

CONFRONTO TRA STIME DELLA EVAPOTRASPIRAZIONE DI RIFERIMENTO AI FINI DELL'ASSISTENZA TECNICA IRRIGUA IN ABRUZZO

B. Di Lena¹, M. Acutis²

(1) Regione Abruzzo, Arssa Centro Agrometeorologico Regionale,
C.da Colle Comune 66020 Scerni (CH) car@arssa.abruzzo.it

(2) Dip di Ingegneria Agraria e Agronomia del territorio,
Università "Federico II" di Napoli.

Riassunto

Questo lavoro riferisce sui risultati ottenuti indagando la possibilità di utilizzare formule semplificate rispetto a quella di Penman Monteith per il calcolo dell'evapotraspirazione di riferimento. In tal modo si possono valorizzare al meglio i dati prevalentemente termopluviometrici raccolti dal centro Agrometeorologico di Scerni della regione Abruzzo ai fini di assistenza tecnica all'irrigazione. La formula di Hargreaves richiede la ricalibrazione di un coefficiente empirico per evitare sovrastime sistematiche dell'ET₀ mentre la formula di Priestley-Taylor fornisce stime pressochè coincidenti a quelle offerte dalla Penman-Monteith. La possibilità di stimare la radiazione solare in base all'escursione termica (modello di Bristow-Campbell) e di usare le stime ottenute per il calcolo della Priestley-Taylor consente stime migliori della formula di Hargreaves ma richiede alcune stazioni dotate di radiometro rappresentative dei diversi areali per ottenere i coefficienti per l'applicazione del modello di Bristow-Campbell.

Abstract

Simplified formulation to compute the reference evapotranspiration (ET₀) are compared with the Penman-Monteith formula. In a project for technical assistance to irrigation scheduling, under development by the Scerni Agrometeorological bureau of the region Abruzzi (Italia), simplest formulas allow the usage of station with temperature and rainfall records only. Pluvio-thermometric station are widespread in Abruzzi region, whilst only few station have still solar radiation, wind speed and air humidity measurement. Hargreaves formula showed a underestimation respect to Penman-Monteith formula, and a calibration of an empirical coefficient is required. The Priestley-Taylor formula produce estimates, in this environment, very close to the Penman-Monteith ones. An improvement of the Hargreaves ET₀ estimation is obtained using, in the Priestley-Taylor formula, the Bristow-Campbell estimate of daily solar radiation in place of the measured data. This latter approach although, require the availability

of some station with radiation data acquisition, to obtain local reliable coefficient for the Bristow-Campbell model.

Introduzione

L'evapotraspirazione di riferimento (Eto) viene definita come la quantità di acqua dispersa nell'atmosfera, attraverso i processi di evaporazione e traspirazione delle piante, da un prato di ampia estensione i cui processi di crescita e produzione non sono limitati dalla disponibilità idrica o da altri fattori di stress.

Essa in pratica rappresenta la domanda evapotraspirativa dell'ambiente; è strettamente correlata alle variabili meteorologiche (radiazione solare, temperatura e umidità dell'aria, velocità del vento) e non è influenzata dai processi fisiologici della coltura.

Il quaderno 56 della FAO (Allen et al., 1998) suggerisce per il suo calcolo la formula di Penman-Monteith che prende in considerazione sia le variabili fisiologiche sia quelle aerodinamiche che stanno alla base dei meccanismi di controllo del flusso evapotraspirativo.

La numerosità delle variabili meteorologiche richieste non consente la sua applicazione generalizzata nella regione Abruzzo in quanto la maggior parte delle stazioni della rete del Centro Agrometeorologico regionale di Scerni non è dotata di sensori in grado di rilevare la radiazione solare e l'intensità del vento.

Pertanto con il presente lavoro è stata valutata la possibilità di utilizzare alcune delle formule di calcolo più semplici e maggiormente utilizzate; tra queste sono state scelte, per la loro amplissima diffusione, quelle di Hargreaves e di Priestley-Taylor. L'uso della formula di Hargreaves (eventualmente anche attraverso al ricorso a opportune procedure di calibrazione) presenterebbe il vantaggio di non richiedere ulteriore strumentazione oltre a quella già installata mentre l'applicazione della formula di Priestley-Taylor richiederebbe di dotare le stazioni di un misuratore della radiazione solare con aumento della complessità della rete agrometeorologica. Si è voluta inoltre valutare la possibilità di stimare la radiazione solare dalle temperature massime e minime, usando il modello di Bristow-Campbell, e di introdurre le stime così ottenute nella formula di Priestley-Taylor. Tale approccio risulterebbe produrre stime di buona consistenza e ben applicabili in simulazioni con modelli ecofisiologici delle colture (Bellocchi et Al., 2000) e comporterebbe la necessità di dotare di radiometro un numero ridotto di stazioni.

Materiali e metodi

Il Centro Agrometeorologico Regionale di Scerni dispone di una rete di monitoraggio climatico costituita da 64 stazioni, delle quali solo 5 misurano

la radiazione solare e la velocità del vento oltre alla temperatura e umidità dell'aria da almeno un biennio.

Per il calcolo dell'evapotraspirazione di riferimento, sono stati utilizzati i dati rilevati dalle 5 stazioni complete funzionanti da almeno 2 anni. Essendo l'indagine finalizzata all'assistenza irrigua si sono utilizzati i dati relativi al periodo compreso tra il primo aprile e il 30 settembre

Dall'elaborazione sono stati esclusi tutti i giorni con dati mancanti o anomali. I criteri utilizzati per la definizione dei dati anomali sono stati i seguenti: $T_{min} < 0^{\circ} C$, $T_{max} > 45^{\circ} C$; umidità relativa $> 100\%$; escursione termica $>$ di $30^{\circ} C$; valori della radiazione totale giornaliera maggiori dei valori della radiazione extra atmosferica.

La tabella 1 riporta le caratteristiche delle stazioni gli anni utilizzati e il numero di giorni validi.

Tabella 1 - Principali informazioni relative alle stazioni utilizzate

Stazione	Areale	Altimetria	Anni	N° giorni con dati validi
Avezzano	Fucino	690	98-01	646
Borgo-Ottomila	Fucino	650	99-01	546
Pratola Peligna	Valle Peligna	340	98-01	702
Villamagna	Collina litoranea	75	00-01	360
Paglieta	Collina litoranea	40	98-01	644

L'implementazione dell'equazione di Penman- Monteith segue la proposta FAO (Allen et al., 1998) ed è la seguente:

$$E_{t_0} = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

dove:

E_{t_0} = Evapotraspirazione di riferimento ($mm\ d^{-1}$)

Rn = radiazione netta ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$) (stimata dalla radiazione globale)

G = Flusso di calore nel suolo ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$)

T = temperatura dell'aria ($^{\circ}C$)

U_2 = velocità del vento ($m\ s^{-1}$) a 2 m dal suolo

$e_s - e_a$ = deficit di saturazione (kPa) (stimato da $U_r\ max$, $U_r\ min$, $T\ max$ e $T\ min$)

Δ = pendenza della curva di pressione ($kPa\ ^{\circ}C^{-1}$)

γ = costante psicrometrica (kPa °C⁻¹)

Le alternative semplificate confrontate con la formula di Penman-Monteith sono le seguenti:

a) Formula di Hargreaves-Samani

$$Et_0 = CRa (T + 17,8) \sqrt{\Delta T}$$

dove:

E_{t0} = flusso evapotraspirativo in mm d⁻¹

C = costante empirica pari a 0.0023

Ra = radiazione solare extraterrestre in mm d'acqua evaporata al giorno

T = Temperatura media giornaliera (°C)

ΔT = escursione termica giornaliera (°C)

Si fa notare che esiste un'altra formula di Hargreaves et al., (19xx) del tutto identica a quella di Hargreaves e Samani, se non per il valore del coefficiente C, che è assunto pari a 0.0022, e che quindi, a parità di altre condizioni, comporta stime inferiori del 4,3%.

b) formula di Priestley-Taylor

$$Et_0 = 1.26 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{(Rn - G)}{\lambda}$$

dove:

Rn = radiazione netta (MJ m⁻² d⁻¹) (stima da radiazione globale)

Δ = pendenza della curva di pressione (kPa °C⁻¹)

G = Flusso di calore nel suolo (MJ m⁻² d⁻¹)

γ = costante psicrometrica (kPa °C⁻¹)

λ = calore latente di vaporizzazione (MJ Kg⁻¹)

si è inoltre voluto verificare le performances della formula di Priestley-Taylor utilizzando, in sostituzione dei dati misurati di radiazione globale, una loro stima ottenuta con il modello di Bristow-Campbell(1984).

$$RG = Ra * \tau * \left[1 - \exp\left(\frac{-b\Delta T^c}{month\Delta T}\right) \right]$$

dove:

RG = radiazione globale (MJ m⁻² d⁻¹)

Ra = radiazione solare extraterrestre in (MJ m⁻² d⁻¹)

τ = coefficiente di trasmissività massimo (adim.)

b = coefficiente empirico (adim.).

ΔT = escursione termica giornaliera (°C)

c = coefficiente empirico (adim.), normalmente uguale a 2

month ΔT = escursione termica media mensile (°C)

Sebbene il metodo di Bristow-Campbell non risulti il migliore tra i vari disponibili, è tuttavia il più semplice e affidabile quando le serie di dati disponibili per la calibrazione dei suoi coefficienti empirici è limitata a pochi anni (Bellocchi et al, 2002). Per la stima della radiazione è stato utilizzato il programma Radest3 (Donatelli et al, 2002).

Risultati e discussione

Confronto Hargreaves vs Penman-Monteith

La figura 1 mette in evidenza che considerando assieme tutte le località, la formula di Hargreaves, sovrastima l'ET₀ rispetto alla Penman Monteith, come evidenziato dal coefficiente angolare della retta di regressione che ha valore statisticamente e consistentemente inferiore a 1 e che non viene compensato da un'intercetta di 0.5 mm circa. Le regressioni calcolate entro località sono statisticamente diverse tra loro, e la maggior sottostima è fatta registrare dalle stazioni delle aree interne (Stazioni di Avezzano, Borgo Ottomila e Pratola Peligna) dove è alta l'escursione termica, mentre si registrano sottostime contenute o nulle nelle aree a minor altitudine, confermando quanto evidenziato da Fagnano et al (2001). D'altro canto sottostime dell'equazione di Hargreaves sono già state segnalate, in ambienti del sud Italia, da Rana et al. (2001). Si impone quindi una ricalibrazione della formula di Hargreaves, per adattarla alle caratteristiche specifiche delle località. Per quanto si sia verificata la possibilità di ricalibrare, con l'uso di un software di regressione non lineare (SPSS vers. 11) sia ogni singolo coefficiente empirico della formula, o a coppie o tutti e 3 contemporaneamente, la miglior calibrazione (perché più parsimoniosa

nei parametri a parità di capacità predittive) si è ottenuta intervenendo sul solo coefficiente C.

Tabella 2 - Valori del coefficiente C per l'equazione di Hargreaves ottenuti attraverso calibrazione contro le stime dell'equazione di Penman-Monteith. Il valore del coefficiente di determinazione è quello conseguente alla applicazione dei coefficienti ottenuti.

Località	valore	e.s.	LS	LI	RMSE1	RMSE2	R ²
Avezzano	0.00185	1.16E-05	0.001826	0.001872	1.34	0.40	0.741
Borgo-Ottomila	0.00184	1.14E-05	0.00182	0.001865	1.37	0.40	0.716
Paglieta	0.00230	1.44E-05	0.002286	0.002342	0.56	0.56	0.717
Pratola	0.00166	8.86E-06	0.001644	0.001678	2.54	0.33	0.758
Villamagna	0.00217	1.83E-05	0.002132	0.002204	0.60	0.52	0.681

e.s.=errore standard del coefficiente C

LS= limite fiduciale superiore (asintotico) per il coefficiente C ($\alpha=0.05$)

LI= limite fiduciale inferiore (asintotico) per il coefficiente C ($\alpha=0.05$)

RMSE1: root mean square error prima della calibrazione

RMSE2: root mean square error dopo la calibrazione

Valore= valore ottimale del coefficiente C dell'equazione di Hargreaves

La calibrazione si è dimostrata particolarmente efficace nel ridurre RMSE (root mean square error), in particolare nelle località dove era presente un errore sistematico. Dato il ridotto numero di stazioni disponibili, non è al momento possibile identificare criteri geografici o meteorologici per la scelta del coefficiente più opportuno. In tabella 1 sono riportati i coefficienti che ottimizzano la stima dell'ET₀ con Hargreaves per le stazioni analizzate.

Confronto Priestley – Taylor vs. Penman-Monteith

Priestley-Taylor stima l'ET₀ Penman-Monteith con ottima precisione anche se le regressioni lineari Penman-Monteith vs. Priestley-Taylor differiscono statisticamente tra località e i coefficienti di regressione sono spesso inferiori a 1. Gli scarti rispetto alla retta 1:1 sono però in ogni caso minimi e nessuna correzione o ricalibrazione pare opportuna. Si nota la presenza di un discreto numero di sottostime da parte della formula di Priestley-Taylor, tutte connesse a giornate particolarmente ventose. Se ne desume un evidente interesse pratico nel dotare di un misuratore della radiazione solare le centraline destinate al supporto della programmazione irrigua e la possibilità di integrare la misura di radiazione e temperatura con osservazioni, anche empiriche, che segnalino giornate ventose.

Tabella 3 - Root mean square error e coefficienti di determinazione relativi al confronto Priestley-Taylor vs. Penman Monteith

Località	RMSE	R²
Avezzano	0.16	0.91
Borgo-ottomila	0.14	0.90
Paglieta	0.19	0.82
Pratola	0.56	0.89
Villamagna	0.18	0.89

Confronto Priestley – Taylor con radiazione solare stimata vs. Penman-Monteith

Per stimare la radiazione solare con il metodo di Bristow-Campbell è necessario disporre di misure di radiazione nella stessa località o in località prossime. Nel caso specifico, per ottenere la stima del parametro b, si sono usati i dati della stazione stessa, mentre il parametro c è stato fissato al valore di 2. In figura 3 si evidenzia un miglioramento della predizione dell'ET₀ rispetto alla semplice formula di Hargreaves, come evidenziato dall'R² e dai parametri della retta di regressione. Infatti il coefficiente angolare, pur essendo statisticamente diverso da 1, risulta assai più prossimo a questo valore, mentre l'intercetta permane statisticamente diversa da 0 e simile a quella riscontrata con il metodo di Hargreaves. Le località differiscono tra loro per coefficiente angolare e intercetta, ma non si registra per nessuna di esse un errore sistematico importante come avveniva con la formula di Hargreaves.

I valori di RMSE (tabella 4) risultano nettamente migliori di quanto conseguibile con la formula di Hargreaves e appena peggiori se confrontati con quelli ottenibili con Hargreaves dopo ricalibrazione; analoghe considerazioni valgono a proposito del coefficiente di determinazione. Complessivamente, le performance ottenibili con questo approccio, per quanto migliori di quelle ottenibili con Hargreaves, non si avvicinano a quelle ritraibili dall'uso della Priestley-Taylor con la radiazione misurata.

Tabella 4 - Root mean square error e coefficienti di determinazione relativi al confronto Priestley-Taylor con radiazione stimata secondo Bristow-Campbell vs. Penman Monteith.

Località	RMSE	R²
Avezzano	0.49	0.70
Borgo-ottomila	0.44	0.70
Paglieta	0.69	0.60
Pratola	0.91	0.72
Villamagna	0.41	0.61

Conclusioni

Lo studio ha permesso di stabilire che per quanto riguarda la Formula di Hargreaves è necessario ricalibrare il coefficiente 0.0023 di Hargreaves riducendolo almeno del 20% nelle stazioni di Avezzano, Borgo Ottomila e Pratola Peligna ricadenti in aree interne della Regione.

Nelle altre località (Villamagna e Paglieta), ricadenti nella collina litoranea, non appare invece opportuna la ricalibrazione.

L'applicazione della formula di Priestley-Taylor consente di ottenere eccellenti risultati anche in assenza di misura della velocità del vento.

Disponendo anche di poche misure di radiazione sul territorio, la stima della radiazione secondo Bristow-Campbell e la successiva applicazione della Priestley-Taylor apparirebbe nettamente consigliabile rispetto all'uso di Hargreaves, se non si ha possibilità di ricalibrare i coefficienti empirici di quest'ultima.

Riguardo alle possibili scelte per lo sviluppo di una rete agrometeorologica per il pilotaggio dell'irrigazione, a parte l'ovvia ipotesi di avere un elevato numero di stazioni con la strumentazione per la stima dell'ET₀ secondo Penman-Monteith, appare opportuno dotare le stazioni esistenti di un misuratore di radiazione solare, al fine di calcolare l'ET₀ con la formula di Priestley-Taylor. In un'alternativa orientata alla riduzione dei costi, si potrebbe dotare solo alcune stazioni di radiometro, calibrare su di esse il modello di Bristow-Campbell (e anche verificare modelli più avanzati) e calcolare la Priestley-Taylor con i dati così ottenuti. Un'ultima alternativa è predisporre alcune stazioni complete per areale e su di esse ricalibrare i coefficienti di Hargreaves.

Bibliografia

- Allen R.G., Pereira R.S., Raes D., Smith M., 1998. *Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements* – Fao Irrigation And Drainage Paper 56, Roma, 300 p.
- Bellocchi G., Fila G., 2000. *Stima giornaliera dell'evapotraspirazione di riferimento mediante i modelli di Penman-Monteith e Priestley-Taylor, usando input climatici minimi*. Riv. di Irr. e Dren., 47, 64-74.
- Bellocchi G., Acutis M., Fila G., Donatelli M., 2002. *An indicator of solar radiation model performance based on a fuzzy expert system*. Agronomy Journal, 94:1222-1233 (in press).
- Bristow K.L., Campbell G.S., 1984. *On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature*. Agric. For. Meteorol. 31, 159-166.
- Donatelli M., Bellocchi G., Fontana F., 2002. *RADEST 3.00. Software to estimate daily radiation data from commonly available meteorological variables*. Europ. J. of Agron, in press.

- Fagnano M., Acutis M., Postiglione L., 2001. *Valutazione di un metodo semplificato per il calcolo dell'ETP in Campania*. In: Eds L. Postiglione, A. Santini, M. Fagnano, "Modelli di agricoltura sostenibile per la pianura meridionale: gestione delle risorse idriche nelle pianure irrigue. Gutenberg, Salerno, ISBN 88-900475-0-8.
- Hargreaves G.H., Samani Z.A.(1982).*Estimating potential evapotranspiration* – Tech. Note, J.Irrig. and Drain Eng. ASCE, 108
- Hargreaves, G.L., Hargreaves G.H., Riley J.P., 1985. *Agricultural benefit for Senegal river basin*. J of Irr. and drain. Engen., ASCE, 111, 113-124.
- Priestley C.H.B., Taylor R.J., 1972. *On the assesment of the surface heat flux and evaporation using large scale parameters*. Monthly Weather rev., 100, 81-92
- Rana G., Rinaldi M., Introna M., Ciciretti L., 2001. *Determinazione dei consumi idrici del pomodoro da industria in Capitanata*. In: Eds L. Postiglione, A. Santini, M. Fagnano, "Modelli di agricoltura sostenibile per la pianura meridionale: gestione delle risorse idriche nelle pianure irrigue. Gutenberg, Salerno, ISBN 88-900475-0-8.

Figura 1 - Confronto tra l'ET₀ calcolata con Penman – Monteith e con Hargreaves.

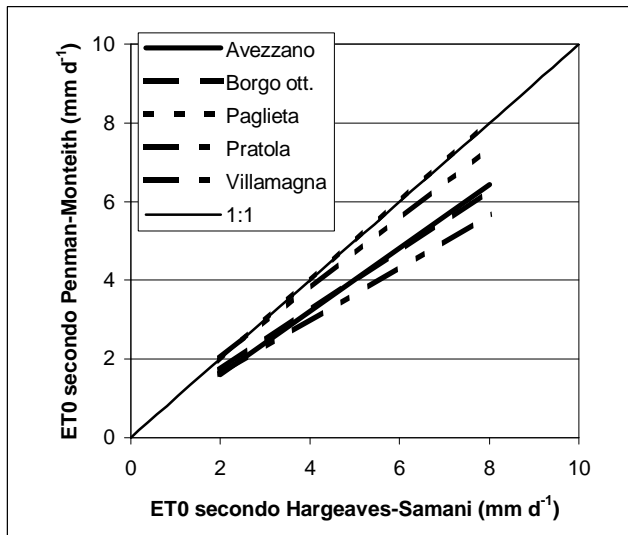
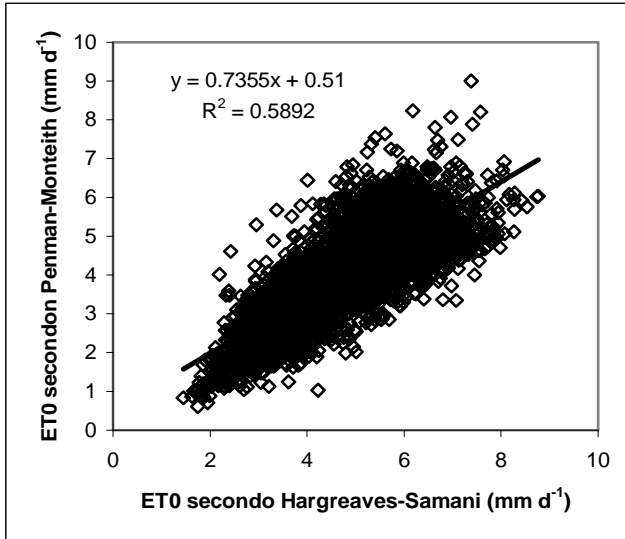


Figura 2 - Confronto tra l'ET0 calcolata con Penman – Monteith e con Priestley-Taylor

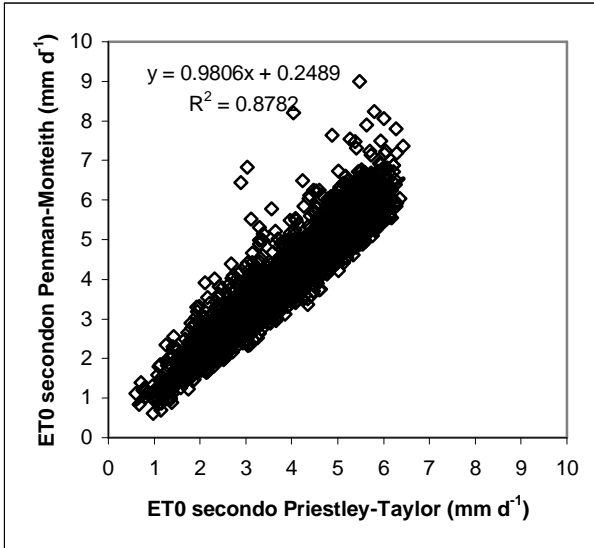


Figura 3 - Confronto tra l'ET₀ calcolata con Penman – Monteith e con Priestley-Taylor usando la stima della radiazione di Bristow-Campbell

