

UTILIZZO DEI DATI DA SATELLITE PER LA DELIMITAZIONE DELLE AREE PERCORSE DA INCENDIO NEI PARCHI NAZIONALI NEL PERIODO 2001-2005

Pietro Alessandro BRIVIO (*), Bruno PETRUCCI (**), Paolo ZAFFARONI (*),
Daniela STROPPIANA (*), Mirco BOSCHETTI (*)

(*) CNR-IREA, via Bassini 15, Milano, tel. 02-23699289, fax 02-236999300, e-mail: brivio.pa@irea.cnr.it

(**) Ministero dell'Ambiente, Direzione Protezione Natura, via capitan Bavastro 174, Roma,
petrucci.bruno@minambiente.it

Riassunto

In questo progetto sono state acquisite ed analizzate circa cinquecento immagini da satellite (Terra-ASTER e SPOT) per la creazione di una base dati cartografica degli incendi nei Parchi Nazionali d'Italia nel periodo 2001-2005. I metodi di analisi utilizzati comprendono la fotointerpretazione, un approccio semi-automatico di soglia multiple di trasformate spettrali (NBR e BAI) e la classificazione di massima verosimiglianza. Nel periodo esaminato, il totale delle aree percorse dal fuoco rilevate da satellite (APFS) nei Parchi Nazionali è di circa 5.000 ha con una dimensione media di 7,7 ha. I parchi più colpiti sono risultati Cilento e Pollino, che da soli contano quasi la metà delle aree bruciate cartografate. La validazione è stata condotta sia con tecniche statistiche classiche, sia confrontando le mappe APFS con i rilievi a terra resi disponibili dal CFS. Tale analisi ha provato la validità dei rilievi da satellite, ma soprattutto ha messo in evidenza l'opportunità di integrare i due approcci, fortemente complementari, per un monitoraggio efficiente degli incendi boschivi.

Abstract

In this project around five hundred satellite images (Terra-ASTER and SPOT) were acquired and processed in order to build a geographic data base of burned areas within the Italian National Parks for the period 2001-2005. The methodologies adopted for processing include visual interpretation, multiple threshold of spectral transforms (NBR and BAI) and the maximum likelihood classification technique. In this five year period the overall burned area amounts more than 5000 ha, with a fire average size of 7,7 ha, and the most affected Parks were Cilento and Pollino, responsible for almost half of total burned surface. Validation has been carried out with appropriate statistical techniques. A comparison with ground surveys made available by CFS showed the reliability of the satellite-derived maps and confirmed the importance of the integration of space and ground-based techniques for an efficient forest fires monitoring.

Introduzione

Gli incendi, ed in particolare gli incendi boschivi, sono un fenomeno di disturbo dell'ecosistema. La maggior parte di essi sono causati in modo diretto o indiretto dall'uomo e solo una piccola parte è dovuta a cause naturali (Levine, 2000). I paesi del Mediterraneo sono molto soggetti a questo fenomeno che si manifesta in modo più intenso durante i mesi estivi quando le condizioni meteorologiche sono particolarmente favorevoli per la loro diffusione.

Ogni anno in Italia gli incendi provocano enormi danni al patrimonio forestale; nel 2007, anno particolarmente negativo, si sono registrati 10.614 incendi che hanno percorso una superficie di

225.563 ha, di cui 115.242 boscati (CFS, 2008). I danni maggiori per l'ecosistema si hanno quando il fuoco colpisce aree di elevata valenza naturalistica quali le aree protette.

La legge quadro sugli incendi boschivi (L. 21 novembre 2000, n. 353) prevede per le aree protette statali una pianificazione antincendi boschivi (AIB) a cura del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) su proposta degli Enti gestori, per la quale il rilievo cartografico delle aree percorse dal fuoco riveste un ruolo fondamentale.

Le esperienze internazionali maturate nel campo del monitoraggio degli incendi da satellite sono ormai numerose ed includono sia applicazioni sperimentali sia applicazioni di routine all'interno di sistemi operativi per la gestione e controllo del territorio. Esse riguardano sia l'individuazione degli incendi nella loro fase attiva ("*active fires*") sia lo studio degli effetti del passaggio del fuoco, in particolare la delimitazione delle aree bruciate. Per la prima si usano sensori operanti nelle bande dell'infrarosso (IR) medio (MIR) e termico (TIR), privilegiando satelliti con un'alta risoluzione temporale per poter osservare un fenomeno dinamico come il passaggio del fuoco (Flasse, Ceccato, 1996; Brivio, Grégoire, 1997). Per la delimitazione delle aree bruciate vengono usate le bande spettrali del visibile, infrarosso vicino (NIR) e ad onde corte (SWIR) con sensori a media (Tansey et al., 2004; Roy et al., 2005) e ad alta risoluzione spaziale (Mitri, Gitas, 2004, Smith et al., 2007).

Questo studio, realizzato nel quadro di un progetto promosso dalla Direzione Protezione Natura (DPN) del Ministero dell'Ambiente, ha portato alla creazione di una base dati cartografica degli incendi nei Parchi Nazionali Italiani nel quinquennio 2001-2005, utilizzando immagini Terra-ASTER e SPOT, che grazie alle loro caratteristiche spettrali e di risoluzione spaziale (15-20 metri) consentono il rilievo di superfici bruciate anche dell'ordine dell'ettaro.

Dati e Metodi

In questo studio si sono considerati 21 Parchi Nazionali. Il regime stagionale degli incendi varia in funzione della latitudine. Nei Parchi del Nord Italia (Gran Paradiso, Val Grande, Stelvio, Dolomiti Bellunesi, Cinque Terre, Appennino Tosco-Emiliano, Foreste Casentinesi) si registra una maggiore frequenza di incendi in inverno-primavera, mentre i Parchi del Centro-Sud (Arcipelago Toscano, Asinara, Arcipelago La Maddalena, Monti Sibillini, Gran Sasso, Majella, Abruzzo Lazio e Molise, Gargano, Circeo, Vesuvio, Cilento, Pollino, Sila, Aspromonte) sono colpiti soprattutto durante l'estate. In base ai dati del Ministero dell'Ambiente (Petrucci, 2007), i parchi Pollino, Cilento, Gargano e Aspromonte presentano le maggiori superfici percorse dal fuoco.

I dati da satellite utilizzati sono le immagini ASTER e SPOT. Le immagini ASTER sono state acquisite attraverso il servizio EOS Data Gateway della NASA grazie al supporto del Dept. of Geography, University of Maryland (USA) nell'ambito del progetto "*Refinement & Maintenance of the MODIS fire product suite*". In particolare, è stato scelto il prodotto "*AST07- ASTER On-Demand L2 Surface Reflectance*", che fornisce la riflettanza al suolo dei sensori VNIR (bande 1-3) e SWIR (bande 4-9) corrette per l'effetto atmosferico (Tab. 1).

Tabella 1 - Caratteristiche delle immagini ASTER e SPOT utilizzate nel progetto.

ASTER	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
spettro	verde	rosso	NIR	SWIR	SWIR	SWIR	SWIR	SWIR	SWIR
intervallo spettrale[nm]	520 600	630 690	780 860	1600 1700	2145 2185	2185 2225	2235 2285	2295 2365	2360 2430
ris. geom. [m]	15	15	15	30	30	30	30	30	30
SPOT-2, 4, 5	B1	B2	B3	B4					
spettro	verde	rosso	NIR	SWIR					
intervallo spettrale[nm]	490 610	610 680	780 890	1580 1750					
ris. geom. (*) [m]	20 ^{2,4} 10 ⁵	20 ^{2,4} 10 ⁵	20 ^{2,4} 10 ⁵	== 20 ^{4,5}					

(*): gli apici per la risoluzione geometrica indicano rispettivamente i satelliti SPOT-2, 4 e 5.

Ogni immagine copre un'area di 60x60 km in proiezione UTM-WGS84. Per sfruttare al meglio la risoluzione geometrica delle prime 3 bande, le bande SWIR sono state ricampionate a 15 metri (Fig. 1). Un numero limitato di immagini SPOT sono state acquisite sui Parchi Aspromonte, Cilento, Gargano e Pollino per integrare i dati ASTER del 2005, grazie al programma *OASIS (Optimising Access to Spot Infrastructure for Science)*.



Figura 1 – Data base delle immagini ASTER e SPOT sui Parchi Nazionali. A lato esempio di immagine ASTER della costa campana in cui sono visibili fronti di incendio (5 sett. 2004, RGB: 842) e superfici percorse dal fuoco nella stessa area un mese dopo (30 sett. 2004, RGB: 321).

I tre metodi di elaborazione utilizzati in questo lavoro, sono stati sperimentati in una fase preliminare su un'area campione della Sardegna (Zaffaroni et al., 2007). Per ogni scena è stato scelto uno dei metodi in funzione delle caratteristiche specifiche dell'immagine da analizzare:

- *fotointerpretazione* eseguita su diverse combinazioni in falso colore delle bande spettrali: 832 e 321 per *ASTER* e 432 e 321 per *SPOT*. Questo metodo è stato utilizzato per scene con un numero di aree bruciate limitato, tale da non giustificare elaborazioni più complesse di tutta l'immagine.

- *approccio a soglie multiple* degli indici spettrali Normalized Burned Ratio (NBR) e Burned Area Index (BAI). Applicato solo alle immagini *ASTER* con molte aree bruciate e scarsa presenza di ombre. L'indice NBR (Key, Benson, 2002) è sensibile al danno provocato dal passaggio del fuoco sulla vegetazione e decresce dopo l'incendio, mentre il BAI (Chuvieco et al, 2002) rileva la deposizione dei resti della combustione e aumenta dopo l'incendio. Essi sono stato calcolati utilizzando le bande *ASTER* 2, 3 e 8 in base alle seguenti formule:

$$NBR = \frac{!NIR - !SWIR}{!NIR + !SWIR} \quad [1]$$

$$BAI = 1 / \left((0.1 - !RED)^2 + (0.06 - !NIR)^2 \right) \quad [2]$$

Alle trasformate viene applicata una soglia con valori calibrati immagine per immagine per identificare le aree bruciate e poi, secondo un approccio conservativo (si preferisce ridurre "i falsi allarmi"), solo i pixel rilevati da entrambi gli indici sono classificati come "bruciato" e il resto come "non bruciato". Alla mappa binaria viene applicato un filtro di maggioranza 3x3.

- *massima verosimiglianza*: applicata alle immagini con molte aree bruciate in cui la classe "bruciato" presenta un'elevata confusione spettrale con altre classi, (tipicamente ombre e alcuni suoli), non risolvibile dal metodo semi-automatico. I pixel di *training* sono selezionati per 7 classi (bruciato, vegetazione, suolo nudo, urbanizzato, nuvole, ombra e acqua) con circa 150 pixel per classe. Per le immagini *ASTER* si sono usate le bande 8,4,3,2 e gli indici NBR e BAI, mentre per le *SPOT* sono state impiegate tutte le bande.

Mediante un processo di trasformazione in vettori delle mappe della classe "bruciato" si ricavano i perimetri delle aree percorse dal fuoco rilevate da satellite (APFS).

Risultati

I perimetri delle APFS ottenuti dall'analisi eseguita sulle immagini disponibili nei 21 Parchi Nazionali considerati sono stati organizzati in un GIS compatibile con le pratiche in uso presso la DPN del Ministero dell'Ambiente. Nella Figura 2 viene presentato un esempio delle APFS relative al Parco Nazionale del Cilento, uno dei più interessati dal fenomeno degli incendi boschivi.

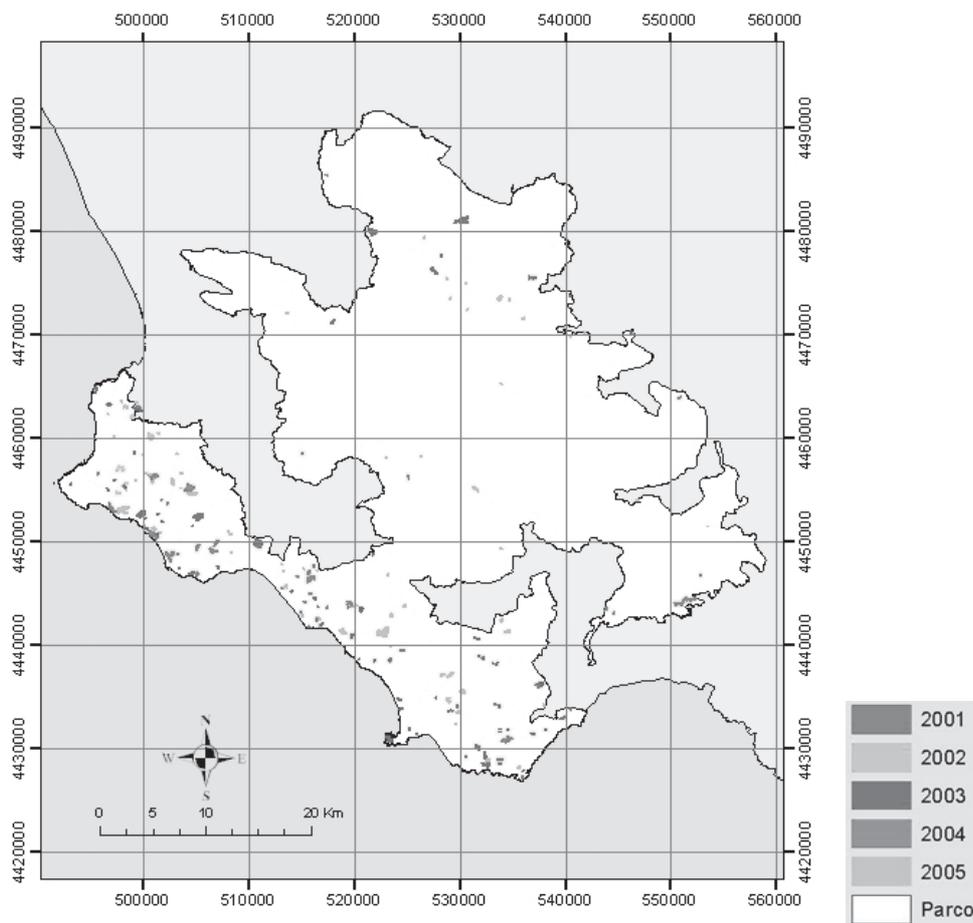


Figura 2: APFS -Aree Percorse dal Fuoco rilevate da Satellite per il Parco Nazionale del Cilento.

Nella Tabella 2 viene riportata una sintesi per anno delle APFS sia come numero di poligoni che come superfici. Le APFS così rilevate corrispondono a una superficie di 5038 ha per 652 eventi, con una dimensione media di 7.7 ettari per incendio. L'anno peggiore è stato il 2004 con 1441 ha, seguito dal 2001 (1182 ha) e dal 2003 (1172 ha). Il Parco in cui si è rilevata la maggiore superficie bruciata è il Cilento con 1159 ha, seguito dal Pollino con 1150 ha, dall'Aspromonte con 785 ha e dal Gargano con 717 ha.

Tabella 2- APFS nei Parchi Nazionali nel periodo 2001-2005.

Anno	n. Immagini	n. Poligoni	Superficie (ha)	sup media (ha)
2001	65	140	1179	8,42
2002	92	49	228	4,65
2003	140	177	1172	6,62
2004	90	157	1441	9,18
2005	74	129	1018	7,89
Totale	461	652	5038	7,73

La valutazione dei risultati è stata condotta con diversi tipi di analisi.

Le mappe APFS ottenute dal metodo semi-automatico degli indici NBR e BAI sono state valutate mediante le matrici di confusione (Congalton, 1991) ricavate dal confronto con dati di riferimento ottenuti dalla fotointerpretazione di venti immagini ASTER relative a Parchi diversi e anni diversi. Come era da attendersi dal carattere conservativo dell'approccio adottato, si è riscontrata in media una sottostima del 50%, mentre le aree riconosciute come bruciate corrispondono a verità con un buon livello di sicurezza (85%).

Grazie ad una collaborazione fra CFS, DPN-MATTM e IREA-CNR, una analisi di dettaglio è stata realizzata per il Parco Nazionale del Pollino mettendo a confronto i perimetri APFS e quelli del CFS per il 2004, anno di sperimentazione dei rilievi GPS. Questo confronto ha messo in evidenza la validità dei perimetri degli incendi ricavati da immagini satellitari. Una delle cause di discrepanza tra i due dati è dovuta ad imprecisioni o della georeferenziazione delle immagini da satellite o nel caso di rilievi CFS eseguiti in modo tradizionale senza ausilio di GPS.

In generale, i risultati da satellite permettono di localizzare le aree percorse da incendio e di delimitarne il perimetro con una buona accuratezza. I principali elementi che la influenzano sono l'intensità dell'incendio, tipo e stato della copertura vegetale coinvolta e il tempo trascorso tra la data dell'incendio e la data di acquisizione dell'immagine da satellite. Quest'ultimo, che dipende dalla frequenza di acquisizione e dalle condizioni atmosferiche al momento del passaggio del satellite sull'area (es. presenza di copertura nuvolosa) è l'elemento più critico per un monitoraggio efficace.

Conclusioni

Le immagini satellitari ASTER e SPOT acquisite hanno permesso di delimitare le aree percorse dal fuoco nei Parchi Nazionali italiani per il periodo 2001-2005 verificando e consolidando una metodologia che fosse idonea a livello nazionale.

Le superfici individuate sono pari a circa 5000 ha in corrispondenza di 650 eventi, con una dimensione media di 7.7 ha per incendio, confermando che i Parchi più colpiti sono quelli del Meridione.

L'analisi dei risultati ed i confronti eseguiti nella fase di valutazione hanno evidenziato una capacità delle immagini satellitari di individuare eventi non rilevati a terra. Se si escludono i Parchi del Gargano e Pollino (2004 e 2005) e Cilento (2005), i perimetri APFS sono l'unica fonte di informazione cartografica per i Parchi Nazionali per il periodo considerato da questo studio, non essendo più possibile ricavarla da altri dati.

D'altra parte i rilievi a terra forniscono importanti informazioni per validare e integrare le mappe APFS e rimangono un elemento fondamentale nel monitoraggio e nelle attività di prevenzione e lotta attiva contro gli incendi.

In ultima sintesi, i risultati del progetto supportano la tesi di una validità oggettiva dei perimetri rilevati da satellite, nonché l'importanza di integrare e confrontare questi perimetri con i poligoni da rilievo GPS post incendio.

Ringraziamenti

Si desidera ringraziare il CFS, in particolare Daniela Piccoli, e i membri del Comitato Scientifico di supervisione del Progetto: Jean-Marie Grégoire (JRC, Ispra), Luigi Boschetti (Univ. of Maryland, USA), Danilo Mollicone (Max Planck, Jena) e Sandro Federici (JRC, Ispra).

Bibliografia

Brivio P.A., Grégoire J.M. (1997), "Gli incendi nella fascia tropicale del globo: aspetti metodologici nell'analisi di dati da satellite", *Rivista Italiana di Telerilevamento*, 11:17-26.

Brivio P.A., Zaffaroni P., Stroppiana D., Boschetti M. (2007), "Un sistema integrato per il monitoraggio e la mappatura delle aree percorse da incendio nei Parchi Nazionali attraverso l'utilizzo dei dati da satellite", *Rapporto Finale*. Ministero dell'Ambiente - DPN, pp. 82.

- Chuvieco E., Martin M.P., Palacios A. (2002) "Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination", *Int. Journal of Remote Sensing*, 23: 5103-5110.
- Congalton R.G. (1991) "A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data", *Remote Sensing of Environment*, 37: 35-46.
- CFS - Corpo Forestale dello Stato (2008), *Dossier Incendi Boschivi 2007*.
- Flasse S., Ceccato P. (1996), "A contextual algorithm for AVHRR fire detection", *International Journal of Remote Sensing*, 17 (2): 419-424.
- Key C.H., Benson N.C. (2002), "Measuring and remote sensing of burn severity", *Wildland Fires Workshop*, 31 Oct -03 Nov 2000, Los Alamos, (USGS Open File Report 02-11) p. 55.
- Mitri G., Gitas (2004), "A semi-automated object-oriented model for burned area mapping in the Mediterranean region using Landsat-TM imagery", *Int. Journal of Wildland Fires*, 13: 367-376.
- Petrucci B. (2007), "Azioni del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare nel settore degli incendi boschivi", *L'Italia Forestale e Montana*, 62 (1): 27-38.
- Roy D., Jin Y., Lewis P.E., Justice C.O. (2005), "Prototyping a global algorithm for systematic fire affected area mapping using MODIS time series data", *Remote Sensing of Environment*, 97: 137-162.
- Smith A.M.S., Drake N.A., Wooster M.J., Hudak A.T., Holden Z.A. Gibbons C.J. (2007), "Production of Landsat ETM+ reference imagery of burned areas within Southern African savannahs: comparison of methods and application to MODIS", *Int. Journal of Remote Sensing*, 28 (12): 2753 – 2775.
- Tansey K., Grégoire J.M., Binaghi E., Boschetti L., Brivio P.A., Ershov D., Flasse S., Fraser R., Graetz D., Maggi M., Peduzzi P., Pereira J.M., Silva J., Sousa A., Stroppiana D. (2004), "A global inventory of burned areas at 1km resolution for the year 2000 derived from SPOT Vegetation data", *Climatic Change*, 67 (2): 345 – 377.
- Zaffaroni P., Stroppiana D., Brivio P.A., Boschetti M. (2007), "Utilizzo di immagini ASTER per la delimitazione di aree percorse da incendio", *Rivista Italiana di Telerilevamento*, 39: 93 – 101.