

STIME DI PRODUTTIVITA' FORESTALE A SCALA REGIONALE

Moriondo M.*, Chiesi M.** , Bindi M.* , Fibbi L.** e Maselli F.**

* DISAT-UNIFI, P.le delle Cascine 18, 50144, Firenze

** IBIMET-CNR, via Madonna del Piano 10, 50019, Sesto Fiorentino

Riassunto

Il presente lavoro ha lo scopo di calibrare in ambiente Mediterraneo un modello bio-geochimico (BIOME-BGC) usando un modello parametrico (C-Fix) basato su profili NDVI. Quest'ultimo è in grado di stimare con buona approssimazione la Gross Primary Productivity (GPP) di un ecosistema ed è stato quindi utilizzato per la parametrizzazione di BIOME-BGC utilizzando questo parametro come base di confronto. Una volta calibrato e validato, BIOME-BGC è stato applicato per fornire ulteriori informazioni su Net Primary Productivity (NPP) e Net Ecosystem Exchange, (NEE) delle foreste Toscane.

Abstract

The objective of the present paper was to evaluate the applicability of a widespread bio-geochemical model (BIOME-BGC) within Mediterranean environments. This required a preliminary calibration phase, which was performed by fitting the relevant monthly Gross Primary Productivity (GPP) outputs to those of a simplified parametric model, C-FIX, which can produce accurate GPP estimates using ancillary and satellite (NDVI) data. After calibration and validation, BIOME-BGC was applied to provide information also about Net Primary Productivity (NPP) and Net Ecosystem Exchange, (NEE) of Tuscany forests.

Introduzione

Gli ecosistemi forestali rivestono una notevole importanza sia da un punto di vista economico che prettamente biologico. Le foreste infatti forniscono la base per la produzione di legname e cellulosa da carta ma sono anche elementi indispensabili per prevenire l'erosione del suolo e mantenere la bio-diversità. In aggiunta hanno un ruolo fondamentale nei cicli di acqua e carbonio. La stima dei processi che avvengono nell'ambito degli ecosistemi forestali pertanto è uno degli obiettivi su cui si concentrano gli sforzi degli studi di ecologia applicata. Questo genere di stime è volto sia a definire una gestione sostenibile dell'ecosistema forestale sia a valutare l'impatto di questo ecosistema nell'ambito del ciclo del carbonio nell'ottica dell'applicazione del protocollo di Kyoto.

Numerosi sono gli studi che sono stati condotti al fine di valutare i processi eco-fisiologici di una foresta. La Gross Primary Productivity (tasso di fotosintesi lorda, GPP) è la caratteristica principale di un ecosistema, in quanto ne rappresenta la base energetica di partenza e la sua stima è stata effettuata secondo diverse metodologie (per esempio tramite tecniche di eddy-covariance, uso di immagini da satellite e di modelli bio-geochimici).

In particolare le tecniche di remote sensing si sono dimostrate particolarmente adatte a questo tipo di stima: le relazioni tra indici vegetazionali come NDVI e GPP risultano particolarmente significative. Tuttavia queste tecniche non sono altrettanto efficienti nel definire anche gli altri parametri caratterizzanti l'ecosistema, come la Net Primary Productivity (GPP al netto della respirazione di crescita e mantenimento, NPP) e lo scambio netto di CO₂ con l'atmosfera, Net Ecosystem Exchange (NPP al netto della respirazione del suolo, NEE).

Viceversa, i modelli eco-fisiologici, utilizzando numerosi input provenienti da fonti diverse (tipo e spessore di suolo, tipo ed età della foresta, dati meteorologici), possono fornire una completa caratterizzazione degli scambi gassosi dell'ecosistema forestale includendo GPP, NPP, NEE.

L'applicazione di queste ultime metodologie trova specifiche difficoltà in ambiente Mediterraneo che si caratterizza per un periodo estivo caldo e secco e per un inverno relativamente freddo e piovoso. Per adattarsi a questo tipo di clima la flora ha sviluppato adattamenti morfologici e fisiologici che in genere non sono inclusi nei parametri utilizzati dai modelli eco-fisiologici per la simulazione degli scambi gassosi

Sulla base di quanto precedentemente detto, lo scopo di questo lavoro è di valutare l'applicabilità di un modello eco-fisiologico (BIOME-BGC) agli ecosistemi forestali posti in area Mediterranea. Questo modello è stato sviluppato per stimare gli scambi gassosi della maggior parte degli ecosistemi forestali ma necessita di una parametrizzazione specifica in ambito mediterraneo. La calibrazione ottimale di BIOME-BGC per 3 specie forestali tipiche del mediterraneo (*Quercus ilex*, *Quercus cerris* e *Pinus pinaster*) è stata effettuata sulla base della GPP stimata da un modello basato su NDVI (C-Fix) che si è dimostrato particolarmente affidabile a stimare questo parametro in ambiente italiano. Di seguito è stata effettuata la validazione su 3 località dove sono state effettuate misure dirette di scambi gassosi tramite tecniche di eddy-covariance. In ultimo sono stati stimati tutti i termini dei flussi di carbonio (GPP, NPP, NEE) attraverso le foreste della regione Toscana.

Materiali e metodi

I modelli utilizzati

BIOME-BGC

BIOME-BGC è un modello bio-geochimico che stima accumulo e flussi di carbonio, acqua ed azoto all'interno di un ecosistema. In particolare il modello simula l'andamento dei processi biologici all'interno degli ecosistemi utilizzando come dati di input parametri meteorologici (Tmin, Tmax, pioggia, radiazione globale), condizioni generali dell'ambiente (tipo di piante, tipo e spessore del suolo, condizioni iniziali di acqua nel terreno) e parametri fisiologici per ciascuna delle specie forestali presenti. Gli output del modello sono rappresentati fra l'altro da GPP, NPP, NEE.

Il modello non necessita di informazioni riguardo il Leaf Area Index (LAI) né del carbonio presente nel suolo all'inizio della simulazione in quanto BIOME-BGC è in grado di simulare un condizione di quasi-climax sulla base delle condizioni eco-climatiche.

C-Fix

Il modello C-Fix (Veroustraete et al., 1994) stima la GPP come funzione della radiazione fotosintetica assorbita dalla vegetazione (Active Radiation Absorbed [FAPAR])

$$GPP = \varepsilon \sum_{i=1}^N T_{cor_i} FAPAR_i Rad_i \quad [1]$$

dove ε è l'efficienza nell'uso della radiazione (compresa tra 1-2 gC/m²), N è il numero dei periodi considerati, Tcor è un fattore che considera la relazione tra fotosintesi e temperatura, and Rad è la radiazione fotosinteticamente attiva incidente. FAPAR, a sua volta, può essere ricavata dal Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) misurato da satellite usando l'equazione:

$$FAPAR = a NDVI + b \quad [2]$$

Dove i due coefficienti empirici a e b sono 1.1638 e -0.1426, rispettivamente.

Area di studio

Le fasi di calibrazione e validazione sono state effettuate su tre ecosistemi forestali del mediterraneo caratterizzati dalla presenza di leccio (*Quercus ilex* L., latifoglie sempreverde), cerro (*Quercus cerris* L., latifoglie deciduo) e pino marittimo (*Pinus pinaster* Ait., conifera sempreverde). La regione Toscana è stata selezionata per lo studio a motivo della grande disponibilità di piani informativi atti allo scopo. La fase di validazione è stata effettuata in 3 siti posizionati nel centro Italia (Castelporziano, San Rossore and Radicandoli) dove le 3 specie selezionate sono dominanti e dove sono disponibili misurazioni dirette di scambi gassosi (GPP, traspirazione).

Dati utilizzati

Mappe digitali

Un modello digitale del terreno (DEM) con una risoluzione spaziale 200 m è stato ottenuto dal Servizio Cartografico Regionale della Regione Toscana.

La mappa digitale delle foreste scala 1:250.000 è stata fornita dallo stesso ente.

Dati meteorologici

Per caratterizzare dal punto di vista climatico la regione Toscana, sono state selezionate 74 stazioni per la temperatura minima e massima e 159 per la pioggia. Entrambe le variabili sono state raccolte per tutti i giorni del quinquennio 1999-2003. Al fine di ottenere superfici continue di temperatura e di pioggia, i dati delle singole stazioni sono stati interpolati secondo la procedura DAYMET (vedi dopo). Per la fase di validazione sono state utilizzate le stazioni prossime rispettivamente a Castelporziano, San Rossore and Radicandoli,

Dati da satellite

Le immagini NDVI per l'applicazione del modello C-Fix nel periodo 1999-2003 sono state ottenute dal satellite Spot-VEGETATION, pre-elaborate in formato NDVI dal Flemish Institute for Technological Research (VITO), Belgium.

Dati per la validazione

Per i tre siti utilizzati per la calibrazione, Castelporziano, San Rossore and Radicandoli, le misure di LAI sono state effettuate tramite LICOR 2000. In due siti, (Castelporziano e San Rossore), le misure di GPP sono state prese tramite tecniche di eddy-covariance (<http://www.fluxnet.ornl.gov/fluxnet/>). Per sito di Radicandoli sono state utilizzate misure di traspirazione raccolte in primavera-estate del 1998

Fase di calibrazione

L'utilizzo dei valori di GPP calcolati da C-Fix per la calibrazione di BIOME-BGC si basa sull'osservazione che C-Fix è in grado di stimare il parametro, a scala regionale, con buona approssimazione (Maselli et al., 2006). 10 plot (ciascuno 2X2 Km) per ciascuna specie (quercia, cerro e pino marittimo), sono stati selezionati in Toscana sulla base della mappa digitale delle foreste.

I dati meteorologici per ciascun plot, utilizzati come input sia di BIOME-BGC che di C-Fix, sono stati ottenuti applicando la procedura di spazializzazione DAYMET al DEM della Toscana. Questa procedura permette di ottenere su base giornaliera superfici continue di temperatura e pioggia utilizzando come input il DEM e le osservazioni meteorologiche. Due sono gli assunti principali utilizzati per sviluppare questa procedura: 1) l'area di influenza di ciascuna osservazione è inversamente proporzionale al numero di osservazioni stesse; 2) l'influenza di ciascuna osservazione è inversamente proporzionale alla distanza dal punto oggetto di stima. Su questa base,

ai punti osservati che hanno influenza sul punto oggetto di stima viene attribuito un peso sulla base di un filtro Gaussiano “troncato”. La troncatura del filtro, permette di estrarre dalle osservazioni selezionate i valori che si trovino al di fuori di un raggio massimo. Una volta stabilite quali sono le osservazioni che hanno influenza sul punto da stimare si passa alla stima delle variabili meteorologiche per il punto stesso. Nel caso della temperatura, DAYMET effettua una regressione pesata al fine di ottenere una relazione tra quota e variabile. La relazione ottenuta è quindi utilizzata per la stima della temperatura sulla base della quota del punto da stimare. Per la pioggia, la procedura è uguale ma viene preceduta da un algoritmo che valuta l’occorrenza della pioggia o meno nel punto da stimare.

I dati meteo per ciascuno dei 30 plot sono stati quindi estratti dalle mappe giornaliere di Tmin, Tmax e pioggia ottenute con DAYMET degradate a 1 Km. Per gli stessi punti la radiazione solare è stata stimata con l’algoritmo MT-CLIM (Running et al., 1987).

I dati NDVI utilizzati come input del modello C-Fix sono stati estratti per le stesse aree su base mensile. Questi dati sono quindi stati utilizzati per la stima della GPP mensile nei 10 plot selezionati per ciascuna delle tre specie, quercia, cerro e pino marittimo per il periodo 1999-2003. La fase di calibrazione di BIOME-BGC è consistita nel variare i parametri che regolano la resistenza alla siccità (cioè quelli che determinano la massima conduttanza stomatica e la chiusura degli stomi). I valori ottimali di questi parametri sono stati trovati in maniera da minimizzare la differenza tra la GPP stimata da BIOME-BGC e quella di C-Fix

Risultati

Fase di validazione

La versione di BIOME-BGC modificata sulla base dei risultati della calibrazione ha prodotto un notevole miglioramento rispetto alla versione standard del modello in tutti e tre i siti utilizzati per la validazione. In particolare il modello nella sua versione standard ha in genere sovrastimato GPP e traspirazione durante i periodi invernali e primaverili a cui è seguita una sovrastima dell’effetto dello stress idrico estivo. A Castelporziano in particolare si osserva una generale sottostima della GPP durante tutto il corso dell’anno mentre a San Rossore e Radicandoli GPP e traspirazione rispettivamente vengono sottostimate fortemente solo nel periodo estivo. La versione modificata del modello ha invece migliorato la performance della simulazione nei tre siti in termini sia di coefficiente di correlazione (R) che di errore quadratico medio (RMSE) fra dati osservati e simulati (figura 1)

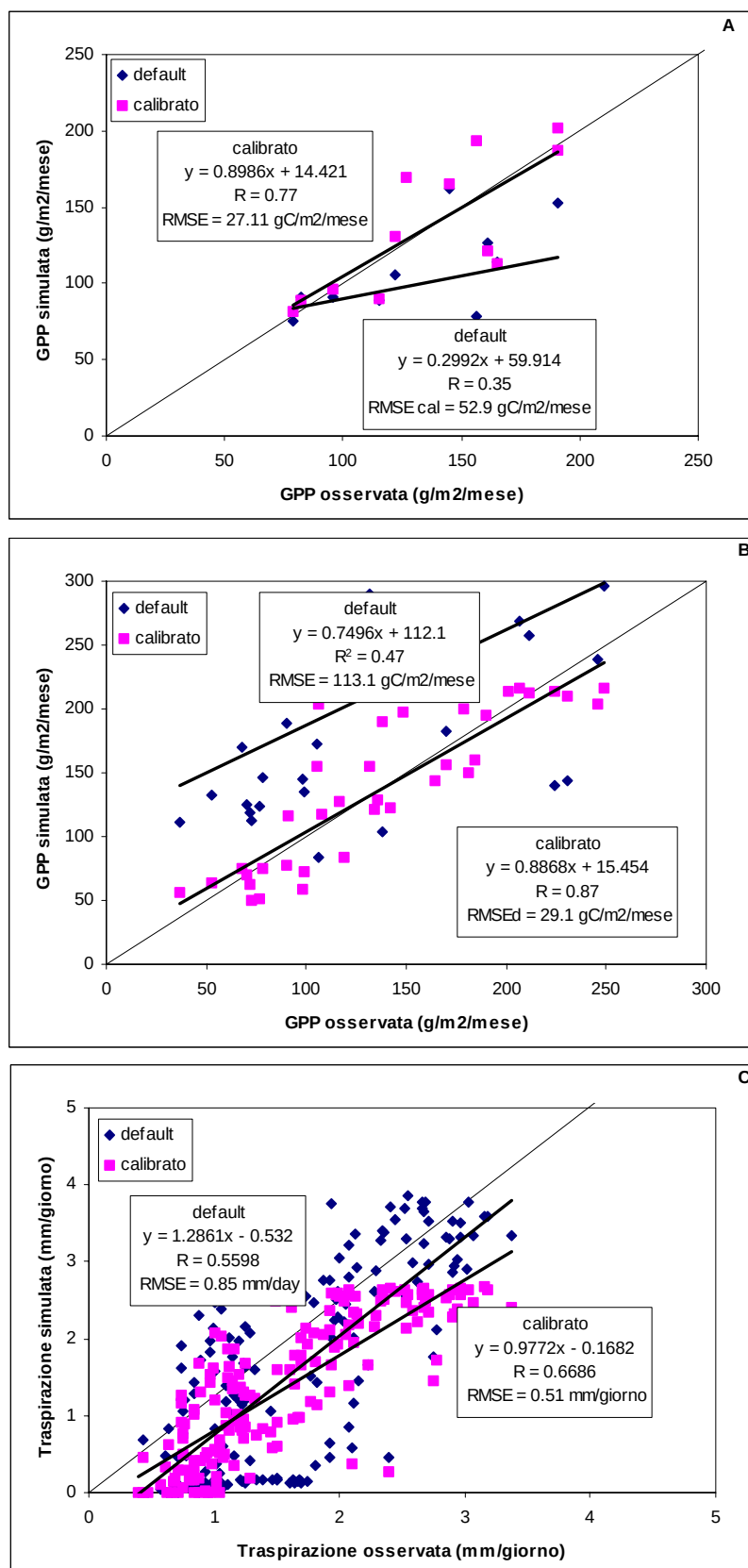


Figura 1. Validazione di BIOME-BGC per la GPP di Castelporziano e San Rossore (gC/m²/mese, sotto-figure a, b) e la traspirazione di Radicandoli (mm/giorno, sotto-figura c)

Applicazione di BIOME-BGC a scala regionale

La versione modificata di BIOME-BGC è stata quindi applicata a scala regionale sulle foreste della Toscana utilizzando come input i dati meteorologici giornalieri spazializzati con la procedura DAYMET-MTCLIM (Tmin, Tmax, Radiazione e pioggia) e la mappa della vegetazione forestale. I risultati in figura 2 mostrano la GPP e la respirazione di mantenimento della biomassa stimata da BIOME-BGC per le superfici forestali della Toscana (figura 2).

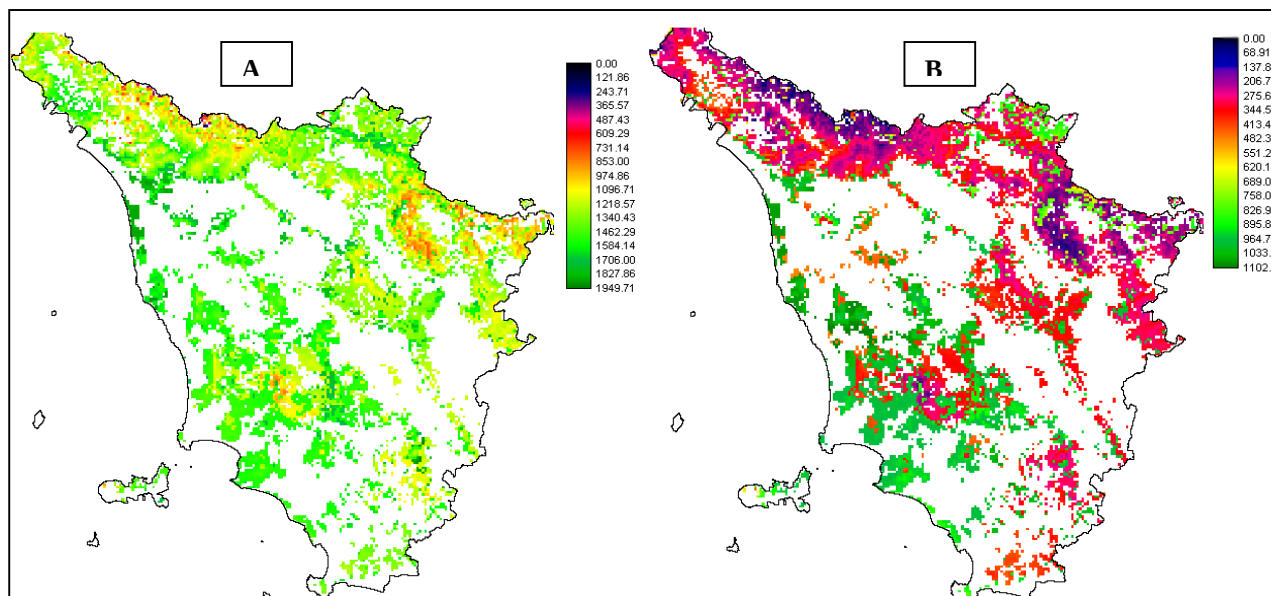


Figura 2. rappresentazione territoriale su base annuale (1999) di GPP (sotto-figura a, $\text{gC/m}^2/\text{anno}$) e respirazione di mantenimento della biomassa legnosa (sotto-figura b, $\text{gC/m}^2/\text{anno}$)

Discussione

L'utilizzo di modelli parametrici come C-Fix, basati su immagini da satellite risulta di notevole affidabilità nella stima della GPP. Questi modelli non sono tuttavia adatti a stimare le respirazioni degli ecosistemi forestali, che sono determinanti per valutare i flussi netti di carbonio (NPP e NEE). Questo "gap" può essere superato utilizzando modelli geo-biochimici che, specialmente in ambiente Mediterraneo, necessitano di accurate calibrazioni spesso difficili da effettuare. Per aggirare il problema, in questo lavoro è stata sfruttata la capacità di C-Fix di stimare in maniera appropriata la GPP. La calibrazione di BIOME-BGC rispetto a questa grandezza ha permesso una sua efficiente applicazione a scala regionale per stimare i flussi di carbonio sia lordi (GPP) che netti (NPP e NEE).

Bibliografia

- Veroustraete, F., Patyn, J., Myneni, R.B. (1994), Forcing of a simple ecosystem model with fAPAR and climatic data to estimate regional scale photosynthetic assimilation. In F. Veroustraete et al. (eds.), VGT, modelling and climate change effects. Academic Publishing, The Hague, The Netherlands, pp. 151–177.
- Maselli F., Barbati A., Chiesi M., Chirici G., and Corona, P., 2006. Use of remotely sensed and ancillary data for estimating forest gross primary productivity in Italy. *Remote Sensing of Environment*, in press.
- Running, S.W., R.R. Nemani, and R.D. Hungerford, 1987. Extrapolation of synoptic meteorological data in mountainous terrain and its use for simulating forest evaporation and photosynthesis. *Canadian Journal of Forest Research*, 17:472-483.