

Applicazione di un modello integrato per la stima dell'evapotraspirazione di piante d'olivo (*Olea europea* L.)

Piero Battista (*), Marta Chiesi (*), Bernardo Rapi (*), Maurizio Romani (*),
 Francesco Sabatini (*), Fabio Maselli (*), Claudio Cantini (**), Alessio Giovannelli (**),
 Giovanni Marino (**), Claudia Cocozza (***), Roberto Tognetti (***), Antonio Raschi (*)

(*) Istituto di Biometeorologia (IBIMET), Consiglio Nazionale delle Ricerche
 Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto F.no (FI), Tel. 055 5226027, Fax 055 5226026 e-mail: p.battista@ibimet.cnr.it

(**) Istituto Valorizzazione Legno e Specie Arboree (IVALSA), Consiglio Nazionale delle Ricerche
 Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto F.no (FI)

(***) Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Università del Molise, C.da Fonte Lappone, 86090 Pesche (IS)

Riassunto

Uno degli aspetti più importanti per una corretta stima dell'evapotraspirazione reale (ETa) su aree a copertura arborea rada e non uniforme è rappresentato dalla necessità di definire correttamente il contributo relativo delle diverse componenti (terreno nudo, copertura erbacea e arborea) nel corso della stagione. La disponibilità di reti di monitoraggio diverse (ecofisiologica, agrometeorologica e di Osservazione della Terra) offre l'opportunità di integrare tecniche di rilevamento in campo e tecniche di telerilevamento (*Remote Sensing*) al fine di migliorare la precisione e l'affidabilità dei modelli esistenti. In questo lavoro sono presentati i risultati preliminari ottenuti dall'impiego di coefficienti culturali ricavati dalle variazioni di un classico indice vegetazionale (NDVI) all'interno di un modello di bilancio idrico (WINETRO) per la stima dell'ETa di una coltura d'olivo. Le stime di evapotraspirazione combinata delle tre principali componenti (olivo, erba, suolo) e quelle della traspirazione delle piante di olivo sono state confrontate rispettivamente con i dati rilevati dai sensori d'umidità del suolo a due diverse profondità (10 e 30 cm) e con quelli di traspirazione della pianta intera (*sap flow*), ottenendo un significativo miglioramento della capacità del modello di seguire le relative variazioni spazio-temporali all'interno del sito pilota.

Abstract

The correct estimation of actual evapotranspiration (ETa) on heterogeneous areas requires the knowledge of the contribution of different ecosystem components (i.e. bare soil, grasses and trees). The availability of various monitoring systems (eco-physiological, agro-meteorological and from remote sensors) offers the opportunity to integrate ground measurements and remotely sensed observations to improve the accuracy and reliability of water budget models. In this paper, the preliminary results related to the use of a NDVI-derived crop coefficient to guide a local water balance model (WINETRO) and estimate the olive trees ETa are shown. The integrated ETa estimates for the olive trees, grasses and bare soil (resulting from the weighted sum of olive, grass and soil contributions) and the olive tree transpiration are compared, respectively, to data collected by soil moisture sensors at two different depths (10 and 30 cm) and to those measured by *sap flows*. The analysis confirms the possibility to get significant advantage from integrated techniques in the evaluation of transpiration and water requirements of many extensive Mediterranean olive crops.

Introduzione

Per le colture arboree tipiche dell'ambiente mediterraneo, come l'olivo, anche se l'adozione della opportuna strumentazione consentirebbe la determinazione dei fabbisogni idrici di ciascuna pianta (Lee et al., 2010), per motivi tecnici ed economici è ancora preferibile disporre di modelli

matematici e criteri in grado di rispondere in maniera efficiente alle esigenze informative degli agricoltori, partendo da un numero limitato di dati e informazioni di base (Chiraz, 2013; Rallo et al., 2012). L'evapotraspirazione (ET) rappresenta una delle variabili più importanti del bilancio idrico, ma la sua determinazione è resa difficile dall'elevata variabilità spazio temporale, riconducibile a vari elementi, quali lo stato delle piante, la tipologia di suolo, la disponibilità idrica e a numerosi altri fattori ambientali (Centritto et al., 2000; Tognetti et al., 2009).

Le tecniche di Osservazione della terra (OT) rappresentano uno strumento prezioso per il contenimento dei costi richiesti per la raccolta di dati e informazioni su larga scala, in particolare quando sono impiegate all'interno di sistemi di supporto alle decisioni per la caratterizzazione spaziale delle aree produttive o per l'analisi delle variazioni temporali legate alla fisiologia dei vegetali (Anderson et al., 2011; Rocha et al., 2012). Limitandoci a considerare la componente evapotraspirativa, tali metodi si sono già mostrati in grado di fornire indicazioni utili sugli andamenti spazio-temporali, ottenuti a partire da bilanci energetici e idrici di superficie (Cammalleri et al., 2012; Senay et al., 2012). Quali indicatori della biomassa verde, tuttavia, questi indici possono essere combinati con modelli per la stima dell'evapotraspirazione di riferimento (ET_o), tramite la formula $ET_a = ET_o f(VI)$, dove $f(VI)$ è una trasformazione lineare o non lineare di vari indici vegetazionali, tra i quali il più comune è il *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) (Glenn et al., 2010). Secondo questo approccio, l'uso del Kc_NDVI può sostituire quello del tradizionale coefficiente colturale (Kc), definito come il rapporto tra ET_a osservata per quella determinata coltura e ET_o (Allen et al., 1998).

L'impiego di coefficienti colturali derivati da NDVI è risultato particolarmente efficace nella stima dell'evapotraspirazione giornaliera su aree estese e a forte variabilità gestionale e ambientale (Rocha et al., 2012), all'interno delle quali il Kc classico non riesce a fare alcuna distinzione tra le diverse condizioni (Senay, 2008). Tuttavia, l'uso di questo metodo in situazioni di stress idrico ha comportato ancora notevoli sovrastime dei valori di ET_a (Glenn et al., 2010). Recentemente è stata anche dimostrata la possibilità di migliorare la capacità di discriminazione tra condizioni diverse di disponibilità idrica in ambienti a copertura mista e con disponibilità idrica limitata, tramite specifici coefficienti Kc_NDVI (Maselli et al., 2014). Nel caso specifico dell'olivo, tali coefficienti possono essere derivati da dati NDVI riferibili separatamente alla copertura arborea e a quella erbacea, come descritto in Maselli et al. (2012). Inoltre, una buona relazione dell'indice NDVI con la fotosintesi, la conduttanza stomatica e il potenziale idrico fogliare è stata osservata da Marino et al. (2014) in piante di olivo sottoposte a regime irriguo e asciutto.

Nel presente lavoro è valutato l'uso di Kc_NDVI, al posto dei classici Kc forniti dalla letteratura, per il miglioramento della stima dell'ET di una coltura di olivo in un sistema integrato di bilancio idrico applicato a un plot sperimentale di circa 1000 m².

Dopo aver calibrato i valori di NDVI delle immagini Terra MODIS usando quelle LANDSAT 8 OLI a 30 m e discriminato la componente erbacea da quella arborea, si è provveduto al confronto dei valori di evapotraspirazione stimati per l'olivo e per la coltura nel suo insieme, con i dati rispettivamente di traspirazione delle piante e di umidità del suolo, ottenendo un significativo aumento della precisione delle relative stime.

Materiali e metodi

I dati utilizzati in questo lavoro sono stati raccolti nell'azienda sperimentale Santa Paolina di Follonica (GR) (42°55'58''N, 10°45'51'' E; 17 m s.l.m.) del CNR-IVALSA nel corso dell'anno 2013, in un oliveto di circa 10 anni (*Olea europaea* L., cv. Leccino), con un sesto d'impianto 4 x 4 m. I valori delle principali grandezze fisiche (temperatura e umidità dell'aria, velocità del vento, radiazione solare, pioggia) sono stati registrati ogni 15' da una stazione meteorologica automatica, mentre i dati di umidità del suolo sono stati monitorati con la stessa frequenza, mediante una rete di sei sensori (Terrasens SMT2 e Decagon 10Hs) posti in tre punti dell'oliveto, a due diverse profondità (10 e 30 cm). Nel periodo compreso tra il 19 aprile e il 4 agosto, il flusso xilematico di cinque piante di olivo è stato, inoltre, monitorato tramite sensori di traspirazione

Granier (Granier, 1985), inseriti radialmente nel fusto all'altezza di 1.3 m e a una profondità di 20 mm (Marino et al., 2014); il diametro medio del fusto era di 75 mm all'altezza dell'inserimento della sonda. I valori di *sap flow* ($l\ h^{-1}$) sono stati calcolati usando la dissipazione termica dei sensori, come descritto in Marino et al. (2014).

I valori giornalieri di traspirazione forniti dai sensori di *sap flow* e di evapotraspirazione derivati dalle misure di umidità del suolo sono stati quindi confrontati con le stime prodotte dal modello di bilancio idrico WINETRO (Battista et al., 2003), ottenute applicando i coefficienti colturali classici riportati in letteratura e i coefficienti colturali specifici, Kc_NDVI , determinati in funzione delle variazioni quindicinali di NDVI (Maselli et al., 2014). In particolare, i valori di NDVI della componente arborea e di quella erbacea sono stati stimati integrando immagini Terra MODIS e Landsat 8 OLI, come descritto in Maselli et al. (2012).

Le stime di evapotraspirazione delle tre componenti (arborea, erbacea e suolo) sono state quindi combinate tenendo conto del contributo relativo atteso, definito sulla base della percentuale di copertura media della superficie osservata, al fine di ottenere una stima dell'evapotraspirazione della coltura, $ETa\ Crop$:

$$ETa\ Crop = 0.5 \cdot ETa_Olivo + 0.3 \cdot ETa_Erbacea + 0.2 \cdot Evap_Suolo$$

I tassi evapotraspirativi di ciascuna componente sono stati infine messi a confronto con l'evapotraspirazione cumulata, ottenuta in funzione dei sensori di umidità del suolo inseriti a due diverse profondità (10 e 30 cm), mentre la traspirazione stimata per le piante di olivo è stata confrontata con quella media ottenuta tramite le misure di *sap flow*.

Risultati e discussione

In condizioni di buona disponibilità idrica, l'impiego di coefficienti colturali standard per la stima dell'evapotraspirazione reale di colture miste in pieno campo, ricavati da letteratura o tramite medie di annate diverse, consente di seguire con sufficiente precisione le variazioni di umidità nel primo metro di profondità del terreno (Fiori, 2004; Williams, Ayars, 2005). Tuttavia, nel caso in cui le piante si trovino in condizioni di parziale carenza idrica, come è accaduto nel corso dell'anno 2013 nel sito pilota, le variazioni di NDVI suggeriscono l'impiego di Kc specifici, maggiormente rappresentativi dello stato della coltura (Fig. 1a). Come evidenziato nella figura 1b, le differenze tra i livelli di evaporazione giornaliera stimata a partire dai due metodi nel corso dell'anno 2013 risultano piuttosto rilevanti, in particolare nel periodo compreso tra maggio e settembre.

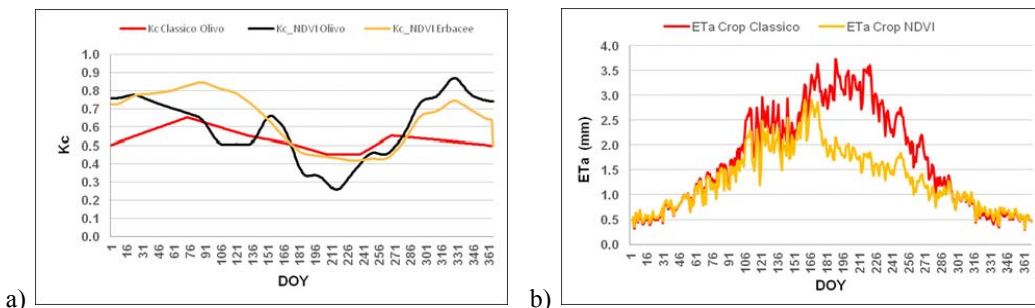


Figura 1 - a) Andamento dei Kc classici per la coltura dell'olivo (Kc Classico Olivo) e dei Kc stimati in base ai valori di NDVI (Kc_NDVI Olivo, Kc_NDVI Erbacee); b) Andamento di $ETa\ Crop$ Classico e $ETa\ Crop$ NDVI, stimati in funzione rispettivamente dei Kc classici e di quelli derivati da NDVI.

Dal confronto tra i valori di evapotraspirazione stimati tramite il modello di bilancio idrico e quelli ottenuti dalle misure dei sensori di umidità posti a due diversi livelli di profondità, si rileva che, in mancanza di particolari condizioni di stress, l'uso dei Kc derivati da NDVI consente di seguire meglio il comportamento delle diverse componenti a livello superficiale, mentre non si ha alcun miglioramento nella stima della perdita complessiva d'acqua (coltura) a livello più profondo (Tab.1). Questo è giustificato dalla natura stessa dei valori di Kc_NDVI, che sono legati direttamente alla biomassa verde delle componenti arborea ed erbacea, che rispondono diversamente alla disponibilità idrica negli strati più profondi del suolo (Maselli et al., 2014). Quando la componente erbacea della *crop* all'interno dell'area d'interesse è assente, le variazioni di Kc_NDVI possono essere percentualmente importanti, anche se le piante di olivo dispongono ancora di una buona riserva idrica profonda.

Tabella 1 - Parametri della regressione lineare tra i valori stimati di ETa (modello bilancio idrico) e misurati in funzione dei sensori di umidità del suolo, per le tre componenti (Olivo, Erbacee e Crop): a - coeff. angolare della regressione lineare; R² - coeff. di determinazione (***) P<0.001; ** P<0.01; * P<0.1).

	Kc Classico 10 cm		Kc_NDVI 10 cm		Kc Classico 30 cm		Kc_NDVI 30 cm	
	a	R ²	a	R ²	a	R ²	a	R ²
ETa Olivo	1.24	0.59**	1.36	0.70***	0.78	0.8***	0.88	0.82***
ETa Erbacee	0.65	0.08	0.93	0.36*	0.77	0.41*	0.78	0.73***
ETa Crop	1.02	0.38*	1.39	0.71***	0.797	0.84***	0.80	0.82***

L'applicazione dei Kc_NDVI consente di seguire con maggiore precisione il comportamento dell'acqua nel terreno, come descritto dai sensori di umidità posti a due diversi livelli di profondità, rispetto a quanto può essere ottenuto tramite l'impiego dei coefficienti Kc forniti dalla letteratura (Fig. 2). Ad esempio, nel sito pilota, sulla base dell'andamento stagionale e delle indicazioni ottenute tramite l'elaborazione delle immagini satellitari, nel corso della stagione 2013 si sono registrati due periodi di relativa carenza idrica. Nel corso del primo periodo (aprile-maggio 2013) la minor disponibilità idrica superficiale ha avuto conseguenze prevalentemente sulla componente erbacea, mentre nel secondo periodo (luglio-agosto 2013), il prolungarsi di un bilancio idrico negativo ha comportato una pronunciata riduzione della disponibilità idrica anche negli strati più profondi, interessando maggiormente anche la componente arborea (Fig. 2).

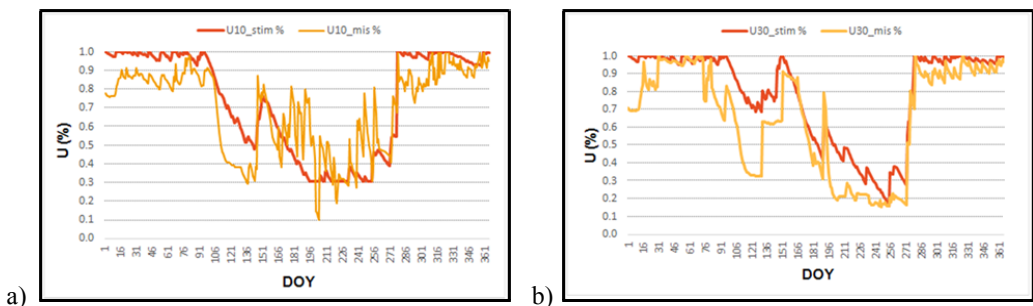


Figura 2 - Andamento dell'umidità del suolo stimata e misurata a 10 cm (a) e 30 cm (b).

In figura 3 sono mostrati gli andamenti giornalieri della traspirazione dell'olivo stimata tramite il coefficiente colturale classico (Classico), il coefficiente derivato da NDVI (NDVI) e della traspirazione media della pianta misurata mediante i sensori di *sap flow* (sap flow) per il periodo 19

aprile - 4 agosto 2013. Si può notare che l'uso dei coefficienti specifici Kc_NDVI ha permesso di seguire in maniera soddisfacente la traspirazione delle piante di olivo, evidenziando una significativa riduzione dell'ETA dell'olivo rispetto ai valori ottenuti applicando il coefficiente culturale classico (Fig. 3). Dal confronto dei tre andamenti si rileva anche una certa sovrastima del tasso traspirativo con entrambi i metodi (Classico e NDVI) nel periodo aprile-maggio rispetto ai valori di traspirazione misurati tramite *sap flow*.

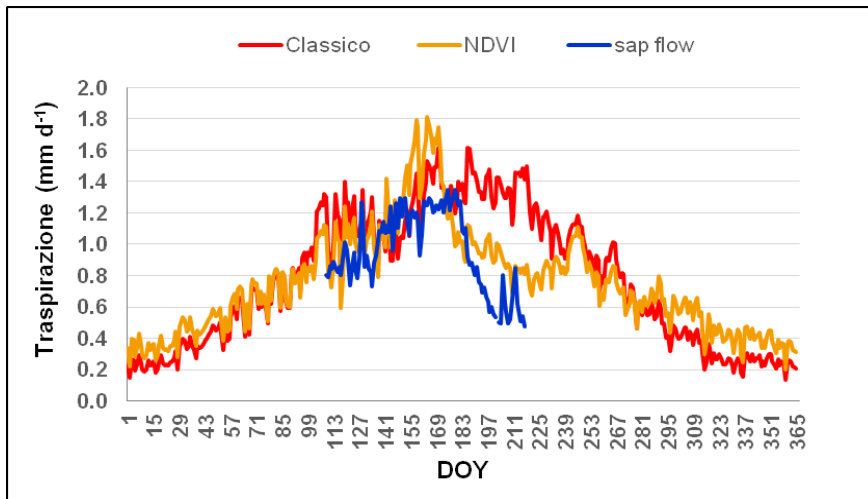


Figura 3 - Andamenti della traspirazione dell'olivo misurata (*sap flow*) e stimata (Classico, NDVI).

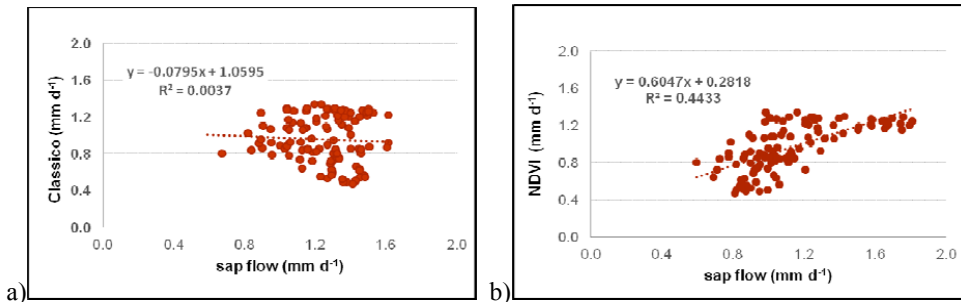


Figura 4 - Confronto tra i valori giornalieri di traspirazione dell'olivo misurati (*sap flow*) e stimati (Classico, NDVI).

Come evidenziato dalle rette di regressione ottenute dal confronto tra la traspirazione misurata e stimata con i due metodi (Fig. 4), superando almeno in parte i limiti intrinseci nel metodo classico, che prevede il mantenimento di condizioni ottimali di disponibilità idrica, l'uso dei coefficienti Kc_NDVI ha permesso di ottenere un netto miglioramento nella stima del tasso traspirativo delle piante di olivo all'interno del campo sperimentale.

Conclusioni

Le immagini Terra MODIS e LANDSAT8 OLI sono state utilizzate per ricostruire i coefficienti culturali giornalieri di una coltura di olivo allevata all'interno di un plot di circa 1000 m² al fine di discriminare la componente arborea (Kc_NDVI Olivo) da quella erbacea (Kc_NDVI Erbacee). I coefficienti ottenuti sono stati applicati per la stima dell'evapotraspirazione reale di una coltura di

olivo, confrontando i risultati con l'evapotraspirazione cumulata indicata dai sensori di umidità del suolo posti a due diverse profondità (10 e 30 cm) e con la traspirazione misurata dai sensori *sap flow* su cinque piante di olivo.

Nel complesso, l'uso di coefficienti specifici K_c _NDVI ha comportato un netto miglioramento della capacità di stima del modello di bilancio idrico, in particolare nello strato più superficiale (10 cm), consentendo di "pesare" in modo ottimale il ruolo delle diverse componenti: arborea, erbacea e suolo.

Un ulteriore miglioramento nella stima dell'evapotraspirazione delle colture d'olivo è stato ottenuto legando la potenzialità evapotraspirativa della piante alla disponibilità idrica stimata dal modello WINETRO. Questi risultati suggeriscono la possibilità di utilizzare i K_c , ottenuti da satellite all'interno di modelli integrati di bilancio idrico multilivello, per stime di traspirazione ed evapotraspirazione di colture estensive in ambiente mediterraneo.

Bibliografia

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. (1998), *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56*, FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 300 pp.
- Anderson M.C., Kustas W.P., Norman J.M., Hain C.R., Mecikalski J.R., Schultz L. (2011), "Mapping daily evapotranspiration at field to continental scales using geostationary and polar orbiting satellite imagery", *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(1): 223–239.
- Battista P., Rapi B., Rocchi L. (2003), "WINETRO: Un logiciel pour l'estimation des besoins en eau des cultures", In: *Manuel technique du Système Agrométéorologique*, M.A. El Ouali, G. Maracchi, A. Di Vecchia, L. Bacci (eds.), Project d'Appui à la Direction de la Météorologie Nationale du Maroc., 236-274.
- Cammalleri C., Anderson M.C., Ciralo G., D'Urso G., Kustas W.P., La Loggia G. (2012), "Applications of a remote sensing-based two-source energy balance algorithm for mapping surface fluxes without in situ air temperature observations", *Remote Sensing of Environment*, 124: 502–515.
- Centritto M., Loreto F., Massacci A., Pietrini F., Villani M.C., Zacchini M. (2000), "Improved growth and water use efficiency of cherry saplings under reduced light intensity", *Ecol. Res.*, 15: 385–392.
- Chiraz M.C. (2013), "Growth of young olive trees: water requirements in relation to canopy and root development", *American Journal of Plant Sciences*, 4: 1316-1344.
- Fiori M. (2004), *I fabbisogni idrici culturali determinati nel settennio 1995-2001 secondo la metodologia FAO*, Note tecniche di agrometeorologia per la Sardegna n.4, Ed. S.A.R., 93 pp., Available on line at: <http://www.sar.sardegna.it/pubblicazioni/notetecniche/nota4/index.asp>.
- Granier A. (1985), "A new method of sap flow measurement in tree stems", *Annals of Forest Science*, 42: 193–200.
- Glenn E.P., Nagler P.L., Huete A.R. (2010), "Vegetation index methods for estimating evapotranspiration by remote sensing", *Surveys in Geophysics*, 31:531-555.
- Lee W.S, Alchanatis V., Yang C., Hirafuji M., Moshou D., Li C. (2010), "Sensing technologies for precision speciality crop production", *Computers and Electronics in Agriculture*, 74: 2-33.
- Marino G., Pallozzi E., Coccoza C., Tognetti R., Giovannelli A., Cantini C., Centritto M. (2014), "Assessing gas exchange, sap flow and water relations using tree canopy spectral reflectance indices in irrigated and rainfed *Olea europaea* L.", *Environmental and Experimental Botany*, 99: 43-52.
- Maselli F., Chiesi M., Brillì L., Moriondo M. (2012), "Simulation of olive fruit yield in Tuscany through the integration of remote sensing and ground data", *Ecological Modelling*, 244: 1-12.
- Maselli F., Papale D., Chiesi M., Matteucci G., Angeli L., Raschi A., Seufert G. (2014), "Operational monitoring of daily evapotranspiration by the combination of MODIS NDVI and ground meteorological data: Application and evaluation in Central Italy", *Remote Sensing of Environment*, 152: 279-290. doi: 10.1016/j.rse.2014.06.021

- Rallo G., Agnese C., Minacapilli M., Provenzano G. (2012), “Assessing AQUACROP water stress function to evaluate the transpiration reductions of olive mature tree”, *Italian Journal of Agrometeorology*, 2012(1): 21-28.
- Rocha J., Perdigao A., Melo R., Henriques C. (2012), “Remote sensing based crop coefficients for water management in agriculture” In: *Sustainable Development - Authoritative and Leading Edge Content for Environmental Management*, Sime Curkovic (eds.). Available on line at: <http://dx.doi.org/10.5772/48561>.
- Senay G.B. (2008), “Modeling landscape evapotranspiration by integrating land surface phenology and a water balance algorithm”, *Algorithms*, 1: 52-68. doi: 10.3390/a1020052
- Senay G.B., Bohms S., Verdin J.P. (2012), “Remote sensing of evapotranspiration for operational drought monitoring using principles of water and energy balance” In: *Remote sensing of drought: innovative monitoring approaches*, Wardlow B.D., Anderson M.C., Verdin J.P., Taylor and Francis Group (eds.), 123-144.
- Tognetti R., Giovannelli A., Lavini A., Morelli G., Fragnito F., D’Andria R. (2009), “Assessing environmental controls over conductances through the soil-plant-atmosphere continuum in an experimental olive tree plantation of southern Italy”, *Agric. Forest Meteorol.*, 149: 1229–1243.
- Williams L.E., Ayars J.E. (2005), “Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy”, *Agricultural and Forest Meteorology*, 132: 201–211.