

Analisi multitemporale dell'indice PRI (Photochemical Reflectance Index) sulle foreste d'Italia

Rocchina Guarini, Rosa Loizzo, Cosimo Marzo

Agenzia Spaziale Italiana, Centro di Geodesia Spaziale – Matera
tel. +39.0835.3771, fax +39.0835.339005, guarini@asi.it

Riassunto

Il lavoro presenta i risultati preliminari dell'analisi di una serie temporale di dati relativi all'indice di vegetazione Photochemical Reflectance Index (PRI) calcolato su immagini MODIS/Terra. L'analisi è stata condotta sulle aree coperte da vegetazione forestale dell'intero territorio italiano nel periodo 2001-2009. L'obiettivo è quello di analizzare l'andamento nel tempo del PRI e le sue eventuali variazioni in relazione allo stato della vegetazione, per effetto delle variazioni climatiche e/o antropiche (es. incendi). Il PRI è stato calcolato utilizzando le bande oceaniche di MODIS 11 (centrata a 531 nm) e 12 (centrata a 551 nm). I risultati ottenuti mostrano una variazione del PRI in funzione dei cambiamenti stagionali e da una prima analisi dei dati del periodo estivo, risulta una particolare correlazione del PRI con l'evapotraspirazione potenziale media. Questi risultati preliminari rendono il PRI un indice potenzialmente molto utile per ottenere informazioni sull'efficienza d'uso della luce (LUE) e sulle potenzialità fotosintetiche della vegetazione, in particolare in condizioni di stress.

Abstract

In this work preliminary results of a times-series analysis of the vegetation index Photochemical Reflectance Index (PRI) calculated on MODIS/Terra images are shown. The analysis was carried out on vegetated areas of the Italian territory in the period 2001-2009. The aim of this research is to assess the effectiveness of PRI to estimate and/or to predict variation in vegetation condition due to meteorological (water stress, high irradiance) and human effects (fires). PRI was automatically generated from the MODIS ocean Bands 11 (centred at 531 nm) and 12 (centred at 551 nm) as reference one. Variations of the PRI in different seasonal conditions are observed. A preliminary analysis of PRI for the green period shows a particular correlation between PRI and mean potential evapotranspiration. These results show the utility of PRI to analyze photosynthetic light-use efficiency (LUE) and photosynthetic potential of vegetation, in particular in water stress condition.

Introduzione

L'analisi degli effetti dei cambiamenti climatici sulla dinamica della vegetazione è stata ampiamente descritta in numerosi studi. Attualmente si utilizza il telerilevamento da satellite, che costituisce uno strumento indispensabile per lo studio dei fenomeni ambientali, in particolare della copertura vegetale (Glenn et al., 2008).

L'analisi multitemporale degli indici di vegetazione (VI) consiste nel confrontare mappe di VI di diversi periodi all'interno dello stesso anno o dello stesso periodo, ma in anni distinti. Questa

tecnica si è rivelata un metodo efficace nell'impiego del telerilevamento per l'osservazione dinamica della vegetazione.

Uno degli indici di vegetazione sviluppato di recente è il Photochemical Reflectance Index (PRI), un indice a banda stretta associato alla diminuzione dell'efficienza fotosintetica in quanto sensibile allo stato di de-epossidazione del ciclo delle xantofille (Gamon et al., 1992). Quest'ultimo è un processo di dissipazione termica che viene attivato dalla vegetazione in condizioni di eccesso di radiazione solare, e consiste nella de-epossidazione della violaxantina. In una prima fase del manifestarsi dei sintomi di stress, bassi valori di PRI indicano una percentuale di de-epossidazione maggiore delle xantofille, e quindi un aumento della dissipazione energetica.

Il PRI è definito secondo la seguente relazione:

$$PRI = \frac{R_{531} - R_{ref}}{R_{531} + R_{ref}} \quad [1]$$

in cui R indica la riflettanza e ref è una banda di riferimento che in precedenti studi è stato osservato essere la banda a 570 nm (Gamon et al., 1992).

Il PRI in alcuni casi è in grado di tracciare le variazioni spaziali della copertura fogliare e i cambiamenti strutturali delle foreste (Barton, North, 2001). Numerosi studi dimostrano una buona correlazione tra il PRI e l'efficienza d'uso della luce (LUE) (Serrano, Peñuelas, 2005), sia a livello fogliare che di copertura. In particolare, il PRI appare sensibile agli eventuali stress idrici causati da condizioni di siccità.

A causa della limitata disponibilità di dati iperspettrali, solo in pochi studi sono stati utilizzati dati da satellite (Drolet et al., 2005; Garbulsky et al., 2008) per calcolare il PRI.

Lo strumento MODIS è, attualmente, il più utilizzato per il calcolo del PRI con dati telerilevati, in quanto in grado di acquisire nella banda a 531 nm. Poiché non è presente la banda a 570 nm, la banda di riferimento più utilizzata per il calcolo del PRI con dati MODIS è la banda 12 (551 nm).

Dati utilizzati e Metodi

Questo lavoro ha come obiettivo l'analisi delle variazioni dello stato di salute della copertura forestale sul territorio italiano, indotte da variazioni climatiche e/o antropiche (incendi,...), mediante l'impiego di tecniche innovative di telerilevamento ottico volte all'osservazione remota del processo fotosintetico della vegetazione, attraverso la stima dell'indice iperspettrale PRI.

Il dataset considerato consiste in una serie multitemporale di immagini satellitari MODIS/Terra (NASA) acquisite giornalmente nel periodo 2001-2009. In particolare è stato utilizzato il prodotto MOD021KM ad alta risoluzione (1 km²), georeferito mediante il software MRT (MODIS Reprojection Tool) utilizzando il prodotto MODIS MOD03.

Dalle immagine relative al territorio italiano sono stati estratti i pixels relativi ad aree coperte da vegetazione forestale, applicando la maschera CORINE LANDCOVER 2000, suddivisa in tre macroclassi: "CONIFERE" comprendenti le classi "conifere e misti a prevalenza di conifere", LATIFOGIE relative alle classi "latifoglie e misti a prevalenza di latifoglie" e MACCHIA corrispondente alle classi "macchia e vegetazione boschiva/arbustiva in elevazione".

Le immagini MODIS del PRI sono state ottenute utilizzando le bande oceaniche 11 (531 nm) e 12 (551 nm) secondo la seguente formula (2):

$$PRI = \frac{R_{531} - R_{551}}{R_{531} + R_{551}} \quad [2]$$

dove R indica la misura della riflettanza nel canale corrispondente alla lunghezza d'onda indicata. Al fine di ottenere tutti i valori positivi di PRI, lo stesso indice è stato scalato (sPRI) secondo la relazione (3):

$$sPRI = \frac{(PRI + 1)}{2} \quad [3]$$

Sono state analizzate in particolare le immagini di PRI di backscattering, definite con la condizione Relative Zenith Angle (RZA), ossia la differenza tra l'angolo zenitale del sensore e l'angolo zenitale del sole, minore di 10° e Relative Azimuth Angle (RAA), ossia la differenza tra l'angolo azimutale del sensore e l'angolo azimutale del sole, maggiore di 60°.

Risultati preliminari

In una prima analisi è stato analizzato il comportamento del sPRI medio sull'Italia calcolato giornalmente da gennaio a dicembre di ogni anno del periodo 2001-2009.

Nel grafico in figura 1 si evidenzia un profilo stagionale per tutti gli anni analizzati (2001-2009).

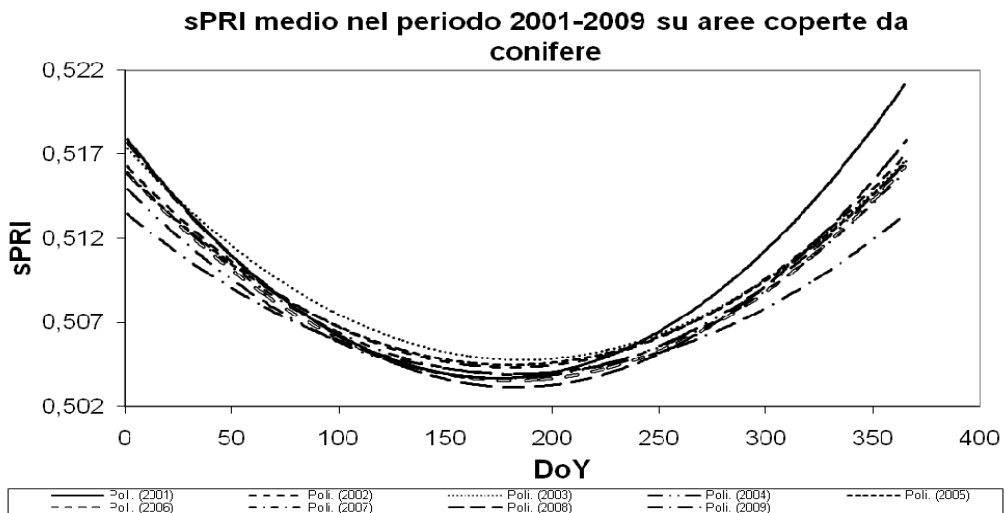


Figura 1 – Andamento medio del PRI scalato (sPRI), nel tempo (DoY- Day of the Year) negli anni 2001 – 2009.

Il valore medio del sPRI varia nel corso dell'anno, al variare delle condizioni fenologiche della vegetazione. In particolare, si osserva un andamento crescente durante il periodo invernale, seguito da un periodo di decremento, con un minimo nel periodo primaverile, corrispondente probabilmente alla ripresa dell'attività vegetativa. Durante l'estate il sPRI aumenta, probabilmente in corrispondenza dell'aumento delle temperature e della maggiore esposizione delle piante a fattori di stress idrico.

Analizzando il profilo temporale del sPRI separatamente per le tre classi considerate (CONIFERE, LATIFOGGLIE e MACCHIA) si osservano valori mediamente più elevati per le conifere, probabilmente a causa della presenza delle foglie su tali specie durante tutto l'anno, e anche per l'attivazione, da parte di alcune specie in particolare, di alcuni meccanismi di difesa contro eventuali fattori di stress.

Per le LATIFOGGLIE, specie particolarmente suscettibile ai danni da stress idrico, i valori di sPRI calcolati sono risultati invece più bassi durante tutto l'anno, mentre sono stati osservati valori intermedi di sPRI per la classe "MACCHIA" (figura 2).

sPRI in 3 macroclassi per l'anno 2002

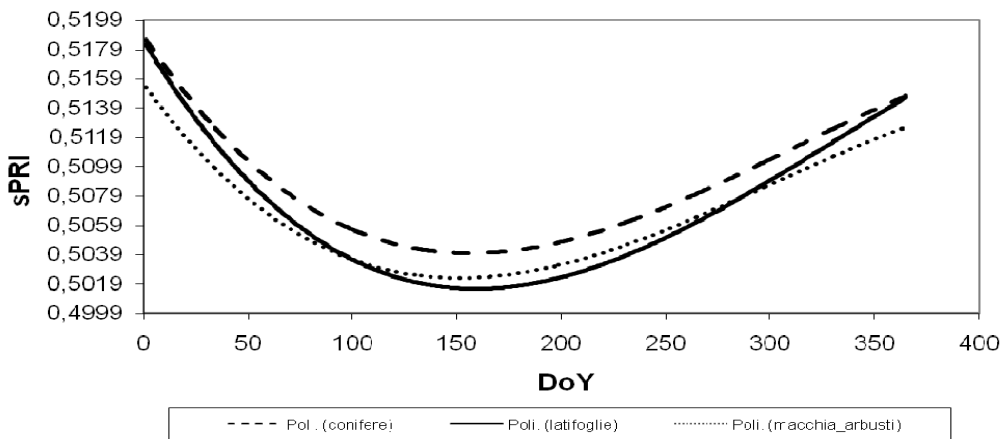


Figura 2 – Anno 2002 - Valor medio giornaliero sPRI per CONIFERE, LATIFOGGLIE e MACCHIA nel tempo (DoY - Day of the Year).

Una prima analisi di questi dati ha consentito di definire un trend crescente del sPRI per l'intero periodo estivo, corrispondente probabilmente alla risposta da parte della vegetazione alle elevate temperature estive e all'eccessiva illuminazione, mediante l'attivazione del ciclo delle xantofille (Suarez et al. 2007).

Al fine di meglio comprendere il contenuto informativo del sPRI, si è cercato di analizzarne il comportamento in funzione di parametri misurati da stazioni di terra.

Le immagini MODIS sono state separate e raggruppate in corrispondenza delle regioni del Nord, Centro e Sud dell'Italia. Il valor medio del sPRI giornaliero è stato quindi posto in relazione all'evapotraspirazione potenziale media, disponibile sul sito web <http://www.scia.sinanet.apat.it/#> per alcuni siti distribuiti sul territorio italiano.

Pertanto, limitandosi al periodo estivo, i dati giornalieri di valor medio di sPRI di ogni regione sono stati analizzati in funzione del valore di evapotraspirazione potenziale media, fornito per la relativa decade dalla stazione considerata rappresentativa del territorio analizzato (figura 3). Le stazioni considerate sono state Vercelli (VC) per il Nord, Monterotondo (RM) per il Centro e Aliano (MT) per il Sud Italia.

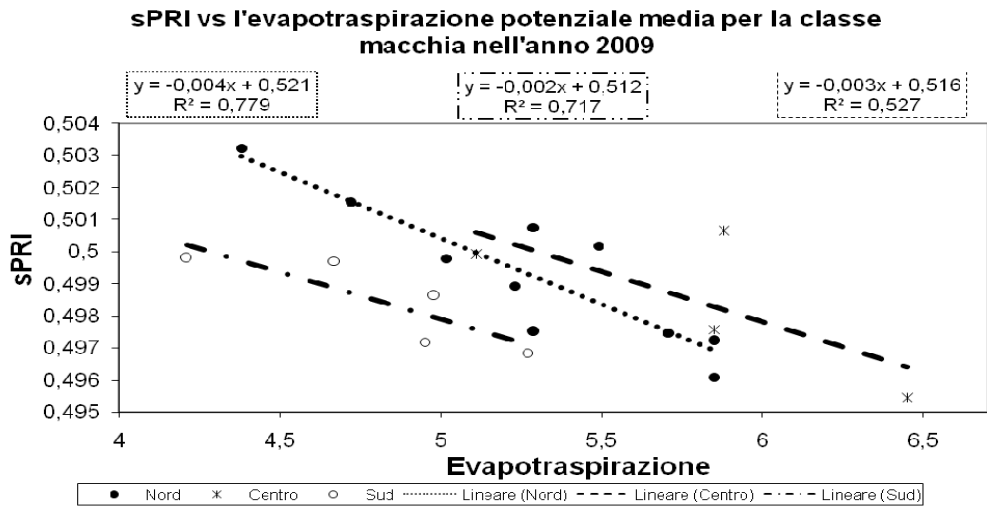


Figura 3 – Relazione tra sPRI ed evapotraspirazione potenziale media, per la classe MACCHIA - estate 2009.

L'analisi è stata ripetuta per il 2007, 2008 e 2009 ed è sempre stata ottenuta una significativa correlazione inversa tra i valori di sPRI medio giornaliero e le misure di evapotraspirazione potenziale media misurata e fornita da stazioni di misura (figura 3).

I risultati sono sintetizzati nella tabella seguente (figura 4) in cui vengono riportati i coefficienti di correlazione ottenuti ogni anno e per le varie classi del Nord, Centro e Sud Italia. I dati mancanti si riferiscono a dati poco significativi per il limitato numero di immagini disponibili.

| Regioni di Italia | Classi | 2007 | 2008 | 2009 |
|-------------------|------------|--------|-------|-------|
| Nord | Latifoglie | 0,8172 | 0,559 | 0,608 |
| | Conifere | 0,3192 | 0,17 | 0,691 |
| | Macchia | 0,7364 | 0,977 | 0,779 |
| Centro | Latifoglie | 0,376 | - | 0,219 |
| | Conifere | 0,6986 | 0,846 | 0,645 |
| | Macchia | 0,682 | - | 0,527 |
| Sud | Latifoglie | 0,7672 | - | - |
| | Conifere | 0,3192 | 0,648 | 0,842 |
| | Macchia | 0,6315 | - | 0,717 |

Figura 4 – Coefficienti di correlazione tra sPRI ed evapotraspirazione potenziale media E (mm).

Conclusioni

I risultati illustrati, sebbene preliminari, confermano l'importanza del sPRI quale indice iperspettrale innovativo nello studio e nel controllo dello stato di salute della vegetazione a scala globale e regionale.

Il PRI è stato proposto in letteratura per la stima dell'efficienza d'uso della luce. In particolare, in studi condotti a livello di foglia, è stata trovata una buona correlazione tra la LUE (Light-Use Efficiency) e il PRI (Raddi et al., 2005).

Nel presente studio, nonostante la risoluzione medio-alta del MODIS, è stata osservata una buona relazione tra il valor medio giornaliero del sPRI e l'evapotraspirazione potenziale media misurata a terra. Questa correlazione potrebbe essere interpretata sulla base dei processi dissipativi messi in atto dalla pianta, mediante il ciclo delle xantofille, in seguito all'eccessiva illuminazione e alla scarsa disponibilità idrica (Guarini et al., 2010; Garbulsky et al., 2008). In situazioni di stress idrico, infatti, le piante tendono a chiudere le aperture stomatiche per limitare la perdita di contenuto idrico interno.

Quanto sopra potrebbe spiegare anche i diversi livelli di correlazione misurati nei tre anni, determinati probabilmente dal differente livello di precipitazione media nei diversi periodi.

I risultati, sebbene incoraggianti, necessitano di analisi più approfondite che potranno essere condotte in studi successivi, concentrando e mirando l'analisi su aree omogenee e comparabili con la risoluzione del MODIS e sulle quali sono disponibili diverse tipologie di dati di terra, necessari ad una migliore comprensione delle relazioni tra le misure del PRI da satellite e le variazioni dei parametri ambientali (temperatura, umidità, pressione, etc...) e della vegetazione (contenuto d'acqua, stress, etc...).

Bibliografia

- Barton CVM, North PRJ. (2001), "Remote sensing of canopy light use efficiency using the photochemical reflectance index, model and sensitivity analysis", *Remote sensing of Environment*, 78: 264-273
- Drolet G, Huemmrich KF, Hall FG, Forrest GH, Middleton EM, Black TA, Barr AG, Margolis HA. (2005), "A MODIS-derived photochemical reflectance index to detect inter-annual variations in the photosynthetic light-use efficiency of a boreal deciduous forest". *Remote Sensing of Environment*, 98: 212-224
- Gamon JA, Peñuelas J, Field CB. (1992), "A narrow wave band spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency", *Remote Sensing of Environment*, 41: 35-44
- Garbulsky MF, Peñuelas J, Papale D, Filella I. (2008), "Remote estimation of carbon dioxide uptake by a Mediterranean forest", *Global Change Biology*, 14: 2860-2867
- Glenn EP, Huete AR, Nagler PL, Nelson SG. (2008), "Relationship between remotely-sensed vegetation indices, canopy attributes and plant physiological process: what vegetation indices can and cannot tell us about the landscape", *Sensors*, 8: 2136-2160
- Guarini R, Nichol CJ, Borghetti M. (2010), "Photochemical Reflectance Index from MODIS satellite to investigate eddy covariance tower light-use efficiency variabilità in a Mediterranean deciduous forest", *Hyperspectral Workshop 2010*, ESRIN – ESA, SP-683
- Raddi S, Cortes S, Pippi I, Magnani F. (2005), "Estimation of vegetation Photochemical processes: an application of the Photochemical reflectance index at the San Rossore test site", *Proc. Of the 3rd Esa-CHRIS/Proba Workshop*, ESRIN - ESA SP-593
- Serrano L, Peñuelas J. (2005), "Assessing forest structure and function from spectral transmittance measurements: A case study in a Mediterranean holm oak forest", *Tree Physiology*, 25: 67-74