

Simulazione della produttività olivicola in Toscana attraverso l'integrazione di telerilevamento e dati a terra

Marco Moriondo (*), Marta Chiesi (*), Lorenzo Brilli (**),
Marco Bindi (**), Fabio Maselli (*)

(*) IBIMET-CNR, Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino
Tel. 055 5226024. Fax 055 44830, e-mail m.moriondo@ibimet.cnr.it
(**) DIPSA, Università di Firenze, P.le delle Cascine 18, 50144 Firenze

Riassunto

Il seguente articolo presenta lo sviluppo e la sperimentazione di un metodologia multi-step che attraverso l'integrazione di dati telerilevati e ausiliari permette di stimare la produttività degli olivi (*Olea europaea* L.) presenti sul territorio della regione Toscana. Il processo combina i valori di NDVI dell'olivo con dati meteorologici standard all'interno di un modello parametrico modificato (C-Fix) che consente la stima della produttività primaria lorda giornaliera (GPP) per un periodo di dieci anni (2000-2009). Le stime di GPP unite a stime della respirazione ottenute tramite il modello biogeochimico BIOME-BGC permettono di simulare la produttività primaria netta (NPP), che viene poi accumulata su tutta la stagione vegetativa e trasformata poi in resa olivicola attraverso opportuni coefficienti. L'accuratezza delle stime così ottenute viene poi valutata attraverso il confronto con le statistiche provinciali. La metodologia riesce a riprodurre accuratamente la variazione inter-annuale della resa olivicola su tutta la regione.

Abstract

The current paper presents the development and testing of a multi-step approach which integrates remotely sensed and ancillary data to estimate olive (*Olea europaea* L.) yield in Tuscany (Central Italy). The process combines olive NDVI values with meteorological data in a standard parametric model modified (C-Fix) that allows the estimation of daily gross primary productivity (GPP) for a period of ten years (2000-2009). Estimates of GPP together with estimates of respiration obtained through the biogeochemical model BIOME-BGC, can simulate net primary productivity (NPP), which is then cumulated over the whole growing season and then converted onto olive yield by using proper conversion factors. The accuracy of these estimates is finally assessed by comparison with the provincial statistics. The methodology can accurately reproduce inter-year olive yield variation over the entire region.

Introduzione

Nel corso dei secoli l'olivo (*Olea europaea* L.) ha svolto un ruolo importante nello sviluppo rurale come una delle maggiori fonti di reddito e di occupazione nelle aree del Mediterraneo (Graaff e Eppink, 1999). La sua presenza in tale area, oltre ad assumere una grandissima importanza ecologica e paesaggistica, riveste tutt'oggi una rilevanza economica fondamentale, tanto da renderne indispensabile sia il monitoraggio che la previsione del rendimento (Villalobos et al., 2006). Metodi alternativi rispetto a quelli convenzionali, come ad esempio modelli agrometeorologici della crescita, sarebbero per tali scopi di estrema utilità. A nostra conoscenza solo due modelli sono stati ad oggi presentati in letteratura (Abdel-Razic, 1989; Villalobos et al., 2006), i quali tuttavia trovano però dei limiti nella parametrizzazione e nella limitata spazializzazione. Tecniche di telerilevamento integrate con risorse ausiliarie potrebbero

teoricamente superare tali limitazioni grazie alla capacità di fornire informazioni sui processi fotosintetici a diverse scale spaziali e temporali (Kumar e Monteith, 1981; Prince, 1990; Veroustraete et al, 2002). Utilizzando i dati raccolti in Toscana nel corso di un periodo di dieci anni (2000-2009) ci siamo posti l'obiettivo di valutare, attraverso l'integrazione di dati telerilevati ed ausiliari, le variazioni inter-annuali a livello spaziale e temporale della resa olivicola su scala regionale. La metodologia adottata si basa su studi precedenti che hanno dimostrato il potenziale di due modelli, C-Fix e BIOME-BGC, per la stima della NPP di specie arboree a varie scale temporali e spaziali (vedere Fig. 1).

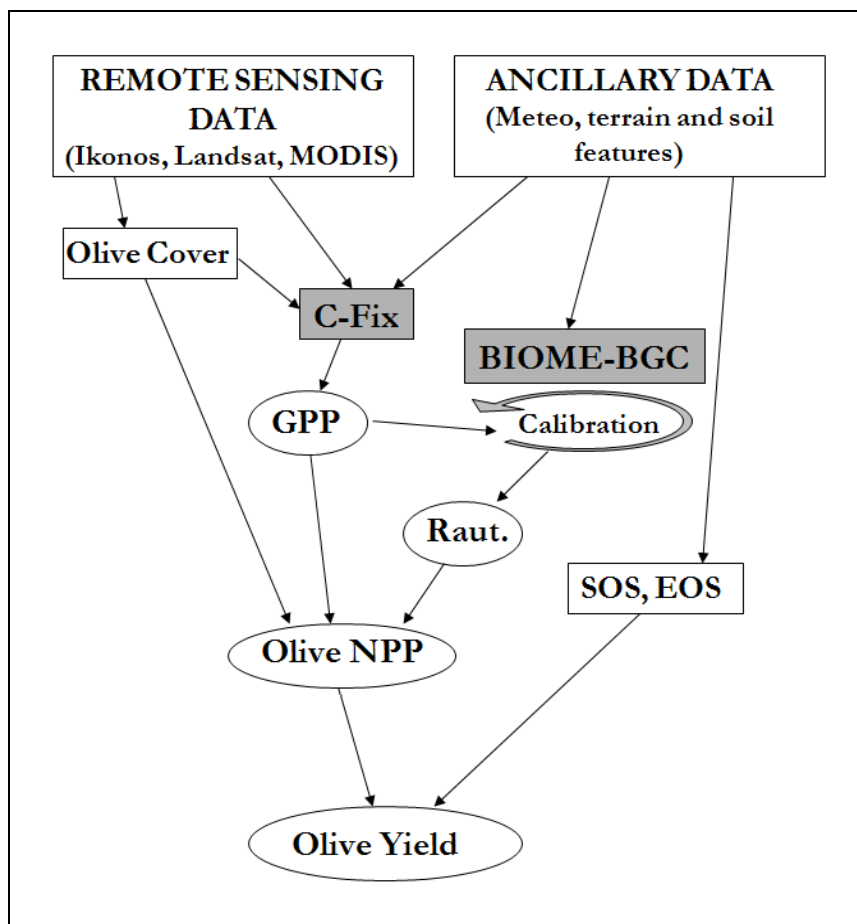


Figura 1 – Schema della metodologia utilizzata per l'integrazione di dati a terra e tele rilevati (vedere anche Maselli et al., 2011) (SOS ed EOS indicano rispettivamente l'inizio e la fine della stagione vegetativa).

Area di studio

La regione Toscana (9 °-12 ° longitudine est; 42 °-44 ° latitudine nord), amministrativamente divisa in dieci province (Fig. 2), si presenta estremamente eterogenea per caratteristiche morfologiche e di copertura del territorio. Il clima varia da mediterraneo a temperato caldo o freddo (Rapetti e Vittorini, 1995) seguendo gradienti latitudinali, altitudinali e di distanza dal mare.

Le aree agricole coprono circa un terzo della regione e sono collocate soprattutto in zone di pianura e collinare. Gli oliveti, distribuiti prevalentemente in collina, presentano per la maggior parte una estensione di piccole dimensioni (< 2 ha) e sono concentrati maggiormente nelle province di Firenze, Arezzo e Grosseto.

Dati

Le temperature minime e massime e le precipitazioni giornaliere sono state raccolte per gli anni 2000-2009 dalla rete meteo regionale mentre la distribuzione geografica degli oliveti è stata derivata dal mappa d'Italia prodotta nell'ambito del progetto CORINE LAND COVER 2000 (Maricchiolo et al., 2004).

Le caratteristiche principali del terreno sono state acquisite dalla carta dei suoli prodotta dalla Regione Toscana (<http://sit.lamma.rete.toscana.it/websuoli/>).

La copertura vegetale dell'olivo è stata ottenuta dall'elaborazione di circa 300 immagini ad alta risoluzione spaziale a colori IKONOS scaricate da *Google Earth*. Queste immagini, che hanno una risoluzione spaziale nominale di 1 m, si riferiscono a periodi diversi negli anni 2001-2007.

È stata utilizzata una immagine Landsat ETM+ raccolta il 12 luglio 2002 per la stima della frazione di copertura negli oliveti. Questa immagine è completamente libera da disturbi atmosferici (nubi, nebbia, etc.) su tutta la regione.

Le immagini MODIS NDVI (Normalised Difference Vegetation Index) sono state invece scaricate dal sito della NASA (<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome>) ed hanno una risoluzione spaziale di 250 m. Per l'intero periodo di studio (2000-2009), il *dataset* NDVI utilizzato è stato distribuito in sezioni che coprono diverse porzioni della superficie terrestre corrispondenti al centro Italia.

Per la validazione finale delle simulazioni sono stati utilizzati dati di resa olivicola a livello provinciale per lo stesso periodo ricavati dall'archivio ISTAT (<http://www.istat.it>).

Metodi

La Figura 1 mostra i principali operazioni seguite per ottenere stime della resa olivicola per il territorio toscano. Il primo step del lavoro è consistito nello stimare il grado di copertura delle chiome degli oliveti per diversi punti distribuiti su tutto il territorio regionale: questo è stato effettuato utilizzando le immagini ad alta risoluzione spaziale IKONOS. Le stime così ottenute sono state poi estese a tutta la regione impiegando una procedura di regressione localizzata all'immagine Landsat ETM+ (Fig. 2).

La mappa della percentuale di copertura per gli oliveti toscani viene poi utilizzata per estrarre i valori di NDVI dell'olivo dalle immagini MODIS a 250 m. La combinazione di questi valori con dati meteorologici standard all'interno di un modello parametrico modificato (C-Fix) consente la stima della produttività primaria lorda giornaliera (GPP) per un periodo di dieci anni (2000-2009) (Maselli et al., 2009a).

Le stime di GPP sono poi unite a stime della respirazione ottenute tramite un modello biogeochimico (BIOME-BGC) per simulare la produttività primaria netta (NPP) (Chiesi et al., 2007; Maselli et al., 2009b). Questo modello infatti è capace di stimare i principali termini di ciclo di acqua, carbonio ed azoto all'interno di diversi ecosistemi terrestri utilizzando come dati di input dati meteorologici giornalieri, informazioni sulla stazione (es. profondità e tessitura del suolo) e caratteristiche ecofisiologiche della specie analizzata (Running and Hunt, 1993).

La NPP è successivamente stata accumulata per tutto il periodo relativo alle dieci stagioni di crescita identificate attraverso un semplice modello fenologico ed è stata trasformata nella resa olivicola adottando opportuni coefficienti di trasformazione (per maggiori dettagli vedere Maselli et al., 2011). L'accuratezza delle rese così ottenute viene poi valutata attraverso il confronto con le statistiche provinciali.

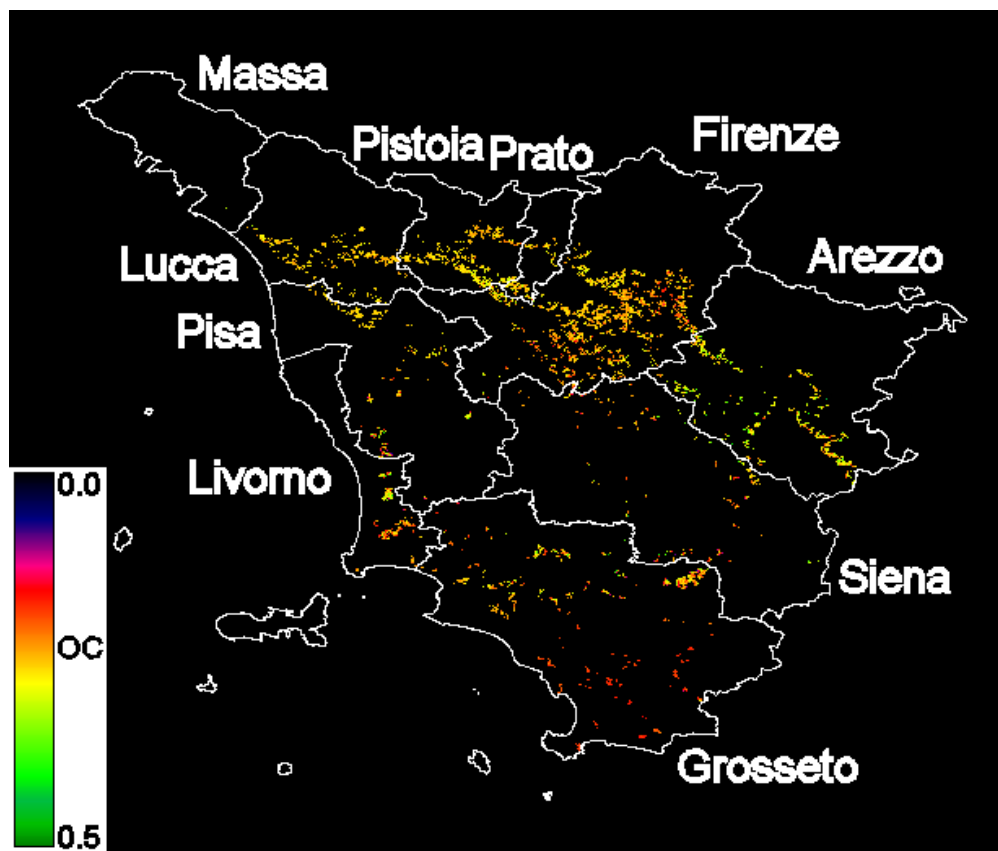


Figura 2 – Mappa del grado di copertura delle olivete nelle diverse province toscane ottenuta applicando la tecnica delle regressioni localizzate all'immagine Landsat ETM+.

Risultati

La variabilità spaziale della produttività olivicola inter-annuale è risultata chiaramente legata alle caratteristiche eco-climatiche della regione. In generale la GPP è in gran parte limitata dallo stress idrico congiuntamente ad una breve durata della stagione di crescita soprattutto nelle province più calde. Le respirazioni dell'olivo simulate da BIOME-BGC sono risultate fortemente influenzate dalle temperature giornaliere, dove a maggiore temperatura è corrisposta una maggiore respirazione e viceversa. Lo stesso vale per le variazioni temporali.

L'azione concomitante del modello C-Fix modificato e delle respirazioni di BIOME-BGC produce risultati variabili per le varie province, ma simula più correttamente le variazioni della produttività inter-annuale per le province con superfici olivicole più estese, come Firenze, Arezzo e Grosseto (Tab. 1). Di conseguenza, l'approccio integrato aumenta notevolmente l'accuratezza complessiva delle stime a livello regionale (Fig. 3).

Provincia	r	RMSE (q/ha)	MBE (q/ha)
Arezzo	0.868**	8.10	7.57
Firenze	0.737*	4.87	-1.49
Grosseto	0.645*	3.78	1.68
Livorno	0.635*	11.24	-10.38
Lucca	0.595	7.56	-2.74
Massa	0.048	16.50	14.88
Pisa	0.712*	4.20	-0.73
Pistoia	0.353	9.09	6.29
Prato	0.175	9.67	5.75
Siena	-0.210	11.27	10.03

Tabella 1 – Statistiche d'accuratezza per provincia delle rese in olive stimate ottenute integrando gli outputs di C-Fix e BIOME-BGC (vedere il testo per maggiori dettagli) (* = correlazione significativa, $P < 0.05$; ** = correlazione altamente significativa, $P < 0.01$).

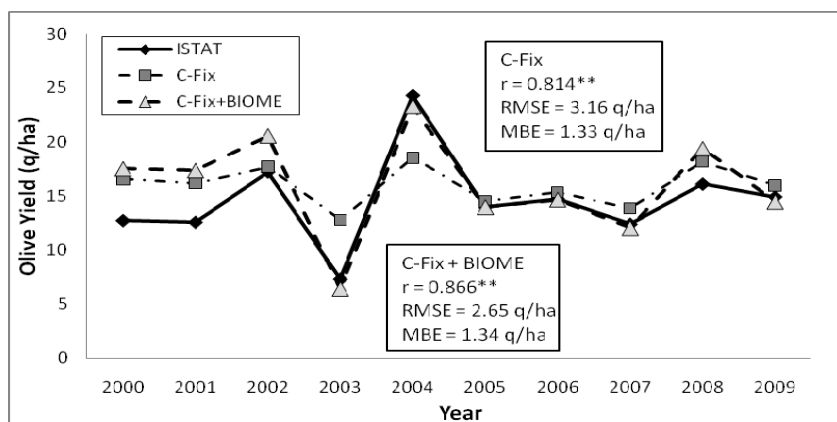


Figura 3 – Produttività olivicola misurata e stimata da C-Fix e C-Fix+BIOME-BGC per l'intera regione Toscana (** = correlazione altamente significativa, $P < 0.01$).

Discussione e conclusioni

I dati telerilevati forniscono una misura diretta delle condizioni vegetazionali, integrando gli effetti di tutti i principali fattori ambientali. Tramite una corretta combinazione di immagini telerilevate con dati a terra è dunque possibile valutare le caratteristiche produttive e strutturali di determinati ecosistemi agricoli come gli oliveti. L'utilizzo del metodo Monteith applicato all'interno del modello C-Fix modificato ha permesso infatti di simulare il comportamento fotosintetico degli oliveti e di riprodurre la variabilità inter-annuale della produttività olivicola. L'aggregazione dei risultati su scala regionale ha consentito di ottenere un buon accordo tra le rese simulate ed i dati ISTAT. Le stime della produttività ottenute direttamente da C-Fix hanno però evidenziato una ridotta variabilità inter-annuale rispetto ai dati ISTAT, probabilmente dovuta alla non considerazione dei processi respiratori. L'integrazione tra il modello biogeochimico BIOME-BGC, capace di simulare accuratamente i processi respirativi, ed il modello C-Fix, ha permesso di ridurre tale differenza, risultando molto più efficiente nel simulare la produttività olivicola inter-annuale identificata dai dati ISTAT.

Bibliografia

- Abdel-Razik, M. (1989), "A model of the productivity of olive trees under optimal water and nutrient supply in desert conditions", *Ecological Modelling*, 45: 179–204.
- Chiesi, M., Maselli, F., Moriondo, M., Fibbi, L., Bindi, M., Running, S.W. (2007), "Application of BIOME-BGC to simulate Mediterranean forest processes", *Ecological Modelling*, 206: 179-190.
- Graaff, de J., and Eppink, L.A.A.J. (1999), "Olive oil production and soil conservation in southern Spain, in relation to EU subsidy policies", *Land Use Policy*, 16: 259-267.
- Kumar, M., Monteith, J. L. (1981), "Remote sensing of crop growth". In: H. Smith (Ed) *Plants and the daylight spectrum*. Academic Press, San Diego, California. pp. 133-144.
- Maselli, F., Papale, D., Puletti, N., Chirici, G., Corona, P. (2009a), "Combining remote sensing and ancillary data to monitor the gross productivity of water-limited forest ecosystems", *Remote Sensing of Environment*, 113: 657-667.
- Maselli, F., Chiesi, M., Moriondo, M., Fibbi, L., Bindi, M., Running, S.W. (2009b), "Modelling the forest carbon budget of a Mediterranean region through the integration of ground and satellite data", *Ecological Modelling*, 220: 330-342.
- Maselli, F., Chiesi, M., Brillì, L., Moriondo, M. (2011), "Simulation of olive yield in Tuscany through the integration of remote sensing and ground data", *Remote Sensing of Environment*, in revisione.
- Prince, S.D. (1990), "High temporal frequency remote sensing of primary production using NOAA AVHRR". In *Applications of remote sensing in agriculture*. Steven, M.D., Clark J.A. (eds.)
- Rapetti, F., and Vittorini, S. (1995), "Carta climatica della Toscana", Pacini Editore, Pisa (Italy).
- Running S.W., Hunt E.R. (1993). "Generalization of a forest ecosystem process model for other biomes, BIOME-BGC, and an application for global-scale models." In: Ehleringer, J.R., and Field, C.B. (eds.), *Scaling Physiological Processes: Leaf to Globe*, Academic Press, San Diego, pp. 141-158.
- Veroustraete, F, Sabbe, H., and Eerens, H. (2002), "Estimation of carbon mass fluxes over Europe using the C-Fix model and Euroflux data", *Remote Sensing of Environment*, 83: 376-399.
- Villalobos F.J., Testi L., Hidalgo J., Pastor M., Orgaz F. (2006), "Modelling potential growth and yield of olive (*Olea europaea* L.) canopies", *European Journal of Agronomy*, 24: 296–303.