

ANDREA CAMIA (*) - PIERMARIA CORONA (**)
MARCO MARCHETTI (***)

MAPPATURA DELLE COMPONENTI AMBIENTALI PREDISponentI IL RISCHIO DI INCENDI BOSCHIVI IN ITALIA (1)

FDC 431.5 : (450)

La legge 353/2000 impone al piano antincendio l'individuazione delle aree a rischio di incendio boschivo rappresentate con apposita cartografia tematica, e sottende quindi l'analisi di due componenti: di innesco, influenzata dalle cause determinanti e di diffusione, legata ai fattori predisponenti che influenzano il comportamento del fuoco; questi sono riconducibili alle variabili meteorologiche e topografiche e alle caratteristiche del combustibile presente negli spazi naturali. La diffusione dei sistemi informativi geografici e l'aumentata disponibilità di dati georiferiti consente la messa a punto di vari metodi per la mappatura del rischio di incendio a partire da informazioni relative alle caratteristiche territoriali e alla distribuzione spaziale dei fattori influenti. In questo modo, la cartografia digitale viene utilizzata come supporto per l'identificazione delle zone critiche, al fine sia di pianificare le azioni di prevenzione, che di organizzare le attività di estinzione. Il presente studio esamina le variabili di predisposizione al rischio e pone un contributo metodologico per una carta del rischio su base nazionale, presentando anche un primo esempio applicativo.

INTRODUZIONE

La pianificazione antincendi boschivi richiede la conoscenza della distribuzione nello spazio dei fattori legati al rischio di incendio. Ai sensi della L. 353/2000 (legge quadro sugli incendi boschivi), il piano antincendi

(*) Dipartimento AGROSELVITER, Università di Torino.

(**) Dipartimento di Scienze dell'Ambiente Forestale e delle sue Risorse, Università della Tuscia (Viterbo).

(***) Dipartimento di Colture Arboree, Università di Palermo.

(1) Lavoro svolto dagli autori in parti uguali nell'ambito del Programma Operativo Multiregionale - Misura 2 - Innovazioni tecnologiche e trasferimento dei risultati della ricerca - Progetto B28: Nuove metodologie per la gestione sostenibile dei sistemi forestali complessi nell'Italia meridionale.

individua le aree a rischio di incendio boschivo rappresentate con apposita cartografia tematica (Art. 3 comma 3 lettera c).

Il concetto di rischio di incendio ha una connotazione tipicamente statica nel tempo, contrapponendosi, in questo senso, al concetto di pericolo di incendio, il quale si riferisce alla dinamica temporale delle variabili che predispongono il fenomeno. Il rischio di incendio sottende due componenti: una di innesco, influenzata dalla natura e incidenza delle cause determinanti e una di diffusione, legata ai fattori predisponenti che influenzano il comportamento del fuoco.

Le cause determinanti sono nel nostro Paese, e in generale in tutta l'Europa mediterranea, legate direttamente o indirettamente alle attività antropiche.

I fattori predisponenti sono riconducibili a variabili meteorologiche e topografiche e alle caratteristiche della biomassa bruciabile presente negli ambienti naturali. In particolare, la biomassa bruciabile è costituita dalla componente vegetale degli ecosistemi, a cui nella protezione dagli incendi boschivi si fa spesso riferimento con il termine di combustibile forestale.

I fattori rilevanti per il rischio di incendio sono dunque molti e caratterizzati da forti interazioni. Se, in linea generale, possono essere identificati gli elementi del territorio che hanno un ruolo significativo nel determinare la distribuzione spaziale del rischio, con riferimento a specifiche realtà il peso di ogni singolo fattore può essere molto diverso e le interazioni giocano un ruolo chiave. Si pensi, ad esempio, agli incendi dell'arco alpino, concentrati nel periodo invernale e primaverile, per i quali un fattore fortemente limitante può essere la presenza della neve, che non ha invece alcuna relazione con gli incendi negli ambienti mediterranei. Per quanto riguarda le cause determinanti le differenze possono essere ancora più marcate, seguendo la variazione delle condizioni socio-economiche. Non esistono modelli generalizzati del rischio di incendio, ma una numerosa casistica riferita ad altrettante realtà diverse.

Negli ultimi anni, grazie anche alla grande diffusione dei sistemi informativi geografici (GIS) e alla aumentata disponibilità in forma digitale di dati georiferiti, sono stati messi a punto vari metodi per la mappatura del rischio di incendio a partire da informazioni relative alle caratteristiche territoriali e alla distribuzione spaziale dei fattori influenti. In questo modo, la cartografia digitale viene utilizzata come supporto per l'identificazione delle zone critiche, al fine sia di pianificare le azioni di prevenzione, che di organizzare le attività di estinzione. Nei Paesi dove il fenomeno è rilevante, la possibilità di poter individuare e valutare zone a diverso rischio di incendio è il primo passo per un'efficace attività di protezione del patrimonio boschivo dal fuoco e il presupposto necessario per una corretta gestione del territorio.

Il presente lavoro affronta il tema della componente del rischio legata ai soli fattori predisponenti e della relativa cartografia realizzabile con informazioni digitali. Agli aspetti antropici legati alle cause determinanti verrà fatto solamente qualche cenno.

Per impostare l'analisi dei fattori predisponenti il rischio di incendio e quindi l'analisi del rischio derivato dalle variabili di predisposizione, verranno affrontati i seguenti temi:

- le componenti spaziale e temporale;
- le variabili di rischio;
- integrazione delle variabili di rischio.

Lo studio intende anche contribuire a porre le basi metodologiche per una carta del rischio d'incendio d'Italia, il cui prodotto intermedio, cui viene fatto specifico riferimento nel presente lavoro, è una carta dei fattori ambientali predisponenti il rischio.

1. COMPONENTI SPAZIALE E TEMPORALE DEL RISCHIO DI INCENDIO

1.1. Spazio

La scala di lavoro condiziona in modo rilevante l'analisi del rischio di incendio, normalmente condotta nell'ambito di un piano antincendio e quindi con riferimento ad aree che per la protezione antincendi boschivi possono essere piccole, medie o vaste (BOVIO, 1991) ma che comunque nel nostro Paese non superano il livello regionale. Tuttavia, non mancano esempi di cartografie del rischio di incendio a scala globale (BURGAN e SHASBY, 1984; BURGAN e HARTFORD, 1988; CHUVIECO, 1999).

La distribuzione spaziale del rischio di incendio è data dal diversificato sovrapporsi ed interagire nello spazio dei fattori di rischio (topografici, vegetazionali, meteorologici, antropici). A loro volta, i fattori di rischio hanno una propria distribuzione caratterizzata da una specifica frequenza spaziale di variazioni significative con riferimento al fenomeno degli incendi. Rimanendo nell'ambito delle sole variabili meteorologiche, si pensi ad esempio alla variazione nello spazio della temperatura dell'aria in rapporto alla variazione di direzione e velocità del vento.

La complessità delle interazioni e delle relazioni spaziali tra i fattori ha da tempo indirizzato la ricerca verso il ricorso a tecniche GIS per l'elaborazione delle carte di rischio. Infatti, oltre ai problemi connessi all'impiego di dati georiferiti di diversa natura e provenienza, l'elaborazione e l'analisi della distribuzione delle variabili di rischio e la loro successiva integrazione comportano la necessità di avvalersi di tecniche di interpolazione spaziale, analisi topologiche, analisi ecologico-spaziali.

In sintesi una carta del rischio può essere considerata come il risultato della classificazione di tasselli del territorio o unità geografiche. Ciascuna unità geografica è descritta da un insieme di variabili di interesse, tra le quali possono essere anche comprese variabili di contesto spaziale o relazioni topologiche tra entità, che vengono quindi combinate secondo determinati criteri in modo da ottenere una classificazione finale del territorio.

Le unità geografiche possono essere definite secondo criteri diversi. Possono essere le celle (*pixel*) di un modello *raster*, nel qual caso è sufficiente definirne la dimensione, o poligoni, nel qual caso si devono definire la natura ed i limiti dei poligoni, che spesso nel caso in esame vanno a coincidere con tessere (*patches*) del paesaggio.

Fin'ora, nello studio del rischio di incendio la maggior parte degli autori ha preferito l'approccio *raster*, sia per la natura di molte variabili che si prestano ad un modello di rappresentazione del reale per campi piuttosto che per entità (BURROUGH e McDONNEL, 1998), sia per agevolare le analisi spaziali spesso complesse, sia per la compatibilità con le immagini da satellite frequentemente utilizzate per integrare i modelli di rischio e per l'acquisizione di dati utili per le fasi successive della pianificazione (MARCHETTI e RICOTTA, 1994; MARCHETTI *et al.*, 1995).

L'approccio per poligoni (*vector*) è stato talvolta preferito a causa delle differenti scale alle quali le variabili di base sono rilevate (CHOU *et al.*, 1990; CHOU, 1992) ovvero quando si sono affrontate zonizzazioni di area vasta (BURGAN e HARTFORD, 1988; BOVIO e CAMIA, 1997).

Per quanto riguarda il modello *raster* le dimensioni delle celle utilizzate nella cartografia del rischio di incendio variano da 30×30 m² (CHUVIECO e SALAS, 1996) a 250×250 m² (VIEGAS e VIEGAS, 1993). Nel caso dei poligoni si sono utilizzati sia confini amministrativi (BURGAN e HARTFORD, 1988; BOVIO e CAMIA, 1997) che topografici (CHOU, 1992; MARCHETTI, 1994).

Per realizzare una carta dei fattori predisponenti il rischio di incendio a scala nazionale in Italia si può ritenere idoneo un modello *raster* con celle di 250×250 m², che si può ritenere corrispondente ad una scala convenzionale intorno ad 1:500.000.

1.2. Tempo

Sebbene una carta del rischio di incendio abbia una connotazione statica, i fattori determinanti e predisponenti il rischio hanno proprie dinamiche temporali che devono essere rese esplicite e omogenee per garantire la coerenza interna della carta stessa.

Il senso statico del rischio è inteso con riferimento al medio periodo: in altri termini, si può ritenere che una carta del rischio di incendio possa mantenere la sua validità per un periodo non superiore a 3-5 anni.

La dinamica temporale è massima per i fattori meteorologici e per tutti i fenomeni ad essi correlati (ad esempio, il contenuto di umidità dei combustibili forestali), che cambiano con intervalli temporali inferiori al giorno, mentre i fattori legati alla componente vegetazionale hanno variazioni stagionali e sono soggetti a dinamiche evolutive nel medio periodo (con variazioni significative per periodi inferiori a 5 anni). I fattori dotati di massima staticità sono quelli legati alla topografia (quota, esposizione, pendenza), mentre ad un livello intermedio si pongono i fattori antropici, le cui variazioni significative in relazione al fenomeno degli incendi, si possono collocare in un arco temporale di circa 10 anni.

I fattori dinamici dovranno quindi essere rappresentati in termini statici, ovvero cartografati attraverso elementi fissi del territorio che ne forniscano una descrizione indiretta. Per le variabili meteorologiche questo può essere realizzato a scala locale considerando i fattori stazionali che le possono influenzare, come esposizione, quota ecc. (CHOU, 1990; CHUVIECO e SALAS, 1996); a scala regionale o superiore, considerando le condizioni meteorologiche medie, e quindi le condizioni climatiche (BURGAN e HARTFORD, 1988), ovvero scenari meteorologici tipici del periodo di massima pericolosità di incendio.

Con riferimento all'aspetto temporale per la vegetazione, che ha una dinamica assai meno accentuata dei precedenti, emerge da un lato l'esigenza di aggiornare con una certa frequenza le carte di rischio per tenere conto delle evoluzioni nel corso degli anni, e dall'altro la necessità di limitare la descrizione a contesti fenologici precisi, e quindi a periodi definiti dell'anno, identificati a seguito di indagini preliminari basate sulla valutazione dell'effettiva biomassa bruciabile nella stagione di massima pericolosità di incendio.

2. VARIABILI DI RISCHIO

Negli esempi di zonizzazione del rischio di incendio reperibili in letteratura, le variabili impiegate sono solitamente riconducibili alle tre citate componenti di meteorologia, topografia e combustibili. Solamente in alcuni casi vengono contemplati anche i fattori determinanti, e quindi le variabili umane o le serie storiche degli incendi, assai più difficili da comprendere e cartografare. Con riferimento a quest'ultimo aspetto, un approccio talora seguito per descrivere la distribuzione spaziale delle cause determinanti consiste nella valutazione e conseguente cartografia di quelle infrastrutture giudicate connesse con le possibilità di innesco. Ciò viene ad esempio realizzato per la viabilità, con l'identificazione di fasce coassiali di varia lar-

ghezza (*buffer*), a cui viene associata una certa incidenza di cause determinanti in funzione della distanza dalla strada stessa.

Nei paragrafi che seguono verranno sinteticamente descritte le singole variabili attualmente derivabili per l'analisi della distribuzione spaziale dei fattori predisponenti il rischio di incendio a scala nazionale in Italia.

2.1. *Clima*

Il clima è definito dall'insieme dei fenomeni meteorologici che si verificano nel corso dell'anno e durante l'evolversi delle stagioni. Tra i parametri più direttamente connessi al fenomeno degli incendi boschivi vi sono le precipitazioni, la temperatura e l'umidità relativa dell'aria, il vento, la radiazione solare: particolarmente importante è la loro distribuzione stagionale, soprattutto durante la cosiddetta «stagione degli incendi», cioè il periodo dell'anno in cui questi si verificano con maggiore frequenza.

In generale, il clima svolge nei confronti del fenomeno degli incendi boschivi una duplice azione: influenza il tipo e la quantità di biomassa, e determina situazioni di differente pericolosità nel corso dell'anno, influenzando il contenuto di umidità dei combustibili e determinando scenari meteorologici caratteristici.

Per caratterizzare il clima ai fini dell'analisi della distribuzione spaziale del rischio di incendio, sono talvolta state utilizzate le classificazioni bioclimatiche (MARCHETTI *et al.*, 1987; CAMIA *et al.*, 1999; CHUVIECO *et al.*, 1999), che sintetizzano molti degli aspetti citati, connessi al fenomeno degli incendi boschivi.

Nel richiamare brevemente i singoli parametri climatici e la loro azione principale nei confronti degli incendi, si sottolinea che essi sono da considerare non solo singolarmente ma anche nelle loro complesse interazioni.

Le precipitazioni influenzano il tenore idrico dei combustibili, sia vivi che morti. Mentre per quelli vivi le precipitazioni sono in particolare da mettere in relazione alla disponibilità di acqua nel suolo e non è tanto importante il singolo evento di pioggia quanto piuttosto il decorso stagionale delle precipitazioni, per i combustibili morti possono essere importanti anche precipitazioni sporadiche e di modesta entità. Oltre alla quantità totale di precipitazioni, assume particolare importanza la sua distribuzione temporale: piogge anche di limitata entità ma distribuite uniformemente nell'arco della stagione di massima pericolosità, abbassano notevolmente il rischio d'incendio poiché mantengono sufficientemente elevato il tenore in umidità dei combustibili.

Il vento è un fattore chiave nel comportamento del fuoco. Oltre a influire in modo indiretto sull'umidità dei combustibili, esso ha un ruolo fondamentale nella fase di sviluppo dell'incendio, essendo il fattore più

importante nel determinare la velocità di propagazione del fronte di fiamma. Le principali azioni svolte dal vento sono tre: favorire l'apporto di comburente per il processo di combustione, aumentare il preriscaldamento dei combustibili posti dinanzi al fronte in avanzamento inclinando la fiamma e per convezione, trasportare frammenti in combustione, favorendo la nascita di focolai secondari anche a considerevoli distanze (*spotting*).

L'umidità dell'aria è da mettere in relazione con il tenore idrico della frazione morta di biomassa bruciabile, e in particolare con i combustibili di piccole dimensioni, che tendono più rapidamente a portarsi in equilibrio igrotermico con l'ambiente, e che costituiscono il principale elemento portante di fronti di fiamma veloci e difficilmente controllabili.

La temperatura dell'aria agisce attraverso il riscaldamento diretto del combustibile, ma soprattutto indirettamente condizionando i processi di evapotraspirazione e quindi il tenore idrico del combustibile e del terreno, peraltro dipendenti largamente anche dall'acqua disponibile nel suolo e quindi dalle capacità di ritenzione idrica di quest'ultimo.

Analogamente, la radiazione solare è anch'essa principalmente legata ai processi che controllano l'evapotraspirazione e quindi al grado di umidità dei combustibili.

Per impostare un'analisi del rischio di incendio a scala nazionale in Italia, si può finalmente ricorrere ad un documento nuovo e molto aggiornato in termini di dati e metodi: la Carta del fitoclima d'Italia realizzata dal Ministero dell'Ambiente (MA-SCN, 2001a) partendo dai dati di più di 400 stazioni meteorologiche distribuite su tutto il territorio nazionale. Sono stati individuati, seguendo l'inquadramento proposto da BLASI (1999), 28 tipi di clima che, oltre a mostrare una chiara autonomia bioclimatica, si presentano ben distribuiti in senso geografico. I dati grezzi sono stati spazializzati con un modello matematico che ha tenuto conto dell'altitudine, dell'orografia e della distanza dalle stazioni. Un'immagine preliminare di questa carta, il cui dato di origine ha una risoluzione a terra di 250×250 m², è riportata in Figura 1.

2.2. Combustibili

La componente vegetazione deve essere esaminata soprattutto con riferimento alle proprietà del materiale combustibile, sulla base della sua distribuzione e delle sue caratteristiche. I combustibili forestali sono costituiti da tutti quei materiali, per lo più di origine vegetale, che possono partecipare alla combustione nel contesto di un incendio boschivo. L'insieme dei materiali, che possono essere parti di vegetali sia vivi, sia morti (necromassa), costituisce la biomassa bruciabile presente in bosco.

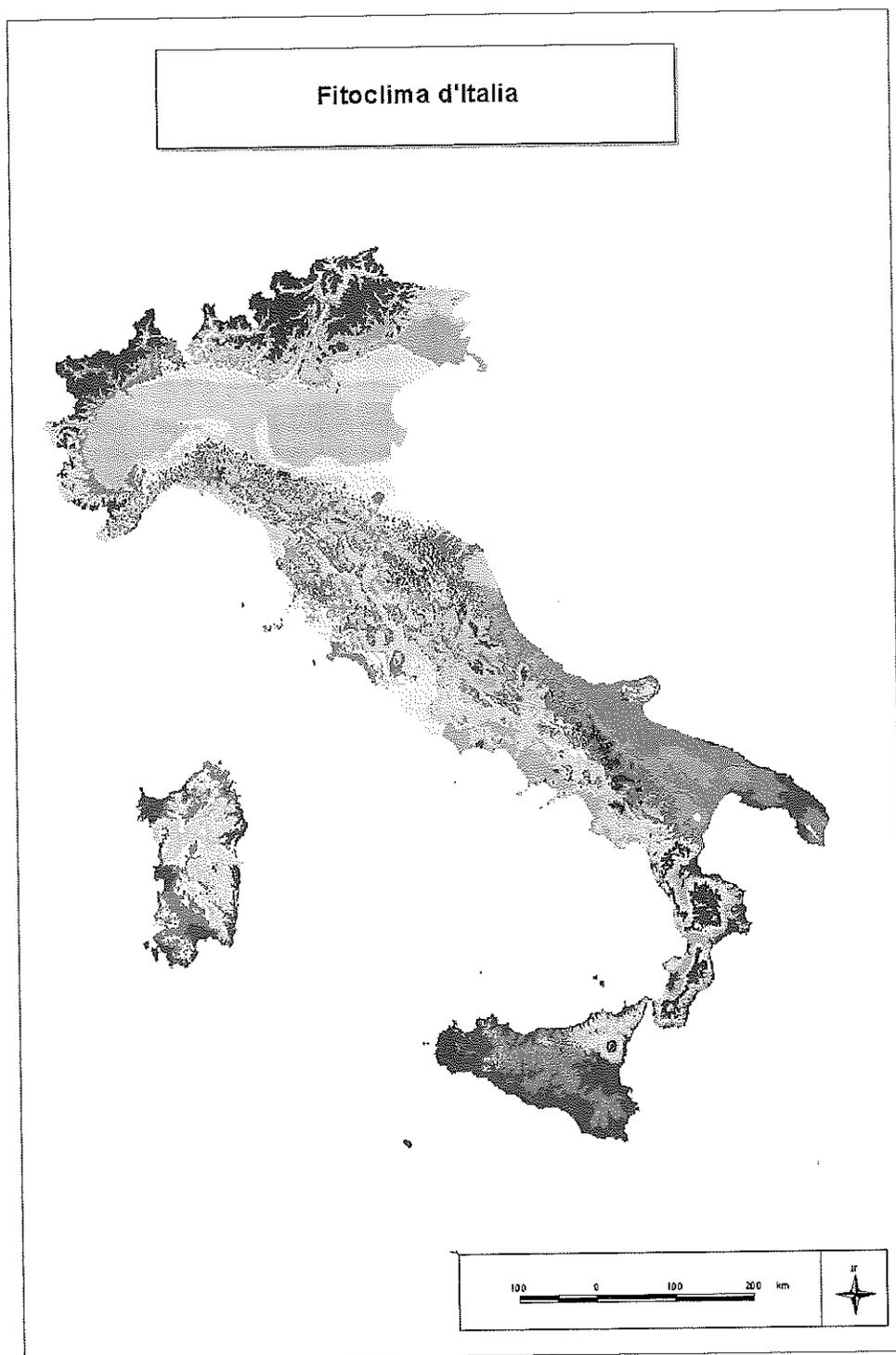


Figura 1 – Carta del fitoclima d'Italia (da MA-SCN, 2001a).

Il fusto e i rami di una certa dimensione bruciano generalmente soltanto in minima parte, a meno di eventi catastrofici quali incendi di chioma ad alta intensità, peraltro non frequenti nei nostri ambienti. Sono quindi la struttura, la disposizione, il grado di compattazione e la continuità orizzontale e verticale dei materiali di piccole dimensioni gli elementi che influiscono sulla propagazione del fronte di fiamma.

Le caratteristiche che devono essere considerate per una valutazione di dettaglio sono:

- proporzione di biomassa bruciabile viva e morta;
- quantità di combustibile (biomassa bruciabile) per classi dimensionali;
- continuità spaziale, orizzontale e verticale;
- grado di compattazione;
- contenuto di umidità;
- contenuto di resine e oli essenziali.

Per facilitare la definizione di tali grandezze e permettere la classificazione della infinita varietà di situazioni che si riscontrano in natura, si può fare riferimento a descrizioni standard di riferimento denominate modelli di combustibile. Il concetto di modello di combustibile è stato introdotto negli Stati Uniti dove sono state elaborate, ad opera del *Northern Forest Fire Laboratory* (NFFL), delle descrizioni tabulate di tutti i parametri fisici dei complessi di combustibili necessari alla soluzione delle equazioni di modelli matematici di previsione del comportamento del fuoco (ROTHERMEL, 1972; ALBINI, 1976) per le tipologie d'incendio più frequenti.

Una formazione vegetale può essere classificata con un procedimento sintetico, assimilando il complesso combustibile che si riscontra nel sottobosco a uno o più dei modelli standard mediante chiavi dicotomiche (ROTHERMEL, 1983) oppure attraverso confronti con repertori di fotografie (ANDERSON, 1982) come già sperimentato anche in Europa con vere e proprie chiavi fotografiche (ICONA, 1990; CAMIA, 1996). In questo modo, si ha il vantaggio di non dover rimisurare tutti i parametri, procedendo con una semplice classificazione per comparazione.

I principali modelli descritti dal NFFL sono 13 (ANDERSON, 1982; ROTHERMEL, 1983; BURGAN e ROTHERMEL, 1984), e secondo gli Autori sono applicabili alla maggior parte delle situazioni più comuni del Nord America. I 13 modelli del NFFL sono suddivisi in quattro tipologie, in base allo strato, denominato anche componente del complesso combustibile, che maggiormente «sostiene» la propagazione del fuoco (tra parentesi i modelli cui si riferiscono):

- erbacei (modelli 1, 2, 3);
- arbustivi (modelli 4, 5, 6, 7);
- di lettiera (modelli 8, 9, 10);
- di residui di utilizzazioni forestali (modelli 11, 12, 13).

La distinzione fra tipologie di modelli fa riferimento alla componente dello strato presente nei primi metri dal suolo, che in caso di incendio si ritiene contribuisca in modo prevalente alla propagazione del fronte di fiamma. Un modello di tipo erbaceo potrà perciò essere riscontrato non solo in formazioni di prateria, ma anche ad esempio in boschi radi con un abbondante e continuo sottobosco di graminacee, prevalente rispetto alla componente di lettiera o arbustiva. Analogamente, i modelli di residui di utilizzazioni forestali si riferiscono normalmente a situazioni in cui vi sia sul terreno un'abbondante e diffusa presenza di rami, situazioni che solitamente si riscontrano a seguito di utilizzazioni con residui sparsi sul terreno.

Il metodo dei modelli di combustibile ha avuto molte applicazioni, talvolta con adattamenti, anche al di fuori degli Stati Uniti. Nel bacino del Mediterraneo criteri di classificazione dei combustibili basati sui modelli illustrati vengono da diversi anni utilizzati operativamente dai servizi forestali in Spagna, Portogallo, Francia e Grecia.

In Italia la descrizione e modellizzazione dei combustibili forestali è stata affrontata con riferimento ad aree limitate (LEONE *et al.*, 1993; CAMIA, 1994; SARACINÒ, 1994; CAMIA, 1995) o con indagini di carattere generale (MARCHETTI e LOZUPONE, 1995a). I modelli di combustibile sono inoltre stati utilizzati per realizzare carte del rischio di incendio (MARCHETTI, 1994) e apposite metodologie sono state sviluppate per la loro mappatura su larga scala (CAMIA, 1996).

Per la carta del rischio di incendio d'Italia, una classificazione basata sui modelli di combustibili è ritenuta troppo di dettaglio, anche considerando la necessità di periodici aggiornamenti della carta stessa. Seguendo un approccio alla classificazione più snello, che si ritiene comunque valido se commisurato alla scala e agli obiettivi del contesto in esame, è possibile limitare l'indagine alla distribuzione spaziale di più generiche tipologie di combustibili (FAO, 1986).

Le tipologie di combustibili consentono di identificare situazioni di diversa predisposizione al fuoco delle fitocenosi sulla base di caratteristiche strutturali della copertura del suolo ed in particolare dei popolamenti forestali, e ben si prestano ad essere integrate nel contesto di una carta del rischio di incendio a scala nazionale. A tale scala la carta delle tipologie di combustibili può essere approssimata con una opportuna riclassificazione di una carta dell'uso del suolo la cui legenda sia sufficientemente dettagliata: in tal senso, in Italia è possibile fare ricorso alla base di dati geografica *Land Cover* del progetto CORINE (CLC) che ad oggi costituisce la più dettagliata cartografia della copertura reale del territorio disponibile con una sostanziale uniformità di classificazione su tutto il territorio nazio-

nale. Il terzo livello del CLC è costituito da 44 classi di copertura del suolo che sono state riclassificate in 6 tipologie di combustibile secondo quanto descritto in CHUVIECO *et al.* (1999). I dati CLC, in origine in scala 1:100.000, sono stati trasformati in formato *raster* con celle di 250×250 m² (Figura 2).

2.3. Topografia

La topografia ha una grande influenza sul fenomeno degli incendi, non solamente attraverso l'azione che grandi masse di terra esercitano sul clima generale di una regione e che la morfologia del terreno svolge sul microclima della stazione, ma anche attraverso l'azione diretta che la configurazione del terreno ha nei fenomeni legati alla combustione e quindi al comportamento del fuoco. Alcuni rilevanti fenomeni in tal senso sono l'aumentato preriscaldamento del combustibile a monte del fronte di fiamma in avanzamento e la possibilità di rotolamento a valle di parti in combustione con conseguenti accensioni di focolai secondari.

Le variabili topografiche che più direttamente intervengono sul comportamento del fuoco sono la pendenza e l'esposizione.

La relazione tra la pendenza del versante e la velocità di propagazione del fronte di fiamma è lineare nei più comuni sistemi di simulazione del comportamento del fuoco, quali BEHAVE (ROTHERMEL, 1983; ANDREWS, 1986; MARCHETTI e LOZUPONE, 1995b), ma non costante per diversi combustibili. Tuttavia, studi recenti (VIEGAS *et al.*, 1998) sottolineano l'opportunità di approfondire il ruolo della inclinazione del versante e delle possibili interazioni con il vento.

Per quanto riguarda l'esposizione, oltre agli aspetti climatici derivati e le conseguenze sulla composizione e struttura delle comunità vegetali, l'effetto diretto dell'esposizione del versante sul comportamento del fuoco è prevalentemente riconducibile al diverso irraggiamento diretto cui il suolo e i combustibili sono sottoposti, e quindi in definitiva al loro tenore idrico. Tale aspetto è naturalmente da mettere in relazione al grado di copertura dello strato arboreo che può avere un importante ruolo mitigante sul disseccamento dei combustibili.

I dati topografici per la carta del rischio di incendio d'Italia sono stati ricavati da un modello digitale dell'elevazione (DEM), cioè una matrice numerica georeferenziata, a ciascun elemento della quale corrispondono una tripletta di dati che esprimono la localizzazione del punto (x, y) e la sua quota (z). La distanza tra i punti in x ed in y è di 250 m. Dal DEM si sono quindi ricavate le variabili derivate di pendenza ed esposizione del terreno in formato *raster* (Figura 3).

Tipologie di combustibile

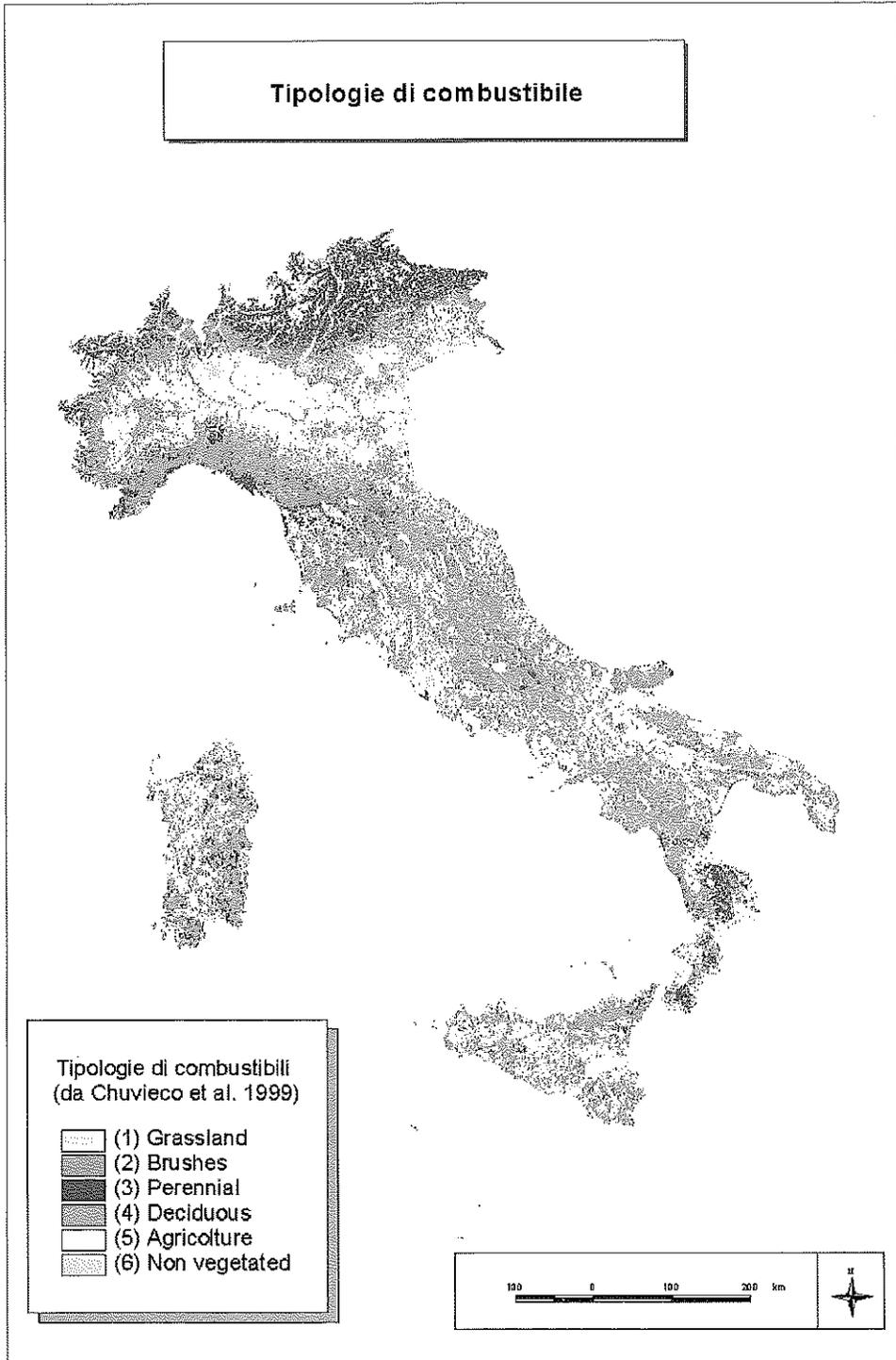


Figura 2 – Tipi di combustibili (riclassificazione dal database di CORINE Land Cover).

Modello digitale di elevazione



Figura 3 – Modello digitale di elevazione d'Italia.

3. INTEGRAZIONE DELLE VARIABILI DI RISCHIO

Individuate le variabili che concorrono a definire i fattori predisponenti gli incendi, il processo di realizzazione della carta del rischio comporta la definizione dei criteri per l'integrazione delle variabili di base ed eventuali derivate in un unico indice.

Come accennato, non vi sono modelli di rischio generali a cui fare riferimento, ma piuttosto una varietà di approcci seguiti dai diversi autori con altrettanti diversi risultati, la cui validità ed eventuale possibilità di generalizzazione al di fuori dell'area di studio è stata raramente verificata. In molti casi inoltre non sono stati costruiti veri e propri modelli locali di rischio ma sono stati unicamente applicati, a mo' di criterio di classificazione, sistemi standard come ad esempio il *National Fire Danger Rating System* degli Stati Uniti (BRADSHAW *et al.*, 1983) o il sistema BEHAVE (ANDREWS, 1986). In una rassegna degli studi relativi alla zonizzazione del rischio di incendio, CHUVIECO e SALAS (1996) individuano quattro possibili approcci seguiti dai differenti autori:

1. valutazione soggettiva-qualitativa;
2. applicazioni di modelli standard dei servizi forestali;
3. costruzione di modelli additivi con assegnazione di pesi alle variabili;
4. costruzione di modelli statistici locali.

Viene di seguito offerta una breve descrizione delle diverse impostazioni, unitamente alla citazione di alcuni tra i lavori più significativi reperibili in letteratura.

Il primo approccio vede l'impiego di criteri qualitativi per assegnare valori di rischio alle diverse combinazioni delle variabili di base (BRASS *et al.*, 1983). Si può procedere costruendo apposite tabelle riportanti possibili incroci delle variabili di rischio e chiedendo ad esperti di fornire una loro valutazione basata sull'esperienza.

La seconda possibilità prevede l'adattamento di indici di rischio o algoritmi standard comunemente utilizzati impiegati dai servizi forestali (BURGAN e SHASBY, 1984; ANDREWS, 1987; SALAZAR *et al.*, 1990). L'impiego più diffuso consiste nell'applicazione di modelli di previsione del comportamento del fuoco, quale ad esempio il citato modello di ROTHERMEL (1972), in cui la relazione tra le variabili è definita in termini quantitativi dagli algoritmi di propagazione del fronte di fiamma. Tale approccio è valido per applicazioni a scala locale e non permette di includere fattori di probabilità di innesco, ma solo di diffusione.

La terza alternativa è la creazione di nuovi modelli di rischio con funzioni a struttura additiva ponderata, basate sull'assegnazione di pesi alle variabili dei fattori predisponenti e la loro combinazione lineare (CHUVIECO

e CONGALTON, 1989; SALAS *et al.*, 1994). In questo caso, l'elemento critico è relativo alle procedure seguite per l'assegnazione dei pesi alle variabili di rischio, dove spesso gioca ancora un ruolo preponderante la soggettività. A questo riguardo si segnalano per il loro interesse procedimenti analoghi a quelli utilizzati per l'analisi multicriteriale. Secondo tali procedimenti la valutazione dei pesi può, ad esempio, essere effettuata utilizzando gli autovettori principali di una matrice quadrata reciproca di comparazione a coppie tra i fattori di rischio, ove la comparazione viene fatta sulla base dell'importanza relativa dei due fattori coinvolti.

Il quarto approccio riguarda la creazione di modelli locali, derivati da analisi statistiche realizzate con i dati dell'area. Tali modelli sono realizzati ad esempio attraverso equazioni di regressione multipla (CHOU, 1990) o di regressione logistica (CHUVIECO *et al.*, 1999). Sebbene non estrapolabili ad ambiti diversi da quelli per cui si sono costruiti, questi modelli hanno il pregio della maggiore oggettività rispetto ai precedenti. I maggiori problemi si incontrano nella fase di definizione delle variabili indipendenti del modello, poiché in molti casi si tratta di variabili qualitative (ad esempio, con riferimento al caso in esame, sia i tipi di combustibile che i tipi di clima sono variabili qualitative).

Ai quattro possibili approcci fin qui illustrati possono essere aggiunti i sistemi esperti basati sull'ingegneria della conoscenza, recentemente introdotti nella zonizzazione del rischio di incendio (BOVIO e CAMIA, 1995), e le reti neurali, ancora in corso di sperimentazione (CHUVIECO *et al.*, 1999).

Per la realizzazione della carta del rischio di incendio d'Italia si ritiene che potranno essere provati e confrontati alcuni degli approcci indicati. Il confronto dovrà avvenire in fase di validazione del modello di rischio, che si dovrà realizzare con dati reali di incendi verificatisi sul territorio, considerati per un periodo di tempo sufficientemente ampio (10-15 anni).

Il modello di rischio dovrà essere impostato tenendo conto della diversa stagionalità degli incendi in Italia. Infatti, esaminando l'andamento del fenomeno nel corso dell'anno si distinguono chiaramente aree con incendi concentrati nel periodo estivo, tipicamente le regioni a clima mediterraneo, da aree con incendi concentrati nel periodo invernale-primaverile, tipicamente le regioni a clima temperato. Si riconoscono inoltre situazioni intermedie in cui non si riscontra una netta stagionalità del fenomeno, per cui si possono determinare livelli di allerta significativi durante tutto il corso dell'anno.

Le «stagioni degli incendi» che caratterizzano il territorio nazionale, determinano specifiche modalità di interazione tra i fattori ambientali, che possono quindi assumere un ruolo profondamente diverso nell'influenzare il rischio di incendio nei diversi ambienti.

Pertanto si ritiene che per la carta del rischio di incendio d'Italia debbano essere sviluppati due differenti modelli e altrettante carte di rischio: una di rischio estivo ed una di rischio invernale.

4. ESEMPIO APPLICATIVO

Il lavoro di realizzazione della mappatura del rischio a scala nazionale è tutt'ora in corso attraverso l'applicazione sperimentale di diversi modelli, sviluppati seguendo alcuni degli approcci precedentemente illustrati.

A titolo esemplificativo si riporta (Figura 4) un estratto di due carte relative alla regione Campania, con integrazione dei fattori predisponenti il rischio estivo ed invernale.

Le basi di dati dei fattori di rischio impiegate per realizzare la prova sono quelle illustrate in precedenza, il modello di integrazione delle variabili di rischio è in questo caso sviluppato con tecniche derivate dall'analisi multicriteriale.

Si tratta di due modelli a struttura additiva ponderata, i cui pesi sono stati assegnati e normalizzati adattando la metodologia HEP (*Habitat Evaluation Procedure*) dell'US FISH AND WILDLIFE SERVICE (1980).

Benché costituiscano solo un risultato preliminare e relativo ai soli fattori predisponenti, le zonizzazioni del rischio presentate permettono di evidenziare per la Campania la stagionalità del fenomeno tipica delle regioni mediterranee, con una netta differenza tra rischio estivo e rischio invernale.

La definizione di un modello definitivo di integrazione delle variabili di rischio in corso di approfondimento, da applicare su scala nazionale, dovrà essere effettuata sulla base di un procedimento di validazione strutturato, realizzato con i dati di incendi realmente verificatisi.

5. CONCLUSIONI

Sono stati illustrati i risultati preliminari di uno studio che ha come obiettivo principale la preparazione di una carta del rischio d'incendio forestale in Italia, come finalmente richiesto anche dagli ultimi provvedimenti legislativi in materia (L. 353/2000). Questi infatti riconoscono, tra lacune metodologiche ancora evidenti, l'analisi del rischio come fase primaria della pianificazione antincendio, in grado di separare analiticamente le cause determinanti e i fattori predisponenti che qui sono stati analizzati; a questa analisi dovrebbe seguire la previsione del pericolo su basi dinamiche e quindi la pianificazione vera e propria delle opere e degli interventi

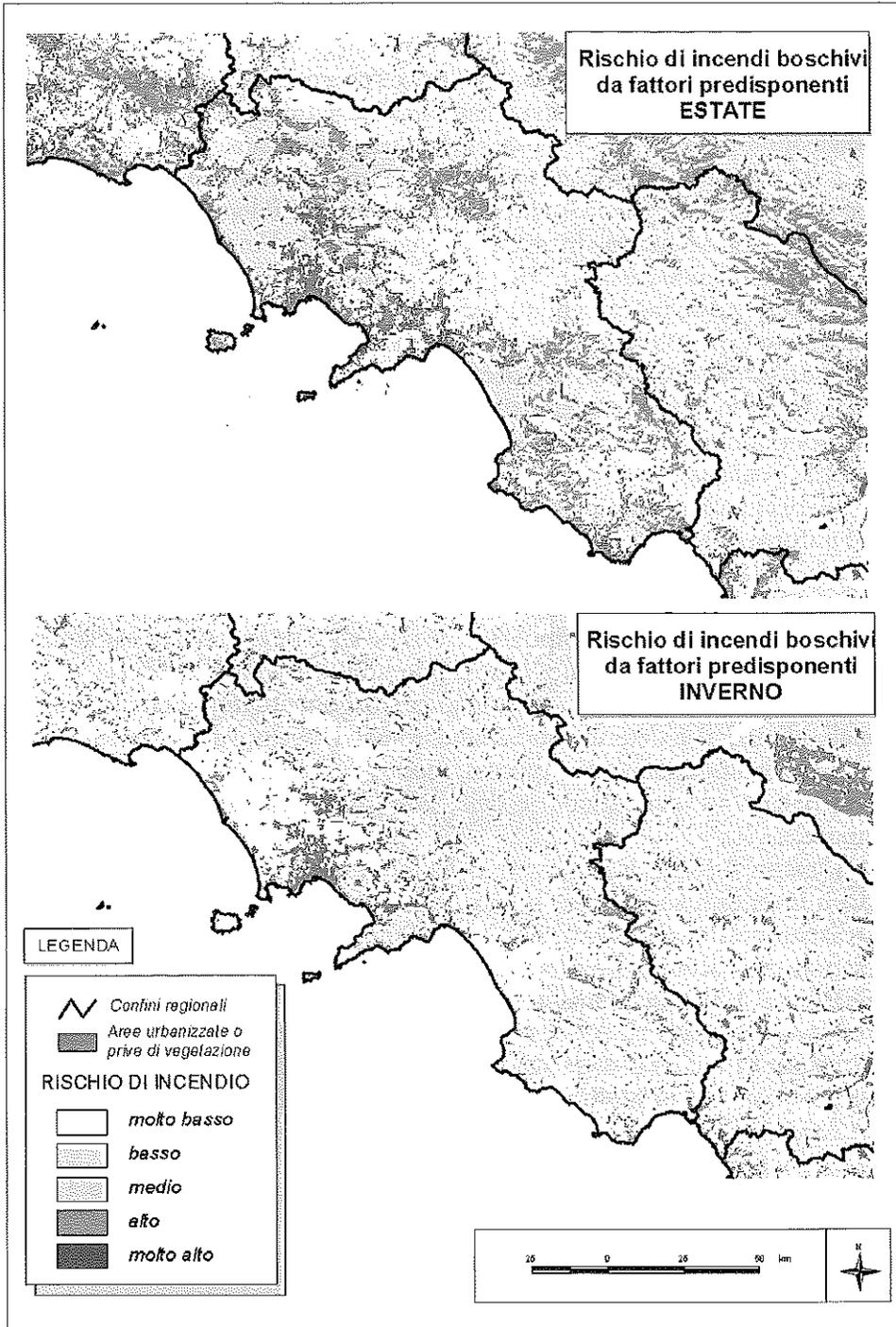


Figura 4 – Esempi di carte preliminari di rischio di incendio da fattori predisponenti per la Campania.

di prevenzione, e poi l'organizzazione di sistemi di avvistamento e lotta attiva per lo spegnimento dei focolai, l'analisi dei danni e la perimetrazione delle aree percorse dal fuoco, il monitoraggio della ricostituzione naturale delle cenosi o l'eventuale progettazione di interventi di ricostituzione, in genere per eventi particolari (un esempio attuale è l'azione in corso sull'area distrutta dal grande incendio di chioma della Pineta di Castelfusano – soprassuolo monumentale nei pressi di Roma – del 4 luglio 2000). Il rischio d'incendio, rappresentato con modelli molto diversificati in letteratura, è stato espresso in termini relativi e soprattutto viene confermato che per il nostro paese è necessario predisporre analisi dipendenti dalla stagione producendo mappe differenziate per i periodi estivo ed invernale, cui corrispondono andamenti molto diversi del fenomeno incendi al nord e al sud della penisola.

In particolare sono state definite e descritte le variabili di base, le fonti informative, il formato dei dati. Viene ampiamente confermata la validità dell'approccio geoinformatico, gestito essenzialmente in modalità *raster* (a 250×250 m nella presente analisi), soprattutto per le potenzialità di spazializzazione delle componenti territoriali e temporali, le variabili di rischio e la loro integrazione: è possibile adottare infatti approcci multiscalari nell'esame dei fattori di rischio predisponenti (topografici, vegetazionali, climatici) e determinanti (meteorologici, antropici) in funzione del livello di pianificazione (area piccola, media, vasta, da una riserva naturale ad un bacino ad una regione) e della loro intrinseca variabilità spaziale e temporale.

L'analisi dei singoli parametri, della loro azione principale nei confronti degli incendi e soprattutto la loro influenza sullo stato, la quantità e la distribuzione del combustibile, è attualmente possibile anche su scala nazionale con un buon livello di efficienza territoriale (scale comprese tra il 100.000 e il 500.000, ottimamente utilizzabili nella pianificazione di area vasta). Si può infatti ricorrere a banche dati e strati informativi georiferiti nuovi e aggiornati quali la carta del Fitoclima d'Italia (in corso di pubblicazione da parte del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio), il *data base* di CLC1990 (di prossimo aggiornamento nel 2002 e anch'esso integrabile ulteriormente con un IV° livello di classificazione in fase di ultimazione), i modelli digitali del terreno, a passo variabile (disponibili ormai a 20, 40, 75, 100 e 250 m).

Tra i possibili metodi di integrazione delle variabili di rischio risultano promettenti nel contesto indicato le procedure sviluppate con tecniche derivate dall'analisi multicriteriale: modelli a struttura additiva ponderata, i cui pesi vengono assegnati e normalizzati adattando la metodologia HEP (*Habitat Evaluation Procedure*).

Nel prosieguo della ricerca, ancora in fase di ultimazione, vengono utilizzati diversi metodi di integrazione delle variabili tra i quali alcuni operatori di analisi del contesto spaziale e, soprattutto, si procederà alla validazione delle carte prodotte con l'analisi statistica degli eventi effettivamente accaduti ed il loro confronto con i risultati ottenuti.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il dott. Remo Bertani per il contributo nell'elaborazione delle basi di dati a livello nazionale.

SUMMARY

Mapping of favourable factors for forest fire risk assessment in Italy

The paper deals with the description of a preliminary experience of risk assessment at national level in Italy, adopting new data base, available from national research projects concerning climate, land cover and digital terrain model. A brief examination of favourable and determining factors precedes the discussion of integrating methods for risk assessment and mapping. Finally perspectives for an operational analysis of the whole country is discussed.

BIBLIOGRAFIA

- ALBINI F.A., 1976 – *Estimating Wildfire Behavior and Effects*. General Technical Report. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, UT, pp. 1-92.
- ANDERSON H.E., 1982 – *Aids to Determining Fuel Models for Estimating Fire Behavior*. INT-122. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, UT, pp. 1-22.
- ANDREWS P.L., 1986 – *BEHAVE: Fire Behavior Prediction and Fuel Modeling System - Burn Subsystem, Part 1*. General Technical Report. USDA Forest Service, Intermountain Research Station, Ogden, UT, pp. 1-130.
- ANDREWS P.L., 1987 – *The national fire danger rating system as an indicator of fire business*. In: 9th Conference on fire and forest meteorology, S. Diego, 57-62.
- BLASI C., 1999 – *Clima e fitoclima*. In: Pignatti S., *I boschi d'Italia, sinecologia e biodiversità*. Torino, UTET.
- BOVIO G., 1991 – *La protezione dagli incendi boschivi nella pianificazione forestale*. In: *Il bosco e i suoi valori: esperienze e prospettive per la pianificazione forestale*. UNIF, Brasimone.
- BOVIO G., CAMIA A., 1995 – *Criteria and Approaches to Fire Danger Zoning and Priority Zoning*. Scientific Report of Prometheus Project. EC-DGXII, pp. 16.

- BOVIO G., CAMIA A., 1997 – *Land zoning based on fire history*. The International Journal of Wildland Fire, 7 (3): 249-258.
- BRADSHAW L.S., DEEMING J.E., BURGAN R.E., COHEN J.D., 1983 – *The 1978 National Fire-Danger Rating System: Technical Documentation*. General Technical Report. USDA, intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden (Utah), pp. 41.
- BRASS J., LIKENS W.C., THORNHILL R.R., 1983 – *Wildland inventory for Douglas and Carson City Counties, Nevada, using Landsat and digital terrain data*. NASA Technical paper 2137, Moffet Field.
- BURGAN R.E., HARTFORD R.A., 1988 – *Computer Mapping of Fire Danger and Fire Locations in the Continental United States*. Journal of Forestry, 86 (1): 25-30.
- BURGAN R.E., ROTHERMEL R.C., 1984 – *BEHAVE: Fire Behavior Prediction and Fuel Modeling System - Fuel Subsystem*. General Technical Report. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, UT, pp. 1-126.
- BURGAN R.E., SHASBY M.B., 1984 – *Mapping Broad-Area Fire Potential From Digital Fuel, Terrain, and Weather Data*. Journal of Forestry, 82 (4): 228-230.
- BURROUGH P., McDONNELL A., 1998 – *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press, Oxford, pp. 333.
- CAMIA A., 1994 – *Modello sperimentale di combustibile forestale*. In: Giornate di Studio «L'addestramento per la prevenzione e la lotta agli incendi boschivi», Viterbo, 74-85.
- CAMIA A., 1995 – *Impianti di Pino strobo (Pinus strobus L.) e incendi boschivi in Piemonte: modelli di combustibile ed effetto dei diradamenti sul comportamento atteso del fuoco*, Università di Torino: 121.
- CAMIA A., 1996 – *Forest Fuel Modelling and Mapping in Northern Italy*. In: Workshop on Forest Fire Behaviour Modelling and testing, Luso/Coimbra, 41-43.
- CAMIA A., BOVIO G., AGUADO A., STACH N., 1999 – *Meteorological fire danger indices and remote sensing*. In: Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean Basin. Chuvieco E. (Ed.), Springer-Verlag: 39-59.
- CHOU Y.H., 1990 – *Modeling fire occurrence for wildland fire management: a GIS spatial analysis for fire control and prevention*. In: GIS/LIS '90, Anaheim, (California), 440-449.
- CHOU Y.H., 1992 – *Management of wildfire with a geographical information system*. International Journal of GIS, 6 (2): 123-141.
- CHOU Y. H., MINNICH R.A., SALAZAR L.A., POWER J.D., DEZZANI R.J., 1990 – *Spatial Autocorrelation of Wildfire Distribution in the Idyllwild Quadrangle, San Jacinto Mountain, California*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 56 (11): 1507-1513.
- CHUVIECO E., 1999 – *Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean Basin*. Berlin, Springer-Verlag. pp. 212.
- CHUVIECO E., CONGALTON R.G., 1989 – *Application of Remote Sensing and Geographic Information System to Forest Fire Hazard Mapping*. Remote Sensing of Environment, 29: 147-159.

- CHUVIECO E., SALAS F.J., CARVACHO L., RODRÍGUEZ-SILVA F., 1999 – *Integrated fire risk mapping*. In: Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean Basin. Chuvieco E. (Ed.), Springer-Verlag: 61-84.
- CHUVIECO E., SALAS J., 1996 – *Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS*. Int. J. Geographical Information System, 10 (3): 333-345.
- FAO, 1986 – *Wildland fire management terminology*. FAO, pp. 257.
- ICONA, 1990 – *Clave fotografica para la identificación de modelos de combustible*. Ministerio de agricultura pesca y alimentacion. Instituto Nacional para la Conservacion de la Naturaleza (ICONA), Area de Defensa contra Incendios Forestales, Madrid, pp. 11 + foto.
- LEONE V., SARACINO A., DE NATALE F., 1993 – *I modelli di combustibile e la previsione del comportamento del fuoco*. Cellulosa e Carta, 44 (2): 50-58.
- MA-SCN, 2001a – *Fitoclima d'Italia*. In: Completamento delle conoscenze naturalistiche di base (a cura di Blasi C.). Servizio Conservazione della Natura, Ministero dell'Ambiente, Roma. In allestimento.
- MA-SCN, 2001b – *Prevenzione incendi e interventi di recupero nelle aree percorse dal fuoco: definizioni, metodologie e prospettive, per linee guida alle regioni*. Servizio Conservazione della Natura, Ministero dell'Ambiente, Roma. In allestimento.
- MARCHETTI M., REMOTTI D., FINIZIO C., 1987 – *Fasce fitoclimatiche: modello matematico e cartografia automatica*. Monti e Boschi, 1987, 3: 11-16.
- MARCHETTI M., 1994 – *Pianificazione antincendi boschivi: un sistema informativo forestale per la modellistica, la cartografia, le cause, i danni*. MIRAFAF, Roma, pp. 240.
- MARCHETTI M., RICOTTA C., 1994 – *L'impiego dei dati telerilevati per la creazione di un catasto incendi nell'area mediterranea*. Monti e Boschi, 1994 (1): 5-10.
- MARCHETTI M., RICOTTA C., VOLPE F., 1995 – *A qualitative approach to mapping postfire regrowth in mediterranean vegetation with Landsat data*. Int. J. of Remote Sensing, 1995 (16), 13: 2487-2494.
- MARCHETTI M., LOZUPONE G., 1995a – *I modelli di combustibile nella realtà italiana. Primi risultati di una analisi quantitativa*. Monti e Boschi, 46 (1): 51-55.
- MARCHETTI M., LOZUPONE G., 1995b – *Un modello integrato di simulazione del comportamento del fuoco (MIPFfire)*. L'Italia Forestale e Montana, 50 (3): 307-318.
- ROTHERMEL R.C., 1972 – *A Mathematical Model for Predicting Fire Spread in Wildland Fuels*. Research Paper. USDA Forest Service, Intermountain Forest And Range Experiment Station, Ogden, UT, pp. 1-40.
- ROTHERMEL R.C., 1983 – *How to Predict the Spread and Intensity of Forest and Range Fires*. General Technical Report. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, UT, pp. 1-161.
- SALAS F.J., VIEGAS M.T., KYUN I.A., CHUVIECO E., VIEGAS D.X., 1994 – *A local risk map for the council of poiares central Potugal: comparison of GIS and field work methods*. In: 2nd Int. Conf. Forest Fire Research, Coimbra, 691-702.
- SALAZAR L.A., SOTO ESTRADA R.M., RECHEL J.L., 1990 – *Using GIS technology to define wildfire risk in Morelos, Mexico*. In: GIS/LIS 90, Anaheim, (California), 645-653.

- SARACINO A., 1994 -- *I modelli di combustibile e la previsione del comportamento del fuoco in impianti di arboricoltura da legno dell'Italia meridionale*. Dipartimento di Produzione Vegetale - Sezione di Selvicoltura. Potenza, Università degli studi della Basilicata: 65.
- US FISH AND WILDLIFE SERVICE, 1980 -- *Habitat as a basis for environmental assessment*. Division of Ecological Services, US Fish and Wildlife Service, Department of the Interior, Washington, DC 101 ESM.
- VIEGAS D.X., RIBEIRO P.R., MARICATO L., 1998 -- *An empirical model for the spread of a fireline inclined in relation to the slope gradient or to wind direction*. In: 3rd International Conference on Forest Fire Research, Louso-Coimbra, 325-342.
- VIEGAS D.X., VIEGAS M.T., 1993 -- *Development of a fire danger map based on fuel properties for Poiares Council (Portugal)*. Internal Report MINERVE Project. University of Coimbra, pp. 8.