

MASSIMILIANO BENCARDINO

MAPPATURA DEL RISCHIO INCENDI BOSCHIVI IN PROVINCIA DI BENEVENTO E PERIMETRAZIONE DELLE AREE PERCORSE DA FUOCO

Introduzione. – Gli incendi sono da sempre parte integrante di molti ecosistemi, in particolare nel Mediterraneo. Questi hanno coesistito con le attività umane per molto tempo, e hanno rappresentato in ecosistemi poveri un agente ossidante della sostanza organica e quindi un elemento utile per il terreno.

Negli ultimi anni l'uso estensivo di regioni naturali e forestali come aree ricreative ha incrementato il numero degli incendi forestali. Non solo, ma il calo della popolazione rurale e l'abbandono delle regioni agricole hanno causato un grande accumulo di combustibile in queste aree e di conseguenza hanno causato un aumento in numero e volume di incendi forestali.

È importante sottolineare che molti degli incendi che avvengono ogni anno si verificano sull'interfaccia foresta-urbano. Questo fenomeno è diventato più evidente da quando le città si sono allargate nelle foreste circostanti e nelle aree agro-forestali. La valutazione del rischio di incendio diventa quindi cruciale perché è la base di qualsiasi politica di prevenzione incendi nelle aree boscate. Per far ciò, è essenziale avere nozione della distribuzione spaziale delle aree di maggior rischio, per allocare nella maniera più efficiente le risorse disponibili (Vélez, 2000).

In Italia la normativa vigente (legge-quadro 353 del 21 settembre 2000) prevede l'individuazione delle aree a rischio d'incendio boschivo e la rappresentazione delle stesse attraverso apposita cartografia tematica aggiornata. Devono inoltre essere indicate le tipologie di vegetazione prevalenti, sulla base delle quali, congiuntamente ad altri dati, devono essere predisposti gli interventi di gestione per la mitigazione del rischio.

Un metodo ormai consolidato nella mappatura del rischio incendi prevede l'utilizzazione di fattori territoriali quali la geomorfologia, i tipi vegetali, l'uso del suolo e dati meteorologici. La facilità di immissione dei dati, la rapidità nel processamento e il dinamismo nell'incrociare le informazioni all'interno di un GIS, fanno sì che la tecnica che viene presentata risulti indispensabile in studi di questo tipo e facilmente automatizzabile.

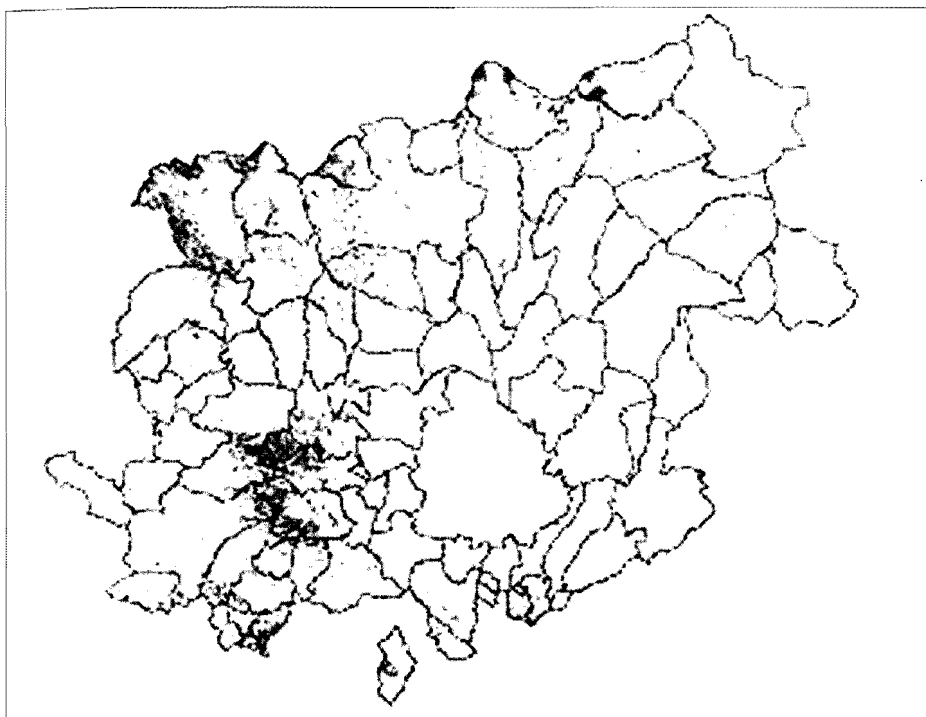


Fig. 1 – *Superfici boschive (Landsat TM) nella provincia di Benevento*

Lo stato dell'arte in materia e le potenzialità del telerilevamento nel riconoscimento dei suoli. – Alcuni autori (Chuvieco e Congalton, 1989) individuano il rischio di incendio come «l'unione di due componenti: *fire hazard* e *fire ignition*. In tal caso, il rischio complessivo dipende dal combustibile e dalla sua suscettibilità a bruciare (*fire hazard*) e dalla presenza di cause esterne sia antropiche che naturali (*fire ignition*)». La valutazione del rischio di incendio forestale avviene quindi identificando le potenziali variabili e integrando loro attraverso indici che quantificano il livello di rischio.

Un esame della letteratura riguardante il rischio incendi boschivi mostra come siano variegati i metodi usati per la valutazione del rischio di incendio. Non solo sono diverse le variabili chiamate in gioco, ma lo è spesso anche la scala temporale adottata per l'aggiornamento e l'uso dei prodotti derivati. In particolare, facendo riferimento all'intervallo temporale in cui cambiano le variabili, gli indici di rischio di incendio possono essere classificati come indici a lungo termine e indici a breve termine o dinamici. Gli indici a lungo termine sono basati su variabili che cambiano relativamente poco nel corto e medio periodo. Questi indici possono essere calcolati prima della stagione degli incendi e forniscono utili informazioni per la mitigazione del fenomeno incendi. Gli indici dinamici, invece, sono basati su variabili che cambiano con grande frequenza.

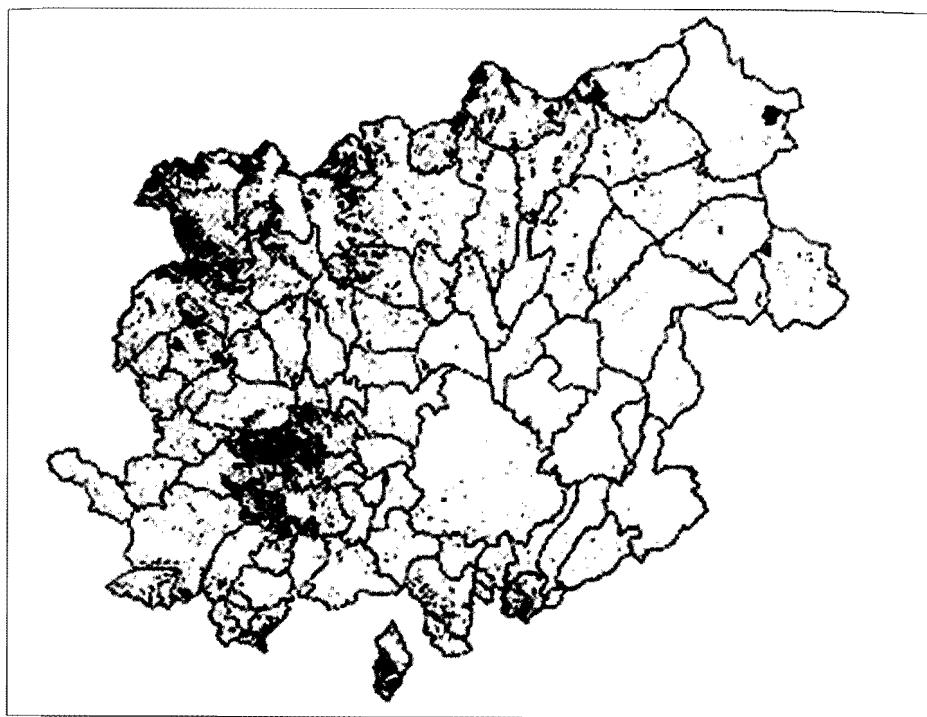


Fig. 2 – Superfici boschive (Aster) nella provincia di Benevento

Risulta particolarmente interessante valutare la variazione del contenuto d'acqua della vegetazione o lo *stress* idrico della vegetazione, essendo la vegetazione meno umida più propensa a bruciare. Ma essendo molto difficile e costoso valutare direttamente il contenuto d'acqua della vegetazione, spesso sono usate variabili indirette, quali variabili meteorologiche (Viegas e altri, 2000) o indici della vegetazione calcolati da dati telerilevati (Paltridge e Barber, 1988; López e altri, 1991; Illera e altri, 1996). In altri studi sono usati congiuntamente dati telerilevati e dati meteorologici misurati a terra per un calcolo indiretto del tasso di evapotraspirazione (Vidal e Devaux-Rox, 1995).

Le tecniche per la valutazione del rischio incendi portano quindi a tenere conto di una vasta serie di variabili, scelte a seconda delle specifiche caratteristiche del territorio considerato. In particolare risultano determinanti: informazioni morfometriche (l'elevazione, la pendenza, l'esposizione e l'insolazione), uso della vegetazione (i tipi di combustibile, l'inflammabilità delle specie), modelli del tempo (temperatura, umidità relativa, vento e precipitazioni), accessibilità dalle strade, distanza dalle città e lo storico degli incendi.

Tra tutte queste variabili, la più complessa da modellare è certamente la mappa della vegetazione. Le mappe della vegetazione tradizionali sono focalizzate sulla netta delimitazione spaziale delle varie specie. Dal punto di vista della gestione degli incendi e per la determinazione del rischio, non è rilevante evi-

denziare e delimitare la singola specie; diverse coperture appartenenti alla stessa specie infatti possono presentare livelli di rischio completamente diversi a seconda delle caratteristiche morfologiche (altezza, densità) e fisiologiche (stato di umidità) (Chuvieco, Salas e Vega, 1997). Il comportamento della pianta attaccata dal fuoco dipende dalla dimensione della pianta, dalla continuità verticale e orizzontale, dall'umidità della pianta, dalla compattezza, dal rapporto tra elementi morti e vivi, dal contenuto di oli e dalla densità (Valette, Clement e Delabraz, 1979; Burgan e Rothermel, 1984). Nei modelli presenti in letteratura, la grande varietà di caratteristiche della vegetazione relative alla propensione a bruciare ha determinato una diversa classificazione dei tipi vegetali, ossia per tipi di combustibile (Deeming, Burgan e Cohen, 1978; Andrews, 1986). Quindi relativamente al rischio incendi non si parla più di tipi di vegetazione, ma di tipi di combustibile.

Altra variabile fondamentale nella modellazione dei differenti tipi di combustibile è il sottobosco, ma la discriminazione della componente sottobosco all'interno dei modelli di combustibile ottenuti tramite dati telerilevati è molto difficile. I sensori rilevano informazioni solo sullo strato superiore della copertura, avendo capacità di penetrazione molto bassa. Nonostante queste difficoltà, molti studi hanno utilizzato il telerilevamento per generare modelli di combustibile attraverso l'elaborazione delle immagini digitali, la maggior parte effettuati con l'utilizzo di immagini Landsat-MSS o TM (Chuvieco e Salas, 1996; Castro e Chuvieco, 1998; Erten, Kurgun e Musaoglu, 2004) o anche con immagini Aster (Falkowski e altri, 2004). La componente umana nel rischio di incendio è critica nella maggior parte dei paesi del Mediterraneo, in quanto l'azione umana è la principale causa dell'insorgere dell'incendio, in maniera sia accidentale sia dolosa, e l'analisi spaziale del rischio umano è piuttosto complessa da modellare. Le attività umane causa di incendio infatti sono molte e difficili da rappresentare spazialmente (Vega García, Woodard e Lee, 1993).

Per semplificare il processo è possibile utilizzare due approcci, quello deduttivo e quello induttivo. Nel primo caso le mappe del rischio umano vengono ottenute attraverso la sovrapposizione di alcune variabili relativamente all'insorgere dell'incendio, come l'accessibilità dalle strade, o la vicinanza con i centri urbani. Nel secondo approccio ci si basa sulla distribuzione spaziale degli incendi avvenuti.

È importante infine stabilire un criterio coerente che permetta di combinare i vari fattori considerati. Il primo obiettivo da perseguire è quello di classificare le varie componenti (vegetazione, topografia, componente umana eccetera) in una scala numerica di rischio e poi combinarle tra loro secondo il peso che si ritiene di attribuire a ogni fattore.

L'attribuzione dei pesi è il passaggio forse più delicato nella costruzione del modello, infatti mentre per la scala di rischio da assegnare a ogni singola componente o fattore da considerare la letteratura è praticamente concorde, per quanto riguarda i pesi da attribuire a ognuna di loro vi sono più combinazioni proposte. Questo è però comprensibile in quanto la scelta dei pesi è fortemente influenzata dalla zona che si sta studiando.

Tab. 1 – *Divisione in classi dell'indice NDVI nelle immagini Landsat e Aster per la provincia di Benevento*

Classi	Valori compresi tra:
Indice NDVI da immagine Landsat:	
Acque	-1,00 e -0,15
Aree non vegetate	-0,15 e 0,40
Vegetazione rada	0,40 e 0,60
Vegetazione densa	0,60 e 1,00
Indice NDVI da immagine Aster:	
Acque	1,00 e -0,22
Aree non vegetate	-0,22 e 0,13
Vegetazione rada	0,13 e 0,40
Vegetazione densa	0,40 e 1,00

Il modello proposto per la «Carta del rischio incendi». – Il modello qui presentato (fig. 3) tiene conto dei seguenti fattori, che si ritiene siano determinanti nella valutazione del rischio incendi boschivi: combustibili; esposizione dei versanti; pendenze; distanza dai centri urbani; distanza dalle strade.

Il primo strato informativo considerato è la carta dei combustibili; essa viene in questo studio derivata da dati satellitari, come mostrato in seguito. L'immediatezza con cui vengono acquisite le immagini satellitari risulta sicuramente un vantaggio strategico nella generazione di carte di uso del suolo, e in questo caso in particolare di carte delle superfici boschive (Riano e altri, 2002). In questo studio si è quindi andati alla ricerca di un metodo che possa mettere in relazione le immagini provenienti da piattaforme diverse, al fine di trovare una validazione del metodo attraverso l'uso di sensori diversi, in particolare del Landsat TM (De Nigris, 2004) e dell'Aster. Per la generazione della carta dei combustibili si è quindi applicato l'indice NDVI, sia a un'immagine Landsat TM del 16 agosto 1999 sia a un'immagine Aster del 26 settembre 2000. Queste classificazioni scelte sembrano essere quelle che danno coerenza e compatibilità tra le due immagini. È stato già rilevato che per ottenere una carta dei combustibili ancora più affidabile bisognerebbe tener in conto anche le condizioni del sottobosco, elemento che risulta abbastanza difficile da discriminare dalle immagini satellitari, anche se ultimamente sono state sviluppate delle analisi di tessitura che danno risultati abbastanza attendibili. In particolare la classe «vegetazione densa» risulta assimilabile alla classe delle superfici boschive, particolarmente sensibile agli incendi. Nelle figure 1 e 2 viene evidenziato il risultato della classificazione sull'NDVI dell'immagine Landsat e dell'Aster. Gli indici NDVI sono stati divisi in classi, come esposto in tabella 1. Si è ritenuto di assegnare peso nullo alle prime due classi, peso 3 alla classe «vegetazione rada» e peso 4 alla classe vegetazione fitta, in quanto solo queste in effetti sono le aree sensibili. La carta delle esposizioni e la carta delle pendenze sono state generate da un modello digitale del terreno a sua volta generato dalle curve di livello aventi un passo verticale di 50 m, perfettamente compatibili con la scala di studio.

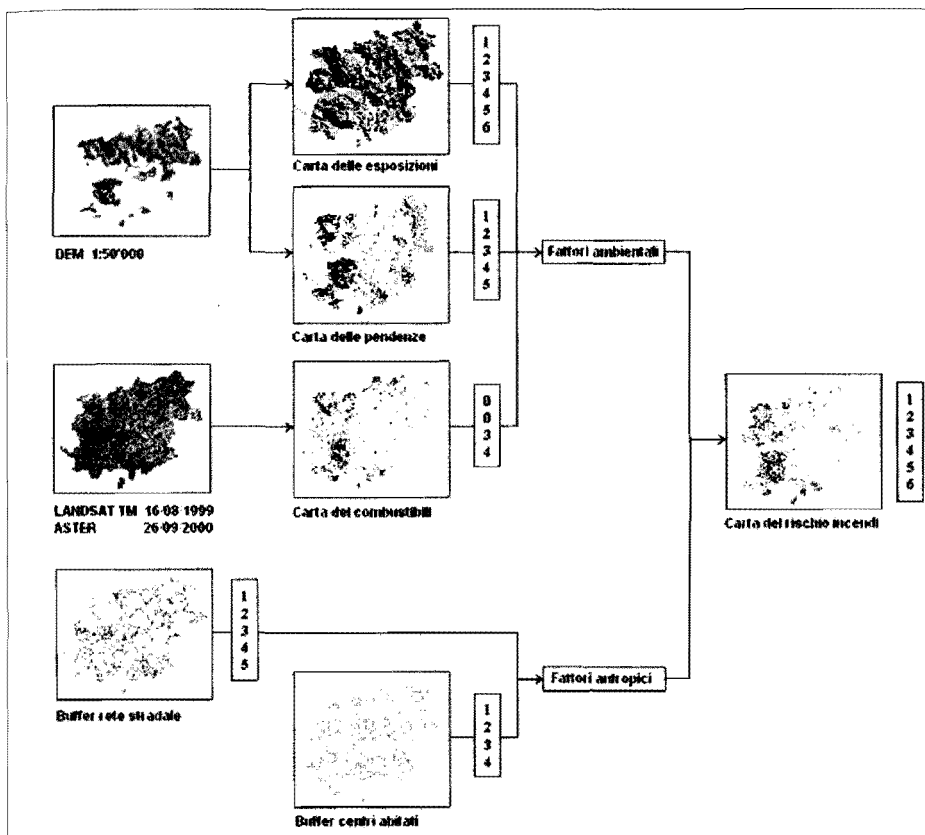


Fig. 3 – *Modello analitico per la «Carta del rischio incendi» per la provincia di Benevento*

L'esposizione dei versanti è data dalla direzione delle facce dei pendii in relazione alla loro esposizione al sole. Il rischio risulta molto condizionato dalla radiazione solare e dall'influenza del vento. I versanti esposti a nord ricevono la minima radiazione solare. Generalmente le esposizioni a est ricevono prima il calore del sole e i flussi dei venti, mentre le esposizioni a ovest ricevono dopo il calore solare e i flussi di vento transitori. L'esposizione è relazionata con la somma dei raggi solari accumulati durante il giorno. Per questo i pesi assegnati alle varie classi sono: Pianura (peso 1), N-NE-NO (peso 2), E (peso 3), SE (4), SO-O (5), e S (6) (Cona, Vitelli e Di Pasquale, 2002).

La pendenza è un fattore critico per il comportamento del fuoco. Essa influenza la velocità di propagazione del fuoco, soprattutto nelle fasi iniziali. In un versante con inclinazione tra i 10° e i 15° la velocità di propagazione è doppia rispetto a una superficie piana, ed è quadrupla se l'inclinazione è di 25°. Più del 60% degli incendi boschivi avviene nel *range* di pendenze tra 0° e 20° e con esposizione sud e sud-ovest, mentre il 65% della totalità dei casi di incendi boschivi occorre tra 0° e 20° di pendenza (Hee Jo e altri, 2000). Per l'elabo-

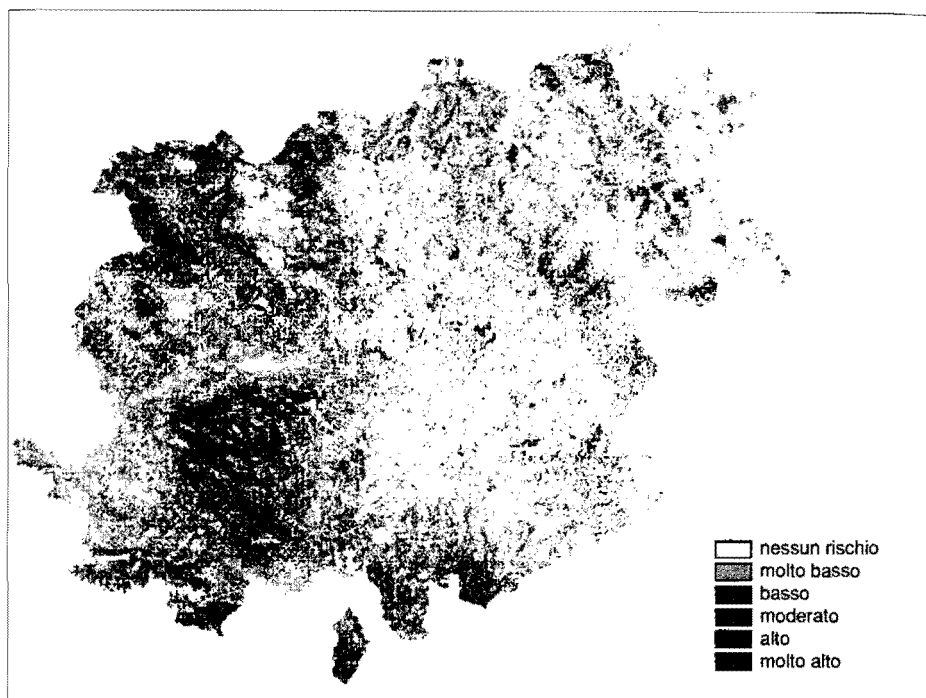


Fig. 4 – *Carta del rischio incendi boschivi nella provincia di Benevento*

razione della carta delle pendenze si è proceduto alla seguente classificazione: superfici con pendenza inferiore al 5% (peso 1), superfici tra il 5% e il 10% (peso 2), superfici tra il 10% e il 25% (peso 3), superfici tra il 25% e il 35% (peso 4), superfici con pendenze superiori al 35% (peso 5) (Erten, Kurgun e Musaoglu, 2004).

Infine si è cercato di tener conto dei fattori antropici attraverso la distanza dai centri urbani e la distanza dalle strade principali di scorrimento. Le strade rappresentano un elemento che permette l'accesso di persone e veicoli alle aree boscate, e per questo costituiscono un elemento di rischio per vari motivi, quali per esempio incendi dolosi, incendi dovuti a sigarette, mancato spegnimento di piccoli fuochi usati per scopi ricreativi eccetera. Per tener conto di tutto ciò è necessario stabilire un'area di influenza attorno alle vie di accesso, nella quale la vegetazione esistente è più a rischio ai fini dell'innesco dell'incendio. L'area di influenza in cui le strade rappresentano una minaccia è stata individuata operando una funzione di «buffering» sulla rete stradale, assegnando quindi alle fasce successive che coronano la sede stradale diversi pesi secondo la seguente classificazione: distanza superiore ai 400 m (peso 1), distanza compresa tra i 300 m e i 400 m (peso 2), distanza compresa tra i 200 m e i 300 m (peso 3), distanza compresa tra i 100 m e i 200 m (peso 4), distanza inferiore ai 100 m (peso 5).

Per la vicinanza ai centri abitati vale quanto detto per la distanza dalle strade:

Tab. 2 – *Superfici di rischio in ettari nella provincia di Benevento*

<i>Classi</i>	<i>Superficie (ha)</i>
Nessun rischio	132737
Rischio molto basso	6834
Rischio basso	15272
Rischio moderato	33510
Rischio alto	13665
Rischio altissimo	8491

anche in questo caso la ravvicinata presenza dell'uomo accresce la probabilità di incendi sia dolosi che accidentali. Anche in questo caso, dunque, per ottenere la carta del rischio è stata effettuata l'operazione di *buffering*, stavolta su una superficie areale rappresentata dagli abitati urbani, e ad ogni fascia è stato attribuito un peso secondo la seguente classificazione: distanza superiore ai 3000 m (peso 1), distanza compresa tra i 2.000 m e i 3.000 m (peso 2), distanza compresa tra i 1.000 m e i 2.000 m (peso 3), distanza inferiore ai 1000 m (peso 4).

Il rischio è quindi il risultato della sovrapposizione delle carte finora esposte secondo il modello logico di analisi rappresentato in figura 3. Dalla somma dei vari strati informativi si ottiene una nuova carta in cui i pesi variano tra 7 e 24, normalizzando e riclassificando la carta in 6 classi di rischio di uguale ampiezza si ottiene la carta del rischio finale di seguito rappresentata (fig. 4). Al risultato esposto nella figura successiva (fig. 4) è associato anche in forma tabellare il calcolo delle superfici di rischio in ettari, da cui risulta che il 4% del territorio è a rischio massimo e un ulteriore 6,5 % a rischio comunque alto (tab. 2).

Questo studio, che ha per risultato una cartografia del rischio incendio boschivi nella Provincia di Benevento, dimostra che si arriva a risultati equivalenti applicando il metodo sia a immagini Landsat che Aster. Entrambi le immagini infatti hanno bande nel rosso (R) e nell'infrarosso vicino (NI) simili per cui i dati derivanti dai due sensori risultano equivalenti. In particolare il Landsat ha un sensore che acquisisce nel rosso (630 – 690 nm) e uno nel NI (750 – 900 nm), l'Aster ha simmetricamente un sensore che acquisisce nell'intervallo (630 – 690 nm) e uno nell'intervallo (780 – 860 nm) del NI. In pratica la fascia di infrarosso indagata dall'Aster è leggermente minore. I due sensori inoltre hanno una diversa risoluzione geometrica, 28,5 x 28,5 m per il Landsat, e 15 x 15 m per l'Aster; trattasi in entrambi i casi di sensori a media risoluzione, e quindi perfettamente equivalenti ai fini dello studio qui effettuato.

«Change detection» multisensore ai fini della perimetrazione. – Visti i risultati ottenuti nella prima fase dello studio si è ritenuto di utilizzare i dati per sperimentare una procedura di *change detection* multisensore. Sulla base di quanto affermato in precedenza, si è cercato di validare l'utilizzo combinato delle immagini derivanti dai due sensori, in questo caso per la ricerca di aree percorse da incendi.

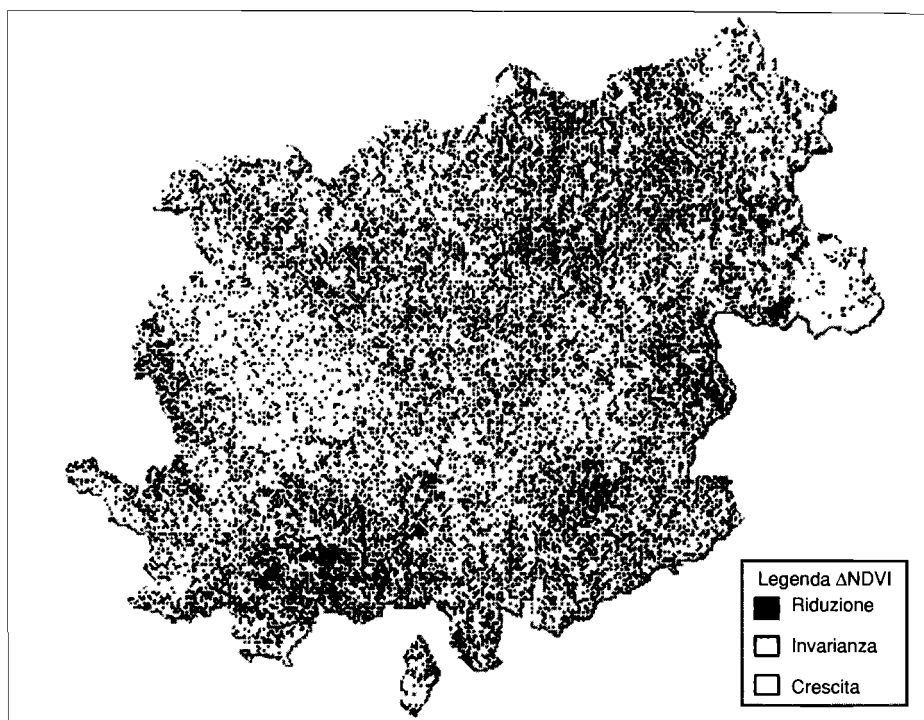


Fig. 5 – Δ NDVI = (Aster 2000 – Landsat 1999) nella provincia di Benevento
La differenza di copertura vegetativa tra l'immagine Aster 2000 e l'immagine Landsat 1999

Le immagini, oltre che derivare da un sensore diverso, sono state acquisite anche in tempi diversi, a un anno di distanza l'una dall'altra; per cui è possibile implementare un algoritmo che misuri la differenza di NDVI (Δ NDVI) tra le due immagini, e quindi la differenza dell'indice NDVI nel tempo (De Conti e Laforteza, 2003).

Quest'analisi è quindi partita dalle due mappe degli indici di vegetazione ricampionando l'immagine Aster sulle dimensioni della immagine Landsat, ossia 28,5 x 28,5 m, e facendone la differenza. Il risultato è una carta (fig. 5) in cui vengono mostrate le differenze tra gli indici NDVI delle due immagini, classificate in tre classi principali definite di «Riduzione», «Invarianza» e «Crescita».

Per ciò che riguarda la prima classe va detto che non necessariamente la riduzione dell'indice NDVI è da attribuire a un incendio, ma piuttosto potrebbe essere causata anche da un taglio, la crescita invece è sostanzialmente attribuibile a un intervento antropico di rimboschimento. Le immagini sono state acquisite nello stesso periodo dell'anno, e differenze nel Δ NDVI non sono quindi attribuibili a un cambio nel ciclo di vita della vegetazione, né a una crescita naturale, visto che l'immagine Aster si riferisce all'anno immediatamente successivo a quello di acquisizione dell'immagine Landsat. Bisogna altresì dire che i risultati potrebbero essere influenzati da zone d'ombra o da foschie causate dal passaggio di piccole nuvole.

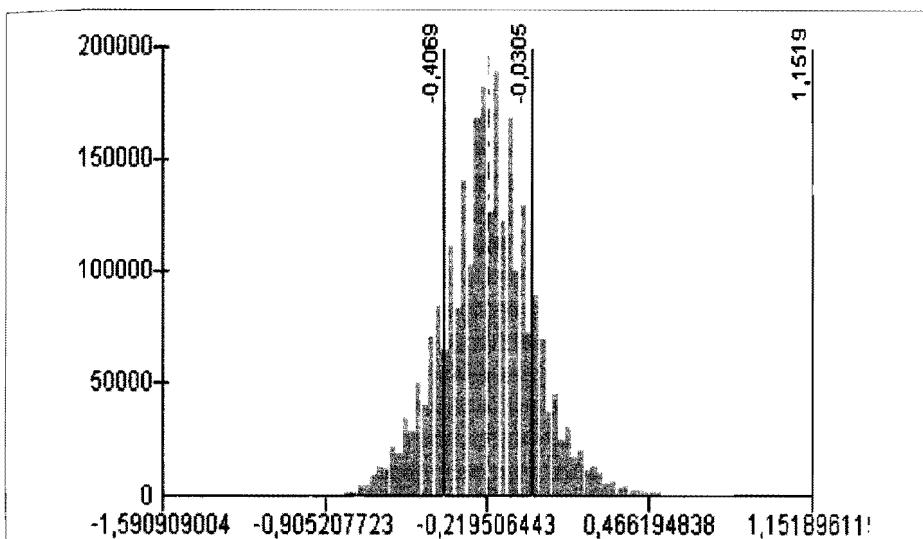


Fig. 6 – *Distribuzione statistica della differenza tra il ΔDVI della immagine Aster e quella della immagine Landsat per la provincia di Benevento*

Le classi in cui è stata classificata l'immagine si riferiscono a particolari soglie della distribuzione di dati dell'indice $\Delta NDVI$. Avendo infatti tali dati una tipica distribuzione di Gauss (fig. 6), e posto che la media rilevata sui 2.545.125 valori è $\mu = -0,2137$, e la varianza $\sigma = 0,1932$ (vedi tab. 2), allora la classe «Riduzione» è data da tutti i valori x per cui $x < (\mu - \sigma)$, la classe «Invarianza» è data dai valori x tali che $(\mu - \sigma) < x < (\mu + \sigma)$, e la classe «Crescita» è data dai valori x per cui è verificato che $x > (\mu + \sigma)$. Questa classificazione permette di evidenziare le zone di maggior interesse, in particolare quelle per cui vi è un indice di vegetazione decrescente, attribuibile potenzialmente al fenomeno incendi. Per validare i risultati ottenuti si è analizzata un'area ristretta del territorio provinciale, in particolare quella dei comuni di Limatola e Sant'Agata dei Goti, per i quali il fenomeno incendi boschivi è parso particolarmente rilevante negli ultimi anni.

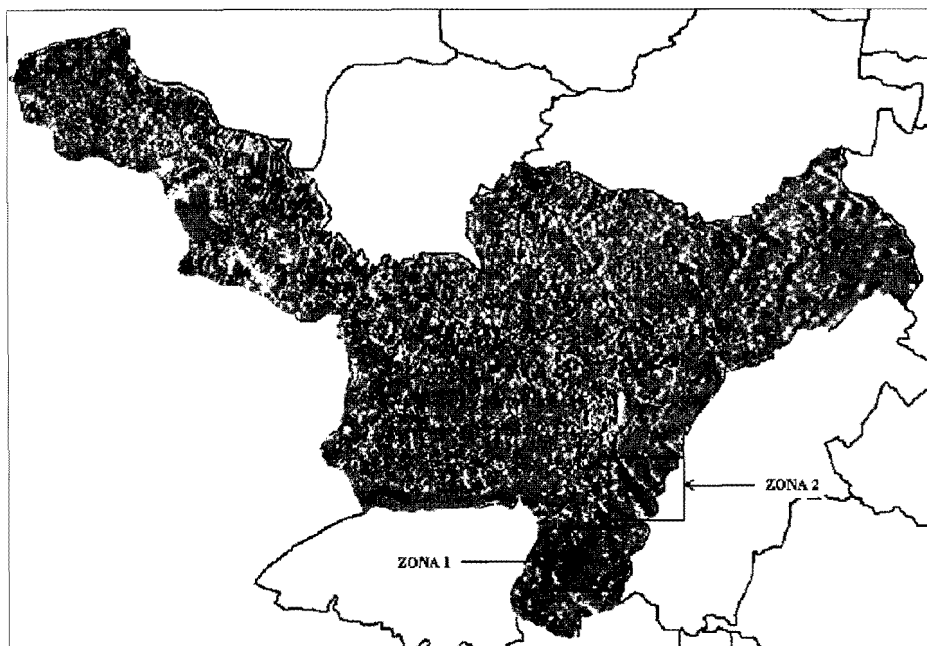
In particolare si è proceduto in due direzioni, una prima che prevede l'uso di immagini Quickbird, datate rispettivamente 12 settembre 2003 per Limatola e 12 ottobre 2003 per Sant'Agata dei Goti, e quindi il riconoscimento fotointerpretativo delle aree percorse da fuoco, e una seconda che prevede l'uso di una particolare mappatura catastale prodotta dalla Regione Campania e pubblicata in un SIT, in cui sono perimetrate le aree percorse da fuoco nell'ultimo quinquennio.

Si è quindi riclassificato l'indice $\Delta NDVI$, individuando nuovamente le classi «Riduzione», «Invarianza» e «Crescita» per la zona in esame (è un campione di 99.881 *pixels* distribuiti lungo una curva di Gauss con un valore medio $\mu = -0,2145$, e la varianza $\sigma = 0,1722$) come evidenziato in figura 7.

Risulta che diverse aree nella sezione meridionale del territorio di Sant'Agata ricadono nella classe «Riduzione»; queste sono state perimetrate e per queste si è proceduto alla verifica attraverso le fonti sopra citate.

Tab. 3 – *Caratteristiche della distribuzione statistica*

Dati:	2.545.125
Minimo:	-1,5909
Massimo:	1,5189
Media:	-0,2137-0,2137
Deviazione standard:	0,1932

Fig. 7 – Δ NDVI (Sant'Agata dei Goti)

Nelle successive immagini le perimetrazioni rappresentano le aree classificate nell'NDVI come classe «Riduzione». In particolare sono state evidenziate in figura 5 due zone (Zona 1 e Zona 2), che vengono confrontate di volta in volta con i dati del *Catasto incendi boschivi* della Regione Campania (figure 8 e 10) e con le immagini Quickbird (figure 9 e 11). Per ciò che riguarda le immagini Quickbird va detto che, a diversi anni di distanza, sono ancora evidenti i segni lasciati dagli incendi e la stessa vegetazione sembra assumere un colore rossiccio, sia nella zona 1 che nella zona 2.

In zona 1 risulta una evidente sovrapposizione tra la mappa del catasto della Regione Campania e la perimetrazione della classe «Riduzione», derivata dal Δ NDVI (fig. 8); nel *database* della Regione Campania la cella catastale più grande dell'immagine in figura 8 è archiviata come un incendio in località Fontanelle (Sant'Agata) datato 3.VIII.2000, un mese e mezzo prima dell'immagi-

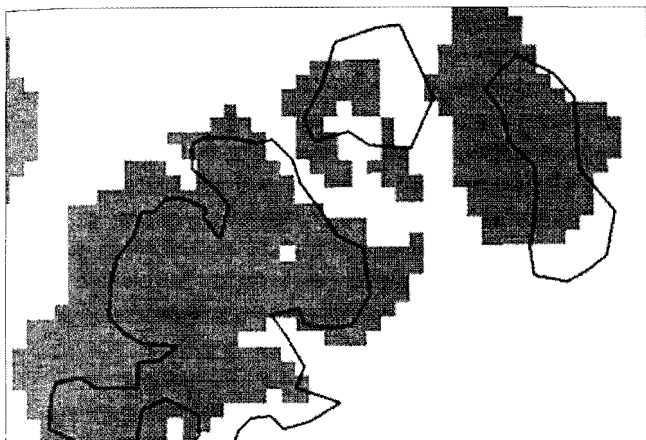


Fig. 8 – *Catasto incendi boschivi Regione Campania*

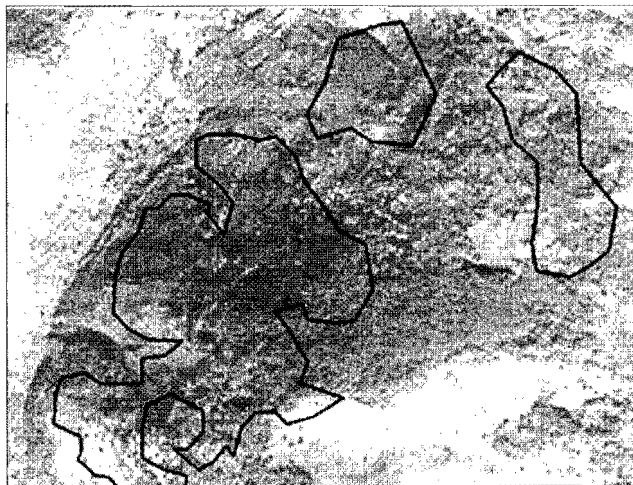


Fig. 9 – *Immagine Quickbird del 12.X.2003*

ne Aster. Anche nell'immagine Quickbird (fig. 9) sembrano risultare i segni di un incendio che ha colpito la zona, non vi è certezza però che siano gli stessi rilevati dal Δ NDVI o se essi siano dovuti a eventi successivi. Allo stesso modo in Zona 2 vi è conferma della sovrapposizione tra i risultati dell'indice Δ NDVI e il catasto della Regione Campania (fig. 10), la zona più in alto nell'immagine è archiviata nel detto *database* come incendio in località Cerro (Sant'Agata) in data 2.VIII.2000, ed è similamente perimetrata nell'indice Δ NDVI. Questo risultato è confortato dalla fotointerpretazione dell'immagine Quickbird (fig. 11). Tale zona infatti risulta nell'immagine scarsamente coperta da vegetazione, e in alcuni casi presenta un colore rossiccio nella visualizzazione classica RGB.

È necessario osservare che questo tipo di analisi e trasformazioni hanno in sé un non irrilevante margine di errore dovuto alle disomogeneità della georeferenziazioni dei vari dati utilizzati; e quanto più la scala di analisi aumenta, tanto più questa risulta determinante. Nonostante questi limiti il risultato appare complessivamente buono.

Fig. 10 – *Catasto incendi boschivi Regione Campania*

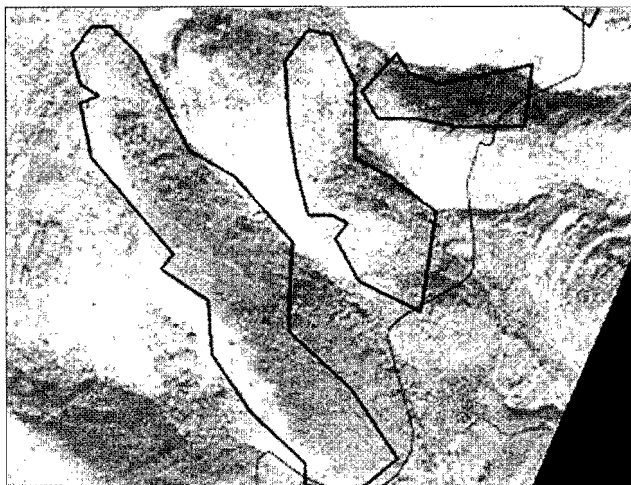
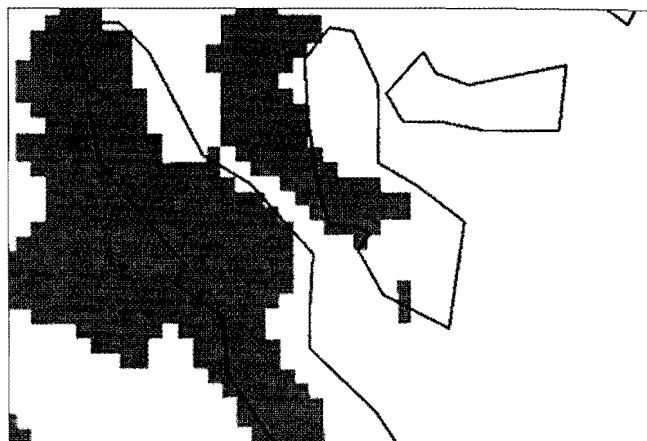


Fig. 11 – *Immagine Quickbird del 12.X.2003*

Va detto infine che si è tentato di sperimentare anche l'uso di indici $\Delta NDVI$ tra le immagini Quickbird e Landsat, e Quickbird e Aster, queste prove però hanno prodotto scarsi risultati, imputabili per lo più alla diversa tipologia di dato, a media risoluzione per ciò che concerne le immagini Aster e Landsat, e ad alta risoluzione per le Quickbird, e alla grande distanza temporale.

Risultati e conclusioni. – In questo lavoro è stato presentato un modello che possa dare luogo a una analisi del rischio incendi su vasta scala, in particolare, su scala provinciale. Uno studio completo di maggior dettaglio deve tenere necessariamente conto di tutti i fattori che possono influire su questo tipo di analisi, e dei quali in questo studio non si è tenuto conto, quali le condizioni micro-climatiche di ogni singola area e soprattutto le condizioni al suolo del terreno, in particolare del sottobosco. I boschi infatti rappresentano il luogo più sensibile e il luogo da tutelare maggiormente, e le cattive condizioni del sottobosco ne

fanno certamente un luogo maggiormente vulnerabile. Altro fattore particolarmente interessante sono le condizioni al contorno delle zone particolarmente sensibili; in particolare bisogna prestare attenzione alla condizione in cui, in prossimità dei luoghi maggiormente vulnerabili quali i boschi, vi siano campi e colture che abbiano un alto grado di infiammabilità. Risulta quindi fondamentale osservare le condizioni idrogeologiche di ogni area presa in esame. Si pensi per esempio alle aree dove in seguito a fenomeni franosi vi è stato accumulo di materiale combustibile. Solo l'integrazione di queste ulteriori informazioni può dar luogo a un'analisi dei rischi seria e approfondita, e solo un monitoraggio storico e quindi un archivio pluriennale del fenomeno può validare.

Le condizioni di analisi dei rischi e di monitoraggio quindi sembrano intimamente collegate, come si è voluto evidenziare in questo studio; infatti solo attraverso un monitoraggio costante e continuo del territorio si può dar luogo a un'analisi dei rischi completa e a un'accurata prevenzione.

Nel complesso il modello proposto per la generazione della «Carta di rischio incendi» è sembrato particolarmente efficace; è emerso, infatti, chiaramente che le aree di maggiore rischio nella provincia di Benevento sono quelle del Monte Taburno-Camposauro e quelle a sud di esso, come confortato dall'analisi post-incendio effettuata. Queste zone risultano essere le aree dove storicamente si è verificato il maggior numero di incendi.

La generazione delle carte dei combustibili sia da Landsat che da immagine Aster è stata validata confrontando queste con studi pregressi di dettaglio realizzati attraverso il riconoscimento delle colture da aereofotogrammetria. In questo campo l'uso di algoritmi di classificazione applicati su immagini Landsat è ormai consolidato e sembra pienamente efficace. Allo stesso modo, infine, è parso abbastanza efficace anche l'uso combinato di immagini generate da sensori diversi per le applicazioni che in questo studio si sono presentate, quali l'analisi del post-incendio e la perimetrazione delle aree percorse da fuoco.

È importante osservare che a questa scala di dettaglio si possono fare delle osservazioni generiche sulla vulnerabilità del territorio a scala regionale o provinciale. Tali dati non possono però essere finalizzati alla individuazione delle celle catastali colpite con la precisione che è richiesta. Le immagini satellitari in questo caso rappresentano una base cartografica non eccezionalmente utile ai fini della identificazione delle aree in un lavoro attuativo che debba avere una sua utilità, ma uno strumento di rapida analisi a grossa scala. Non si può prescindere infatti da osservazioni al suolo, e indagini dettagliate sulle aree di interesse. Informazioni sulla morfologia e sulle condizioni idrogeologiche, nonché informazioni dettagliate sulla natura della vegetazione e del grado di infiammabilità di ogni combustibile.

Ulteriori sviluppi in merito devono riguardare senz'altro la generazione dinamica di mappe di rischio riuscendo a implementare tutti questi livelli informativi citati, cercando di arrivare a validare un concetto di rischio dinamico e non statico, come finora si è fatto. In questo le immagini satellitari possono rappresentare un elemento conoscitivo utile ma solo se corredate di tutte le informazioni sopra citate.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ANDREWS P.L., *BEHAVE: Fire Behavior Prediction and Fuel Modelling System*, in «Burn Subsystem», Ogden (Utah), 1986 (Technical Report INT-140).
- BURGAN R.E. e R.C. ROTHERMEL, *BEHAVE: Fire Behavior Prediction and Fuel Modelling System*, in «Fuel Subsystem», Ogden (Utah), 1984 (Technical Report INT-167).
- CASTRO R. ed E. CHUVIECO, *Modelling Forest Fire Danger Form GIS*, in «Geocarto International», Hong Kong, 1998, pp. 15-23.
- CHUVIECO E. e R.G. CONGALTON, *Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems to Forest Fire Hazard Mapping*, in «Remote Sensing of Environment», Amsterdam, 1989, pp. 147-159.
- CHUVIECO E., F.J. SALAS. e C. VEGA, *Remote Sensing and GIS for LongTerm Fire Risk Mapping*, in «A Review of Remote Sensing Methods», Alcalá, 1997, pp. 31-101.
- CHUVIECO E. e F.J. SALAS, *Mapping the Spatial Distribution of Forest Fire Danger using GIS* in «International Journal of Geographical Information Systems», Leicester, 1996, 3, pp. 333-345.
- CONA F., L. VITELLI e G. DI PASQUALE, *Tecniche GIS per la valutazione del rischio d'incendio boschivo nel territorio del Parco Nazionale del Vesuvio*, in *7a Conferenza Nazionale ASITA (Verona, 28-31 ottobre 2003)*, Verona, ASITA, 2003 (www.asita.it/7atti7.html).
- DE CONTI A. e R. LAFORTEZZA, *Determinazione dei cambiamenti di copertura di vegetazione in aree mediterranee colpite da incendio*, in *7a Conferenza Nazionale ASITA (Verona 28-31 ottobre 2003)*, Verona, ASITA, 2003, pp. 939-944.
- DEEMING J.E., R.E. BURGAN e J.D. COHEN, *The National Fire-Danger Rating System*, Ogden, US Department of Agriculture, Forest Service, 1978.
- DE NIGRIS G., *Mappatura del rischio incendio boschivo in provincia di Benevento con utilizzo di immagini satellitari Landsat e tecniche GIS*, tesi di Master «Energie» dell'Università di Basilicata, a.a. 2003-2004.
- ERTEN E., V. KURGUN e N. MUSAOGU, *Forest Fire Risk Zone Mapping from Satellite Imagery and GIS. A Case Study*, in *XXth ISPRS Congress (Istanbul, 12-23 July 2004)*, IAPRS, 2004 (www.isprs.org/istanbul2004/yf/papers/927.pdf).
- FALKOWSKI M.J. e altri, *Evaluating the ASTER Sensor for Mapping and Characterizing Forest Fire Fuels in North Idaho*, in *Tenth Biennial USDA Forest Service Remote Sensing Applications Conference (Salt Lake City, 2004)*, Salt Lake City, RSAC, 2004.
- HEE JO M. e altri, *The Development of Forest Fire Forecasting System using Internet GIS and Satellite Remote Sensing*, in «GISdevelopment», ACRS, 2000, atti del convegno (<http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2000/ps3/ps310.shtml>).
- ILLERA P. e altri, *Temporal Evolution of the NDVI as an Indicator of Forest Fire Danger*, in «International Journal of Remote Sensing», Oxford, 1996, pp. 1093-1105.
- LÓPEZ S. e altri, *An Evaluation of the Utility of NOAAVHRR Images for Monitoring Forest Fires Risk in Spain*, in «International Journal of Remote Sensing», Oxford, 1991, pp. 1841-1851.
- PALTRIDGE G.W. e J. BARBER, *Monitoring Grasslands Dryness and Fire Potential in*

- Australia with NOAA/AVHRR Data* in «Remote Sensing of Environment», Amsterdam, 1988, pp. 381-394.
- RIANO D. e altri, *Generation of Fuel Type Maps from Landsat TM Images and Ancillary Data in Mediterranean Ecosystems*, in «Canadian Journal of Forest Research», Ottawa, 2002, pp. 1301-1315.
- VALETTE J.C.H., A. CLEMENT e P. DELABRAZE, *Inflammabilité d'espèces méditerranéennes*, Avignone, INRA, 1979.
- VEGA GARCÍA C., P.M. WOODARD e B. LEE, *Geographic and Temporal Factors that seem to explain Human-caused Fire Occurrence in Whitecourt Forest, Alberta in GIS'93 Symposium (Vancouver, 1993)*, 1993, pp. 115-119.
- VÉLEZ R., *La prevención*, in A. GARCIA-BRAGE (a cura di), *La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias*, Madrid, McGraw-Hill/Interamericana de España S.A.U., 2000.
- VIEGAS X. e altri, *Comparative Study of Various Methods of Fire Danger Evaluation in Southern Europe*, in «International Journal of Wildland Fire», Collingwood, 2000, pp. 235-246.
- VIDAL A. e C. DEVAUX-ROX, *Evaluating Forest Fire Hazard with a Landsat TM Derived Water Stress Index*, in «Agricultural and Forest Meteorology», Amsterdam, 1995, pp. 207-224.

MAPPING OF THE FIRE HAZARD IN THE PROVINCE OF BENEVENTO AND BORDER DEFINING OF BURNING AREAS. – The purpose of this work is the experimentation and validation of an automatic model for the calculation of the fire hazard on the whole territorial area of the Province of Benevento and an experiment of «change detection» through the use of multitemporal and multisource satellite images and techniques GIS for the segmentation of the burning areas. Medium resolution satellite images are been used for the first one of these objectives, as Landsat and Aster, acquired in the two years 1999-2000. The study wants to point out a methodology of individualization of the areas more exposed to the fire hazard, that considers not only environmental factors but also anthropic factors, as determinant elements the to cause a forest fire. We have implemented therefore a model of analysis on large scale that can also be reproduced even on less wide areas for more detailed analysis; this method considers either environmental or anthropic elements that can a forest fire. We have tried besides an algorithm of multisensor "change detection" on the same images, Landsat and Aster, also using 2003 Quickbird images for the fotointerpretation of the surfaces. It follows that the satellitare images represent, in this context, not only a simple and rapid mean for the individualization of the forest areas, that are more sensitive areas and above all more exposed to this type of risk, but also an element of investigation and recognition of the burning areas.

Università di Salerno, Dipartimento di Studi sull'Ambiente e sul Territorio (DISAT)

mbencardino@unisa.it