ROLANDO RIZZOLO (*)(°) - MICHELE SALIS (**) - VALENTINA BACCIU (***)
EMANUELE LINGUA (****) - FRANCESCO RECH (*****)
ANTONIO BROGNARO (*) - MASSIMO BACCHINI † (*)

LA MAPPATURA DEL RISCHIO DI INCENDI BOSCHIVI BASATA SULLA PREVISIONE DEL COMPORTAMENTO DEGLI INCENDI. APPLICAZIONE NELLA REGIONE DEL VENETO ([1])

(*) Regione del Veneto.
(**) Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Biometeorologia di Sassari (CNR-IBIMET).
(***) Fondazione CMCC - Centro Euro Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici; Università di Sassari.
(****) Dipartimento del Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova.
(*****) Agenzia Regionale per la Protezione e Prevenzione Ambientale del Veneto.
(°) Autore corrispondente; rolando.rizzolo@regione.veneto.it

Vista la rilevanza che il problema degli incendi boschivi ha in Italia, risulta quindi quanto mai necessario migliorare gli strumenti a disposizione per la prevenzione degli incendi boschivi, a partire da una corretta e dettagliata valutazione del rischio. Attualmente, la maggior parte dei piani AIB a livello nazionale non considerano, o considerano solamente con metodi empirici, il comportamento e la propagazione potenziale degli incendi per caratterizzare il rischio di incendio. In questo lavoro, si presenta la metodologia adottata dalla Regione del Veneto per la mappatura del rischio di incendi boschivi. L'applicazione della simulazione della propagazione degli incendi ha permesso di realizzare mappe di rischio con elevato dettaglio e di ottenere importanti informazioni sulle potenzialità di incendio che altrimenti non sarebbero state disponibili con metodi empirici.

Parole chiave: incendio boschivo; valutazione rischio; combustibili forestali; propagazione del fuoco; pianificazione aib; cartografia aib.
Key words: forest fire, wildfire, fire behavior, forest fire risk, forest planning, wildfire risk assessment.

Citazione: Rizzolo R., Salis M., Bacciu V., Lingua E., Rech F., Brognaro A., Bacchini M., 2020 - *La mappatura del rischio di incendi boschivi basata sulla previsione del comportamento degli incendi. Applicazione nella Regione del Veneto*. L'Italia Forestale e Montana; 75 (2): 83-96. https://doi.org/10.4129/ifm.2020.2.03

1. INTRODUZIONE

Negli ultimi decenni, il problema degli incendi boschivi ha assunto una rilevanza sempre maggiore nel mondo intero e, in particolare, nell'area mediterranea (Chuvieco *et al*., 2010). Da questo punto di vista, la devastante stagione del 2017

[1] Il contributo è stato presentato nella sessione 12 - Selvicoltura e incendi - del IV Congresso Nazionale di Selvicoltura, Torino, 5-9 novembre 2018.

© 2020 Accademia Italiana di Scienze Forestali
doi: 10.4129/ifm.2020.2.03

in vari paesi dell'Europa, Portogallo in primis, che da solo ha avuto 500.000 ha percorsi da incendi e un centinaio di vittime per gli eventi estremi di giugno e ottobre (EFFIS JRC, 2017), rappresenta un campanello di allarme per i decisori politici, i pianificatori, e tutta la comunità forestale.

Sempre più urgente è divenuta la necessità di considerare accuratamente la valutazione del rischio di incendio quale parte fondamentale della salvaguardia delle aree forestali, basandola su una costante e puntuale informazione circa la distribuzione spaziale e temporale delle aree suscettibili

Il rischio incendio può essere definito come la probabilità che si verifichi un evento di una data intensità moltiplicato per le perdite, o i benefici, associati a tale intensità di incendio, per i valori ambientali e sociali colpiti dall'evento (Finney, 2005; Salis *et al.*, 2013). Seguendo questo approccio metodologico, il rischio di incendio è determinato da una combinazione di probabilità, intensità ed effetti potenziali degli incendi.

In Italia, in attuazione della legge 353/2000, nel 2001 sono state prodotte le "Linee guida relative ai piani regionali per la programmazione delle attività di previsione, prevenzione e lotta attiva contro gli incendi boschivi". Sulla base di esse le Regioni sono tenute ad approvare piani regionali per la programmazione delle attività di previsione, prevenzione e lotta attiva contro gli incendi, classificando il territorio secondo i diversi livelli di rischio e rappresentandone le aree corrispondenti in apposite planimetrie (Di Fazio e Modica, 2009).

Le metodologie di classificazione del rischio più diffuse si basano sull'analisi degli incendi storici e sulla parametrizzazione dei fattori ambientali favorevoli agli incendi. In alcune regioni sono stati utilizzati anche gli indici metereologici di pericolo incendio. Solo in alcuni casi si è adottato un approccio basato sulla stima del comportamento del fuoco (es.: Parco Gran Paradiso). Nel 2016 il Ministero dell'Ambiente ha pubblicato il "Manuale per l'applicazione dello schema di piano AIB nei parchi nazionali" (Bertani *et al.*, 2016). In questo manuale si propone un approccio misto fra il classico metodo di parametrizzazione e lo studio del comportamento del fuoco, utilizzando il programma FlamMap.

L'approccio basato sul comportamento del fuoco è attualmente largamente diffuso negli Stati Uniti, in Canada e Australia, però fatica ad essere utilizzato in altri paesi. Una delle difficoltà per questo approccio è legata alla produzione di mappe dei combustibili forestali necessarie al funzionamento di qualsiasi software di simulazione del comportamento del fuoco.

Con questo lavoro si intende presentare le mappe e la metodologia adottata per la valutazione del rischio incendi boschivi della Regione del Veneto.

2. MATERIALI E METODI

2.1 *Area di studio*

La Regione del Veneto occupa una superficie di circa 18.300 km^2 e presenta una grande diversità climatica, geologica e topografica che comporta, di conse-

guenza, un diverso livello di suscettibilità agli incendi a seconda della zona considerata. Nel Veneto le formazioni forestali occupano una superficie di circa 415.000 ettari e risultano prevalentemente localizzate nelle aree montane (Del Favero, 2006). È possibile suddividere la regione in tre differenti aree geografiche: la zona alpina a nord, con alte montagne (15% della superficie regionale); la zona prealpina nel centro della regione (30% della superficie regionale); la vasta area pianeggiante a sud (55% della superficie regionale), che comprende anche due aree collinari isolate (Colli Berici, Colli Euganei), la laguna di Venezia e 150 km di spiagge.

Il regime degli incendi differisce tra le zone di montagna (Dolomiti e Prealpi) e la pianura (costa e aree collinari isolate). Infatti, mentre nelle zone alpine, prealpine e pedemontane gli incendi si verificano soprattutto nei mesi di febbraio e marzo, in pianura gli incendi hanno un tipico regime estivo (luglio-agosto).

Per il presente lavoro, la regione è stata suddivisa in tre macro-aree: le province costiere a massima pericolosità estiva (Rovigo e Venezia), la zona dei Colli Euganei a massima pericolosità estiva (Padova), le province a massima pericolosità invernale (Belluno, Treviso, Vicenza e Verona).

2.2 *Il regime degli incendi boschivi*

Nella Regione del Veneto, dal 1981 al 2014 sono stati registrati circa 3.200 incendi ed un'area percorsa di circa 25.800 ha, con una notevole variabilità interannuale sia per numero che per superfici bruciate. Mediamente, nell'area studio si verificano 98 incendi all'anno per una superficie percorsa dal fuoco di circa 760 ha, con una superficie media per incendio pari a circa 8 ha. L'analisi del regime degli incendi evidenzia una leggera tendenza alla diminuzione del numero di eventi, dal 1981 al 2004, associata ad una evidente diminuzione dell'area percorsa. Dal 2004 al 2016 si nota invece una relativa stabilità dell'area annuale percorsa su valori molto bassi, con l'eccezione delle stagioni 2011 e 2012.

La distribuzione stagionale degli incendi varia notevolmente fra la pianura e la montagna. In pianura la maggior parte degli incendi avvengono in estate, i picchi si rilevano a Luglio ed Agosto (42% degli incendi e 50% dell'area percorsa). In montagna gli incendi avvengono principalmente in inverno da Gennaio ad Aprile (77% degli incendi; 79% dell'area percorsa).

Per quanto riguarda il comportamento del fuoco, gli incendi sono principalmente radenti (78,7% in pianura; 82,5% in montagna), mentre sono poco comuni gli incendi di chioma (11,8% in montagna; 7% in pianura). Gli incendi sotterranei sono abbastanza rari (0,4% in montagna).

Quasi tutti gli incendi sono di origine antropica. In pianura gli incendi hanno principalmente origine dolosa (52%) e non si registrano incendi da fulmine, invece in montagna diminuisce molto l'incidenza degli incendi dolosi (36%) e gli incendi da fulmine rappresentano il 3% del totale (dati Regione del Veneto) (Rizzolo, 2016).

2.3 *I combustibili forestali*

I modelli di combustibile sono una serie di parametri che descrivono la vegetazione nei termini richiesti per la soluzione di modelli matematici di previsione del comportamento dell'incendio (Lanorte e Lasaponara, 2008). In Veneto sono stati svolti vari studi per determinare il carico di combustibile delle principali tipologie forestali colpite da incendi, al fine di creare dei modelli di combustibile locali in grado di rappresentare il tipico comportamento degli incendi nella regione (Goatin, 2011; Dal Prà 2013; Rossetto, 2014; Zanella, 2016; Rizzolo, 2016).

La carta dei combustibili forestali usata in questo lavoro è basata sulla mappa di uso del suolo della Regione del Veneto aggiornata al 2012 (Regione Veneto, 2016). Nella mappa di uso del suolo le aree boscate e cespugliate sono classificate in base alle tipologie forestali del Veneto (Del Favero *et al.*, 2004; Del Favero, 2006). In questo studio, i tipi forestali molto simili fra loro dal punto di vista dei combustibili presenti e del comportamento potenziale di incendio sono stati aggregati in un'unica classe. Dal processo di aggregazione sono state ottenute 31 classi forestali a cui si vanno ad aggiungere altre 7 classi di vegetazione non boschiva. Ad ogni classe di vegetazione boschiva o non boschiva è stato assegnato uno specifico modello di combustibile, ovvero quello che dai test effettuati con dei modelli di propagazione degli incendi (Rossetto e Rizzolo 2016; Rizzolo, 2016) è risultato più rappresentativo, scegliendo fra i modelli locali (Rizzolo, 2016) e quelli standard (Anderson, 1982; Scott e Burgan, 2005)

In mancanza di dati aggiornati disponibili per tutta la regione, la copertura deriva dalla carta forestale regionale del 2005, l'altezza delle chiome dai valori medi per tipo forestali riportati da Del Favero (2006), infine all'altezza di inserzione della chioma sono stati dati valori convenzionali in base alla possibilità delle varie specie di alimentare il fuoco di chioma. I dati orografici derivano dal modello digitale del terreno prodotto dalla Regione del Veneto con risoluzione 5x5 metri, ridimensionato ad una risoluzione di 20x20 metri.

2.4 *Scenari meteorologici*

Non essendo possibile ricostruire tutte le combinazioni di condizioni ambientali in cui si verificano gli incendi, sono stati realizzati degli scenari meteorologici standard relativi alle tre macro-aree in cui è stata divisa la Regione Veneto in base all'analisi della distribuzione stagionale degli incendi e delle condizioni meteorologiche legate alle giornate con pericolosità di incendio molto alta (Tabella 1).

Gli scenari di umidità rappresentano le condizioni di idratazione dei vari combustibili nella situazione che si intende rappresentare. Non avendo a disposizione per il Veneto delle misure dirette di umidità dei combustibili forestali si è proceduto a stimare l'umidità dei combustibili fini (1h) derivandola dall'indice *Fine Fuel Moisture Code* (FFMC) (Van Wagner e Forest 1987), mentre per gli altri combustibili (10h, 100h, erbacei ed arbustivi) sono stati utilizzati dati da letteratura (Scott e Burgan, 2005). Tale indice viene calcolato ogni giorno alle 13:00 in

41 stazioni metereologiche distribuite in tutta la Regione del Veneto (Valese, 2008; Tardelli *et al.*, 2012). È stato preso come riferimento il valore medio del 99° percentile di FFMC registrato nelle stazioni dell'area di studio dal 1992 al 2015 nella stagione di riferimento (Dati ARPAV).

Tabella 1 - Scenari metereologici.

	Area montana	Colli Euganei	Area costiera
Stagione	invernale	estiva	estiva
Umidità dei combustibili fini	7%	5%	8%
Velocità del vento a 10 m di altezza	32 km/h	25 km/h	38 km/h
Direzione di provenienza del vento	180°	135°	135°
Modelli di combustibile	invernali	estivi	estivi
Copertura chiome	ridotta nei boschi di latifoglie	piena	piena

2.5 *La simulazione del comportamento del fuoco*

La valutazione del comportamento del fuoco è stata realizzata attraverso l'utilizzo del simulatore FlamMap (Finney, 2006), implementato con l'algoritmo di propagazione MTT (Finney, 2002).

FlamMap (Finney, 2006) è un simulatore utilizzato per calcolare il comportamento degli incendi su aree definite in base a delle condizioni ambientali di riferimento. Il programma descrive il comportamento potenziale dell'incendio in condizioni ambientali costanti di velocità del vento, direzione del vento ed umidità dei combustibili.

L'MTT riproduce lo sviluppo spaziale del fuoco che viene simulato come onde ellittiche che si espandono su una superficie piana, mediante l'applicazione del principio di Huygens. Sono stati quindi generati 3 set di 20.000 punti casuali di ignizione, uno per ogni zona di studio. Si è simulata la propagazione degli incendi per 6 ore nell'area di studio montana e di 3 ore nelle aree di studio collinare e costiera. Tutte le simulazioni sono state effettuate su una maglia raster di 20x20 metri. Infine si è misurato il numero di volte che gli incendi bruciano una stessa cella, per calcolare le probabilità che la cella possa essere percorsa dal fuoco. Si può considerare come una stima della possibilità che un'area venga interessata da incendi.

Con FlamMap sono state prodotte le seguenti mappe: lunghezza di fiamma, velocità di propagazione, intensità lineare, calore per unità di area, tipo di incendio e probabilità di propagazione.

2.6 *Predisposizione del territorio in base a clima ed incendi pregressi*

La carta di predisposizione climatica serve per individuare quanto un'area può essere soggetta alle condizioni di aridità elevata previste dallo scenario di riferimento. Nelle zone dove fa più freddo e piove di più lo scenario di riferimento di

forte stress idrico utilizzato nelle simulazioni di FlamMap avrà una minore probabilità di verificarsi, quindi la predisposizione climatica di tali ambienti sarà minore.

Per la misura dell'aridità è stato utilizzato l'indice di aridità di De Martonne (1926). L'indice ha come input i dati di piovosità e temperatura ed è stato spazializzato in base alla quota (ARPAV, dati 1993-2015). Nello scenario di rischio invernale si è preso come riferimento il mese di febbraio, in quanto risulta essere il mese invernale a maggiore siccità, invece nelle aree a massima pericolosità estiva è stato preso come riferimento l'indice del mese di luglio.

Partendo dalla carta dei punti di ignizione degli incendi pregressi (Dati Regione del Veneto), è stata calcolata la densità dei punti di ignizione degli incendi avvenuti dal 1990 sino a marzo 2017. Ad ogni punto è stata assegnata un'area di influenza di 2.500 m di raggio e si è misurato il numero di sovrapposizioni delle aree di influenza. La mappa rappresenta le aree dove storicamente è più probabile che si verifichi l'insorgenza di un incendio, indipendentemente dalle dimensioni raggiunte in passato.

2.7 *Elementi a rischio*

Nelle zone di particolare interesse naturalistico e paesaggistico gli incendi possono avere un maggiore impatto ecologico e sociale per questo viene dato un livello di vulnerabilità massimo a parchi nazionali, parchi regionali e riserve naturali e un valore medio alle altre aree della rete Natura 2000 (Regione del Veneto, 2016).

Vista l'elevata possibilità della presenza di persone e cose all'interno del bosco e per il loro valore paesaggistico, vengono considerati a maggiore vulnerabilità i boschi che si trovano in aree ad alta frequentazione turistica. Per questa analisi, in mancanza di informazioni di dettaglio sulla presenza turistica nei boschi, sono state considerate solo le pinete costiere (Regione del Veneto, 2016).

La sovrapposizione di livelli informativi relativi alle aree urbane e alle mappe di propagazione del fuoco permette di individuare se vi è la possibilità del verificarsi di incendi boschivi nelle cosiddette aree di interfaccia urbano-foresta. Sono state considerate aree urbanizzate: le aree insediative, gli edifici isolati, le strade principali, i parcheggi, i campeggi, le linee elettriche principali e le funivie.

In mancanza di dati omogenei sul valore produttivo dei boschi, si è deciso di semplificare considerando solamente il tipo di gestione. Le fustaie hanno la vulnerabilità massima, i cedui vulnerabilità media, le aree incolte i boschi non gestiti ed i pascoli vulnerabilità bassa (dati Regione del Veneto).

La pendenza e la mancanza temporanea della copertura forestale, unita agli effetti del fuoco sul suolo, possono esporre il terreno al rischio di erosione in caso di forti piogge. In mancanza di una cartografia specifica, si è considerato che i boschi con pendenza superiore al 40% possono essere a rischio erosione superficiale in caso di distruzione della copertura arborea; inoltre, con pendenze oltre al 50% ci può essere anche la caduta di massi durante e dopo l'incendio (Lingua *et al.*, 2003).

Per ponderare il diverso valore naturalistico delle aree danneggiate è stata predisposta una scala nominale che esprime sinteticamente un gradiente di pregio,

basato sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche delle formazioni vegetali. Sono stati utilizzati i valori definiti da Bertani *et al.* (2016).

La risposta all'incendio in termini di mortalità e velocità di ricostituzione del bosco dipende significativamente dalle specie arboree ed arbustive presenti. La sensibilità dei popolamenti definisce la resistenza e la resilienza dei popolamenti al passaggio del fuoco in base a quanto riportato da Bertani *et al.* (2016).

2.8 *Il calcolo del Rischio Incendi*

Per la costruzione delle carte derivate è stata fatta la somma aritmetica dei valori delle carte di base per ogni cella secondo lo schema riportato in figura 1. I valori risultanti sono stati quindi riclassificati in quattro classi che vanno da 1 a 4, dove 4 è il valore massimo. Le carte così prodotte sono:

- carta della probabilità - rappresenta le zone dove sono maggiori le probabilità che si verifichi un incendio ed, inoltre, che questo incendio sia di grandi dimensioni;
- carta dell'intensità - rappresenta quanto un incendio possa essere difficile da estinguere e quando possa essere in grado di causare danni;
- carta della vulnerabilità - rappresenta gli elementi che possono essere danneggiati dal passaggio del fuoco e il danno che possono subire.

Queste tre carte sono state poi sommate per ottenere la carta finale del rischio incendi.

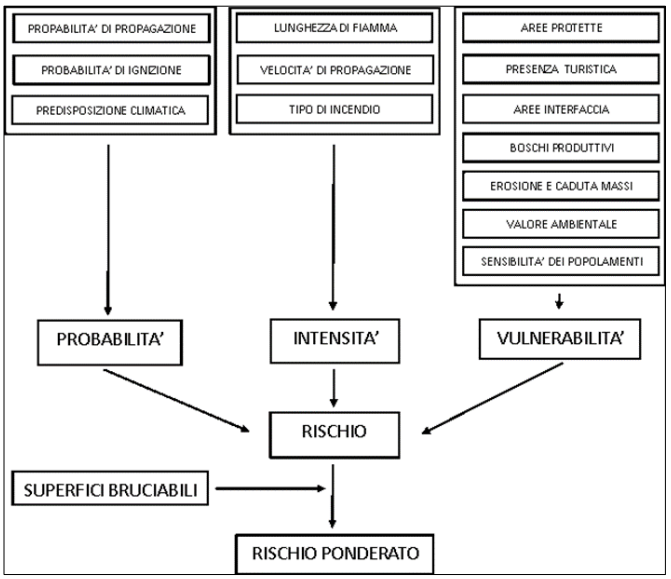

Figura 1 - Schema di unione delle mappe per il calcolo del rischio.

La Carta Finale del Rischio rappresenta la possibilità che si verifichi un incendio con conseguenze anche gravi per la realtà socio-economica e ambientale di una determinata area.

Per l'utilizzo a fini pianificatori, oltre alla carta di dettaglio del rischio sono state realizzate anche delle carte di rischio medio a livello comunale e di area di base AIB (Regione Veneto, 1999). Per evitare di inserire nell'analisi anche i comuni dove l'area boscata è minima e difficilmente soggetta ad incendi, e quindi dare indicazioni fuorvianti nelle mappe, si è limitata l'analisi solo ai comuni soggetti a pianificazione AIB ai sensi del piano antincendi boschivi regionale (Regione Veneto, 1999).

Considerato che l'impegno richiesto per le attività di prevenzione, sorveglianza e spegnimento degli incendi boschivi non dipende solo dal livello di rischio, ma anche dalla quantità di superficie a rischio presente, si è introdotto l'ulteriore parametro della percentuale di area percorribile per unità territoriale. Questo parametro è stato utilizzato per correggere il rischio medio e ottenere un rischio medio ponderato che meglio rappresenta l'importanza del rischio di incendi boschivi nelle unità territoriali. Il rischio medio è stato pesato con la percentuale di superficie percorribile presente nell'area secondo la formula: Rischio medio ponderato = 2 * (quantile rischio medio) + (quantile percentuale area percorribile).

2.9 *Individuazione delle aree omogenee*

Per ottenere ulteriori informazioni su come si distribuisce il rischio di incendio nel territorio si è provveduto a classificare i comuni in gruppi omogenei in base alle principali variabili del rischio di incendio (probabilità, intensità, vulnerabilità e superficie percentuale percorribile) tramite una *cluster analysis* non gerarchica con il metodo *k-means* su dati normalizzati

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

L'analisi ha prodotto due carte dei combustibili (una per l'area a rischio estivo ed una per l'area a rischio invernale), 19 carte delle componenti del rischio, 1 carta del rischio con dettaglio di 20x20 m per tutta la regione e infine 4 carte del rischio medio.

L'analisi ha permesso di evidenziare come il 27% della superficie regionale sia a rischio di incendi boschivi (Tabella 2), con una forte variabilità fra le province in quanto la quasi totalità dei boschi si trovano in aree montane o collinari.

La maggior parte della regione è caratterizzata da lunghezza potenziale delle fiamme inferiore 1,2 m: si tratta principalmente di pascoli, boschi di latifoglie ed abieteti con pendenze non molto elevate. Lunghezze di fiamma fra 1,2 e 2,4 m si possono avere nelle stesse formazioni con pendenze elevate ed in cespuglieti o pinete con poca pendenza. Lunghezze di fiamma superiori a 2,4 m si possono avere su pendii con pendenza elevata coperti da arbusteti, mughete o boschi di conifere. Lunghezze superiori ai 3,4 m si verificano principalmente nelle pinete con pendenze elevate.

La velocità di propagazione è fortemente collegata alla pendenza, oltre che al tipo di combustibile. Le velocità di propagazione più elevate si hanno su rupi

boscate, prati e pascoli abbandonati e nelle mughete e pinete su pendenze elevate. Nell'88% della regione sono possibili solo incendi radenti. Gli incendi di chioma si limitano alle aree dove sono presenti pinete, mughete o pseudomacchia. Nel caso queste formazioni siano presenti su pendii con pendenze elevate si potrà anche avere un incendio di chioma attivo. Le aree con maggiore probabilità di propagazione sono le aree di quota dove sono presenti combustibili che permettono una veloce diffusione dell'incendio (mughete, praterie, formazioni primitive, pinete), e dove non ci sono interruzioni alla continuità dei combustibili che possono fermare o rallentare l'incendio.

Tabella 2 - Distribuzione del rischio per provincia.

Provincia	Superficie totale provinciale	Livello di rischio				Superficie della provincia a rischio	Superficie della provincia a rischio
		basso	medio	alto	molto alto		
	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(%)
BL	367.616	58.976	170.928	39.250	7.520	276.674	75
PD	214.374	83	3.766	1.975	213	6.037	3
RO	182.407	173	725	151	185	1.234	1
TV	247.992	11.833	25.693	3.578	937	42.042	17
VE	247.133	3.661	1.283	257	2	5.203	2
VI	272.301	35.736	72.222	8.690	946	117.595	43
VR	309.749	10.020	39.923	6.753	693	57.389	19
Totale	1.841.572	120.483	314.541	60.654	10.497	506.175	27

Il 57% dell'area percorribile è a rischio di erosione e/o caduta massi conseguente alla eliminazione della vegetazione provocata dall'incendio. Le aree a solo rischio di erosione hanno superfici abbastanza limitate, mentre quelle a rischio sia di erosione sia di caduta massi ricoprono ampie superfici dei pendii montani.

La vegetazione alpina è generalmente sensibile agli incendi boschivi, infatti il 20% ha sensibilità media e il 38% ha sensibilità alta. In particolare le formazioni ad alta sensibilità si concentrano nella parte settentrionale della provincia di Belluno e sull'Altipiano dei Sette Comuni, dove le principali tipologie forestali sono peccete, abieteti, lariceti e mughete.

Lo studio sulla probabilità di ignizione individua con maggiore precisione, rispetto alla mappa generale degli incendi boschivi, le zone dove storicamente si sono verificati il maggior numero di incendi nel periodo 1990-2017. In particolare, gli incendi si concentrano sui Colli Euganei, sul Monte Baldo, Tretto, Valdastico, Canale di Brenta, Monte Grappa, Vittorio Veneto, Parco Nazionale Dolomiti Bellunesi, Valle di San Lucano e Val del Piave. Anche la probabilità della diffusione degli incendi, se pur solo parzialmente collegata con le aree storicamente bruciate, mostra una distribuzione abbastanza simile a quelle della probabilità di ignizione (Figura 2).

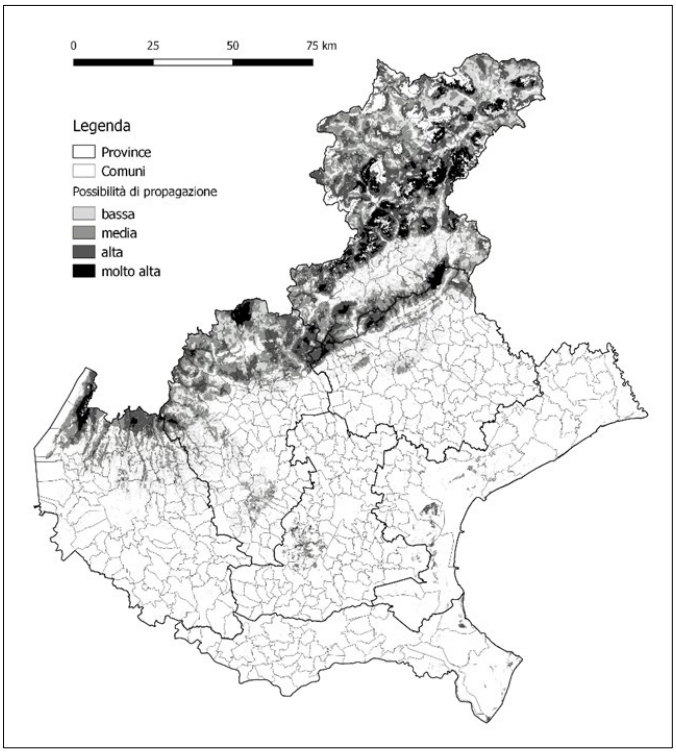

Figura 2 - Mappa della possibilità di propagazione.

Le aree ad alta probabilità di innesco ricoprono una superficie limitata della regione (15% probabilità alta, 5% molto alta) e si concentrano in aree abbastanza ben definite: sui Colli Euganei, sui versanti meridionali delle Prealpi e nella parte meridionale della provincia di Belluno. Nella parte settentrionale della provincia di Belluno invece la probabilità si concentra nei bassi versanti della valle del Piave e della valle del Cordevole. Anche nel caso dell'intensità, le aree a intensità alta e molto alta (rispettivamente 11% e 5% della superficie bruciabile) si concentrano in zone limitate, anche se più distribuite rispetto alla probabilità di diffusione. In queste zone rientrano le pinete costiere, i versanti con elevata pendenza delle valli prealpine ed alpine, in particolare dove sono presenti pinete e mughete. Una concentrazione particolarmente alta si nota sui Monti del Sole e sulla zona dello Schiara, dove la presenza di pinete si somma ad un territorio particolarmente aspro.

La vulnerabilità risulta alta nel 39% della superficie percorribile e molto alta solo nel 2% dei casi. L'elevata superficie ad alta vulnerabilità è dovuta all'ampia estensione dei boschi di pregio dove si sommano elevato valore ambientale, elevata sensibilità, elevato valore produttivo e spesso anche aree protette o Natura 2000. Le aree di interfaccia vengono comunque segnalate a rischio alto ma hanno un peso molto minore sul totale della superficie regionale. Le poche aree a vulnerabilità molto alta si concentrano nelle aree protette e nelle pinete costiere.

Le aree ad alto rischio nella regione coprono una superficie del 12% e quelle a rischio molto alto del 2%, quindi in linea con le mappe di Probabilità e Vulne-

rabilità, anche se ancora più ridotte. Si può notare una certa concentrazione del rischio in aree definite: pinete costiere, Colli Euganei, Monte Baldo, alcune zone della pedemontana e, per quanto riguarda la Provincia di Belluno, il Parco delle Dolomiti Bellunesi, la parte meridionale della Val di Zoldo, la Valle del Cordevole, la Valle del Piave, e i versanti meridionali del Popera (Figura 3).

Visto l'elevato numero di input che vanno a formare il rischio, è difficile definire una situazione tipica perché combinazioni molto diverse di elementi possono dare lo stesso risultato in termini di rischio. La valutazione del significato da dare al rischio va quindi fatta caso per caso in base agli elementi che lo compongono.

Il rischio medio per comune segue abbastanza fedelmente la distribuzione del rischio puntuale. Non considerando la quantità di superfice percorribile presente nei comuni, si può avere rischio alto anche in comuni dove il bosco occupa una parte marginale della superficie comunale, è il caso di molti comuni di pianura (Figura 4).

Prendendo in considerazione anche la percentuale di area percorribile si ha una forte diminuzione del rischio nei comuni delle aree di pianura e di collina visto che nei comuni pedemontani, che spesso hanno il territorio comunale suddiviso in una parte di pianura e una di collina, solo la parte collinare comprende aree boscate.

L'analisi delle aree omogenee ha evidenziato la presenza di quattro gruppi omogenei di comuni:

- *Cluster 1* - Aree montane molto boscate caratterizzate da una elevata superficie percorribile, una probabilità relativamente alta e alta intensità e vulnerabilità.
- *Cluster 2* - Aree pedemontane e collinari caratterizzate da una superficie percorribile e medio alta e una probabilità molto alta, Intensità e vulnerabilità risultano comunque alte facendo presupporre anche per questo gruppo un rischio elevato, legato soprattutto alla elevata possibilità di ignizione più che alla possibilità di avere grandi incendi;
- *Cluster 3* - Aree pianeggianti e collinari parzialmente boscate caratterizzate da una superficie percorribile inferiore rispetto ai primi due gruppi ma comunque significativa, una media vulnerabilità ma con probabilità e intensità molto bassi, il che può essere indicativo di incendi poco numerosi e di piccole dimensioni;
- *Cluster 4* - Aree litoranee e di pianura caratterizzate da superficie boscata molto ridotta, vulnerabilità e probabilità bassi, però sono presenti combustibili forestali che possono dare incendi anche di intensità elevata. Si possono quindi avere incendi piccoli, ma potenzialmente dannosi e difficili da estinguere.

I gruppi omogeni non sono da considerare come indicativi del livello di rischio, ma indicano le zone dove le componenti che costituiscono il rischio sono simili fra loro.

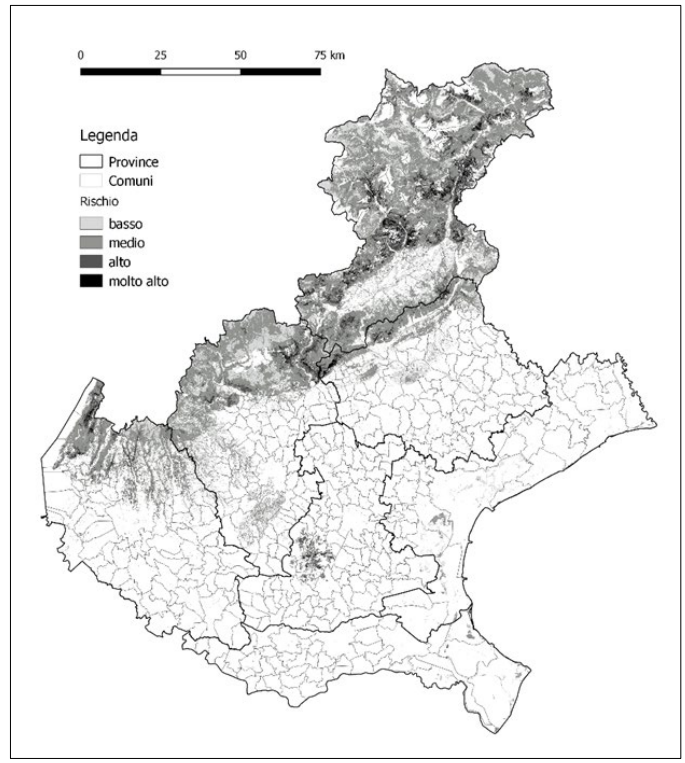

Figura 3 - Mappa del rischio.

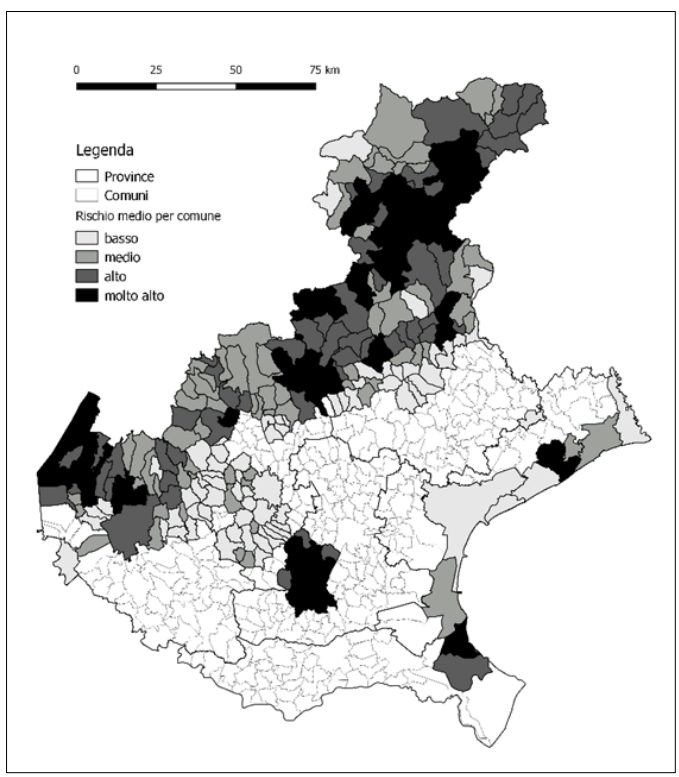

Figura 4 - Mappa del rischio per comune.

4. Conclusioni

Sebbene con alcune approssimazioni, dovute alla disponibilità limitata dei dati territoriali necessari al calcolo del rischio, l'analisi effettuata ha permesso di individuare le aree particolarmente predisposte agli incendi boschivi, dove si sommano valori alti di probabilità, intensità e vulnerabilità, che hanno dato in passato e potrebbero ancora dare origine a incendi vasti, difficili da estinguere e particolarmente distruttivi. Queste aree a rischio alto o molto alto ricoprono il 14% della superficie percorribile regionale, quindi una superficie limitata rispetto alla superficie regionale, dove si può concentrare l'attenzione negli interventi di prevenzione e lotta attiva.

L'analisi delle componenti del rischio permette inoltre di individuare quali sono le componenti che per ogni area sono più influenti nella costruzione del rischio e quindi su cui è più utile agire quando si andranno a fare interventi di riduzione e mitigazione dello stesso. In particolare l'utilizzo del comportamento del fuoco ha permesso di non limitare l'informazione al solo livello di rischio raggiunto, ma anche di fornire importanti informazioni sulle caratteristiche che può avere un eventuale incendio.

Infine, una indicazione che emerge da questa analisi è che, se pur dal 2004 ad oggi gli incendi boschivi risultano molto ridotti in numero e dimensioni rispetto ai decenni precedenti grazie all'efficace lavoro di prevenzione ed estinzione fatto in passato dal sistema AIB del Veneto, in varie zone rimane una forte potenzialità di avere incendi con alta intensità e dimensione elevate.

SUMMARY

Application of forest fire propagation modeling to risk mapping on regional forest fire prevention plans. The Veneto Region's Case.

Considering the importance of forest fires problem in Italy, It is essential to improve the tools available for forest fire prevention, beginning with a correct and detailed fire risk evaluation. At present most part of forest fire plans at national level, do not consider, when dealing with forest fire risk analysis, fire's behavior and potential propagation (or consider them only using empirical models). This study shows the methodology used by the Veneto Region for the characterization and mapping of forest fire risk at regional level. The application of forest fire propagation simulation allowed the creation of very detailed maps and the acquisition of important information about potential fire intensity, something not possible using only empirical methods.

BIBLIOGRAFIA

Anderson H.E., 1982 - *Aids to determining fuel models for estimating fire behavior.* USDA Forest Service general technical report INT-122, 28 p.

Bertani R., Bovio G., Petrucci B., 2016 - *Manuale per l'applicazione dello schema di piano AIB nei parchi nazionali.* Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

Chuvieco E., Aguado I., Yebra M., Nieto H., 2010 - *Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system technologies.* Ecological Modelling, 221 (1): 46-58. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.11.017

Dal Prà L., 2013 - *Confronto del Carico di combustibili Vegetali nei boschi termofili della Lessinia (Vr) nelle diverse stagioni*, Università di Padova.

De Martonne E., 1926 - *Une nouvelle function climatique. L'indice d'aridité*. La Météorologie, 2: 449-459.

Del Favero R., 2006 - *Carta regionale dei tipi forestali: documento base*. Regione del Veneto, Mestre-Venezia.

Del Favero R., Carraro G., Ciancio O., 2004 - *Biodiversità e indicatori nei tipi forestali del Veneto*. Regione del Veneto, Venezia.

Di Fazio S., Modica G., 2009 - *Modello per la definizione di un indice statico del rischio di incendi boschivi in area euro-mediterranea*. Tecnica agricola, 3/4: 69-99.

EFFIS JRC, 2017 - http://effis.jrc.ec.europa.eu/static/effis_current_situation/public/index.html

Finney M.A., 2006 - *An overview of FlamMap fire modeling capabilities*, *Fuels management - how to measure success: conference proceedings* 2006. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO, p. 28-30.

Finney M.A., 2005 - *The challenge of quantitative risk analysis for wildland fire*. Forest Ecology and Management, 211 (1): 97-108. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.02.010

Finney M.A., 2002 - *Fire growth using minimum travel time methods*. Canadian Journal of Forest Research, 32 (8): 1420-1424. https://doi.org/10.1139/x02-068

Goatin N., 2011 - *Modelli di combustibile nei boschi termofili della Lessinia (VR) per la predizione del comportamento del fronte di fiamma*. Università di Padova.

Lanorte A., Lasaponara R., 2008 - *Fuel type characterization based on coarse resolution MODIS satellite data*. iForest-Biogeosciences and Forestry, 1: 60-64.

Lingua E., Collatin A., Haudemand J.C., 2003 - *Individuazione ed analisi delle foreste di protezione diretta (FPD) nel comune di Cogne (Valle d'Aosta)*. In Atti della 7ª Conferenza Nazionale ASITA: 'L'informazione territoriale e la dimensione tempo", p. 1325-1330.

Rizzolo R., 2016 - *Fuel models development to support spatially-explicit forest fire modeling in Eastern Italian Alps*. Università di Padova.

Regione del Veneto, 1999 - *Piano Regionale Antincendi Boschivi*. Regione del Veneto, Venezia.

Regione del Veneto, 2016 - *Portale Cartografico Regionale*.

Rossetto E., 2014 - *Caratterizzazione dei combustibili forestali dei Colli Euganei (Pd) per la predizione del comportamento del fuoco*. Università di Padova.

Rossetto E., Rizzolo R., 2016 - *Indagine preliminare per la mappatura del comportamento del fuoco nella Regione del Veneto*. Regione del Veneto.

Salis M., Ager A.A., Bachisio A., Finney M.A., 2013 - *Assessing exposure of human and ecological values to wildfire in Sardinia, Italy*. International Journal of Wildland Fire, 22 (4): 549-565. https://doi.org/10.1071/WF11060

Scott J.H., Burgan R.E., 2005 - *Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model*. The Bark Beetles, Fuels, and Fire Bibliography, 66 p. https://doi.org/10.2737/RMRS-GTR-153

Tardelli A., Rech F., Valese E., 2012 - *Caratterizzazione della severità metereologica stagionale nella Regione del Veneto*. Unpublished.

Valese E., 2008 - *Applicazione del Canadian Forest Fire Weather Index System nel contesto della Grande Regione Alpina (GAR): potenzialità e problematiche*. Università di Padova.

Van Wagner C., Forest P., 1987 - *Development and Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System*. Can. For. Serv., Forestry Tech. Rep.

Zanella C., 2016 - *Caratterizzazione dei combustibili vegetali e applicazione del software Flammap per la previsione del comportamento degli incendi boschivi*. Università di Padova.