

INDICI DI VEGETAZIONE E DINAMICA DI RICOSTITUZIONE DEI BOSCHI PERCORSI DAL FUOCO IN AMBIENTE MEDITERRANEO

*Marco OTTAVIANO, *Paolo DI MARTINO, *Marco MARCHETTI, **Piermaria CORONA

(*) Lab. EcoGeoFor, Dipartimento di Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e il Territorio,
Università degli Studi del Molise, via Mazzini 86170, Isernia (IS), Italy

(**) Lab. sisFOR Dipartimento dell'Ambiente Forestale e delle sue Risorse
Università degli Studi della Tuscia, Via S. Camillo de Lellis snc, 01100 Viterbo (VT), Italy

Riassunto

È stato studiato un incendio, avvenuto nel Parco Nazionale del Cilento, secondo le tecniche convenzionali di elaborazione dei dati satellitari per lo studio degli effetti del fuoco sulla vegetazione di ambiente mediterraneo. L'evento analizzato si è verificato nell'agosto del 1993 interessando una superficie di circa 120 ha, totalmente coperti da boschi.

Sono state acquisite quattro immagini Landsat 5 e 7 TM, dal 1993 al 2004. Le elaborazioni degli indici di vegetazione (NDVI-NBR-NII-MVI) hanno consentito di delimitare le superfici incendiate e successivamente di analizzare i livelli di danno e la dinamica della copertura vegetale. Le elaborazioni condotte sono state successivamente valutate mediante indici di rigenerazione calcolati tramite confronto multitemporale degli indici di vegetazione.

Abstract

The aim of this work consists to use remote sensing techniques for monitoring forest vegetation recovery after fire. We present in this study an assessment of a burnt forest area due to dramatic wildfire occurred in the Cilento Nation Park (Italy) in the summer of 1993.

Four Landsat 5 and 7 TM images from 1993 to 2004 were processed to obtain the Vegetation Indices (Normalized Different Vegetation Index, Normalized Burn Ratio, Normalized Infrared Index, Moisture Vegetation Index) for burnt area identification and vegetation recovery assessment. Multitemporal Recovery Index and Normalized Recovery Index were used to evaluating the effectiveness of recovery description by the considered Vegetation Indices.

Introduzione

Gli incendi generano modificazioni nella struttura e funzionalità degli ecosistemi naturali. Il monitoraggio della ricostituzione postincendio svolge un ruolo fondamentale per poter capire le modificazioni generate dal fuoco, l'andamento della dinamica di costituzione e poter definire le linee di gestione postincendio finalizzate alla protezione e conservazione del suolo (Keeley, 2000).

La possibilità di utilizzare dati spaziali ad alta risoluzione (immagini da satellite e foto aeree) permette di realizzare dettagliati studi multitemporali sulla vegetazione percorsa da incendio.

Le tecniche di enfaticazione delle immagini da satellite sono di comune utilizzo nell'analisi della dinamica della vegetazione percorsa dal fuoco. La continua ricerca di applicazioni, che ottimizzino le informazioni ritraibili dalle immagini satellitari, ha prodotto negli ultimi anni una serie di metodologie di elaborazione finalizzate alla mappatura e alla valutazione del livello di danno indotto dal fuoco sulla vegetazione.

Marchetti e Ricotta (1993), Marchetti et al. (1995), Viedma et al. (1997), Chirici et al. (2001) e Corona e Chirici (2005) riportano diverse metodologie per la detezione dei cambiamenti indotti

sulla vegetazione delle aree percorse dal fuoco, tramite immagini Landsat TM. Le stesse vengono utilizzate anche per il monitoraggio della ricostituzione della vegetazione percorsa. Tra le più importanti ci sono quelle basate sugli indici di vegetazione (*Vegetation Indices*), calcolati combinando i valori di riflettività di determinate bande spettrali, con particolare riferimento a quelle del rosso e dell'infrarosso vicino. Gli indici di vegetazione sono correlati ad alcuni parametri biofisici della vegetazione, quali l'indice di area fogliare (LAI), la biomassa fotosinteticamente attiva e la produttività primaria (Asrar *et al.*, 1992; Sellers, 1987). Grazie alla loro valenza

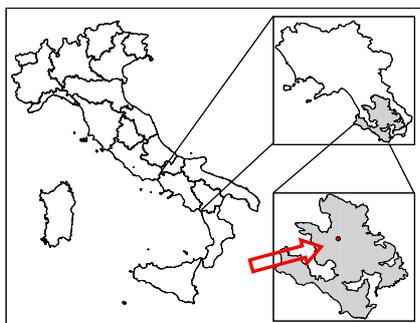


Figura 1 – Inquadramento dell'area di studio.

ecofisiologica, vengono impiegati per la perimetrazione degli incendi e per il monitoraggio della dinamica della ricostituzione della copertura vegetale in seguito al passaggio del fuoco. Per valutare il ripristino della vegetazione delle superfici percorse dal fuoco si elaborano carte degli indici di vegetazione utilizzando serie multitemporali di immagini.

Con queste tecniche è stato studiato un incendio boschivo avvenuto il 10 agosto 1993 nel Parco Nazionale del Cilento (Figura 1) che ha destato particolare interesse per l'estensione di bosco bruciato, eccezionale se confrontata con quella media dei Parchi Nazionali o quella della media regionale (CFS, 2003).

La superficie bruciata ammontava a circa 120 ha di vegetazione prevalentemente costituita da querceti misti di cerro (*Quercus cerris* L.), farnetto (*Quercus frainetto* Ten.) e carpino (*Ostrya carpinifolia* Scop.), insieme ad ampie superfici di erica (*Erica arborea* L.).

Pre-processamento delle immagini

Le fasi di studio hanno previsto il processamento di una serie multitemporale di quattro immagini Landsat 5 e 7 dell'area. Le immagini utilizzate per le elaborazioni, selezionate in maniera tale da essere caratterizzate da bassa copertura nuvolosa, sono:

- Landsat 5 TM Path 189- Row 32 acquisita il 23 agosto 1993,
- Landsat 5 TM Path 189- Row 32 acquisita il 5 ottobre 1997,
- Landsat 7 ETM+ Path 189- Row 32 acquisita il 2 agosto 2000,
- Landsat 5 TM Path 189- Row 32 acquisita il 20 luglio 2004.

Gli studi di monitoraggio della ricostituzione della vegetazione percorsa dal fuoco che usano serie multitemporali di immagini richiedono una calibrazione delle immagini. Molti autori hanno affrontato il problema della correzione del dato remoto al fine di limitare gli effetti generati dall'atmosfera e dalla topografia (Chuvieco *et al.*, 2002). Dopo la fase di geo-referenziazione delle immagini, al fine di avere a disposizione dei dati allineati e sovrapponibili, si è proceduto alla correzione atmosferica e topografica. Sul *data set* a disposizione è stata effettuata la correzione atmosferica basata sul metodo *dark-object* rivisitato (Chavez, 1996), che stima la trasmittività atmosferica in funzione del coseno e dello zenit solare.

La riflettività dei sei canali non termici delle immagini è stata calcolata con la seguente formula:

$$\rho_k = \frac{K * \pi * a_{1,k} (ND_k - ND_{min,k})}{E_{o,k} \cos\theta_i \tau_{k,i}} \quad [1]$$

dove ρ_k è la riflettanza della banda k, ND sono i valori dei pixel dell'immagine, $E_{o,k}$ e $a_{1,k}$ sono i valori di calibrazione del sensore e K è il fattore che tiene conto della variazione della distanza terra-sole che si calcola a partire dal giorno Giuliano con la seguente formula:

$$K = (1 + 0.0167(\sin(2\pi(D - 93.5)/365)))^2 \quad [2]$$

I valori di K e $\cos\theta$ si calcolano a partire dalla data di acquisizione dell'immagine.

I valori di calibrazione $E_{o,k}$ e $a_{1,k}$ per il calcolo della riflettanza variano in funzione della tipologia dei sensori e delle date di acquisizione delle immagini. In questo studio è stato necessario utilizzare tre set di parametri differenti per la correzione delle immagini. Il sensore ETM+ infatti ha valori di calibrazione differenti rispetto al sensore TM, per il quale è però possibile utilizzare il set di valori originari solo per le immagini antecedenti il 5 Maggio 2003, data in cui sono stati rivisitati e pubblicati i nuovi parametri di correzione (Chander & Markham, 2003).

Per la correzione topografica, effettuata successivamente a quella di calibrazione dei sensori, è stato utilizzato un Modello Digitale del Terreno a 75 metri e ha incluso due fasi: nella prima è stato calcolato l'angolo di illuminazione e nella seconda è stato corretto il valore di riflettività delle immagini utilizzando il valore di tale angolo. L'illuminazione si calcola a partire dall'angolo zenitale solare, l'azimut solare, l'orientazione e la pendenza del terreno mediante la formula:

$$II = \cos\theta_c \cos\theta_n + \sin\theta_c \sin\theta_n \cos(\Phi_c - \Phi_n) \quad [3]$$

dove II corrisponde al coseno del angolo di illuminazione, θ_c indica l'angolo zenitale solare, θ_n la pendenza del terreno, Φ_c l'angolo azimutale solare e Φ_n è l'angolo di esposizione.

Indici di vegetazione

Si è proceduto al calcolo degli indici di vegetazione sulle immagini pre-elaborate come sopra descritto. Gli indici esaminati sono stati quattro:

$$NDVI \text{ (Normalized Vegetation Index)} = (\rho_4 - \rho_3) / (\rho_4 + \rho_3) \quad [4]$$

$$NBR \text{ (Normalized Burn Ratio Index)} = (\rho_7 - \rho_4) / (\rho_7 + \rho_4) \quad [5]$$

$$NII \text{ (Normalized Infrared Index)} = (\rho_4 - \rho_5) / (\rho_4 + \rho_5) \quad [6]$$

$$MVI \text{ (Mointure Vegetation Index)} = \rho_5 / \rho_4 \quad [7]$$

dove ρ_3 , ρ_4 , ρ_5 , ρ_7 sono le rispettive bande 3, 4, 5, e 7 dei sensori TM ed ETM+.

Tre di questi indici (NBR, NII, MVI) hanno la particolarità di essere meno influenzati dallo scattering atmosferico in quanto utilizzano dati delle sole bande dell'infrarosso (ρ_4 , ρ_5 , ρ_7). NDVI è l'unico che utilizza una banda nel visibile (ρ_3).

Sono state quindi prodotte quattro cartografie (tanti quanti sono gli indici utilizzati) per ogni immagine, per un totale di 16 mappe multitemporali dell'area incendiata.

Le mappe degli indici di vegetazione relative all'immagine del 1993 sono state classificate in 4 classi di danno (alto, medio-alto, medio-basso e basso) (Figura 2) e per ogni classe è stato selezionato un punto ricadente nella stessa classe in tutte e quattro le immagini classificate. In questi quattro punti sono state analizzate le variazioni multitemporali degli indici di vegetazione.

Con riferimento a ognuno dei quattro gli indici di vegetazione sono stati inoltre elaborati due indici di rigenerazione (RI: *Regeneration Index* e NRI: *Normalized Regeneration Index*) (Riaño et al., 2003):

$$RI = \frac{VI_{\text{fire}}}{VI_{\text{post-fire}}} \quad [8]$$

$$NRI = 1 + \frac{VI_{\text{fire}} - VI_{\text{post-fire}}}{VI_{\text{fire}} + VI_{\text{post-fire}}} = \frac{2 VI_{\text{fire}}}{VI_{\text{fire}} + VI_{\text{post-fire}}} \quad [9]$$

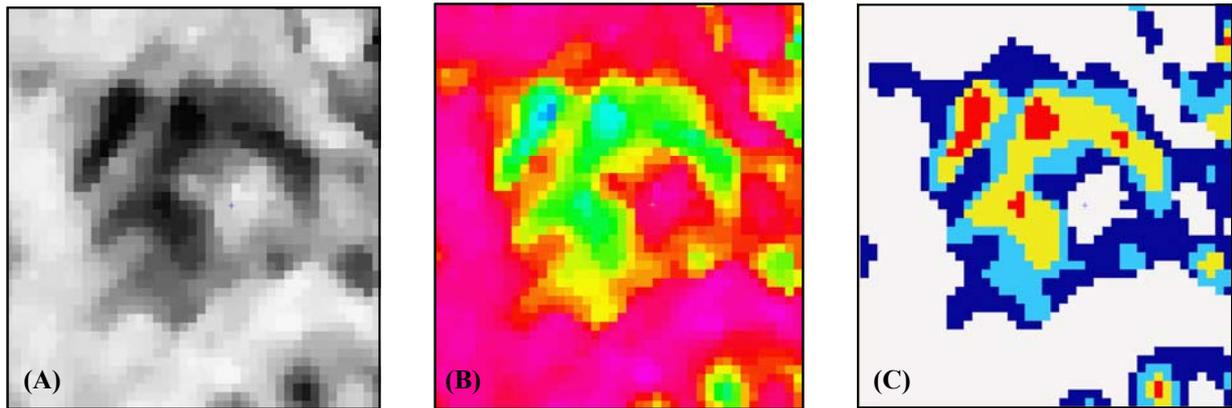


Figura 2 – Esempio di classificazione del danno tramite NDVI: (A) Visione in scala di grigi; (B) Visione in pseudocolori; mappa dell'NDVI: rosso=Classe1, giallo= Classe2, azzurro= Classe3, blu= Classe4.

dove VI_{fire} rappresenta il valore di un dato indice di vegetazione nelle aree bruciate, mentre $VI_{\text{post-fire}}$ rappresenta il valore dell'indice di vegetazione della stessa area nell'immagine temporalmente successiva.

Risultati

La distribuzione dei valori degli indici riportata in Figura 3 mette in evidenza la variazione degli stessi ai diversi livelli (classi). Questo differenziamento è dovuto al diverso valore delle bande

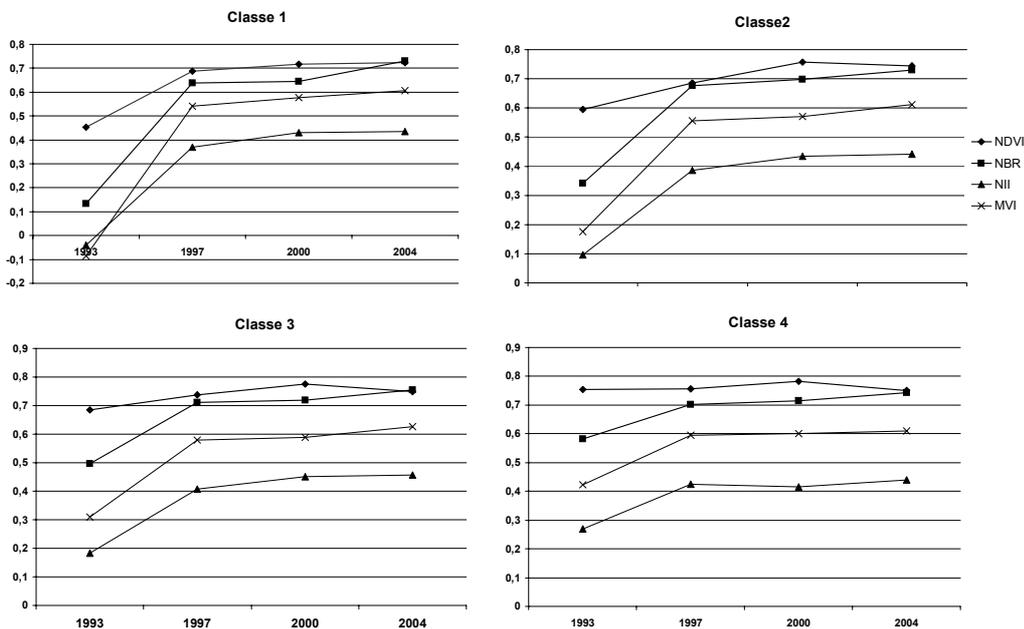


Figura 3 – Distribuzione per classe di danno dei valori degli indici di vegetazione .

utilizzate per il calcolo di ciascuno di essi. In particolare si nota come l'NII si differenzi dagli altri, attestandosi sempre a un livello più basso, mentre quello che mostra valori più elevati in tutte e quattro le classi è l'NDVI. Gli altri due indici mostrano un andamento molto simile tra loro, anche se con valori leggermente

differenti, rimanendo comunque nel range compreso tra i valori dell'NDVI e dell'NII. Si può apprezzare, ad esempio, come nella Classe 1 tutti e quattro gli indici mostrano bassi valori nell'immagine immediatamente successiva l'incendio (1993), che si incrementano notevolmente nell'immagine del 1997. Questo è dovuto al fatto che la Classe 1 ha valori di verde medi iniziali molto bassi, dovuti all'elevato danno causato da fuoco, mentre nell'immagine successiva la vegetazione si trova nella fase di ricolonizzazione del soprassuolo bruciato: gli indici aumentano di

molto nel breve periodo. Lo stesso trend crescente, in maniera minore e con andamento leggermente differente tra loro, si osserva anche nelle altre classi.

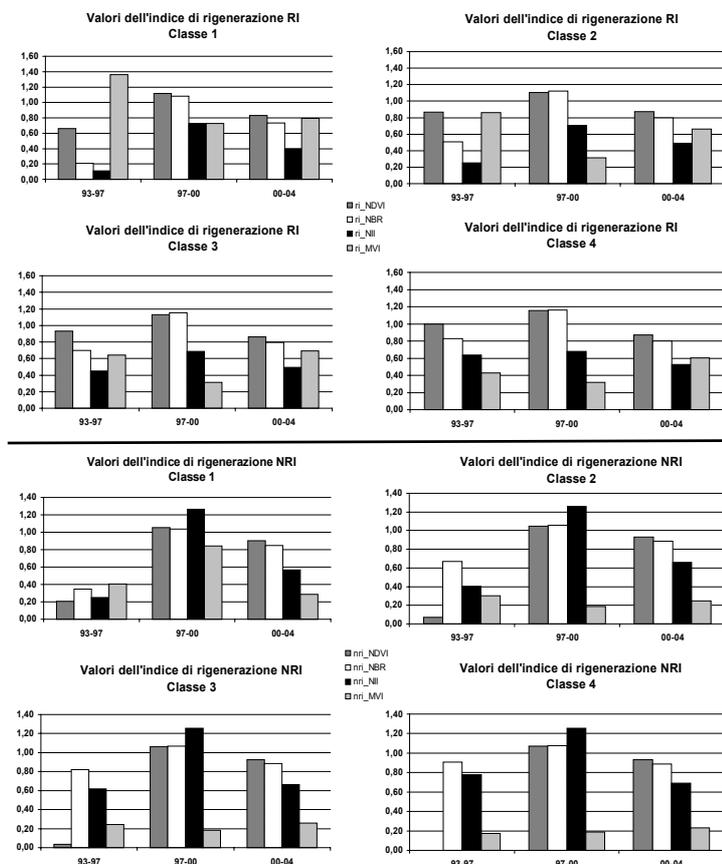


Figura 4 – Distribuzione per classe dei valori degli indici di rigenerazione .

Nella Figura 4 si può osservare la distribuzione per classe degli RI e NRI di tutti e quattro gli indici di vegetazione. Come si osserva gli indici di rigenerazione assumono valori variabili a seconda della classe e del periodo considerato. Quello che però conserva un valore quasi sempre più elevato rispetto agli altri, sia per RI che per NRI, in tutte le classi è NDVI.

Gli altri indici infatti se hanno buoni valori in una classe non li conservano nell'altra, inoltre all'interno delle singole classi non si riscontrano altri indici oltre all'NDVI che mostra valori elevati in tutti i periodi considerati.

In definitiva, è possibile affermare che tra i quattro indici di vegetazione esaminati NDVI è quello che, nelle condizioni considerate, sembra offrire migliori risultati nel descrivere la dinamica delle superfici boscate percorse dal fuoco e afferenti alle varie classi di danno. Una ulteriore conferma è data dalla leggera flessione di NDVI nel periodo 2000-2004, quando in buona parte dell'area è stato effettuato

un taglio boschivo, secondo quanto previsto dal piano di assestamento forestale e come confermato dalla verifica a terra nel mese di Agosto 2005.

Ringraziamenti

Lavoro svolto con finanziamento da parte del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio (progetto "Tutela della biodiversità e recupero post-incendio nelle aree forestali delle regioni di cui all'Obiettivo 1", P.O. Ambiente – PON ATAS – QCS 2000/2006, Resp. Piermaria Corona)

Bibliografia

- Asrar G., Myeni R.B., Choudhury B.J. (1992), "Spatial heterogeneity in vegetation canopies and remote sensing of absorbed photosynthetically active radiation: a modeling study", *Remote Sensing of Environment*, 34: 85-103.
- CFS (2003), "Statistiche sull'attività antincendio", Corpo Forestale dello Stato, Servizi AntIncendio Boschivo, Roma.
- Chander G. & Markham B. (2003), "Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges" *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, vol. 41, no. 11, November 2003
- Chavez P. S. (1996), "Image-based atmospheric corrections. Revisited and improved." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62, 1025-1036.
- Chirici G., Corona P., Dellisanti R., Di Giovine M., Marchetti M, Rossini P., Travaglini D. (2001), "Confronto e integrazione di dati telerilevati IKONOS e Landsat 7 ETM+ nella valutazione dei

- danni da incendio in ambiente mediterraneo: il caso della Pineta di Castel Fusano”, Atti, 5a Conferenza Nazionale ASITA, *La qualità nell'informazione geografica*, 9-12 ottobre, Rimini, I Volume: 529-537.
- Chirici G., Corona P. (2005), “An overview of passive remote sensing for post-fire monitoring”, *Forest@* (in stampa).
- Chuvieco E., Riaño D., Aguado I, Cocero C. (2002), “Estimation of fuel moisture content from multitemporal analysis of Landsat Thematic Mapper reflectance data: applications in fire danger assessment”, *Remote Sensing*, 2002, vol. 23, no. 11, 2145–2162.
- Marchetti M., Ricotta C. (1993), “L'impiego di dati Landsat TM per il monitoraggio della ripresa vegetativa in aree incendiate”, *Monti e Boschi*, 3: 22-26.
- Marchetti M., Ricotta C., Volpe F. (1995), “A qualitative approach to the mapping of the post-fire regrowth in Mediterranean vegetation with Landsat TM data”, *International Journal of Remote Sensing*, 16: 2487-2494.
- Riaño D., Chuvieco E., Salas J., Aguado I., (2003), “Assessment of different topographic corrections in landsat-tm data for mapping vegetation types” *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, vol. 41, no. 5, May 2003.
- Sellers P.J. (1987), “Canopy reflectance photosynthesis and transpiration II: the role of biophysics in the linearity of their interdependence”, *Remote Sensing of Environment*, 21: 143-183.
- Keeley, J. E. (2000), Chaparral. In: M. G. Barbour, & W. D. Billings (Eds.), *North American terrestrial vegetation* (pp. 204–253). New York: Cambridge University Press.
- Viedma O., Melia J., Segarra D., Garcia-Haro J., (1997), “Modeling rates of ecosystem recovery after fires by using Landsat TM data”, *Remote Sensing of Environment*, 61: 383-398.