

UN SIT PER LA SIMULAZIONE DELL'EVOLUZIONE SPAZIO-TEMPORALE DI UN INCENDIO BOSCHIVO

Antonio CONDORELLI, Filippo GATTO, Giuseppe MUSSUMECI

(*) Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Facoltà di Ingegneria
Università di Catania, Viale A.Doria 6, 95125 Catania, fax 095/7382247

e-mail: acondor@dica.unict.it; gmussume@dica.unict.it - Settore Geomatica, tel. 095/7382212 095/7382225

Sommario

Il fenomeno degli incendi boschivi ha assunto negli ultimi anni una rilevanza sempre maggiore, con eventi che provocano conseguenze sull'ambiente e sulla vita dell'uomo sempre più gravi. Per garantire la massima efficienza nel controllo degli incendi e nell'ottimizzazione delle risorse (sempre limitate) per le complesse operazioni di spegnimento, occorre dotarsi di strumenti moderni e flessibili che consentano di effettuare realistiche previsioni anche sulle evoluzioni spaziotemporali dei fenomeni.

Nel presente lavoro si presenta un approccio metodologico sviluppato interamente in ambiente GIS, mediante il quale è stato implementato un noto modello di propagazione del fronte di fiamma di un incendio boschivo. La metodologia proposta è stata applicata, sulla base di numerosi parametri caratteristici, al territorio del Comune di Enna ed ha consentito di elaborare specifiche carte tematiche che evidenziano le velocità e la direzione preferenziale di avanzamento del fronte di fiamma di un incendio simulato.

Abstract

The phenomenon of wooden fires has become more and more important in the last years, because of the serious consequences about environment and human life. In order to obtain the highest efficiency for fires control and for the optimization of the (limited) resources for extinguish operations, it is necessary to use modern tools able to elaborate realistic forecast about time and spatial evolution of each phenomenon.

In this paper it is introduced a methodology developed by GIS environment where a well known fire propagation model of a wood has been implemented. The proposed methodology has been applied to the territory of the Common of Enna: the result is a set of different thematic maps that shows, point by point, the velocity and the preferential direction of the simulated fire.

1. Introduzione

Il fenomeno degli incendi boschivi, in Italia così come all'estero, ha assunto negli ultimi anni una posizione sempre più rilevante nelle cronache dei media, anche a causa di una dimensione degli eventi che appare via via crescente. Le condizioni meteorologiche ed il regime idrico di numerose zone del pianeta sembra infatti stiano producendo un clima sempre più secco ed una minore disponibilità di acqua, con conseguente progressivo inaridimento del territorio. In simili condizioni, anche nelle zone storicamente caratterizzate da clima "temperato", si vengono a creare, specie nella stagione estiva, condizioni particolarmente favorevoli per lo sviluppo di incendi, che spesso hanno assunto, negli ultimi anni, dimensioni davvero notevoli.

Tali eventi hanno messo drammaticamente in evidenza non solo gravissime conseguenze sull'ambiente e sul patrimonio boschivo, ma anche condizioni di elevato rischio sui sistemi

antropici (si pensi alle ville devastate in California la scorsa estate) e, addirittura, per la stessa vita umana, come recentemente accaduto, anche in Italia.

In letteratura esistono numerosi modelli di simulazione di incendi boschivi, che consentono, partendo da alcune ipotesi (localizzazione del punto di innesco, ecc.) e dalla conoscenza delle caratteristiche dei luoghi e della vegetazione, di “prevedere” le possibili evoluzioni spazio temporali del fenomeno. Tali discipline trovano nella tecnologia GIS uno strumento ideale di implementazione, cui affidare le onerose e diversificate elaborazioni di calcolo ed analisi, trovando sempre immediato riscontro dal punto di vista cartografico.

Nella memoria si presentano alcuni risultati che sono stati ottenuti mediante l'implementazione in ambiente GIS di un noto modello di simulazione (Rothermel). L'implementazione GIS del modello, applicato al territorio comunale di Enna, ha dato luogo ad una procedura completa che permette di stimare, in tempo reale, le più verosimili modalità di avanzamento di un incendio boschivo. Un simile strumento di analisi e di previsione potrebbe trovare numerosi interlocutori istituzionali, quali i Vigili del Fuoco o le squadre speciali del Corpo della Forestale, che potrebbero essere più efficacemente indirizzati sui luoghi mediante una centrale operativa di coordinamento dotata delle suddette tecnologie.

2. Il modello di Rothermel

Nonostante il costante incremento del numero di incendi boschivi sia legato prevalentemente a fattori antropici, sia l'entità che la modalità di propagazione di un evento dipendono da una serie di fattori di tipo topografico, meteorologico e vegetazionale che devono necessariamente essere gestiti e analizzati simultaneamente. Esigenze di questo tipo trovano sicuramente riscontro nella tecnologia GIS, che si presta bene all'implementazione di modelli di diffusione che consentono di effettuare una simulazione dell'avanzamento del fronte di fiamma.

Il modello di diffusione utilizzato è quello di Rothermel, uno dei più accreditati in letteratura, che è stato sviluppato su una base fortemente teorica, applicando il principio di conservazione dell'energia su un sistema costituito da un volume elementare di combustibile. La risoluzione dell'equazione di Rothermel permette di determinare la velocità di avanzamento del fronte di fiamma di un incendio di tipo radente che si propaga in strati superficiali, uniformi, continui e adiacenti al suolo, costituiti da combustibile vivo e morto. Nell'equazione di Rothermel la velocità di propagazione del fronte di fiamma, R [ft./min], è data dal rapporto tra la quantità di calore ricevuto dal combustibile e la quantità di calore necessaria a portare lo stesso alla temperatura di accensione:

$$R = \frac{I_R \cdot \xi \cdot (1 + \phi_w + \phi_s)}{\rho_b \cdot \varepsilon \cdot Q_{ig}} \quad [1]$$

dove:

I_R = intensità di reazione [B.t.u./ft.² min];
= coefficiente di propagazione del flusso;

w = fattore di ventosità;

s = fattore di declivio;

ρ_b = densità effettiva [lb/ft.³];

= indice di riscaldamento efficace;

Q_{ig} = calore di preaccensione [B.t.u./lb].

Detta equazione è risolvibile solo se alcune caratteristiche fisiche del combustibile vengono descritte in termini numerici. Alcune di queste variabili devono essere ricavate direttamente tramite rilievi in situ, altre possono essere ricavate dalle prime utilizzando relazioni empiriche.

Per simulare il comportamento delle differenti specie nei confronti del fuoco sono stati dunque elaborati in letteratura appositi *modelli di combustibile*, che descrivono i parametri delle coperture

vegetali tipo che hanno rilevanza nella combustione e nella trasmissione del calore. Nella fattispecie, sono stati utilizzati undici differenti modelli su tredici disponibili in letteratura, ciascuno legato ad una determinata tipologia di copertura ed uso del suolo. Gli undici modelli possono essere raggruppati in quattro categorie principali (erbacei (pascoli o praterie), arbustivi, lettiere di boschi, residui di utilizzazioni forestali) e servono per l'utilizzo di algoritmi matematici atti a prevedere la diffusione degli incendi. In particolare, i modelli forniscono tutti i dati di input necessari per valutare, attraverso opportune relazioni analitiche, i parametri di caratterizzazione del combustibile, ovvero tutti i fattori sopra elencati con l'esclusione di w e s (ventosità e declivio).

Sulla base degli input derivati dagli undici differenti modelli di combustibile è stata dunque effettuata una elaborazione preliminare in ambiente Matlab, che ha condotto alla valutazione della velocità R secondo la [1], supponendo per ϕ_w una velocità media del vento costante ricavata dalla norma UNI 10349 per l'area di studio (Provincia di Enna) ed un fattore di declivio ϕ_s anch'esso costante e valutato con riferimento ad un pendio ideale inclinato 45°.

3. Simulazione in ambiente GIS di un incendio boschivo

L'applicazione qui presentata è stata sviluppata con riferimento ai limiti amministrativi del territorio comunale di Enna, spesso duramente colpito da incendi negli ultimi anni (cfr. figura 2). Come base cartografica è stata utilizzata la Carta Tecnica Regionale (CTR) alla scala 1:10000 ed una Carta dell'uso del suolo prodotta dalla Regione (cfr. figura 1).

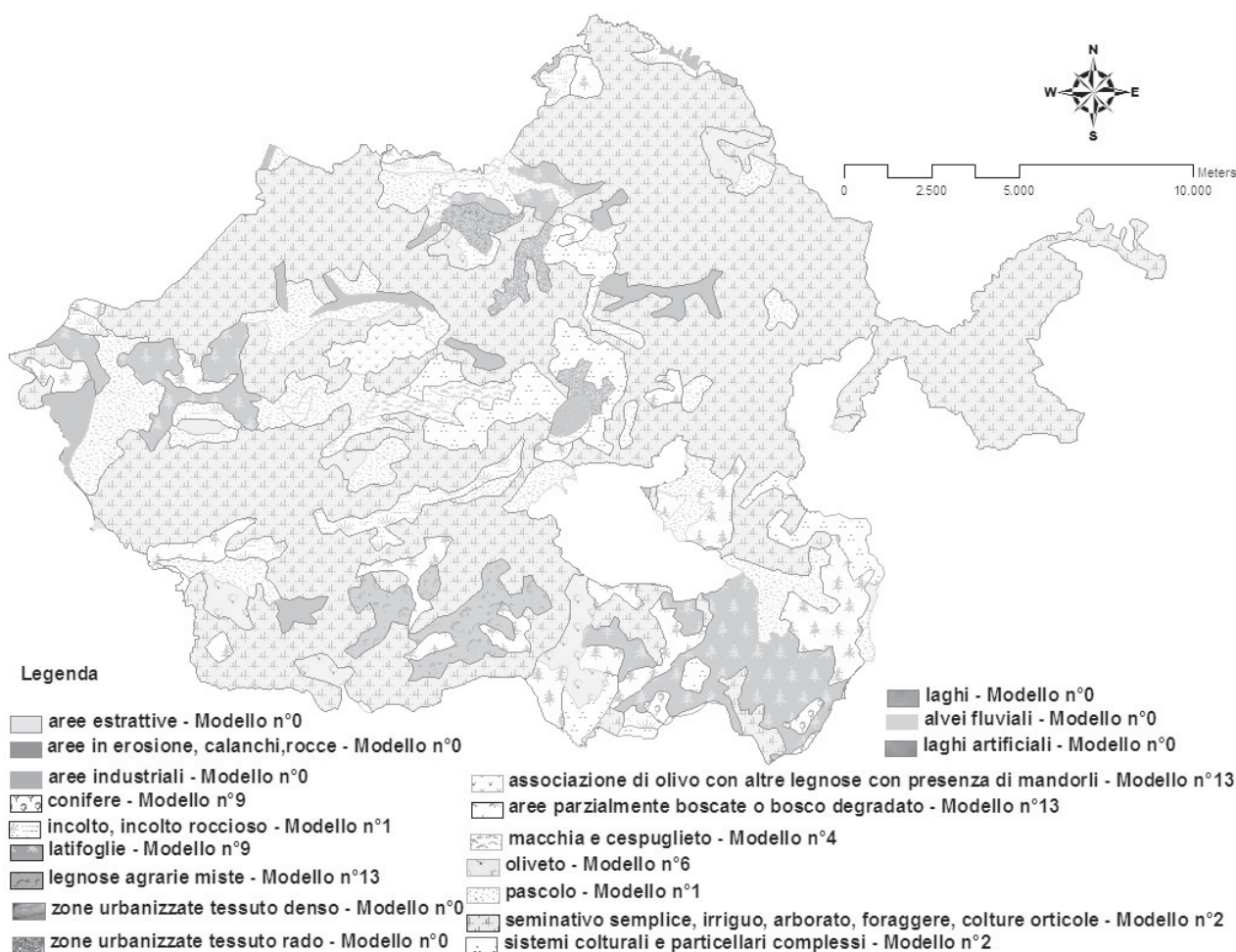


Figura 1 – Carta d'uso del suolo del territorio del Comune di Enna e caratterizzazione dei modelli di combustibile corrispondenti a ciascuna tipologia

I dati dei modelli di combustibile ottenuti attraverso le elaborazioni Matlab precedentemente descritte sono stati correlati alla carta dell'uso del suolo (cfr. figura 1) attraverso la funzione *Join*. Gli elementi poligonali vettoriali, ciascuno caratterizzato da un opportuno modello di combustibile, sono stati dunque convertiti in GRID in modo da poter tenere conto nella valutazione delle velocità *R* anche degli effetti della pendenza. A tal fine è stato utilizzato un modello digitale del terreno (DTM) disponibile, a risoluzione 40 metri, sul quale è stata impiegata la funzione *slope* di *Spatial Analyst*, dando luogo ad un nuovo GRID, in cui ad ogni cella è associato il valore medio della pendenza del terreno. I valori di *R* calcolati precedentemente in Matlab considerando un fattore di declivio ideale e costante, sono stati ulteriormente elaborati in ambiente GIS, applicando ancora la [1] e tenendo conto anche del contributo dovuto alla pendenza reale del terreno. Il risultato è stato ottenuto tramite la funzione *Raster Calculator* e consiste un nuovo GRID in cui ogni cella è caratterizzata dal valore della velocità *R* del fronte di fiamma in [ft/min], successivamente convertito in [m/min].

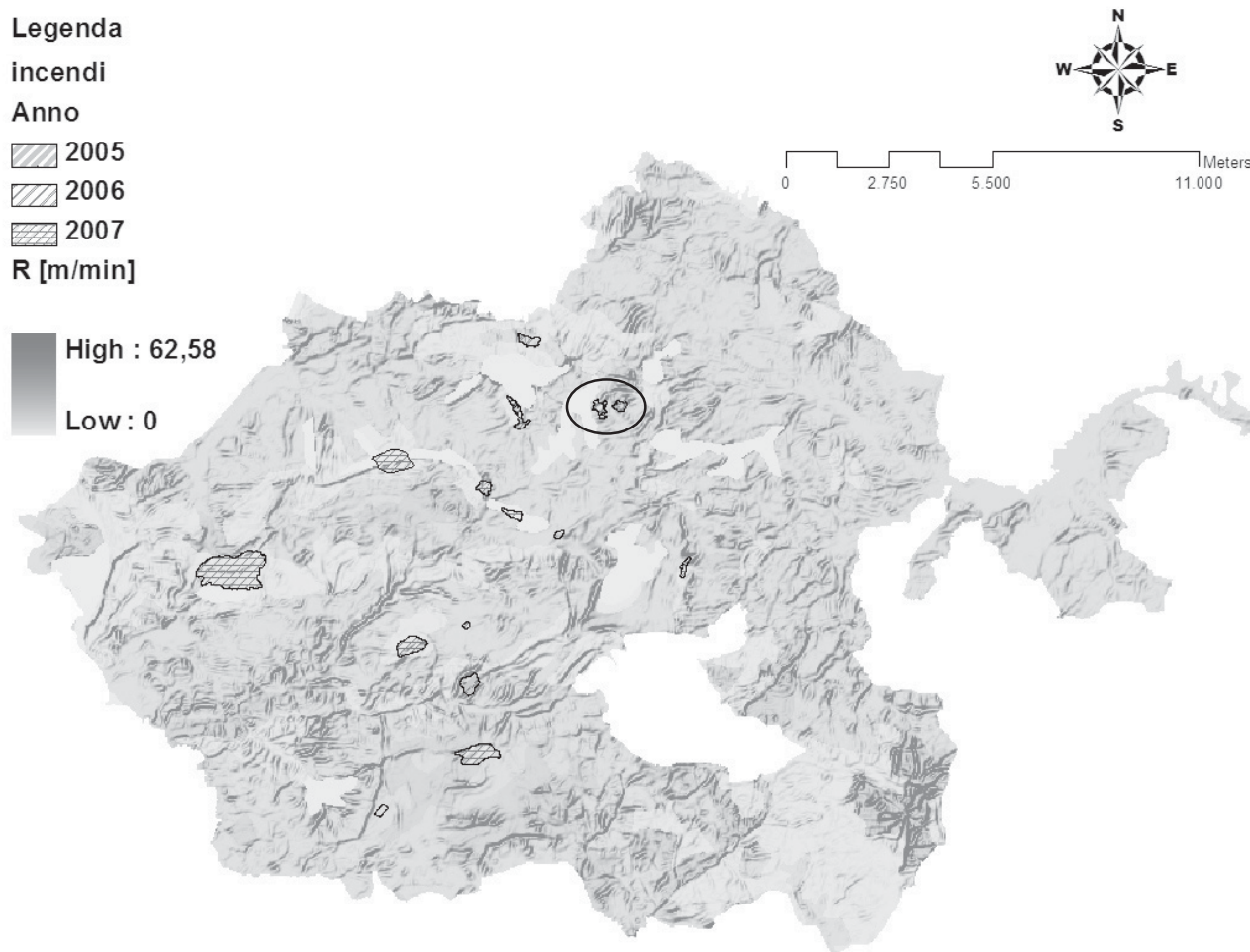


Figura 2 - Velocità di propagazione del fronte di fiamma ed aree bruciate nel 2005-07
Il cerchietto indica il punto sul quale è stata effettuata la simulazione (contrada Baronessa)

Poiché la modellazione utilizzata necessita della definizione di una origine puntuale dell'incendio, avendo a disposizione le aree percorse dal fuoco negli anni 2005-2007, si è pensato di ipotizzare come possibili punti di innesco i baricentri di tali poligoni. Evidentemente queste posizioni sono del tutto arbitrarie, anche se il reale punto d'innesco è stato certamente interno a detti poligoni. Per determinare i tempi di avanzamento e le distanze percorse dal fronte di fiamma alcune funzionalità del pacchetto software *ESRI ArcGIS® 9.2* della estensione *Spatial Analyst* si sono

rivelate strumento di indubbia utilità e assoluta efficacia. Una prima elaborazione è stata condotta per creare un tematismo GRID alle cui celle è associato l'inverso delle velocità R precedentemente calcolate. Detto passaggio risulta necessario perché la funzione *Cost Weighted*, che verrà utilizzata successivamente, necessita di un GRID di input rappresentativo dei valori della funzione "costo" da utilizzare. In altre parole, la velocità R è una grandezza tanto maggiore quanto più agevole è la possibilità di movimento del fronte di fiamma, mentre qui occorre una grandezza che funzioni in maniera esattamente inversa, ovvero come una "impedenza", che sia tanto maggiore quanto più difficoltoso risulti l'avanzamento del fronte. In questo modo, inoltre, visto che la funzione *Cost Weighted* opera effettuando una sorta di prodotto pesato tra il valore di impedenza [min/m] di ciascuna cella e la corrispettiva distanza geometrica [m] dal presunto punto di innesco, ciò che si ottiene, dal punto di vista dimensionale, è un tempo. Dopo aver ipotizzato una posizione di origine dell'incendio, il GRID che si ottiene applicando come sopra esposto la funzione *Cost Weighted* è costituito da una serie di celle il cui valore rappresenta il tempo, espresso in minuti, necessario affinché la stessa cella venga raggiunta dal fuoco a partire dal punto d'innesco considerato.

I tematismi fin qui ottenuti forniscono una mappatura dei tempi necessari al fronte di fiamma per raggiungere ciascuna cella, note la velocità del vento ed il punto di origine dell'incendio. Facendo uso della funzione *Shortest Path* è stato possibile spingere ulteriormente l'analisi spaziale, determinando l'insieme di celle di minimo costo lungo alcune direzioni preferenziali e, quindi, il più probabile percorso intrapreso dal fronte di fiamma durante l'evoluzione spaziotemporale dell'incendio. In questo caso la più probabile linea d'avanzamento del fuoco è individuata da una serie di celle successive e contigue non rappresentative della reale ampiezza del fronte, ma della più verosimile direzione d'avanzamento. Ipotizzando quattro scenari possibili con quattro direzioni prevalenti del vento (Nord, Est, Sud, Ovest), è stato possibile determinare i quattro più probabili percorsi del fuoco corrispondenti. Ove si intendesse simulare un evento caratterizzato da uno o più cambi di direzione del vento, è possibile fissare nuove origini "virtuali" al momento del cambio dell'orientamento e, da questi punti, ricalcolare i GRID dei tempi di avanzamento con i nuovi riferimenti. La funzione *Contours*, mediante la quale sono state estrapolate curve isocrone rappresentanti il luogo dei punti che richiedono lo stesso tempo per essere raggiunti dal fuoco, permette infine di conferire maggiore leggibilità alle cartografie tematiche prodotte.

Le elaborazioni effettuate hanno dunque consentito lo sviluppo di una serie di tematismi che, opportunamente correlati alla cartografia di base, permettono di produrre specifiche carte tematiche rappresentanti il tempo necessario per l'innesco dei diversi punti rappresentati e le linee preferenziali di avanzamento, noti l'origine dell'incendio e la direzione del vento. Nella figura 3 si riporta, a titolo d'esempio, una di queste carte tematiche relative alla zona di contrada Baronessa, individuata in figura 2 con un cerchietto.

4. Conclusioni

Nell'ambito del presente lavoro è stata proposta una metodologia per la simulazione in ambiente GIS di un incendio boschivo, con lo scopo di prevederne l'evoluzione spaziotemporale, determinando preventivamente i più probabili percorsi di avanzamento del fronte di fiamma.

L'applicazione è stata sviluppata con particolare riferimento al territorio comunale di Enna, già interessato negli ultimi anni da numerosi eventi e del quale si è avuto modo di disporre di numerosi dati tra cui una carta dell'uso del suolo, un modello digitale del terreno, adeguata cartografia di base, nonché le perimetrazioni delle aree combuste negli ultimi anni.

Tali dati sono stati utilizzati per l'implementazione, in ambiente GIS, di un noto modello di propagazione del fronte di fiamma (Rothermel), basato anche sulla individuazione di specifici modelli di combustibile che caratterizzano l'area di studio. Il modello di Rothermel è stato implementato con le funzionalità tipiche del GIS ottenendo come risultato un GRID alle cui celle è associato il corrispettivo valore della velocità di diffusione del fuoco.

Ulteriori analisi spaziali hanno consentito di produrre anche mappe tematiche dei tempi necessari all'innesco e delle linee preferenziali di avanzamento dell'incendio considerato.

La metodologia proposta rappresenta una componente importante di un progetto più ampio di pianificazione e gestione delle emergenze sul territorio: la modellazione del fenomeno incendio e la simulazione dell'evento in tempo reale offrirebbero infatti notevoli vantaggi agli enti preposti alle operazioni di controllo e spegnimento degli incendi.

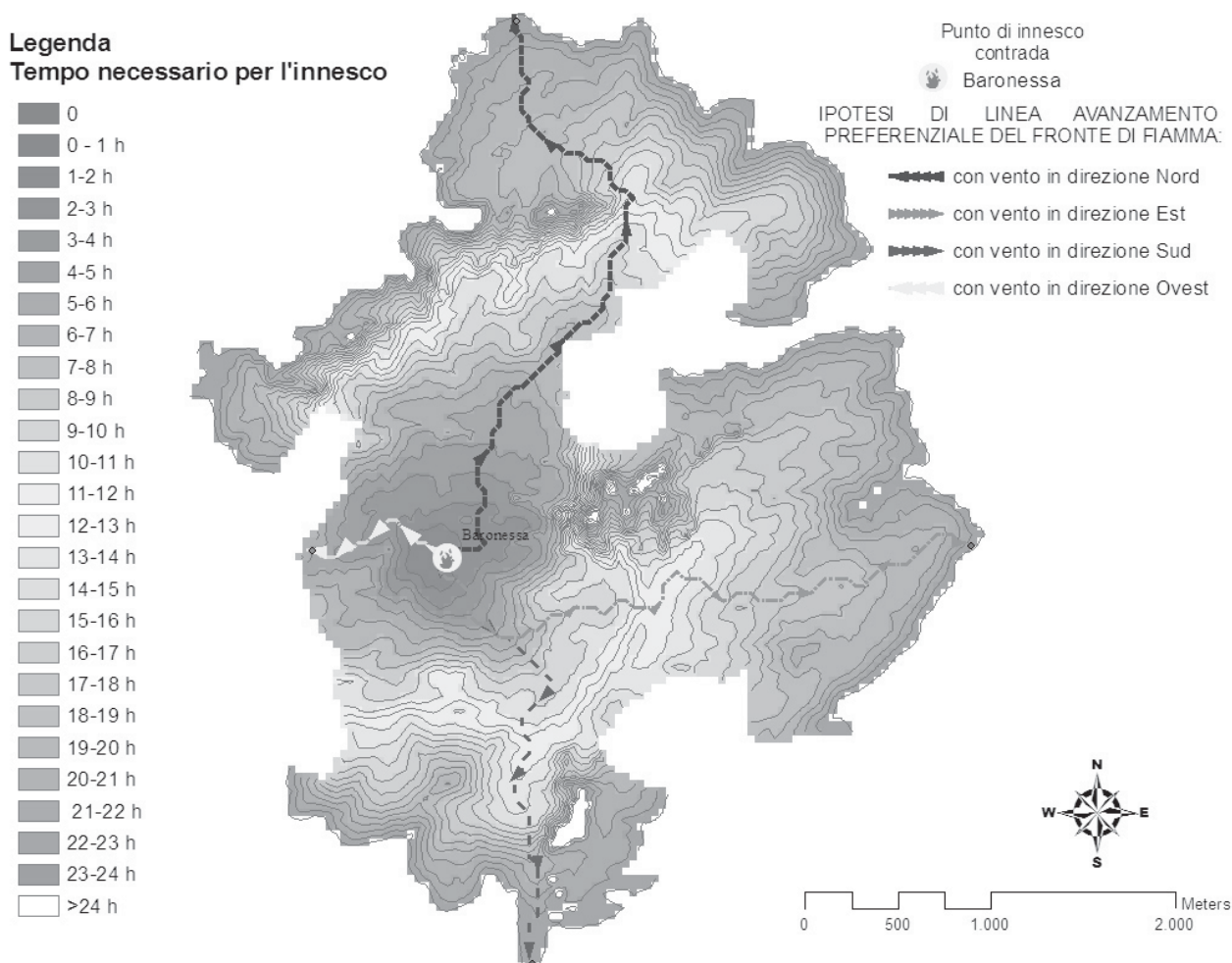


Figura 3 - Tempi necessari per l'innesco e percorsi preferenziali di avanzamento del fronte di fiamma. Le curve di isotempo uniscono le celle che potrebbero essere raggiunte nello stesso tempo a partire dalla stessa origine

Bibliografia

- Rothermel, R.C. (1972), "A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels", General Technical Report INT-115, USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station.
- Mussumeci G., Leone L., Colombrita F., Condorelli A., (1999): "Simulazioni in ambiente GIS della funzionalità della rete stradale etnea in caso di incendio" – 3a Conferenza nazionale ASITA, "Informazioni territoriali e rischi ambientali" – Napoli, novembre 1999.
- G.Mussumeci G., Condorelli A. (2001) - "Gestione dell'emergenza incendio. Un GIS per la previsione dell'avanzamento del fronte di fuoco e la determinazione dei percorsi di avvicinamento ai fini delle operazioni di spegnimento" – Documenti del Territorio n° 48/2001
- Blasi C., Bovio G. et alii (2004) – "Incendi e complessità ecosistemica dalla pianificazione forestale al recupero ambientale" - Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio, Direzione per la protezione della natura