

VALUTAZIONE DELL'USO DI IMMAGINI SATELLITARI A MEDIA RISOLUZIONE PER L'INDIVIDUAZIONE DI AREE PERCORSE DA INCENDIO

Roberto COSTANTINI, Letizia COSTANZA, Luca ANGELI,
Raffaella FERRARI, Lucia INNOCENTI

(*) CNR-Ibimet, via G. Caproni 8 – 50145 Firenze, e-mail: costantini@lamma-cres.rete.toscana.it

Riassunto

1) La “Legge quadro in materia di incendi boschivi” n.353 del 21 novembre 2000 prescrive l’istituzione da parte dei comuni di un catasto dei suoli percorsi da incendi, che renda effettivo il divieto di svolgere determinate attività sui terreni attraversati dal fuoco.

La presente attività di ricerca, svolta presso l’Istituto di Biometeorologia del CNR, ha consentito di sperimentare l’uso di immagini telerilevate a basso costo, al fine di individuare le aree percorse da incendio.

2) Operativamente, sono state valutate due diverse metodologie per la perimetrazione delle aree percorse da incendio, sulla base del danno subito dal soprassuolo, valutato in funzione della risposta spettrale della vegetazione. La prima metodologia ha utilizzato un’immagine Landsat 5 TM per il calcolo dell’NDVI, e la seconda, due immagini (una pre-incendio e una post-incendio) acquisite dal sensore ASTER, per la tecnica del *Change Detection*, processo che rende possibile correlare e comparare due set di immagini della stessa area, riprese in date differenti, evidenziando i cambiamenti intercorsi.

3) Questo studio ha confermato la difficoltà di individuare e perimetrare con precisione aree percorse dal fuoco, utilizzando immagini a media/bassa risoluzione e di costo limitato. Avendo però a disposizione una serie di dati ausiliari di maggior dettaglio (fotografie aeree e punti di innesco), il fotointerprete può perimetrare con una maggiore precisione le aree incendiate individuate attraverso le procedure descritte. Infatti, vista la risoluzione delle immagini, il prodotto ottenuto non può essere utilizzato al fine della realizzazione di una carta per l’apposizione dei vincoli previsti dalla legge, ma può essere un ottimo mezzo per elaborare studi relativi all’incidenza, anche areale, oltre che di frequenza, del fenomeno degli incendi boschivi su territori di ampie estensioni, a scale non di dettaglio (Provincia, Regione).

Abstract

1) The Law n.353 about forest fires came into force the 21 november 2000; according to this law the national legislation ordonates the local municipalities (Comuni) to institute a burnt areas register in order to forbid several activities over the burnt soils.

This research activity, carried out by the Biometeorological Institute of the National Research Council (CNR), has experimented techniques of soil analysis using low cost remotely sensed images, in order to identify the burnt areas.

2) To identify the edges of the burnt areas have been analysed two different methodologies based on the damage suffered by the soil, according to the spectral response of vegetation; the first method is based on the use of one image Landsat 5 TM for the NDVI computation; the second method uses two images (one before the fire and one after the fire) of the ASTER sensor, in order to use the Change Detection technique that allows to correlate and compare two sets of images of the same area, shot in different times, highlighting the changes.

3) Both the analysis have confirmed the difficulty to exactly identify the edges of the burnt areas, using low cost images at medium/low resolution. However, using some auxiliary and more detailed data (aerial photographs, ignition points), the photointerpreter can highly improve the accuracy of the two methods. Due to the medium/low resolution of the images, the outputs can not be used to draw a map to directly put constraints according to law terms, but it can be a excellent system to elaborate studies on the extension and frequency of forest fires on territories of large scale.

Introduzione

Con il presente lavoro, si sono sperimentate delle tecniche di analisi del territorio utilizzando immagini telerilevate a basso costo, al fine di valutarne la possibilità di utilizzazione per l'individuare le aree percorse da incendio.

Più precisamente, l'attività sperimentale ha riguardato la valutazione di due diverse metodologie per la perimetrazione delle aree percorse da incendio, basate sull'analisi del danno subito dal soprassuolo, valutato in funzione della risposta spettrale della vegetazione. Con la prima metodologia è stata valutata la possibilità di utilizzare una singola immagine Landsat 5 TM, dalla quale è stato ricavato l'indice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), mentre con la seconda è stata applicata la tecnica del Change Detection, comparando due immagini della stessa area, riprese in date differenti (una nel periodo primaverile, l'altra in quello di fine estate dello stesso anno di analisi), acquisite dal sensore ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer).

DATI INFORMATIVI DI BASE

Database schede Anti Incendi Boschivi (AIB)

A partire dalle schede AIB, la Regione Toscana ha realizzato un database in formato MS Access con tutti i dati originariamente presenti nella scheda; ai fini del presente studio, il database è stato semplificato, così da avere solo i seguenti campi: numero progressivo dell'evento, data d'inizio dell'incendio, Codice ISTA del Comune, Località, Coordinate XY del punto d'innescio, superficie (boschiva e non boschiva) percorsa dal fuoco.

In questo nuovo database sono state effettuate ulteriori operazioni di "pulizia", consistenti nell'eliminazione di tutti i record relativi agli incendi:

- privi di informazione nei campi delle coordinate;
- con superficie minore di 5 ettari, perché difficilmente identificabili con immagini satellitari di media risoluzione come quella del Landsat 5 TM e dell'ASTER;
- verificatisi al di fuori del periodo maggio/settembre 2003;
- con evidenti errori nelle coordinate dei punti di innescio (esterni al territorio comunale al quale l'incendio è stato attribuito, oppure ricadenti in mare).

Ortofoto AGEA

Trattasi di foto aeree digitali in bianco e nero che coprono l'intera estensione del territorio regionale, comunemente utilizzate dall'AGEA (Agenzia per le Erogazioni in Agricoltura) per effettuare i controlli sulle produzioni agricole: ciascuna foto fornisce un'immagine del territorio con risoluzione di 1 metro al suolo.

Immagine Landsat 5 TM

I satelliti della serie Landsat furono progettati a partire dagli anni '60 dalla NASA per ovviare alle limitate capacità di osservazione della Terra dei satelliti meteorologici; il primo satellite Landsat (ERTS-1) fu lanciato nel 1972. I satelliti Landsat orbitano 705 Km (circa 435 miglia) con un ciclo di rivisitazione di 16 giorni.

L'immagine Landsat 5 TM (Thematic Mapper) a nostra disposizione è un'immagine multispettrale in formato *bil* già georeferenziata e ortorettificata; attraverso il software IDRISI (Clark University) è stato effettuato il calcolo dell'indice di vegetazione NDVI.

Immagine ASTER

Attraverso l'utilizzo di due immagini ASTER acquisite in periodi diversi (prima e dopo la stagione degli incendi), è stato effettuato il *change detection* per identificare le differenze fra le due immagini e quindi mettere in risalto quelle dovute a fenomeni incendiari.

Nello studio in esame sono stati utilizzati i dati di tipo L1B, generati applicando i coefficienti per la calibrazione radiometrica e il campionamento geometrico, in quanto gratuiti, applicandovi poi un ulteriore algoritmo di correzione radiometrica (*decorrelation stretch*).

presupposti metodologici

L'individuazione delle superfici incendiate e la loro successiva perimetrazione in formato vettoriale è avvenuta valutando due diverse metodologie.

La prima metodologia ha previsto l'utilizzo di un'immagine Landsat 5, considerando l'indice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), ottenuto sulla base TM e definito come:

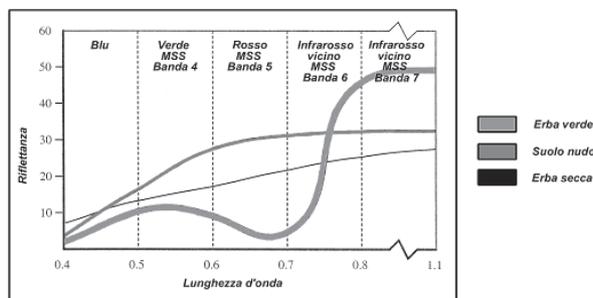
$$\text{NDVI} = (\text{Rnir} - \text{Rred}) / (\text{Rnir} + \text{Rred})$$

Rred = riflettanza nel rosso: banda 3
Rnir = riflettanza nel vicino infrarosso: banda 4

Nella seconda metodologia si sono invece sfruttati i valori della banda 3 (infrarosso vicino) delle immagini acquisite dal sensore ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), per la tecnica del Change Detection.

In entrambi i casi la zonazione delle aree percorse da incendio è avvenuta in funzione del danno subito dal soprassuolo, sulla base della risposta spettrale dell'attività della vegetazione.

Gli indici di vegetazione consentono, infatti, di mettere in evidenza la presenza e lo "stato di salute" delle coperture vegetali. Sono basati sulle caratteristiche spettrali della vegetazione, in particolare sul forte assorbimento della radiazione elettromagnetica nella banda del rosso (circa 0.6-0.7 μm), dovuto all'assorbimento dei pigmenti della foglia (clorofilla) e sulla forte riflessione della radiazione nella banda dell'infrarosso vicino (circa 0.8-0.9 μm) a causa della struttura del mesofillo. Nella figura seguente sono riportate le caratteristiche tipiche della riflettanza spettrale per la vegetazione sana (erba verde), per la vegetazione morta o senescente (erba secca), per il suolo nudo.



METODOLOGIA LANDSAT

L'immagine Landsat 5 TM messa a disposizione per lo studio è un'immagine multispettrale (con le singole bande separate) in formato *bil*, già georeferenziata e ortorettificata nel sistema Gauss Boaga. Con il modulo *Image Calculator* del software IDRISI sono state eseguite le operazioni di *Map Algebra* corrispondenti al calcolo dell'NDVI.

Individuazione e perimetrazione delle aree incendiate

Attraverso lo shapefile dei punti di innesco degli incendi e l'immagine NDVI si è proceduto manualmente ad una prima perimetrazione di ogni area, sulla base dell'indice di vegetazione con valori prossimi allo zero (l'attenzione si è focalizzata alle zone boscate in quanto solo queste saranno in seguito soggette a vincoli di particolare salvaguardia).

Poiché l'immagine Landsat 5 TM non ha una risoluzione tale da permettere la distinzione di singoli elementi territoriali con risposta spettrale simile a quella delle aree incendiate (suolo nudo, aree edificate), ci siamo avvalsi, in una seconda fase, della maggior definizione spaziale delle fotografie aeree relative ai voli effettuati negli anni 2002/2003 (primavera) e quindi antecedenti agli incendi in esame, ma comunque utili per verificare il tipo di soprassuolo preesistente.

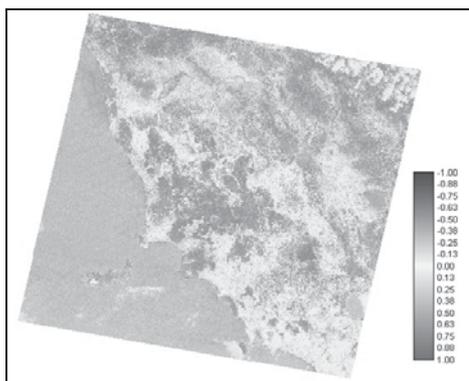


Immagine Landsat TM utilizzata



Dettaglio di perimetrazione area incendiata

Riportando il perimetro del poligono precedentemente editato sulla fotografia AGEA della medesima zona è stato quindi possibile correggere i potenziali errori effettuati nella perimetrazione, decurtando gli eventuali elementi antropici con risposta spettrale simile al soprassuolo incendiato. È stata successivamente calcolata l'area racchiusa dal poligono editato, per confrontarla con quella riportata nelle schede AIB.

Risultati

Questo tipo di analisi è stata effettuata per tutti gli incendi con superficie boscata maggiore o uguale a 5 ettari; il tentativo di poligonare anche incendi con superficie inferiore non ha portato a risultati accettabili, a causa della scarsa risoluzione dell'immagine satellitare.

In alcuni casi l'area perimetrata sulla base della fotointerpretazione a video è risultata maggiore di quella riportata nel database dei punti di innesco; ciò può essere dovuto o ad una erronea valutazione dell'area incendiata da parte di chi ha effettuato le operazioni di intervento, oppure al fatto che in alcuni casi gli incendi sono avvenuti in aree parzialmente sovrapposte ad altre già precedentemente incendiate, per cui la vegetazione risulta essere già fortemente degradata.

In conclusione, si è ottenuto uno strato informativo in formato Shape costituito da 40 poligoni la cui tabella degli attributi riporta l'identificativo univoco, le note, l'area espressa in ettari.

METODOLOGIA ASTER

Il *change detection* è il processo di identificazione di differenze nello stato di un oggetto o di un fenomeno osservato in momenti distanti nel tempo. Con questo metodo è possibile correlare e comparare due immagini della stessa area, riprese in date differenti, evidenziandone i cambiamenti. In particolare si sono ricercate le immagini che coprissero le zone della regione nelle quali, attraverso l'immagine Landsat, erano già stati individuati alcuni degli incendi più vasti e intensi; tra queste si sono quindi acquisite un'immagine del periodo antecedente alle date dei vari incendi del nostro dataset (1/4/2003) e un'immagine successiva a tali date (18/03/2004): tali immagini si riferiscono a un'area di circa 3.600 Km² riguardante la provincia di Prato e parte delle province di Lucca, Pistoia e Firenze.

Cambio di proiezione e ricampionamento

Si è posta la necessità di riproiettare le due immagini nel sistema Gauss Boaga Roma 40. Per fare questo si è applicata una trasformazione del primo ordine, al fine di minimizzare gli effetti distorsivi sulla forma dell'immagine. Successivamente si è creata un'immagine di output nella quale i valori dei pixels sono stati ricampionati (*resampling*) in base all'algoritmo *Nearest Neighbour* che, a scapito di un aumento del "rumore di fondo", mantiene inalterati i valori di radianza.

Ortorettifica delle immagini e correzione dello shift delle immagini

Come immagine di riferimento per l'ortorettifica è stata usata la scena Landsat 5 TM, quale riferimento dell'orizzontale, mentre per il riferimento del verticale si è ricorsi al DEM SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) con risoluzione spaziale di 90 metri; si sono utilizzati 50 punti come *Ground Control Point* e 10 come *Check Point* (successivamente utilizzati, attraverso il calcolo dell'errore quadratico medio, per la valutazione qualitativa dell'ortorettifica).

Le due immagini ortorettificate hanno evidenziato la presenza di un residuale *shift* di circa 125 metri sull'asse delle x (probabilmente derivante da diversi valori di ripresa della scena): è stato perciò necessario modificare manualmente il file tfw dell'immagine 2004, apportando una correzione di 125 metri sulle x e di ½ pixel sulle y.

Operazione di Change Detection e perimetrazione delle aree incendiate

Mediante l'operazione di *change detection* è stata calcolata la differenza tra le due immagini "Before Fire" e "After Fire", sulla banda dell'infrarosso, evidenziando i cambiamenti che superano la soglia impostata e creando in output la nuova immagine denominata "Image Difference": si tratta di un'immagine a toni di grigio che è il diretto risultato della sottrazione della "Before Fire Image" dalla "After Fire Image". Sulla base dell'*Image Difference* e adottando la stessa metodologia seguita nel caso dell'immagine Landsat, è stata poi effettuata la perimetrazione delle aree percorse dal fuoco, relative ai 7 incendi che si sono verificati nel periodo estivo dell'anno 2003, nella porzione di territorio compreso nelle immagini ASTER.

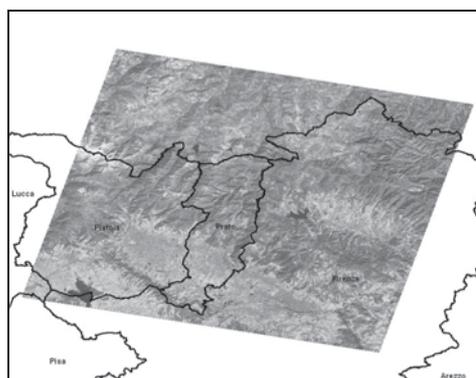
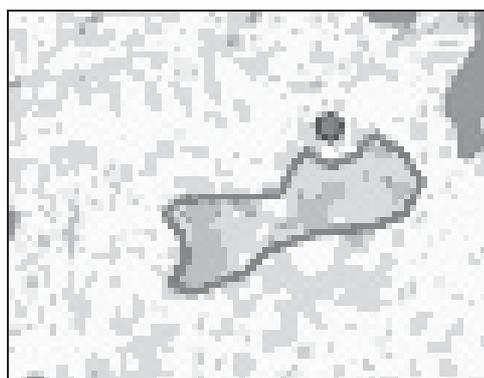


Immagine ASTER utilizzata



Dettaglio di perimetrazione area incendiata

Risultati

L'analisi effettuata con il metodo del *Change Detection* sulle immagini ASTER ha portato a risultati molto simili a quelli ottenuti con l'immagine Landsat: a causa del "rumore di fondo" presente, non è stato infatti possibile apprezzarne la maggiore risoluzione ed il tentativo di poligonare anche incendi con superficie inferiore a 5 ettari non ha portato, anche in questo caso, a risultati particolarmente soddisfacenti.

Per questo, il prodotto ottenuto non può essere utilizzato al fine della realizzazione di una carta sulla finalizzata ad apporre i vincoli previsti dalla legge, ma può essere un ottimo mezzo per studi relativi all'incidenza, anche areale, oltre che di frequenza, del fenomeno degli incendi boschivi su territori di ampie estensioni, a scale non di dettaglio, quale quella regionale.

A tal proposito, analizzando le superfici riportate nella scheda AIB e quelle calcolate a partire dalle immagini satellitari, si nota che, comparando i singoli eventi, ci possono essere delle differenze fino a un massimo del 167%; valutando invece la sommatoria delle superfici dei singoli eventi, tale scostamento si abbassa a valori pressoché trascurabili, variando da un minimo dello 0,12% per i dati Landsat, a un massimo dell'8% per i dati ASTER.

DATI LANDSAT				
ID	Area calcolata (ettari)	Area scheda AIB (ettari)	Scostamento assoluto	Scostamento percentuale
1	760	649	+111	17%
2	414	460	-46	-10%
3	317	353	-36	-10%
4	90	140	-50	-36%
5	130	110	+20	18%
6	112	105	+7	7%
7	159	100	+59	59%
8	33	65	-32	-49%
9	58	62	-4	-6%
10	53	50	+3	6%
11	15	47	-32	-68%
12	42	40	+2	5%
13	33	31	+2	6%
14	21	24	-3	-13%
15	23	23	0	0%
16	20	22	-2	-9%
17	39	21	+18	86%
18	12	21	-9	-43%
19	15	20	-5	-25%
20	19	19	0	0%
21	12	16	-4	-25%
22	22	15	+7	47%
23	4	15	-11	-73%
24	12	14	-2	-14%
25	16	14	+2	14%
26	9	13	-4	-31%
27	10	13	-3	-23%
28	10	13	-3	-23%
29	19	13	+6	46%
30	10	12	-2	-17%
31	6	11	-5	-45%
32	11	11	0	0%
33	11	10	+1	10%
34	16	10	+6	60%
35	12	10	+2	20%
36	16	6	+10	167%
	TOT	TOT	TOT	TOTALE
	2561	2588	3	0.12%

DATI ASTER				
ID	Area calcolata (ettari)	Area scheda AIB (ettari)	Scostamento assoluto	Scostamento percentuale
1	414	460	-46	-10%
2	9	13	-4	-31%
3	14	13	1	8%
4	10	13	-3	-23%
5	12	10	2	20%
6	16	6	10	167%
	TOT	TOT	TOT	Sul TOTALE
	475	515	-40	-8%

DATI LANDSAT				
ID	Area calcolata (ettari)	Area scheda AIB (ettari)	Scostamento assoluto	scostamento percentuale
2	414	460	-46	-10%
26	9	13	-4	-31%
27	10	13	-3	-23%
28	10	13	-3	-23%
35	12	10	+2	+20%
31	16	6	+10	+167%
	TOT	TOT	TOT	Sul TOTALE
	471	515	-44	-9%

La rilevante differenza dell'errore commesso sul totale delle superfici rilevate può essere dovuta alla minore area complessiva indagata con le immagini ASTER, rispetto a quella dell'immagine Landsat: l'incendio n. 6 dell'immagine ASTER (corrispondente al n.31 nel Landsat) ha infatti un peso relativo sul totale ben maggiore che non nel caso del più numeroso dataset degli incendi rilevati sulla base dell'immagine Landsat. Infatti, se confrontiamo esclusivamente gli stessi eventi presenti sia sulle immagini ASTER che in quella Landsat, allora le differenze di valori sono pressoché trascurabili: solo in un caso la perimetrazione differisce di 4 ettari, determinando valori di errore percentuale, rispettivamente del 23% e dell'8%.

In conclusione, possiamo quindi affermare che l'analisi delle due metodologie suggerisce due valide alternative per la rilevazione di aree percorse da incendio utilizzando immagini satellitari a bassa risoluzione, e quindi a basso costo; infatti, nel caso si dovesse valutare la superficie complessiva percorsa dagli incendi su un'area sufficientemente vasta come quella regionale, il metodo può dare dei risultati attendibili, mentre non potrà essere utilizzato per dire con precisione se, ad esempio, una certa particella catastale è stata effettivamente interessata o no dall'incendio e quindi per apporre una condizione di vincolo.

Bibliografia

- Angeli L., Costantini R., Ferrari R., Innocenti L (2003), *Specifiche tecniche per la georeferenziazione*, CNR Ibimet, Firenze
- Benincasa F, Maracchi G. (2001), *La tecnologia GIS nel monitoraggio ambientale – Collana tecnico-scientifica IB – Quaderno n.9*, CNR Ibimet, Firenze
- Jensen J. R. (2000), *Remote Sensing of the Environment – An Earth Resource Perspective*, Prentice Hall, NJ, 2000
- Schowengerdt R. A. (1997), *Remote Sensing – Models and Methods for Image Processing*, Academic Press, San Diego, 1997