650	551	84.8	500	550

E' interessante notare come il metodo ETm "single crop coefficient" sottostima di circa 58 mm i consumi idrici del pomodoro.

Dai dati riportati si rileva che l'efficienza dell'irrigazione è di circa l'83% per il 2000 e 85% per il 2001, un valore vicino al massimo teorico (90%) possibile con il sistema d'irrigazione a microportata di erogazione (Jensen *et al.*, 1990).

Se si calibra il modello di Hargreaves, dando un valore locale *ad hoc* ai coefficienti "a", "b" e "c" (eq. 6 e 7) si ottiene un miglioramento notevole delle prestazioni, con un' ET reale molto più vicina a quella misurata (Tabella 1).

## Conclusioni

Queste due campagne di misura ci hanno permesso di applicare i risultati della ricerca sviluppata negli ultimi decenni nel campo della stima dei consumi idrici di una coltura. Abbiamo dimostrato che se si adotta un coefficiente colturale appropriato, avendo a disposizione i dati meteorologici rilevati in siti vicini a quello in oggetto, si riesce ad ottenere un valore di consumo idrico del pomodoro molto vicino a quello reale. Tale dato di evapotraspirazione potenziale è indispensabile al calcolo del fabbisogno idrico finalizzato ad una gestione razionale dell'acqua d'irrigazione.

In realtà il Kc adottato qui per ottenere i migliori risultati è quello calibrato in campo, a partire da dati sperimentali piuttosto difficili da ottenere di routine. Vi è però un metodo, descritto esaurientemente da Allen *et al.* (1998) e da Allen (2000), per ricavare un Kc secondo una modalità chiamata "dual crop coefficient", in cui si calcola separatamente l'acqua evaporata dal suolo e l'acqua traspirata e che migliora notevolmente la stima dell'ET reale, senza dover ricorrere ad una calibrazione locale del coefficiente colturale. Nel nostro caso l'adottare tale Kc porta ad una stima dell'ET reale di un valore di appena 10 mm lontano da quello realmente misurato, sia per il pomodoro a bacca allungata (2000) che per quello a bacca rotonda (2001). Questa strada è dunque molto promettente e va senz'altro perseguita e analizzata in ricerche applicate del prossimo futuro.

L'importanza di avere i dati giornalieri di temperatura minima e massima, scaturisce dalla possibilità di adottare formule per la stima dell'ET0 che si avvicinano con buona approssimazione a quelle di Penman-Monteith, universalmente riconosciuta come la più affidabile, ma che richiede altri parametri non sempre disponibili (radiazione solare, umidità dell'aria, velocità del vento). Con la formula di Hargreaves, utilizzando opportuni coefficienti (previa calibrazione) come calcolati in questo lavoro (formule 6 e 7), è possibile avere un'adeguata stima dell'ET0 e di conseguenza dell'ETc.

Va posto l'accento come in questo studio le quantità di acqua fornite con l'irrigazione si sono avvicinate molto ai fabbisogni irrigui calcolati con le diverse formule: questo dipende, a nostro avviso, da almeno due ragioni. Innanzitutto, l'esperienza tecnica degli imprenditori della Capitanata nella gestione dell'irrigazione a microportata del pomodoro, coltura da oltre 20 anni entrata a pieno titolo negli ordinamenti irrigui della zona e sistema irriguo or-

mai largamente diffuso anche per la possibilità di effettuare la fertirrigazione. In secondo luogo, il costo dell'acqua, sia nelle aree servite dal Consorzio per la Bonifica della Capitanata di Foggia (la tariffazione non è solo funzione della superficie servita, come in altre realtà, ma prevalentemente in base ai consumi reali e con tariffe crescenti con i consumi), che per quelle in cui l'acqua deve essere sollevata da falde freatiche e spinta in pressione nell'impianto irriguo: questo costo, che oscilla tra i 9 e i 24 centesimi di € per m<sup>3</sup>, porta ad un utilizzo più razionale di questa risorsa, sempre più preziosa, specie negli ambienti meridionali.

### Ringraziamenti

Questo lavoro è stato interamente finanziato dal POM B19 (Coordinatore Prof. Luigi Postiglione). Si ringraziano i f.lli Zerillo e il Dr. Fratta per aver ospitato la prova. I rilievi sperimentali di campo sono stati cura dal Sig. Michele Introna dell'Istituto Sperimentale Agronomico di Bari. Si ringraziano, inoltre il Consorzio di Bonifica della Capitanata e la Syngenta S.p.A. per aver fornito i dati agrometeorologici per il calcolo dell'evapotraspirazione di riferimento.

### Bibliografia

- Allen, R.G., 2000. *Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration intercomparison study. J. Hydrol.*, 229, 27-41.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 56, Food and Agric. Organization of the United Nations, Rome, Italy, 300 pp.*
- Doorenbos, J., and W. O. Pruitt. 1977. *Crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 24, Food and Agric. Organization of the United Nations, Rome, Italy, 144 pp.*
- Hargreaves, G. H., Samani, Z. A., 1985. *Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Engign. In Agric.*, 1 (2), 96-99.
- Jensen, M.E., Burman, R.D. and Allen, R.G. (eds), 1990. *Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. Manuals and Reports on Engineering. Practice No. 70, ASCE, New York, NY, 332 pp.*
- Kaimal, J.C., Wyngaard, J.C., Izumi, Y., Coté. O.R., 1972. *Spectral characteristics of surface layer turbulence. Q. J. Roy. Metereol. Soc.*, 98, 563-589.
- Rana, G., Katerji, N., 2000. *Measurement and estimation of actual evapotranspiration in the field under mediterranean climate. A review. Eur. J. Agron.*, 13, 125-153.
- Tanner, B.D., Tanner, M.S., Dugas, W.A., Campbell, E.C., Blad, B.L., 1985. *Evaluation of an operational eddy correlation system for evapotranspiration measurements. In: Advance in Evapotranspiration, December 16-17, ASAE, Chicago, IL, 87-99.*