

Monitoraggio operativo di un oliveto in Toscana mediante dati satellitari e ausiliari

Fabio Maselli^(a), Piero Battista^(a), Marco Bindi^(b), Lorenzo Brilli^(b),
Marta Chiesi^(a), Claudia Cocozza^(c), Bernardo Rapi^(a), Maurizio Romani^(a),
Roberto Tognetti^(d), Antonio Raschi^(a)

^(a) IBIMET-CNR, Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI), maselli@ibimet.cnr.it

^(b) Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agro-Alimentari e dell'Ambiente, Università di Firenze, Firenze

^(c) IPSP-CNR, Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI)

^(d) Dipartimento di Agricoltura, Ambiente e Alimenti, Università del Molise, Pesche (IS)

Introduzione

L'olivo (*Olea europaea* L.) è uno degli alberi da frutto coltivati fin dall'antichità nel bacino del Mediterraneo dove svolge un ruolo fondamentale a livello paesaggistico. Questa regione conta circa 700 milioni di piante di olivo su un territorio di 9 Mha, e rappresenta circa il 96 % delle zone coltivate nel mondo. Monitorare l'acqua consumata ed il carbonio fissato da questa specie è quindi una sfida assai rilevante, sia per scopi pratici che scientifici.

L'evapotraspirazione reale (AET) è un parametro fondamentale nell'ambito del ciclo dell'acqua a scala globale e la sua conoscenza è basilare per svolgere analisi di tipo ambientale, economica e sociale alle diverse scale spaziali e temporali (Srivastava et al., 2013). Quantificare in maniera accurata l'AET è inoltre importante per valutare l'efficienza d'uso della risorsa acqua e, conseguentemente, migliorarla sia in campo agricolo che forestale. Questo assume maggior rilievo in ambienti semi-aridi, per i quali le informazioni sul consumo idrico possono essere molto utili per attuare pratiche politico-gestionali sostenibili. Inoltre, recenti studi hanno dimostrato che il cambiamento climatico può avere effetti negativi sulle colture mediterranee tradizionali, dato che comporterà un aumento di temperatura (quindi di traspirazione), e di durata e intensità dei periodi aridi (Grouillet et al., 2015).

La produzione primaria lorda (GPP), definita come il tasso di accumulo del carbonio attraverso il processo della fotosintesi, è un altro parametro fondamentale sia per il monitoraggio degli ecosistemi a scala locale, sia per studi sul cambiamento climatico a scala globale. Approssimativamente, circa metà della GPP viene accumulata nella produzione di nuovi tessuti (es. foglie, radici e legno) da parte delle piante, mentre l'altra metà viene rilasciata in atmosfera attraverso la respirazione autotrofa.

Recentemente sono state sviluppate diverse tecniche per monitorare i flussi di acqua e la produzione degli ecosistemi a diverse scale spaziali e temporali. Una delle più applicate è la tecnica dell'*Eddy covariance* che però fornisce misure di flusso relative a superfici relativamente piccole (*footprint*), la cui dimensione e forma dipende dall'altezza della torre di misura, dalle caratteristiche delle chiome e dalla velocità del vento; quindi è problematico ottenere misure su vasta scala. Tecniche eco-fisiologiche, come il sap flow, forniscono stime di traspirazione su superfici ancora più ridotte.

L'integrazione tra dati telerilevati e dati raccolti a terra, tuttavia, può costituire una tecnica per sopperire alla mancanza di osservazioni su vasta scala. I dati telerilevati infatti, vengono utilizzati per ottenere informazioni sia di AET, tramite l'applicazione di coefficienti colturali derivati dall'indice NDVI, che GPP con un modello di tipo Monteith (Maselli et al., 2012, 2014). Quest'ultimo metodo combina la radiazione incidente e la sua efficienza d'uso con stime telerilevate della frazione di radiazione fotosinteticamente attiva assorbita (fAPAR). Entrambi gli approcci consentono di ottenere buone stime impiegando le immagini MODIS, che sono uno dei migliori descrittori delle caratteristiche della vegetazione ad una risoluzione spaziale moderata (250 m) ed alta frequenza temporale (8-16 giorni) (Maselli et al., 2012). La stima di AET e GPP, comunque, è complicata dalla natura multi-strato degli oliveti, generalmente composti da alberi disposti in filare e specie erbacee nell'interfilare. Ciò richiede un diverso trattamento dei due strati, così come è illustrato nel caso di studio descritto di seguito.

Area di studio

Lo studio è stato effettuato in un oliveto sperimentale (*Olea europaea* L., cv. Leccino) situato in una zona agricola vicino a Follonica, Toscana (42°55'58"N, 10°45'51" E; 17 m s.l.m.) (Figura 1) (Brilli et al., 2013, Marino et al., 2014). Il clima è di tipo mediterraneo sub-arido, con una temperatura media annua di 16 °C; gennaio è il mese più freddo (9 °C), luglio quello più caldo (24 °C) e l'escursione media giornaliera è 9-10 °C. La precipitazione media annua è circa 650 mm, concentrata soprattutto in autunno e primavera, mentre in estate le piogge sono assai scarse (Marino et al., 2014). Il suolo ha una profondità di circa 3 m e lo strato superficiale (circa 0.5 m) è limo-argilloso, ricco di sostanza organica.

Dati di studio

I dati di temperatura e precipitazione giornaliera sono stati raccolti nel periodo 2010-2013 presso una torre di misura dei flussi installata nel sito. Questi dati sono stati successivamente confrontati con quelli raccolti da una stazione meteorologica posta nelle vicinanze per valutarne l'accuratezza. La radiazione solare è stata derivata per il periodo corrispondente applicando l'algoritmo MT-Clim (Thornton et al., 2000).

La traspirazione degli olivi è stata misurata utilizzando la media di 5 sensori *Granier-type* (Granier, 1985), inseriti radialmente nel tronco di 5 olivi ad un'altezza da terra di 1.3 m e ad una profondità di 20 mm (Cocozza et al., 2015). I dati orari sono stati raccolti ed elaborati per ottenere un dataset giornaliero per gli anni 2011-2013. Complessivamente i dati sono disponibili per un periodo di circa 110 giorni nella stagione di crescita del 2013.

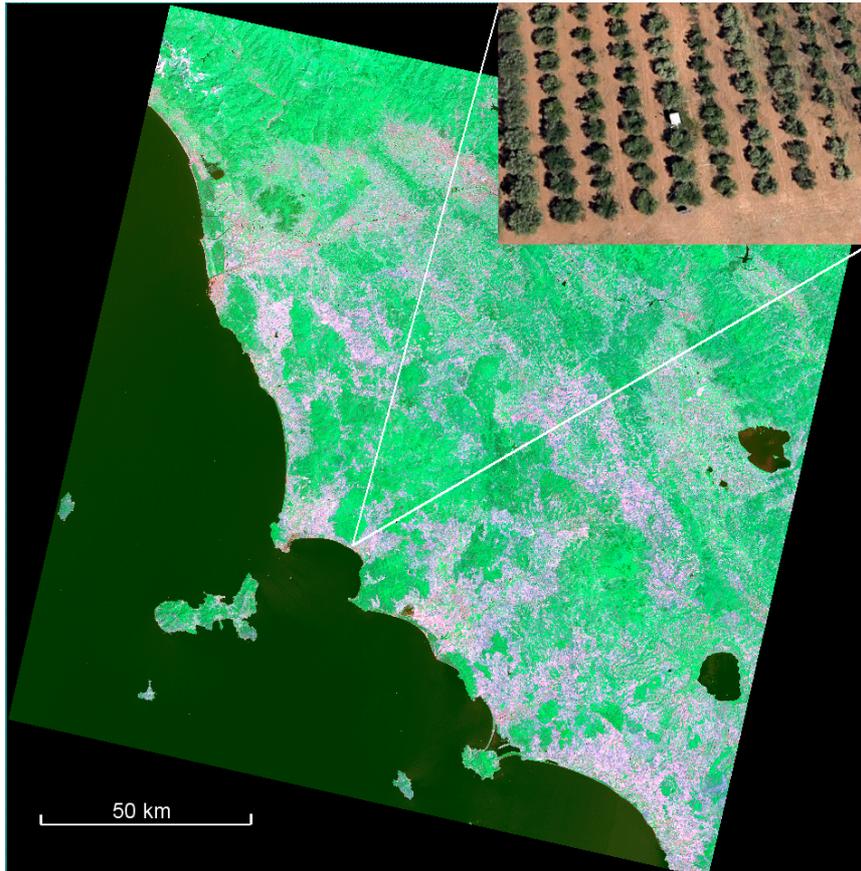


Figura 1 - Immagine Landsat OLI della Toscana del 16 giugno 2013 con la posizione dell'area di studio; in alto a sinistra, posizione della scena in Italia; in alto a destra, immagine Ikonos del 5 giugno 2013 presa da Google-Earth che mostra l'oliveto.

La tecnica *eddy covariance* è stata applicata nell'oliveto per circa due anni, da febbraio 2010 a dicembre 2011. I dati raccolti sono stati trattati secondo la metodologia proposta da Reichstein et al. (2005) per ottenere serie giornaliere di flusso netto dell'ecosistema (NEE), GPP e respirazione dell'ecosistema (Reco).

Valori multitemporali di NDVI sono stati ottenuti per l'area di studio utilizzando immagini MODIS a 250 m di risoluzione spaziale. Tutti le immagini NDVI che coprono l'Italia centrale sono state scaricate dal database USGS (<https://lpdaac.usgs.gov>) per gli anni 2010-2013. Sono state inoltre utilizzate immagini a più alta risoluzione spaziale tra cui un'immagine Landsat OLI del 16 giugno 2013, ed un'immagine Ikonos del 5 giugno 2013 (Figura 1) per valutare la copertura dell'oliveto.

Stima dell'evapotraspirazione e della produzione primaria

Il metodo NDVI-Cws, recentemente proposto da Maselli et al. (2014), integra dati telerilevati ed ancillari per stimare l'AET (Figura 2). Tale metodo si basa sul concetto di coefficiente colturale, K_c (Allen et al., 1998), che viene stimato usando gli indici di vegetazione (Glenn et al., 2010). In particolare, l'indice NDVI viene usato per derivare la *Fractional Vegetation Cover* (FVC), che indica la quantità di biomassa verde traspirante sensibile allo stress idrico a lungo termine.

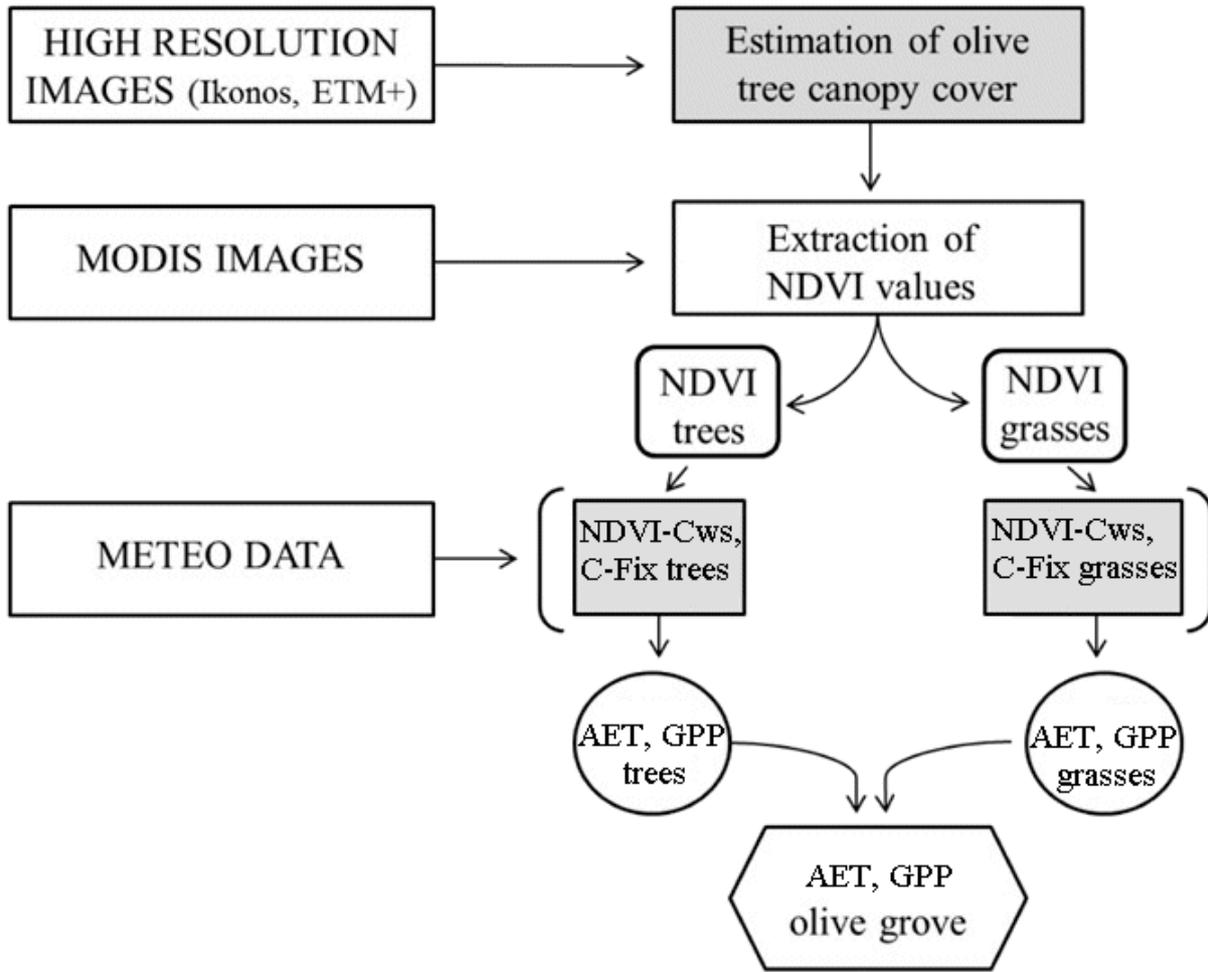


Figura 2 – Schema della metodologia adottata per stimare AET e GPP.

La stima dell’FVC è ottenuta secondo quanto proposto da Gutman e Ignatov (1998), e consente di simulare separatamente la traspirazione della coltura e l’evaporazione dal suolo. Entrambe le grandezze sono limitate dallo stress idrico a breve termine che viene considerato introducendo due fattori meteorologici, applicati a superfici vegetate e non, per stimare la traspirazione (TR) e l’evaporazione (EV), entrambe in mm/giorno, secondo le formule:

$$TR = PET \cdot FVC \cdot K_{Cveg} \cdot Cws \quad [1]$$

$$EV = PET \cdot (1-FVC) \cdot K_{Csoil} \cdot AW \quad [2]$$

dove PET è l’evapotraspirazione potenziale stimata come proposto da Hargreaves e Samani (1985), K_{Cveg} e K_{Csoil} sono rispettivamente il valore massimo di Kc per la vegetazione ed il suolo, e Cws (*Coefficient of water stress*) e AW (*Available Water*) sono due fattori meteorologici (Maselli et al., 2014). Come spiegato nello stesso articolo, AW e Cws sono calcolati dal rapporto tra precipitazione ed PET cumulata su intervalli di tempo variabili da 1 a 2 mesi, a seconda della presenza di specie erbacee o arboree. I due fattori di

stress idrico, che variano rispettivamente tra $0.5 \div 1$ e $0 \div 1$, sono sempre attivati in ecosistemi non irrigati. Per gli altri ecosistemi, eventuali apporti idrici dovuti a irrigazione o alla presenza di una falda idrica superficiale, sono dedotti dalla presenza di biomassa verde nei periodi più siccitosi; pertanto i due fattori vengono disattivati se la FVC è maggiore di 0.6. Il metodo è stato applicato stimando indipendentemente l'NDVI, e quindi l'evapotraspirazione, degli olivi e della copertura erbacea (Figura 2).

Anche la GPP è stata stimata separatamente per gli olivi e per le specie erbacee, e ricombinata seguendo lo schema di Figura 2. Più precisamente sono state applicate due versioni modificate di C-Fix (MC-Fix), inizializzate con stime di fAPAR per gli olivi e per le specie erbacee. Il loro diverso contributo viene stimato con la procedura descritta da Maselli et al. (2012). Per gli olivi, la GPP del giorno i -esimo viene stimata con MC-Fix (Maselli et al., 2012) secondo l'equazione:

$$GPP_i = \varepsilon Tcor_i Cws_i fAPAR_i Rad_i \quad [3]$$

dove ε è la massima efficienza d'uso della radiazione (1.2 g C/MJ APAR); $Tcor_i$ è il fattore di correzione per la temperatura del MODIS proposto per le latifoglie sempreverdi (adimensionale); Cws_i è il fattore di stress idrico per le specie arboree (adimensionale); $fAPAR_i$ è la frazione di PAR assorbita (adimensionale) e Rad_i è la PAR incidente (MJ/m² giorno).

Per la vegetazione dell'interfilare, la GPP viene stimata applicando un'equazione simile, diversamente parametrizzata; in particolare, ε è posto uguale a 1.65 g C/MJ APAR, $Tcor_i$ è il fattore di correzione per la temperatura del MODIS proposto per le specie erbacee e Cws_i viene derivato da un bilancio idrico calcolato su un periodo di 1 mese, invece di 2 (Maselli et al., 2013). Queste modifiche tengono in considerazione il fatto che le specie erbacee hanno una diversa capacità di rispondere alle limitazioni termiche ed idriche rispetto alle specie arboree (Maselli et al., 2013). Le stime giornaliere di GPP degli olivi e quelle delle specie erbacee vengono poi integrate per ottenere la fotosintesi totale dell'oliveto utilizzando le rispettive frazioni di copertura.

Le stime prodotte da NDVI-Cws e MC-Fix sono state confrontate con i dati indipendenti di traspirazione e GPP raccolti nell'oliveto e la loro accuratezza viene valutata utilizzando il coefficiente di correlazione (r), l'errore medio (MBE) e lo scarto quadratico medio (RMSE).

Risultati

Il confronto tra le misure giornaliere di traspirazione del 2013 e le rispettive stime è mostrato in Figura 3 (Battista et al., 2016). Le stime mostrano lo stesso andamento temporale delle misure e ricadono quasi completamente nell'intervallo dell'errore standard delle misure. Il confronto statistico evidenzia un alto coefficiente di correlazione ed un errore contenuto ($r = 0.818$, RMSE = $0.40 \text{ mm giorno}^{-1}$, MBE = $-0.12 \text{ mm giorno}^{-1}$).

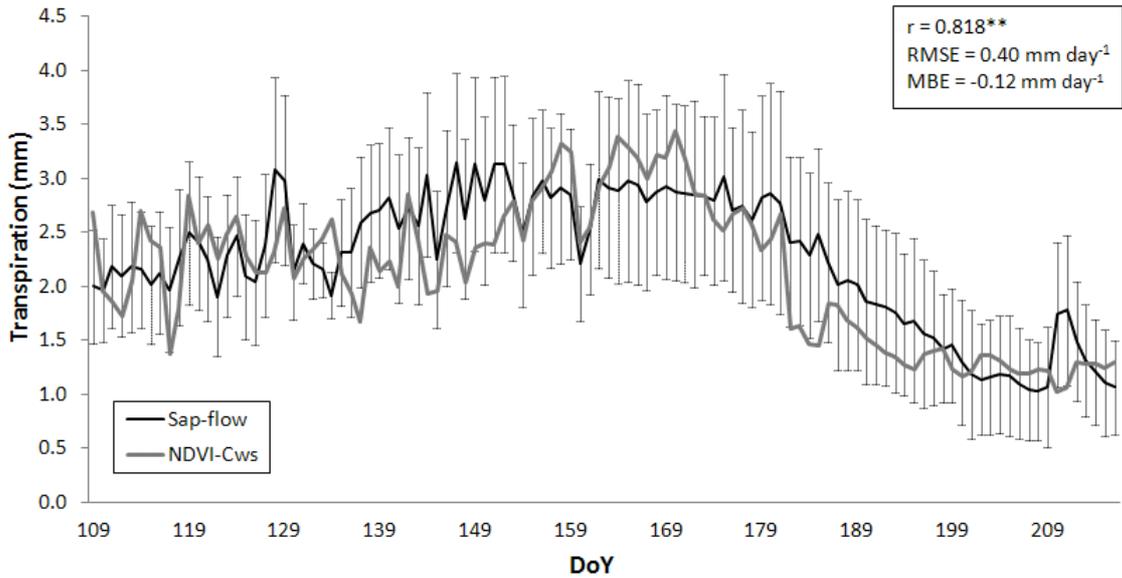


Figura 3 – Traspirazione giornaliera degli olivi misurata con la tecnica del sap-flow (media ed errore standard per le piante campionate) e stimata col metodo NDVI-Cws guidato dalle endmembers NDVI degli olivi. I dati sono raccolti dal 19 aprile all’8 agosto 2013 (** = correlazione altamente significativa, $P < 0.01$).

I dati di GPP osservati e stimati sono mostrati in Figura 4 (Brilli et al., 2013). Le due serie sono molto simili, fatta eccezione per i due periodi di primavera 2010 e tardo inverno-inizio primavera 2011, che coincidono con quelli successivi alle lavorazioni. La presenza di questi periodi, infatti, riduce in maniera significativa la correlazione tra dati osservati e stimati ($r = 0.462$; $RMSE = 1.88 \text{ g C m}^{-2} \text{ giorno}^{-1}$). Rimuovendo i giorni successivi alle lavorazioni, ovvero 32 giorni nel 2010 (dal 6 maggio al 5 giugno) e 69 giorni nel 2011 (dal 19 marzo al 26 maggio), e ricalcolando l’accuratezza delle stime, si ottiene che l’accordo statistico tra le due serie (osservata e stimata) migliora sia in termini di correlazione che di errore ($r = 0.662$; $RMSE = 1.31 \text{ g C m}^{-2} \text{ giorno}^{-1}$).

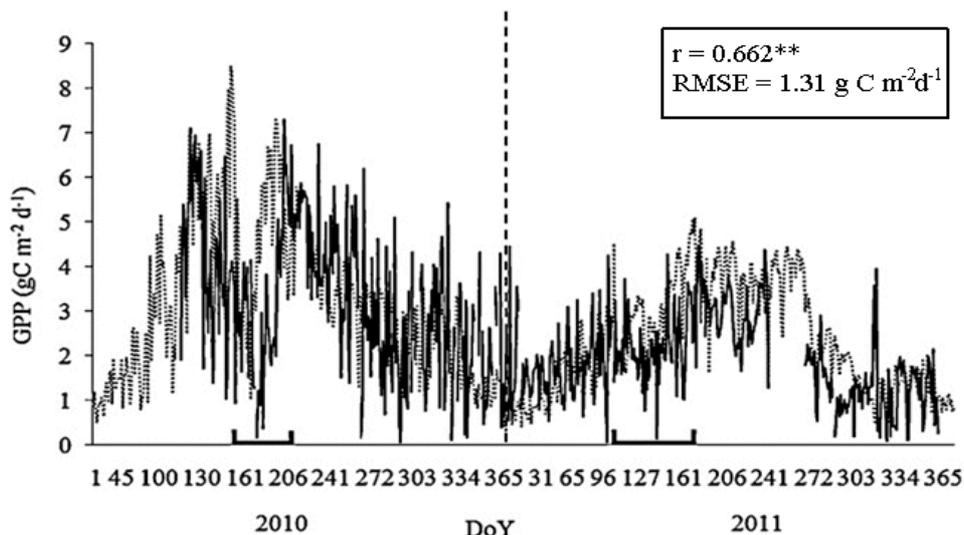


Figura 4 – Confronto tra dati di GPP osservati (linea continua) e stimati (linea tratteggiata) per i due anni di studio (2010 e 2011).

Conclusioni

Questo studio ha riguardato l'integrazione di dati a terra e telerilevati per la stima dell'evapotraspirazione e della produzione primaria di un agro-ecosistema mediterraneo complesso. I risultati ottenuti evidenziano la capacità del metodo NDVI-Cws di stimare la traspirazione giornaliera degli olivi, capacità che è fortemente dipendente dalla qualità dei dati di input utilizzati, soprattutto dei dati NDVI. L'oliveto infatti, molto frammentato e con una struttura biplana, richiede una stima separata dell'indice NDVI per alberi e specie erbacee, che può essere ottenuta applicando tecniche statistiche per integrare immagini con diverse caratteristiche spazio-temporali. Ciò conferma l'importanza di disporre di datasets di NDVI con buone caratteristiche, la cui disponibilità dovrebbe essere maggiore nei prossimi anni, grazie alle nuove missioni satellitari (es. Sentinel 2 e 3).

Considerazioni simili sulla natura del doppio strato dell'oliveto valgono anche per l'applicazione del metodo Monteith, che ha prodotto buoni risultati nel simulare la GPP giornaliera dell'area di studio. Le maggiori differenze tra le stime e le osservazioni disponibili sono state riscontrate in due periodi post-lavorazioni, durante i quali il modello sovrastima la fotosintesi. Ciò è dovuto alla bassa risoluzione spaziale delle immagini MODIS, non sufficiente per registrare le riduzioni di NDVI dovute alle lavorazioni su un appezzamento di dimensioni ridotte. Anche in questo caso, è importante poter disporre di dati NDVI dalle nuove missioni satellitari, con risoluzioni spazio temporali adeguate.

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. Rome.
- Battista P., Chiesi M., Rapi B., Romani M., Cantini C., Giovannelli A., Coccozza C., Tognetti R., Maselli F., 2016, "Integration of ground and multi-resolution satellite data for predicting the water balance of a Mediterranean two-layer agro-ecosystem", *Remote Sensing*, 8, 731; doi:10.3390/rs8090731.
- Brilli L., Chiesi M., Maselli F., Moriondo M., Gioli B., Toscano P., Zaldei A., Bindi M., 2013, "Simulation of olive grove Gross Primary Production by the combination of ground and multi-sensor satellite data", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 23: 29-36.
- Coccozza C., Marino G., Giovannelli A., Cantini C., Centritto M., Tognetti R., 2015, "Simultaneous measurements of stem radius variation and sap flux density reveal synchronization of water storage and transpiration dynamics in olive trees", *Ecohydrology*, 8: 33-45.
- 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.
- Granier A., 1985, "A new method of sap flow measurement in tree stems", *Annals of Forest Science*, 42:193-200.
- Grouillet B., Fabre J., Ruelland D., Dezetter A., 2015, "Historical reconstruction and 2050 projections of water demand under anthropogenic and climate

- changes in two contrasted Mediterranean catchments”, *Journal of Hydrology*, 522: 684–696.
- Gutman G., Ignatov A., 1998, “The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models”, *International Journal of Remote Sensing*, 19: 1533–1543.
- Hargreaves G.H., Samani Z.A., 1985, “Reference crop evapotranspiration from temperature”, *Applied Engineering in Agriculture*. 1(2): 96-99.
- Marino G., Pallozzi E., Coccozza 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., Brilli L., Moriondo M., 2012, “Simulation of olive yield in Tuscany through the integration of remote sensing and ground data”, *Ecological Modelling*, 244: 1–12.
- Maselli F., Argenti G., Chiesi M., Angeli L., Papale D., 2013, “Simulation of grassland production by the combination of ground and satellite data”, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 165: 163-172.
- 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.
- Marino G., Pallozzi E., Coccozza 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.
- Reichstein M., Falge E., Baldocchi D., Papale D., Aubinet M., Berbigier P., Bernhofer C., Buchmann N., Gilmanov T., Granier A., Grunwald T., Havrankova K., Ilvesniemi H., Janous D., Knohl A., Laurila T., Lohila A., Loustau D., Matteucci G., Meyers T., Miglietta F., Ourcival J.M., Pumpanen J., Rambal S., Rotenberg E., Sanz M., Tenhunen J., Seufert G., Vaccari F., Vesala T., Yakir D., Valentini R., 2005, “On the separation of net ecosystem exchange into assimilation and ecosystem respiration: review and improved algorithm”, *Global Change Biology*, 11: 1424-1439.
- Srivastava P.K., Han D., Rico-Ramirez M.A., Al-Shrafany D., Islam T., 2013, “Data fusion techniques for improving soil moisture deficit using SMOS satellite and WRF-NOAH land surface model”, *Water Resources Management*, 27(15): 5069-5087.
- Thornton P.E., Hasenauer H., White M.A., 2000, “Simultaneous estimation of daily solar radiation and humidity from observed temperature and precipitation: An application over complex terrain in Austria”, *Agricultural and Forest Meteorology*, 104: 255–271.