

# *Immagini da satellite, GIS e incendi boschivi: un'applicazione a livello regionale<sup>1</sup>*

## *Premessa*

Il presente lavoro è stato realizzato nell'ambito della convenzione - "Studio finalizzato alla realizzazione di una carta del rischio d'incendio relativa al territorio di competenza amministrativa della Regione Umbria" - stipulata fra la Regione Umbria e l'Istituto Sperimentale per la Selvicoltura di Arezzo.

Detta convenzione prevede la realizzazione di tre differenti strumenti:

- a) carta storica degli incendi boschivi rilevabili dalle immagini da satellite LANDSAT TM per gli anni 1992-98, integrati con le informazioni raccolte a cura del Corpo Forestale dello Stato per gli anni 1986-1998;
- b) carta informatizzata delle Zone forestali a rischio di incendio, con suddivisione del territorio forestale regionale in 4 classi di rischio;
- c) software per il calcolo dell'indice di rischio su base regionale in funzione dei dati meteorologici disponibili in tempo reale.

In particolare sarà qui descritto il lavoro svolto relativamente alla realizzazione della carta storica degli incendi boschivi, il cui obiettivo è la rappresentazione spaziale degli incendi nel periodo considerato. Questo al fine di spiegare la dimensione territoriale, l'andamento del fenomeno degli incendi e le relazioni di questo con gli altri aspetti ambientali e sociali. Parte integrante del la-

voro svolto è la verifica delle potenzialità descrittive in termini geografici del materiale utilizzato.

## *Materiali e metodi*

L'indagine si è basata sull'utilizzo di:

- carta tecnica regionale in scala 1:10.000;
- base topografica I.G.M. in scala 1:25.000;
- archivio georeferenziato dei toponimi, tratti dalla base topografica I.G.M. in scala 1:25.000, in formato digitale;
- otto interi scenari multispettrali Landsat TM, aventi una risoluzione a terra di 30 m, acquisiti rispettivamente il 3 settembre 1992, 22 settembre 1993, 8 agosto 1994, 11 ottobre 1994, 14 ottobre 1995, 20 luglio 1996, 20 settembre 1997, 18 luglio 1998;
- archivio descrittivo degli incendi verificatisi in Umbria dal 1986 al 1998, rilevati dal Corpo Forestale dello Stato.

Il materiale elencato, fornito integralmente dalla Regione Umbria, è stato elaborato utilizzando i seguenti strumenti software:

- Arc-view versione 3.1, comprensivo dei moduli Spatial analyst e DAK (ESRI);

---

<sup>1</sup> Il presente lavoro è da attribuirsi per la parte relativa alle serie storiche a Fabrizio Ferretti e per la parte relativa alle immagini da satellite a Lorenzo Gardin; le conclusioni sono comuni.

- Cartha for Windows versione 3.5 (RSDE srl<sup>TM</sup>);
- Microsoft Access 97.

*Caratteristiche e modalità di verifica ed utilizzazione delle serie statistiche relative agli incendi avvenuti all'interno del territorio regionale nel periodo 1986-1998.*

La Regione Umbria ha fornito, su supporto magnetico, i dati delle serie statistiche relative agli incendi avvenuti all'interno del territorio regionale nel periodo 1986-1998 e rilevati dal Corpo Forestale dello Stato. Nel periodo in esame sono stati rilevati in ambito rurale 1666 incendi (tab. 1) di cui 1360 hanno interessato, anche solo parzialmente, superfici boscate. Per il presente lavoro sono comunque stati considerati tutti gli incendi, in quanto anche quelli che non hanno interessato superfici boscate, essendo avvenuti in ambiente rurale e quindi sovente in prossimità di boschi, sono utili per comprendere il fenomeno.

Il materiale di partenza deriva da quanto riportato dal Corpo Forestale dello Stato sulle schede ufficiali Anti Incendi Boschivi (AIB). È importante sottolineare che nel periodo in esame le informazioni raccolte sono state archiviate su 4 tipi di moduli che differiscono l'uno dagli altri essenzialmente per il livello di approfondimento ed il tipo di codifica dei dati raccolti. Questo fatto ha reso necessario l'omogeneizzazione dei dati contenuti nei diversi tipi di scheda adottata.

Tab. 1 - Incendi rilevati in Umbria dal Corpo Forestale dello Stato nel periodo 1986-98.

Anno	N°	Anno	N°
1986	83	1993	189
1987	172	1994	145
1988	142	1995	55
1989	115	1996	88
1990	188	1997	78
1991	150	1998	139
1992	122		

Il poter disporre di dati di questo tipo nella realizzazione di una carta storica permette, a seguito di un'adeguata analisi, di spiegare l'andamento e la dimensione territoriale del fenomeno nel periodo considerato; il primo passo per riuscire in questo scopo è collegare le informazioni contenute sulla scheda al luogo ove l'incendio si è verificato, creare cioè un archivio georeferenziato degli incendi.

Le schede fornite riportano però in pochi casi le coordinate topografiche, inoltre questi pochi dati sono spesso difficilmente utilizzabili in quanto non corrispondenti alle effettive coordinate topografiche del territorio regionale. Va ricordato, per inciso, che i verbali di incendio e le schede AIB sono compilate a cura dei Comandi Stazione del Corpo Forestale dello Stato e che i dati sono soggetti a diversi passaggi e a diverse trascrizioni prima di divenire dato statistico vero e proprio, seguendo un percorso che va dalle schede originali sino alla trascrizione finale sul supporto digitale. Questi passaggi sono probabilmente la principale fonte degli errori sopra ricordati, quindi in gran parte dovuti ad erronea lettura o trascrizione delle coordinate.

La ridottissima disponibilità di dati effettivamente utilizzabili ha reso necessario individuare un'altra via per georeferenziare i dati descrittivi degli incendi boschivi; si è scelto di utilizzare il toponimo del sito in cui si è verificato l'incendio, che è stato praticamente sempre riportato nella scheda (1656 casi su 1666 incendi verificatisi).

Il metodo utilizzato è stato quello di confrontare i toponimi riportati sulla scheda con quelli presenti sulla carta topografica IGM in scala 1:25.000. Si sono verificati una serie di differenti casi:

- il toponimo riportato nella scheda coincideva esattamente, al netto di evidenti errori di battitura, con un solo toponimo presente sulla cartografia di riferimento;
- al toponimo riportato sulla scheda corrispondevano due o più toponimi riportati sulla cartografia. In questo caso si procedeva ad un'analisi più approfondita al fine di individuare univocamente il toponimo corretto;

- sulla scheda erano riportati due o raramente tre toponimi che venivano ritrovati sulla cartografia di riferimento in prossimità l'uno dell'altro. In questo caso si consideravano come coordinate dell'incendio quelle ricadenti nel punto medio fra i diversi toponimi indicati;
- sulla scheda erano riportati due o raramente tre toponimi che venivano solo parzialmente ritrovati sulla cartografia di riferimento in prossimità l'uno dell'altro. In questo caso si utilizzavano i soli toponimi certi e, se più di uno, si consideravano come coordinate dell'incendio quelle ricadenti nel punto medio fra i diversi toponimi indicati;
- non vi era alcuna corrispondenza fra quanto riportato sulla scheda e quanto presente sulla cartografia di riferimento.

#### *Delimitazione degli incendi dalle immagini da satellite*

Tutte le fasi di lavoro che vengono di seguito descritte sono state eseguite con il software Cartha for Windows. La prima operazione eseguita è stata la georeferenziazione delle immagini che è consistita nell'applicare, alla immagine da georeferenziare, una trasformazione basata su un polinomio di terzo grado.

Successivamente, per ciascuna immagine, sono stati creati due indici di vegetazione: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e IRI (InfraRed Index). Generalmente utilizzati per valutare la biomassa vegetale sul territorio, gli indici di vegetazione sono delle composizioni aritmetiche delle riflettanze delle bande e risultano più adatti ad evidenziare particolari aspetti della vegetazione rispetto all'uso delle bande tal quali. Entrambi gli indici usati, infatti, enfatizzano ed amplificano le risposte della banda 4 dell'infrarosso vicino, nei confronti della quale la vegetazione risponde in modo molto vario in dipendenza della composizione specifica, delle condizioni fitosanitarie e di stress generico. La principale conseguenza causata dal passaggio del fuoco sulla vegetazione, consiste in una

forte riduzione dei valori di riflettanza della banda 4 (Bovio *et al.*, 1990) che, evidenziata dall'uso dell'indice, può essere più facilmente individuata dall'operatore.

La creazione dell'NDVI e dell'IRI è stata fatta con il modulo *raster operator* come risultato della differenza normalizzata rispettivamente fra le bande 4 e 3 e fra le bande 4 e 5:

$$NDVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$$

$$IRI = (TM4 - TM5) / (TM4 + TM5)$$

Un ulteriore strumento di valutazione è stato il confronto multitemporale fra gli indici di vegetazione per mezzo dell'Analisi della seconda Componente Principale (PCA). In questo tipo di analisi è stato impiegato l'IRI che, per le nostre latitudini, risulta essere l'indice migliore per riconoscere gli effetti del fuoco (ROMANELLI *et al.*, 1997). Analizzando, quindi, le differenze esistenti fra i valori dell'IRI in due periodi diversi ( $t_0$  e  $t_1$ ) (fig. 1), il software evidenzia le zone con incrementi significativi di tali valori; ciò è utile in quanto le aree percorse da incendio mostrano forti incrementi del valore dell'indice IRI e pertanto sono facilmente individuabili. È importante sottolineare che tale analisi è efficace solo nelle aree boscate ove cioè nell'intervallo temporale considerato (nel nostro caso generalmente un anno) non vi sono, o comunque sono circoscritte, delle variazioni di biomassa vegetale dovute ad operazioni colturali.

Il confronto multitemporale è stato fatto fra l'indice IRI delle seguenti coppie di immagini: settembre '92-settembre'93, settembre '93-agosto '94, agosto '94-ottobre '94, ottobre '94-ottobre '95, ottobre '95-luglio '96, luglio '96-settembre '97, settembre '97-luglio '98, coprendo in tal modo tutto il periodo a disposizione.

Il riconoscimento e la conseguente perimetrazione degli incendi è stato realizzato mediante l'interpretazione ed il confronto simultaneo a video delle seguenti immagini risultanti dalle elaborazioni sopra descritte (fig. 2):

- immagine a falsi colori con le bande 453;
- indice di vegetazione NDVI;

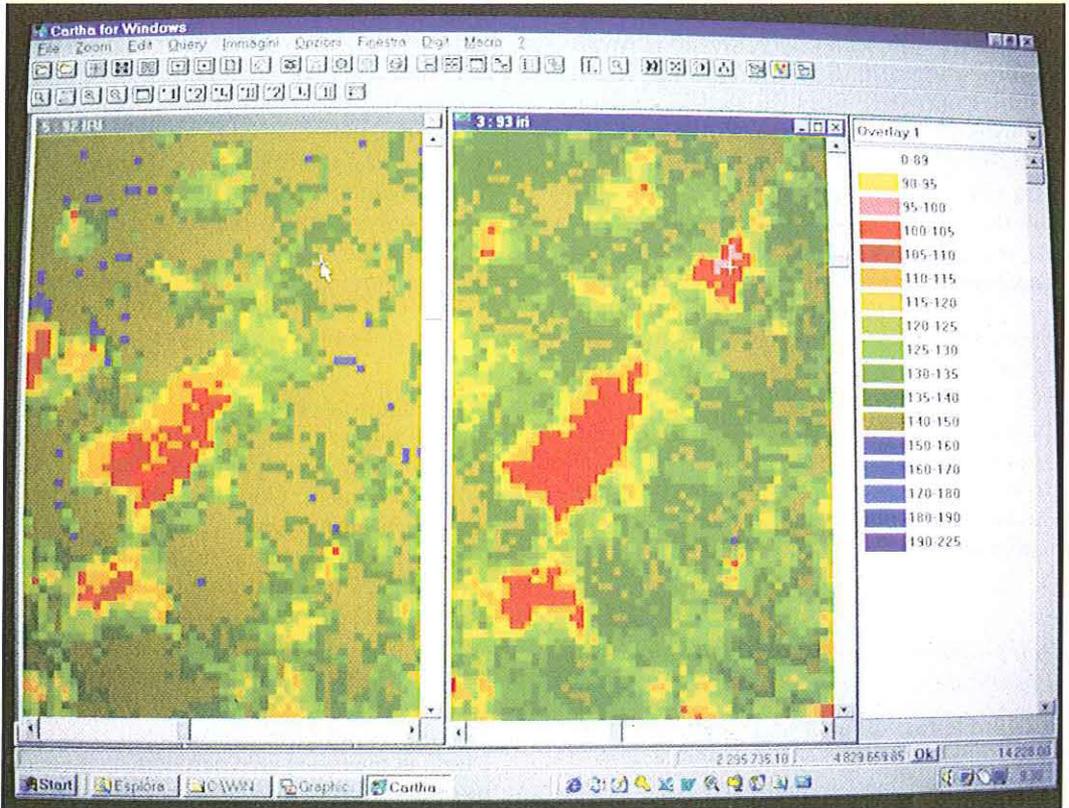


Fig. 1 - Confronto Iri t0 e t1.

- indice di vegetazione IRI;
- analisi della PCA relativa a due momenti (t1-t0).

L'utilizzazione contemporanea delle quattro immagini permette di esaltare al massimo la visibilità degli incendi.

### *Risultati e commenti*

Per quanto riguarda il posizionamento degli incendi mediante toponimo, è necessario considerare i limiti del metodo adottato, che sono presenti anche nel migliore dei casi - 1011 incendi su 1666 - in cui è stato possibile attribuire (almeno nominalmente ma senza equivoci) il toponimo assegnato ad un incendio nella scheda AIB alle due coordinate topografiche che indivi-

duano quel toponimo sulla lista ufficiale IGM. Detti limiti sono legati al fatto che il problema è risolto solo in parte e solo in termini formali; infatti rimane l'incertezza dei criteri seguiti dai compilatori della scheda AIB nell'accostare un determinato incendio ad un determinato toponimo.

Opportunamente valutato quanto fin qui ricordato, va comunque considerato che non riuscire ad assegnare un riferimento topografico numerico (coordinate di riferimento) a ciascun evento localizzato attraverso il toponimo avrebbe significato in pratica non poter procedere alle elaborazioni necessarie a rivelare l'incidenza del fenomeno degli incendi nelle diverse zone e sottozone del territorio umbro e, successivamente, non poter incrociare e sovrapporre cartograficamente le informazioni fornite dalle diverse banche dati disponibili.

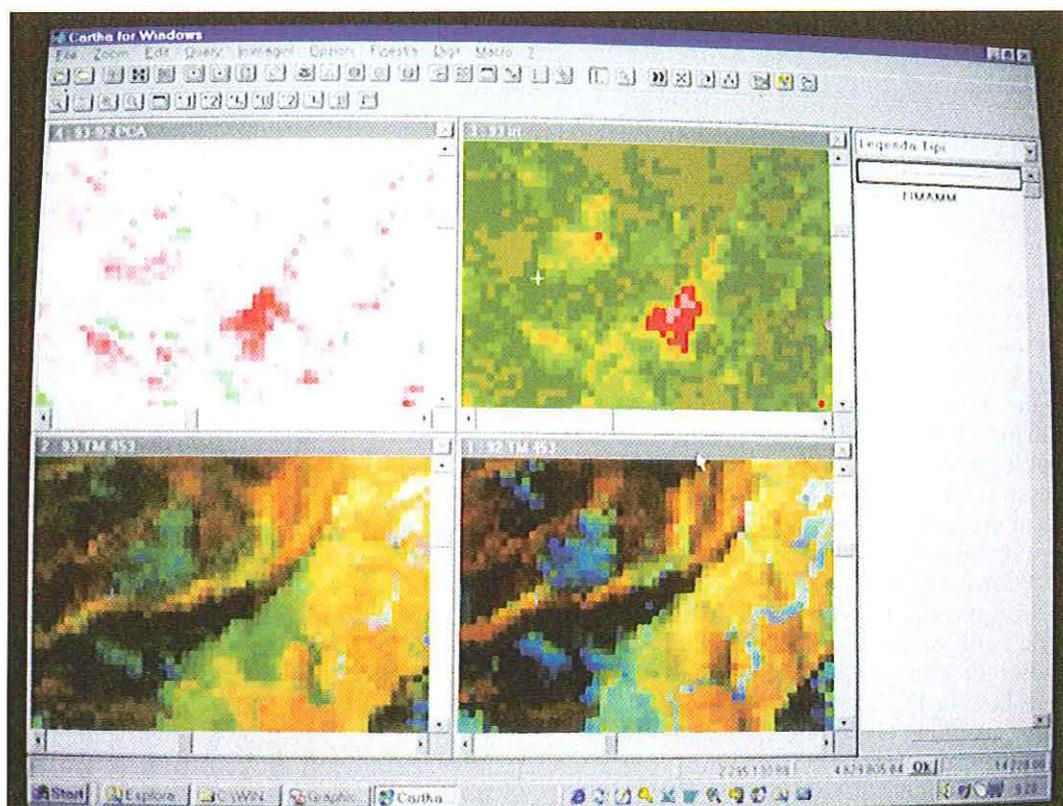


Fig. 2 - Le quattro finestre confronto TM453 e t0 et1.

li, sia relativamente agli incendi sia ai diversi parametri o fattori presumibilmente connessi con gli incendi stessi. In alternativa vi sarebbe stata la sola possibilità di attribuire gli incendi all'intero territorio di ciascun comune, ma questo avrebbe comportato un'eccessiva perdita di informazione.

A prescindere dagli inevitabili e, in parte, non riconoscibili errori cui abbiamo accennato, il lavoro compiuto ha comportato lo stesso il vantaggio di unificare per un periodo abbastanza lungo l'insieme dei dati di incendio all'interno di un'unica serie resa omogenea riguardo alle possibilità di collocazione geografica della maggior parte dei casi delle serie statistiche utilizzate e, conseguentemente, di poter disporre di un cospicuo insieme di dati relativi a diversi parametri. Tra questi, per la valutazione del rischio di incendio attraverso l'analisi a po-

steriori, sono stati considerati con maggiore attenzione i seguenti dati:

- comune di riferimento;
- località;
- superficie percorsa dall'incendio;
- tipo di soprassuolo incendiato;
- coordinate geografiche (come da scheda oppure interpolate attraverso i toponimi);
- data (mese e giorno della settimana come dati impliciti).

Per quanto riguarda la delimitazione degli incendi dalle immagini da satellite, la metodologia seguita sembra aver risposto in modo soddisfacente alle aspettative, evidenziando in totale 95 incendi, per tutto il territorio negli anni compresi fra il 1992 e il 1998 (tab. 2). Essi rappresentano il 54% degli incendi con estensione della zona percorsa dal fuoco maggiore di 2 ettari, e circa l'80% degli incendi di estensione superiore

Tab. 2 - Confronto fra incendi boschivi rilevati a terra e individuati sulle immagini da satellite per il periodo 3/6/92 - 18/7/98.

	Totali	Superficie boscata (ha) come da scheda A.I.B				
		>2	>5	>7	>8	>10
Incendi rilevati a terra	669	163	80	52	49	42
Incendi individuati sulle immagini da satellite	95	95	61	44	42	36
	14%	58%	76%	85%	86%	86%

a 5-7 ettari, per i quali l'efficacia della metodologia risulta massima. Anche per fenomeni di maggiore estensione, la percentuale di riconoscimento e perimetrazione rimane intorno all'86% poiché alcune tipologie di incendi - per esempio un fuoco basso o un incendio poco distruttivo - sono assai difficili da evidenziare.

L'analisi multitemporale effettuata con la PCA è risultata uno strumento molto efficace, ma che tuttavia necessita di una verifica con le singole bande e con i singoli indici di vegetazione. Infatti è frequente con la sola PCA evidenziare superfici boschive tagliate che molto spesso presentano contorni regolari.

Tra gli indici di vegetazione l'IRI ha dimostrato di essere migliore nell'evidenziare gli effetti del passaggio del fuoco, e la sintesi a falsi colori TM 453 è risultata indispensabile come immagine di riferimento.

Il confronto fra la posizione degli incendi ricavata dalle immagini da satellite e quella ricavata, per gli stessi incendi, mediante toponimo ha evidenziato che la distanza fra le due posizioni è, nel 75% dei casi, inferiore ai 500 metri (fig. 3). Anche in funzione di tale risultato, si ritiene coerente con gli obiettivi del presente lavoro l'utilizzazione del toponimo come mezzo per georeferenziare i dati relativi agli incendi boschivi rilevati dal Corpo Forestale dello Stato.

Inoltre è stato possibile confrontare la superficie degli incendi ricavata dalle immagini da satellite e quella riportata, per gli stessi incendi, sulle schede AIB e derivante da una stima effettuata da chi ha redatto la scheda. In questo caso non sono apprezzabili differenze significative fra i risultati ottenuti.

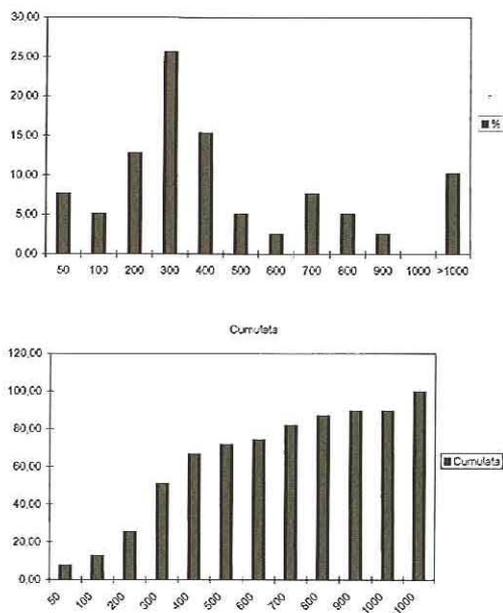


Fig. 3 - Distribuzione percentuale degli eventi in funzione della distanza (espressa in metri) fra la posizione degli incendi ricavata dalle immagini da satellite e quella ricavata, per gli stessi incendi, mediante toponimo.

## Conclusioni

Quanto sopra riportato conferma che l'impiego delle immagini da satellite consente di individuare con buona efficacia gli incendi boschivi con superficie superiore ai 2-5 ettari.

Inoltre, attraverso la validazione effettuata mediante i dati ricavati da immagini da satellite, qui considerati come oggettivi ed esatti, riteniamo possibile affermare che i dati ricavati dalle schede AIB relativa-

mente ai due elementi descritti (posizionamento mediante toponimo e superficie interessata) siano sufficientemente precisi per poter essere utilizzati come strumento per la descrizione del fenomeno degli incendi a scala regionale.

### *Ringraziamenti*

Si ringrazia il dott. Mario Sulli dell'Isti-

tuto Sperimentale per la Selvicoltura, Sezione di Firenze, che ha reso possibile la realizzazione di questo lavoro grazie al suo contributo quale esperto del fenomeno degli incendi.

### **dott. Fabrizio Ferretti**

Istituto Sperimentale per la Selvicoltura  
V.le S. Margherita 80, 52100 Arezzo  
e-mail: issar@ats.it

### **dott. Lorenzo Gardin**

Libero professionista

## BIBLIOGRAFIA

BOVIO G., MANCA R., PERONA G. E., 1990 - *Individuazione di incendi boschivi con immagini telerilevate*. Monti e boschi 4:5-10.

ROMANELLI S., MASELLI E., BOTTAI L., RODOLFI A., CONESE C., 1997 - *Evaluation of vegetation recovery in burnt areas by means TM images*. Proceedings of Italian remote sensing society (AIT), 30 settembre - 3 ottobre 1997, Parma, 615-620.

## RIASSUNTO

Vieni descritto il lavoro svolto per la realizzazione della carta storica degli incendi boschivi per la Regione dell'Umbria, il cui obiettivo è la rappresentazione spaziale degli incendi nel periodo 1986-98. Questo al fine di spiegare la dimensione territoriale, l'andamento del fenomeno degli incendi e le relazioni di questo con gli altri aspetti ambientali e sociali. Sono state inoltre verificate con esito positivo le potenzialità descrittive del materiale utilizzato: immagini da satellite LANDSAT TM per gli anni 1992-98, integrate con le informazioni raccolte a cura del Corpo Forestale dello Stato per gli anni 1986-98.

## SUMMARY

In this work we describe the creation of the forest fires historical map of Umbria District with regard to 1986-98 years. The aim of this map is to interpret dimensions and trend of fire event and its connections with different social and environmental aspects. We have also verified the good geographical descriptive potentialities of materials utilized in this work, that is to say LANDSAT TM satellite images (years 1992-98) and data collected by State Forest Service (years 1986-98).