

Qualità dei modelli digitali del terreno per la valutazione del rischio nella gestione degli incendi boschivi

Daniele Cagliero^(a), Cristiana Dell'Erba^(a), Nives Grasso^(b), Maria Angela Musci^(b), Francesca Noardo^(b), Marco Piras^(b), Vittorio Verda^(a), Claudia Vivalda^(a)

(a) Politecnico di Torino, DENERG, C.so Duca degli Abruzzi 24, 10129, Torino,
011-090(4461), nome.cognome@polito.

(b) Politecnico di Torino, DIATI, C.so Duca degli Abruzzi 24, 10129, Torino,
011-090(7700,7657,7661), nome.cognome@polito.

Riassunto

Il fenomeno degli incendi boschivi nell'area mediterranea costituisce un pericolo per la sicurezza e la salvaguardia del nostro patrimonio naturale e di vite umane. *Prevention, preparedness e mitigation* sono gli obiettivi su cui si devono basare le strategie volte alla riduzione dei danni causati dagli incendi boschivi sull'ambiente circostante. La valutazione del rischio preventiva ed in tempo reale si inserisce in questo contesto come uno strumento rilevante sia per la pianificazione sia per la gestione degli eventi successivi allo scoppio dell'incendio. Lo scopo di tale analisi risulta la previsione di possibili scenari legati all'incendio potenziale o reale con l'individuazione delle aree a rischio più elevato.

Esistono vari modelli per la valutazione del rischio essenzialmente basati su un approccio di simulazione Monte Carlo, ma in questo caso si è fatto ricorso a specifici modelli numerici di propagazione di incendi, sviluppati nell'ambito del progetto europeo AF3 (Advanced Forest Fire Fighting – www.af3project.eu). Tali modelli vengono stimati considerando differenti parametri (es. direzione vento, intensità, tipo combustibile e umidità) a cui si aggiungono informazioni topografiche e del suolo, quali mappe di copertura e uso del suolo e le caratteristiche geo-morfologiche del sito rappresentate principalmente nei modelli digitali del terreno (DTM).

L'obiettivo del presente lavoro è studiare quali siano le correlazioni tra precisione e risoluzione del DTM impiegato ai fini della valutazione del rischio e la qualità del risultato ottenuto, in termini di carico computazionale e di accuratezza delle analisi. A tale scopo è stato considerato un caso studio, in cui sono stati stimati differenti modelli di rischio.

Abstract

In the Mediterranean area, the forest fires represent a danger to the security and safety of our natural heritage and human lives. "Prevention, preparedness and mitigation" are aims on which must be based the strategies to reduce damages caused by forest fires. In this context, predictive risk assessment and the ones in real-time are important tools for both planning and for the management of operations on field during fires. The purpose of this analysis is prediction of possible scenarios related to real or potential fires by the identification of the most "high-risk" areas.

There are a lot of models for the evaluation of risk assessment, based on a Monte Carlo simulation approach. However, in this case, especially were used numerical models of fires spread. These models, were developed within the European project AF3 (Advanced Forest Fire Fighting-www.af3project.eu). These models are estimated based on different parameters (e.g. wind direction, intensity, fuel type, fuel moisture). In addition, it important to consider information about topography and land use, such as land cover and land use maps, and geo-morphological characteristics of the site represented mainly in digital terrain models (DTM).

The goal of this research was to study the effects of the accuracy and the resolution of the DTM, used in the risk analysis and the quality of in terms of computational load and accuracy of analysis. For this purpose, has been considered a test case, in which have been estimated different risk models.

Introduzione

Negli ultimi decenni, la comunità internazionale ha largamente riconosciuto l'importanza dell'utilizzo di strumenti per la stima preventiva dell'evoluzione e dei rischi correlati dovuti alle più importanti calamità naturali (III UN World Conference in Sendai, 2015). Tali strumenti forniscono un utile supporto nella pianificazione, prevenzione e mitigazione dei danni causati anche da incendi boschivi su larga scala. Allo scopo di migliorarne la gestione, all'interno del progetto europeo AF3 (*Advanced Forest Fire Fighting* – www.af3project.eu) sono stati sviluppati due diversi software per calcolare il rischio di incendio boschivo. Il primo tool è dedicato alla simulazione preventiva, per stimare il rischio per vegetazione e popolazione per le successive 24 ore. Il secondo tool è finalizzato alla simulazione in tempo reale, e consente di calcolare il rischio per vegetazione e popolazione mentre l'incendio è in corso.

Ciascuno di questi due software, per compiere le analisi, necessita come input di informazioni cartografiche da cui estrarre parametri come, ad esempio, pendenza del terreno, esposizione, distribuzione e classificazione della vegetazione. Questi dati vengono forniti al software sotto forma di dati raster (.tiff o .geotiff), in particolare la topografia come modello digitale del terreno (DTM) e la vegetazione come modelli di combustibile.

Partendo da brevi cenni sulla valutazione del rischio e da una descrizione dei modelli di simulazione implementati, l'obiettivo del seguente lavoro, è stato quello di valutare la correlazione tra le risoluzioni delle mappe di input e il risultato finale delle analisi di rischio. Tale analisi è stata svolta considerando i tempi computazionali e l'accuratezza delle analisi. Al fine di mostrare i risultati ottenuti sono stati eseguiti dei test su un'area campione. Attraverso un confronto dei risultati delle diverse analisi di rischio preventiva e real-time, è stato possibile individuare gli effetti dell'utilizzo di DTM a differenti risoluzioni sulla stima dei modelli di rischio.

Valutazione del rischio

La definizione di rischio per evento incendio è univoca: rappresenta la combinazione tra la possibilità (frequenza o probabilità) che una certa punto della regione interessata venga colpito dall'incendio e il danno che il fuoco potrebbe provocare nell'area in cui l'incendio si propaga (C.C. Hardy, 2005). Per la valutazione di probabilità, frequenza o rischio di incendio, i metodi attualmente diffusi sono sia di tipo qualitativo che quantitativo. Vengono nella maggior parte dei casi utilizzati per la previsione di incendi su lunghi periodi di tempo (mesi o anni) allo scopo di prevenirli con un'adeguata pianificazione (Hardy, 2005). Riferimenti ugualmente attendibili, mancano se ci si riferisce ad una valutazione del rischio real-time, volta quindi a fornire supporto durante le operazioni anti-incendio.

I metodi per l'analisi del rischio, infatti stimano in prevalenza la frequenza degli incendi per area di interesse considerata o la probabilità che una certa area bruci (cd. "*burn probability*"), in base al punto di innesco e al danno.

I metodi più utilizzati di simulazione della frequenza e probabilità di incendio, utilizzano strumenti GIS (*Geographic Information System*)-based e analisi multi-criterio al fine di produrre delle mappe di rischio. In alternativa vengono utilizzate routine di *geoprocessing* basate su algoritmi in grado di interpretare mappe di input (Gai, Weng, & Yuan, 2016). I fattori predisponenti considerati per la valutazione del rischio sono comunemente declinati in relazione a tre grandi macro-categorie, esplicitate come aspetto topografico, clima e copertura ed uso del suolo (Figura 1).

Tra questi fattori che influenzano il comportamento del fuoco, la topografia può considerarsi l'unica costante a lungo termine. I dati topografici, che direttamente intervengono nel processo di analisi, sono pendenza, elevazione e esposizioni. Essi vengono generati a partire da un DTM visualizzato come raster. Pendenza, elevazione ed esposizione influenzano la velocità di propagazione del fuoco e la temperatura e l'umidità dell'aria e del suolo. Le mappe di uso del suolo sono necessarie per determinare il comportamento del fuoco e l'intensità del fronte fiamma e quindi fornire un quadro completo della vegetazione. Mentre la mappa di densità di popolazione è indispensabile per stimare il danno potenziale.

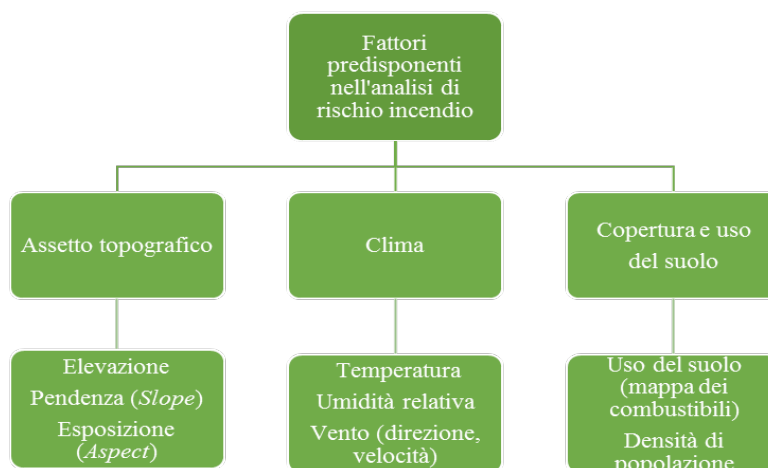


Figura 1 Fattori predisponenti nell'analisi del rischio (Serafini, 2014).

Questi dati, inseriti in un opportuno modello di simulazione della propagazione dell'incendio (Gabban, San-Miguel-Ayanz, & Viegas, 2008), permettono di valutare l'andamento dell'incendio (direzione di propagazione, area interessata dall'incendio, ecc.). I modelli di simulazione, ancora in fase di sviluppo, trovano nel modello deterministico presentato da Rothermel (1972) quello, oggi, più utilizzato. Applicando al modello di Rothermel il metodo Monte Carlo è possibile calcolare la probabilità di incendio nel lungo termine in una data area.

Si ottengono in questo modo mappe ad alta risoluzione (in formato .tiff o .geotiff) che consentono di visualizzare frequenza e probabilità di incendio. Tali mappe, opportunamente sovrapposte mediante una funzione di *overlay*, consentono di produrre la carta finale del rischio inteso come probabilità o frequenza d'incendio.

Modelli di simulazione del rischio boschivo

A partire da quanto descritto precedentemente e per rispondere alla necessità di effettuare un calcolo completo del rischio, si è scelto un approccio basato sull'implementazione di modelli di simulazione di propagazione incendio e di stima del rischio, partendo da variabili al contorno predefinite. A tale scopo, ci si è basati sul metodo sviluppato nel progetto AF3 (*Advanced Forest Fire Fighting*) che ha tra gli obiettivi quello di stimare delle mappe di rischio di incendio boschivo, cioè considerando l'integrazione tra possibilità di incendio ed danno.

Questa informazione viene utilizzata nel sistema integrato di supporto alla decisione, sia per interventi in tempo reale che in prevenzione nel brevissimo termine (24 ore). Sono stati sviluppati due modelli con scopi differenti: il primo per la valutazione del rischio preventiva per le successive 24 ore e il secondo per l'analisi in tempo reale dopo l'innesco dell'incendio.

I metodi utilizzati sono simili per quanto riguarda la determinazione del danno, ma cambiano le condizioni al contorno e di vincolo. Infatti, nel caso dell'analisi del rischio preventiva, la possibilità che l'incendio si produca è funzione della probabilità d'innesco e del punto d'innesco dell'incendio e tiene anche conto delle modalità in cui si propaga (Miller & Ager, 2013). La *burn probability* è la probabilità che, note le condizioni meteorologiche e di vegetazione ed il/i punto/i di innesco, l'incendio raggiunga una determinata area. Nel caso della simulazione preventiva bisogna procedere ad una stima dei potenziali punti di innesco a partire dalla frequenza di incendio in tali punti, mentre nella simulazione real-time il punto di innesco è noto e la possibilità di incendio è certa.

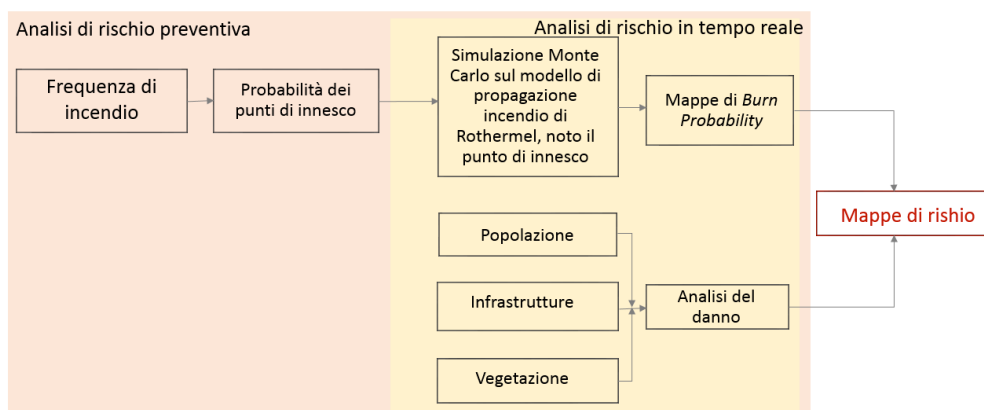


Figura 2 Schema del modello per il calcolo del rischio preventivo ed in tempo reale

I software implementati per l'analisi del rischio, partendo dal calcolo della *fire frequency* e dal calcolo della probabilità di innesco, utilizzano il metodo Monte Carlo applicato ad un software di simulazione della propagazione di incendio sviluppato dal Dipartimento Energia del Politecnico di Torino. Tale software di simulazione si basa sul diffuso modello di propagazione di Rothermel (Rothermel, 1972). In questo modo si ottiene la *burn probability* che combinata con il calcolo del danno fornisce il rischio in ogni cella della mappa, con l'applicazione della formula [1] (Figura 2):

$$R = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p(F_i, ROS_i) [RF_{ij}] [1]$$

Dove:

- $p(F_i, ROS_i)$ è la probabilità che si verifichi un incendio caratterizzato da una determinata intensità di radiazione termica F , che indica la potenza dell'incendio i , e una determinata velocità di propagazione ROS , dalla quale deriva la probabilità che le persone riescano a fuggire dall'incendio.
- RF_{ij} è il danno effettivo provocato dall'incendio i sulla componente ambientale j . La somma per tutti gli incendi i e per tutte le componenti ambientali j dà come risultato il rischio (Finney, 2005).

Questo procedimento, iterato per ogni punto della mappa, consente di produrre una mappa di rischio per la vegetazione, calcolata in danni economici, e una mappa di rischio per la popolazione, calcolata in decessi dovuti all'incendio.

Il caso studio

Al fine di valutare la risoluzione ottimale delle mappe di dati di input per i software descritti, sono stati effettuati dei test su un'area campione: la Sardegna. L'obiettivo di questa valutazione risiede nella volontà di mantenere l'accuratezza dei risultati dell'analisi di rischio, ottimizzando i calcoli attraverso l'introduzione di mappe a risoluzione contenuta.

Sono state prodotte la mappa di combustibili e il DTM partendo dai dati forniti dal Geoportale della Sardegna (<http://www.sardegna.geoportale.it/>). Le mappe di partenza sono state riportate nel sistema di riferimento richiesto dal software di simulazione, WGS84 UTM fuso 32N.

Le mappe originali con risoluzione 10 m, sono state ricampionate con l'algoritmo "Nearest neighbor" a 20m, 40m e 100m (Figura 4). L'algoritmo di ricampionamento è stato scelto in relazione al fatto che la routine di Matlab utilizzata non è ancora ottimizzata e quindi non supporta mappe di dimensioni eccessive. Il passo delle maglie è stato scelto in funzione del tipo di analisi da svolgere, rispettivamente preventiva e real-time.

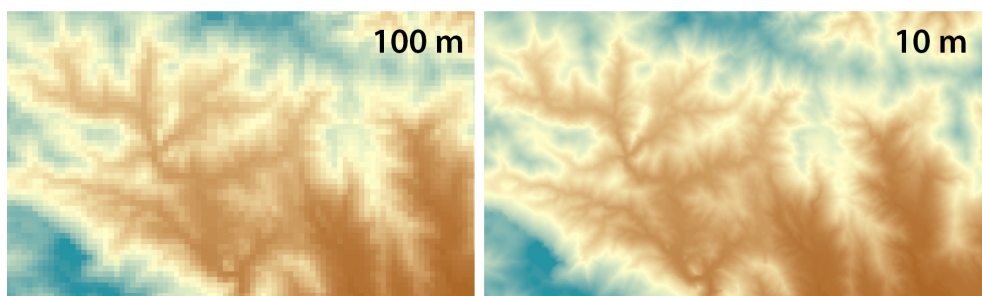


Figura 4 Esempio di Modelli digitali del terreno (100 m – 10m)

Per la produzione della mappa di combustibile è stato necessario rielaborare le mappe cartografiche relative alla vegetazione ottenute dal progetto CORINE (COoRdination of INformation on Environment) Land Cover, disponibili sul Geoportale della Sardegna. Le voci di uso del suolo, organizzate in livelli, sono state estratte a partire dalla fotointerpretazione di immagini satellitari LANDSAT 5 e 7. A partire, quindi, da CORINE (livello 3) è stata effettuata una suddivisione della vegetazione secondo i modelli relativi al combustibile (C. Serafini, 2014).

La Carta dei combustibili della Regione Sardegna è stata realizzata raggruppando le aree con lo stesso tipo di combustibile in base alla classificazione proposta da Anderson (1982) (Figura 5).

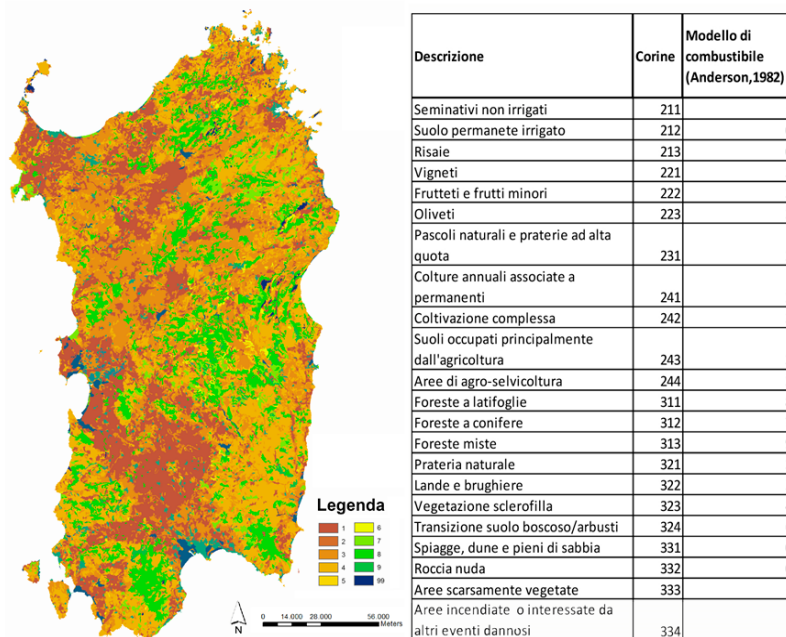


Figura 5 Mappa dei Modelli di combustibile con classificazione di Anderson (1982)

Test 1: Analisi preventiva del rischio

Per la simulazione nel caso di analisi preventiva sono state caricate nel software delle mappe di DTM e dei modelli di combustibile con diverse risoluzioni. Per questo test si è scelto di analizzare l'intera area della Sardegna. In questo modo, non vengono trascurati eventuali punti d'innesco che possano originarsi al di fuori di una prescritta area di interesse ma da cui l'incendio potrebbe propagare fino ad essa. Le mappe con risoluzione 10 m e 20 m sono state escluse dall'analisi in quanto troppo dettagliate in relazione all'incertezza riportata dalle altre variabili in ingresso ed ai tempi computazionali.

Per l'analisi di rischio sono state utilizzate, quindi, mappe di input con maglie a 40 m e a 100 m. In entrambi i casi sono state eseguite 50 simulazioni Monte Carlo per ciascuno dei 500 punti di innesco considerati, per ottenere le mappe di rischio della vegetazione, della popolazione e la *burn probability*. Le opportune valutazioni, quindi sono state fatte confrontando i risultati ottenuti con le mappe a 40 m e quelli ottenuti con le mappe a 100 m (Figura 6). Per far ciò è stato utilizzato ARCGIS e il tool *raster math- minus*.

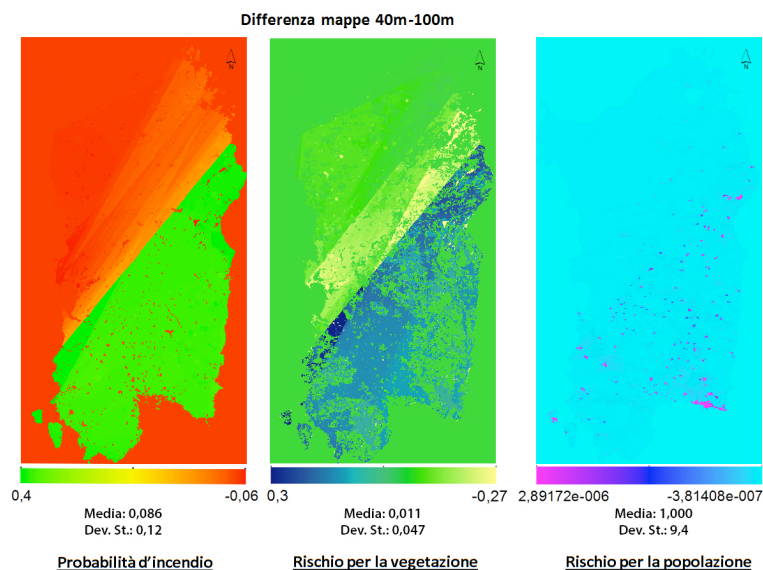


Figura 6 Confronto tra mappe a diverse risoluzioni (40m e 100m).

Test 2: Analisi del rischio real-time

Per quanto l'analisi di rischio real-time, l'area considerata per le valutazioni è stata opportunamente circoscritta. In tal modo è stato possibile aumentare il numero delle simulazioni del metodo Monte Carlo.

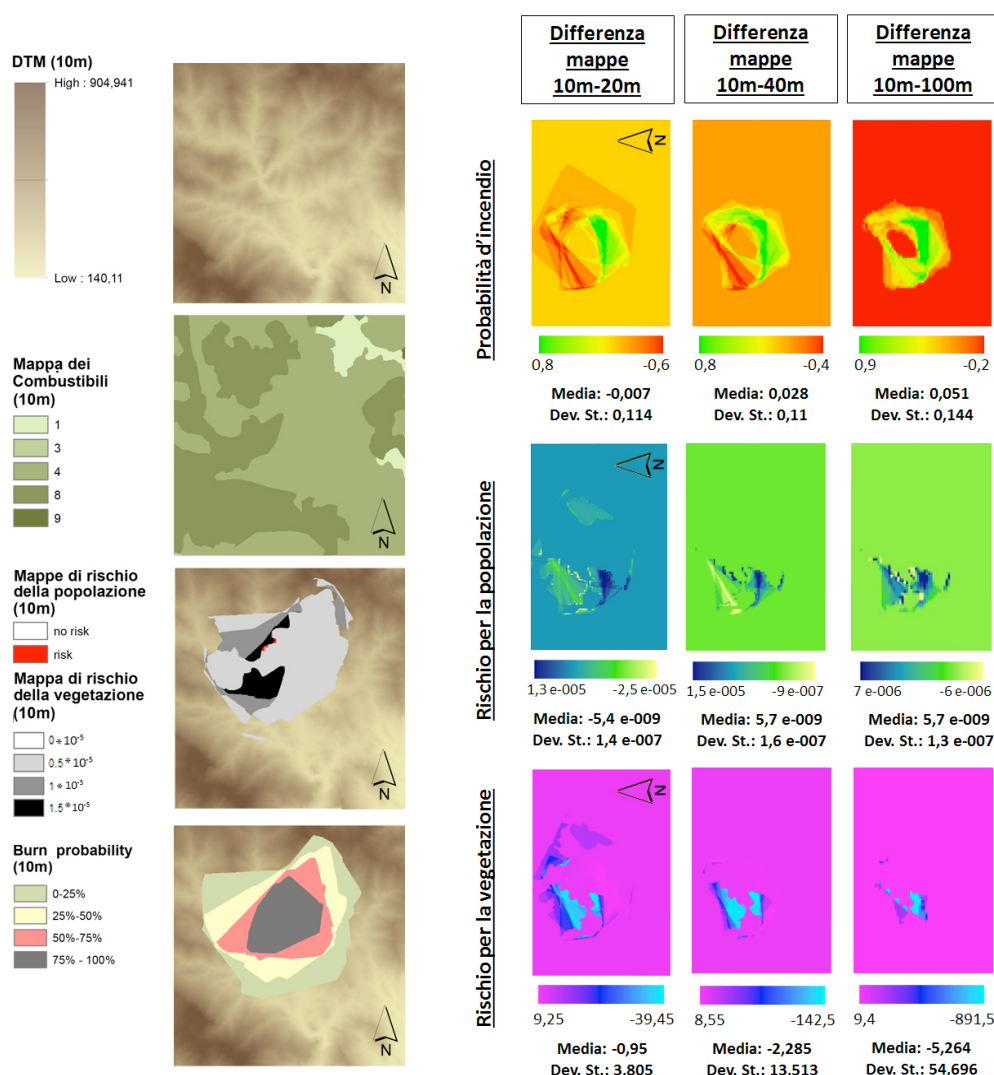


Figura 7 Mappe con risoluzione 10 m (a sinistra). Confronto tra le mappe di rischio con diverse risoluzioni (a destra).

Sono state effettuate, infatti, un numero totale di 200 simulazioni partendo da un punto di innesco prefissato. Inoltre, questa scelta è dettata dal fatto che, diversamente dall'analisi preventiva, quella real-time, deve essere necessariamente più precisa e deve avere un margine di errore molto contenuto. Prendendo come riferimento il risultato ottenuto con il DTM e la mappa di *Fuel Model* con maglia a 10m sono stati eseguiti dei confronti con le mappe a più bassa risoluzione (20 m, 40 m, 100 m), con il *tool* di ARCGIS, già utilizzato per le mappe dell'analisi preventiva. Il risultati ottenuti sono stati sintetizzati in Figura 7.

Discussione dei risultati

Come si evince dalla fase di test, i risultati che si sono analizzati sono differenti tra il caso di analisi preventiva e quello di real-time. Il fine dei software sviluppati è infatti differente: da ciò dipende il grado di precisione richiesto per l'utilizzo dei dati elaborati e contestualmente dei tempi di produzione dell'analisi di rischio. La qualità del modello di rischio ottenuto, come si può notare è strettamente legata alle mappe di input e alla risoluzione.

Nel caso dell'analisi preventiva, si può notare che per un'area di tale estensione, il risultato non è molto influenzato dalla risoluzione. I valori di deviazione standard infatti sono relativamente bassi (Figura 6). Nel caso dell'analisi in real-time, nella mappa di rischio di vegetazione (Figura 7) la differenza di risoluzione, influenza in maniera più significativa il risultato. La deviazione standard, infatti, nel confronto tra l'utilizzo di mappe con passo 10 m e una a 100 m raggiunge un valore di 54,69. Ne consegue che, per questo tipo di analisi, dati di ingresso con una maglia a 100 m non possono essere utilizzati. Lo stesso risultato molto probabilmente si avrebbe anche sul rischio della popolazione, se si applicasse il modello ad una zona più densamente popolata. L'area della Sardegna considerata è poco popolata, quindi a prescindere il rischio è basso e le differenze sui risultati sono poco visibili. Inoltre il fatto che la maglia 100 m sia molto larga rispetto all'estensione dell'area considerata produce una perdita di informazioni (relative all'altezza e alla copertura del suolo) non accettabile. In una zona così montuosa infatti, un ricampionamento con maglia 100m ha un ruolo rilevante per quanto riguarda approssimazione sulle altezze.

Considerando invece i tempi computazionali, nel caso dell'analisi preventiva vi è una enorme differenza tra due casi considerati. Per le analisi con le mappe con maglia a 40 m, sono state impiegate quattro volte le ore delle mappe a 100 m e risultano eccessive per fornire un risultato entro le 24h. Le mappe con maglia 100 m, a parità di risultati, sembrano quindi già sufficienti.

Per l'analisi real-time, si evince che la scelta di mappe con maglia a 40 m è preferibile se l'alternativa è una mappa a 100m. La stessa cosa vale per un confronto sulle tempistiche tra l'utilizzo di mappe a 10 m e a 20 m. In entrambi i casi le differenze di tempo di elaborazione sono poco apprezzabili.

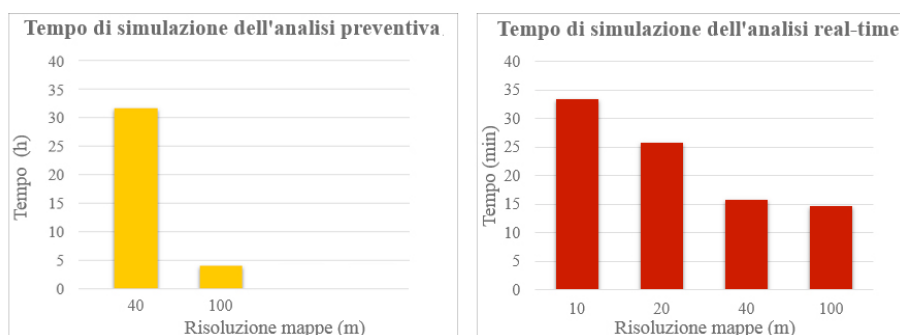


Figura 8 Analisi dei risultati: tempi computazionali: analisi preventiva (a sinistra) e analisi real-time (a destra).

Risulta in ogni caso necessario sottolineare che le tempistiche computazionali sono strettamente legate al tipo di elaboratore utilizzato. In questo caso sono stati utilizzati due pc con le seguenti caratteristiche: sistema operativo: Windows 7 Professional, 64 bit e RAM/processore: Intel Core i7-4790 8 GB.

Conclusioni

Nella gestione di grandi incendi forestali, la previsione del rischio è un aspetto fondamentale. In tal senso, si sta lavorando per l'implementazione di due software che permettano di produrre mappe di rischio preventive e mappe di rischio real-time. In un contesto in cui la velocità di risposta e la qualità dei risultati forniti agli operatori può condizionare la riuscita delle operazioni di antincendio in tutte le sue fasi, i software messi a punto si devono necessariamente confrontare con la qualità dei dati di ingresso. Mappe, nello specifico, con una risoluzione molto alta possono influenzare in maniera rilevante i tempi di elaborazione dei risultati. Ad esempio, nell'analisi real-time, benché l'estensione dell'area non sia così elevata (63.36 km^2), si passa da 15 minuti di elaborazione per mappe con maglia a 100 m a 35 minuti per mappe con maglia 10m. In questo senso si è lavorato per capire quale fosse la risoluzione minima alla quale poter produrre dei dati, in modo tale da velocizzare i tempi computazionali, conservando la qualità del risultato. Nonostante si debba sottolineare che i software per le analisi di rischio sono ancora dei prototipi in via di sviluppo, che pur fornendo dei risultati attendibili necessitano delle ottimizzazioni numeriche per contenere i tempi di calcolo e permettere l'esecuzione di un numero di simulazioni MC significativo.

Concludendo, quindi, per l'analisi di rischio preventiva, non potendo rinunciare ad una visione di insieme e dovendo fornire risultati indicativi e quindi con minore precisione, si potrebbe pensare all'utilizzo di mappe di input con al massimo una passo di 40 m. Diversamente per l'analisi real-time, dovendo mappare le possibili propagazioni di un incendio in corso ed il relativo rischio associato, il calcolo utilizza una mappa di estensione inferiore centrata intorno al punto di innesco e quindi sembra non si possa prescindere dall'utilizzo di un dato di partenza con maglia a 10 m.

Ringraziamenti

La ricerca presentata in questo articolo fa parte del Progetto AF3 (Advanced Forest Fire Fighting). Si ringraziano quindi tutti coloro che vi partecipano. Gli Autori ringraziano il CVVFF di Cagliari per aver messo a disposizione i dati e il Dott. Carpignano per la condivisione della Sua conoscenza in analisi del rischio.

Bibliografia

- Finney, M. (2005). *The challenge of quantitative risk analysis for wildland fire*. Forest Ecological Management, 97-108.
- Gabban, A., San-Miguel-Ayanz, J., & Viegas, D. X. (2008). *Assessment of Forest Fire Risk in Europea Mediterranean Region: COmparison of satellite-derived and meteorological indices*. JRC Scientific and Technical Reports.
- Gai, C., Weng, W., & Yuan, H. (2016). *GIS-Based Forest Fire Risk Assessment and Mapping*. Tsinghua University: Department of engineering Physics, Institute of Public Safety Research.
- Golia, E. (2013). *Analisi di rischio e vulnerabilità territoriale nell'ambito multi-rischio. Integrazione di rischio tecnologico e rischio naturale*. Politecnico di Torino.
- Hardy, Colin C., (2005). *Wildland fire hazard and risk: Problems, definitions, and context*. In: Forest Ecology and Management. Larry L. Irwin and T. Bently Wigley Ed., USA, 11: 76-80. Disponibile on-line: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037811270500040X> (10/09/2016)
- Miller, C., & Ager, A. (2013). *A review of recent advances in risk analysis for wildfire management*. International Journal of Wildland Fire, 1-14.
- Rothermel, R. (1972). A mathematical model for predicting fire spread. 1-48.
- SardegnaGeoportale: <http://www.sardegnageoportale.it/> (12/03/2016)
- Serafini Camilla, (2014). *Il sottosistema cartografico per la rappresentazione del territorio*. Il sistema di telerilevamento e video sorveglianza degli incendi boschivi nelle Regioni Puglia e Calabria. Istituto Superiore Antincendio. Roma, 4: 45-51.