

INTRODUZIONE	<i>2</i>
1. I DATI DI INGRESSO	<i>3</i>
2. RAPPRESENTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DA INCENDIO BOSCHIVO	<i>6</i>
2.1 La modellazione del territorio in funzione della suscettibilità all'accensione e propagazione degli incendi boschivi	<i>7</i>
3. RAPPRESENTAZIONE DEL RISCHIO INCENDI BOSCHIVI	<i>8</i>
3.1 Identificazione e classificazione dell'esposto vulnerabile	<i>8</i>
3.1.1 Elementi esposti areali	<i>12</i>
3.1.2 Elementi esposti lineari	<i>13</i>
3.2 La determinazione della funzione di costo	<i>15</i>
3.3 La valutazione della vulnerabilità	<i>17</i>
3.4 Applicazione della metodologia al territorio della provincia di Imperia	<i>19</i>
3.5 Individuazione di indicatori sintetici relativamente a pericolosità, vulnerabilità e danni	<i>23</i>
3.6 Proposta di una metodologia comune valida per organismi e/o strutture competenti	<i>25</i>
4. UN SISTEMA DI SUPPORTO ALLE DECISIONI PER LA PIANIFICAZIONE DELLE RISORSE ANTI INCENDIO E LA GESTIONE OPERATIVA DELL'EMERGENZA	<i>28</i>
BIBLIOGRAFIA	<i>30</i>

Introduzione

Il bacino del Mediterraneo è caratterizzato da un clima predisponente all'occorrenza degli incendi boschivi con temperature minime invernali nettamente superiori a quelle dell'Europa continentale, precipitazioni irregolari, generalmente molto abbondanti in inverno, e una stagione estiva molto secca. La pressione antropica che interessa le zone boschive, causa dell'innescio di molti incendi, è legata allo sfruttamento non controllato delle risorse forestali e all'espansione delle zone periferiche urbane che, spesso, si interfacciano direttamente con il bosco. La morfologia particolarmente accidentata di alcune zone litoranee, come quelle imperiesi, con formazioni collinari o subalpine che digradano ripidamente fino al mare lasciando al litorale una zona ridottissima di spazio, ha costretto l'uomo, nelle epoche passate, a stabilire i propri insediamenti in prossimità e spesso all'interno delle zone boscate. Ogni anno, una percentuale significativa del patrimonio forestale nazionale è persa a causa degli incendi boschivi. In Italia si registra un dato medio di circa 60.000 ha bruciati ad anno e la Liguria, in particolare, è tra le regioni settentrionali quella maggiormente colpita dagli incendi; la ragione di questo primato è da ricercarsi sia nell'elevata percentuale di superficie boschiva (69% pari a 374.400 ha) rispetto alla superficie territoriale (541.795 ha), sia nelle costanti condizioni d'alto rischio d'incendio cui essa è esposta durante l'anno.

La definizione del rischio da incendio boschivo è funzione di molte variabili aventi diversi significati fisici, raggruppabili, in prima approssimazione, in tre classi: 1) le caratteristiche morfologiche del territorio, 2) le condizioni meteorologiche e 3) la copertura e uso del suolo. A differenza degli altri rischi naturali, quali il sismico e l'idrogeologico, il rischio da incendi boschivi non può essere semplicemente definito come il prodotto fra la pericolosità e la probabilità di accadimento dell'evento, poiché generalmente esso non è un evento di origine naturale. Le cause naturali, infatti, non sono numericamente significative sul totale degli incendi censiti, e sono totalmente attribuibili alle fulminazioni. Le restanti cause sono da attribuirsi esclusivamente alle attività umane sul territorio o ad azioni di dolo. Nella tabella sottostante (Tabella 1: dato Corpo Forestale dello Stato, 2002) sono elencate le cause di accensione degli incendi boschivi in quattro anni di osservazione per l'intero territorio italiano:

<i>Percentuale delle cause d'incendio rispetto al numero d'incendi</i>	<i>1994</i>	<i>1995</i>	<i>1996</i>	<i>1997</i>	<i>1998</i>	<i>1999</i>	<i>2000</i>	<i>2001</i>
<i>Naturali</i>	<i>0,7</i>	<i>1,3</i>	<i>0,8</i>	<i>0,7</i>	<i>1,0</i>	<i>0,6</i>	<i>0,9</i>	<i>1,1</i>
<i>Volontarie</i>	<i>25,0</i>	<i>53,8</i>	<i>57,7</i>	<i>52,8</i>	<i>50,7</i>	<i>48,9</i>	<i>57,7</i>	<i>59,8</i>
<i>Involontarie</i>	<i>62,0</i>	<i>22,2</i>	<i>24,0</i>	<i>20,1</i>	<i>13,2</i>	<i>11,3</i>	<i>12,3</i>	<i>35,5</i>
<i>Non classificabili</i>	<i>12,3</i>	<i>22,7</i>	<i>17,5</i>	<i>26,4</i>	<i>35,1</i>	<i>39,2</i>	<i>29,1</i>	<i>3,8</i>

Tabella 1. Classificazione delle cause d'incendio boschivo.

La Comunità Europea ha identificato a grande scala le Regioni a più alto rischio di incendi, calcolando un indice di valutazione in funzione del numero di incendi boschivi annuo e della percentuale delle aree boscate rispetto alla superficie totale (c.f.r., regolamenti CEE 1698/87, 1614/89, 1616/92 e successivi). Una classificazione è stata proposta anche a livello regionale, portando la scala spaziale a livello comunale, al fine di permettere una più efficace distribuzione delle risorse. Questo risulta di fatto uno dei problemi più rilevanti nella lotta contro gli incendi boschivi, poiché i periodi propizi per l'accensione di un incendio boschivo risultano sostanzialmente invariati su tutta la regione. La contemporaneità degli eventi porta ad affrontare più emergenze a livello regionale, per cui una maggiore efficacia degli interventi richiede

un'attenta distribuzione preventiva delle risorse antincendio su tutto il territorio regionale. La classificazione regionale, oltre ai parametri presi in considerazione nel regolamento comunitario, tiene conto di altre variabili, quali l'indice di infiammabilità, che dà una misura della predisposizione alla combustione di un certo tipo di superficie boscata, l'estensione degli incendi pregressi e il danno economico medio per incendio. La gestione del patrimonio forestale in funzione degli incendi boschivi è direttamente connessa alle fasi in cui può essere suddiviso il periodo temporale che precede, corrisponde e segue un incendio.

Gli interventi, attuati sul territorio, che modificano le caratteristiche vegetazionali, infrastrutturali e logistiche in relazione alla risposta all'accensione o propagazione di un incendio boschivo, definiscono gli ambiti della pianificazione e della prevenzione, mentre gli interventi tesi a definire un dispositivo di contrasto, in funzione delle risorse disponibili e degli scenari correnti, definiscono la gestione pre-operativa e la gestione in tempo reale. Le azioni effettuate sulle parcelle già bruciate, in grado di restituire i luoghi alle loro condizioni originali sono definite con il termine generale di interventi di ripristino e, spesso, coincidono con la prima fase di pianificazione.

Le professionalità e le capacità tecniche necessarie nella fase di pianificazione ed in quella di ripristino sono generalmente diverse e separate da quelle richieste per l'intervento di spegnimento. Per questo motivo la quasi totalità dei paesi dotati di servizi antincendio prevede almeno due figure istituzionali che operano in funzione degli incendi boschivi: il Corpo Forestale (*Forest Service*) addetto alla prevenzione, vigilanza e repressione delle cause di accensione, nonché alla restituzione dei luoghi e il Corpo dei Vigili del Fuoco (*Fire Brigade*) per l'intervento diretto sulle fiamme.

La valutazione del danno da incendio boschivo è un compito del Corpo Forestale, ed è effettuata esclusivamente sul valore di mercato della massa legnosa distrutta e sull'ipotetico costo di ripristino del soprassuolo. Queste valutazioni risultano inadeguate poiché ignorano il danno paesistico e ambientale, come le alterazioni degli equilibri vegetazionali, faunistici ed idrologici e la modificazione dell'ecosistema presente prima del passaggio del fuoco.

Da quanto esposto in questa introduzione risulta chiaro come il problema degli incendi sia connesso al numero elevato d'emergenze concomitanti, concentrate solo in alcuni periodi dell'anno, associato alla relativa scarsità delle risorse disponibili per fronteggiarle. Queste situazioni impongono, di regola, la necessità di operare scelte opportune riguardo alla mobilitazione dei mezzi sui diversi incendi in atto. L'efficacia dell'intervento è legata alla tempestività con cui sono dislocate le risorse. D'altra parte, l'impiego di tali risorse comporta spesso costi operativi elevati. Per tali ragioni, la soluzione del problema richiede tempi di elaborazione brevi. L'elevato numero di variabili decisionali e, soprattutto, di dati che devono essere presi in considerazione, rende indispensabile l'impiego di strumenti informatici adeguati. Il danno ambientale ed economico causato dall'incendio, considerate le spese d'intervento delle varie forze antincendio e le successive operazioni di bonifica e di ripristino del territorio è spesso insostenibile per le amministrazioni locali. Per questo motivo, l'adozione di strumenti in grado di valutare il rischio da incendi boschivi, sia in termini di pianificazione, per una mitigazione del danno atteso, sia in termini operativi di prima emergenza, per una gestione ottimale delle risorse disponibili, risulta estremamente vantaggiosa.

1. I dati di ingresso

Fra i diversi rischi naturali considerati nell'ambito del progetto Ge.Ri.A., il rischio da incendi boschivi è uno dei più rilevanti, se considerato in termini di frequenza di evento, e sicuramente è quello che richiede una maggiore integrazione degli attori preposti alla gestione dell'emergenza e alla prevenzione del rischio in ambito transfrontaliero. In particolare, sebbene l'accensione di un incendio boschivo sia nella quasi totalità dei casi da imputarsi all'uomo, e quindi non sia considerabile come evento naturale, la sua propagazione è dettata dalle caratteristiche territoriali e meteorologiche e può coinvolgere indifferentemente tutto il territorio boschivo, incapace di distinguere i confini amministrativi di due nazioni confinanti. Tali considerazioni rendono pressoché impossibile introdurre il concetto di previsione, molto utilizzato nella definizione degli strumenti di pianificazione. Risulta, quindi, necessario analizzare i fattori predisponenti e fornire valutazioni e indicazioni sulle conseguenze che un incendio potrebbe conferire al territorio nel caso in cui l'innescò abbia successo. Considerando i fattori predisponenti all'insorgenza di un incendio, si osserva che la Provincia di Imperia presenta una boscosità pressoché omogenea su tutta la superficie, attestata intorno al 40%, con una notevole estensione di boschi di conifere nelle zone più a monte che presentano versanti sensibilmente scoscesi orientati con prevalente direzione Nord-Sud. Tali caratteristiche sono pressoché omogenee nel versante francese della zona Ge.Ri.A.

La provincia di Imperia, per la sua particolare disposizione geografica e per conformazione orografica, è raramente investita dalle correnti umide di provenienza atlantica e, per questo motivo, è la meno piovosa della Liguria, sia come frequenza di eventi di precipitazione [giorni/anno], sia come altezza cumulata di pioggia [mm/anno]. Essa, inoltre, è frequentemente interessata da venti dominanti di provenienza Sud, Sud-Est con un'intensità annua mediamente più alta delle altre province e valori di picco giornalieri molto elevati. In particolare, il bacino del torrente Roja, ha subito negli ultimi 15 anni (Regione Liguria, Piano Regionale per la Difesa e la Conservazione del Patrimonio Boschivo) una sensibile diminuzione del proprio territorio boscato a causa degli incendi boschivi, che hanno interessato circa il 5% del territorio boschivo.

L'area di studio è rappresentata da una discretizzazione del territorio su di un reticolo di k celle regolari di lato assegnato. Per ognuna di esse si assumono noti tutti i dati necessari alla definizione del problema.

La conoscenza delle variabili descrittive lo stato vegetativo delle specie prevalenti costituenti le formazioni erbacee, arbustive e boschive del territorio considerato, richiede necessariamente la determinazione dei valori medi stagionali di alcuni parametri morfologici e fisiologici da identificare.

Le caratteristiche morfologiche del combustibile sono completamente descritte dal carico di combustibile [kg m^{-2}], ottenuto dal prodotto del volume superficiale [$\text{m}^3 \text{m}^{-2}$] per la densità media del materiale vegetale considerato [kg m^{-3}].

I parametri fisiologici descrivono invece le caratteristiche fisiche e chimiche dei tessuti vegetali e, di conseguenza, definiscono il comportamento al fuoco della vegetazione viva (fitomassa) e morta (necromassa). Le variabili utilizzate per definirne i parametri sono il potere calorico superiore (HHV) [kJ kg^{-1}], ovvero la quantità di calore rilasciata dall'ossidazione completa di un'unità di massa assumendo la permanenza dell'acqua allo stato liquido, e l'umidità media relativa dei tessuti [%], attribuibile ad un campione eterogeneo di vegetale considerando solo le parti aeree della pianta, nelle stesse proporzioni con cui esse si trovano in natura.

La prima elaborazione effettuata dalla procedura è il calcolo del valore medio del volume superficiale [$\text{m}^3 \text{m}^{-2}$] dei combustibili presenti. A questo fine è necessario definire un criterio di classificazione in grado di raggruppare la vegetazione reale in classi di combustibile con

caratteristiche omogenee. La procedura ha utilizzato a questo fine la metodologia della Carta Forestale d'Italia, con una suddivisione della vegetazione ligure in ventinove formazioni principali, f_i ($i=1,..,29$), classificate per frequenza e per estensione di superficie interessata. Ogni diversa formazione può esistere secondo sei diversi tipi strutturali, t_j ($j=1,..,6$):

1. regime naturale arboreo consolidato;
2. regime naturale arboreo di neoformazione;
3. regime forestale di fustaie coetanee, coetaneiformi, monostratificate, transitorie;
4. regime forestale di fustaie biplane, pluristratificate, disetaneiformi, articolate, confuse;
5. regime forestale di cedui senza matricine, in conversione, matricinati, composti;
6. regime forestale di cedui sotto fustaia di conifere.

L'individuazione di un valore medio di volume superficiale \tilde{v}_i per ogni diversa formazione f_i , prevede che sia effettuata la media pesata sull'area ricoperta da ogni formazione forestale f_i , per ogni diverso tipo strutturale t_j .

Dal valore medio stagionale della densità massica [kg m^{-3}] delle specie prevalenti o dominanti, costituenti le diverse formazioni per ogni diversa tipologia, e dalla relativa superficie di copertura è possibile ricavare i valori medi di carico di combustibile δ [kg m^{-2}], che sono georiferiti sul territorio in esame, attribuendo ad ogni area definita dalla cartografia disponibile le variabili ad essa pertinenti. La carta d'uso del suolo tematismo n° 50 della Regione Liguria (ed. Novembre 2000) è lo strumento utilizzato a questo fine per la parte italiana. La metodologia adottata prevede un'aggregazione delle ventinove formazioni definite dalla Carta Forestale d'Italia, nelle tredici classi definite dalla carta Uso del Suolo. Per quanto riguarda la parte francese si è utilizzata la carta CORINE, definendo le corrispondenze con i tematismi della carta Uso del Suolo della Regione Liguria.

Le informazioni che stabiliscono un rapporto funzionale tra la vegetazione presente e l'accensione/propagazione del fuoco sono quelle riguardanti le caratteristiche orografiche e fisiche del territorio e i dati climatici. A questo fine sono state utilizzate le seguenti basi di dati:

- modello digitale dell'elevazione del terreno (DEM); modello digitale dell'esposizione dei versanti rispetto al Nord; modello digitale della pendenza dei versanti, definiti su celle regolari di 50 metri di lato per tutta l'area Ge.Ri.A.;
- serie storiche di dati climatici rilevati nelle province d'Imperia e Savona dalle stazioni meteorologiche di proprietà della società ACNA, dell'Ente Nazionale per le Energie Alternative (ENEA) della Regione Liguria, dell'Ufficio Centrale d'Ecologia Agraria (UCEA), del Ministero per le Politiche Agrarie e Forestali e del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare Italiana (ITAV). Le variabili elaborate, campionate su diversi intervalli temporali all'interno della giornata, sono state utilizzate per ricostruire condizioni climatiche stagionali di riferimento per la zona in esame. Ogni stazione meteorologica definisce una propria area di pertinenza appartenente alla zona di studio. La delimitazione superficiale delle diverse aree è stata ottenuta applicando il metodo dei poligoni di Thiessen. Le elaborazioni sono state effettuate per la velocità e direzione del vento, l'altezza di pioggia, l'umidità relativa e la temperatura dell'aria. Va osservato che i dati relativi alla direzione del vento sono risultati non significativi per numerosità e distribuzione geografica e, spesso, affetti da errori grossolani di rilevazione o trascrizione.

Per quanto attiene all'area di dettaglio, nel nostro caso estesa all'intera Provincia di Imperia, si è proceduto ad un'attenta valutazione dell'effetto che un potenziale incendio può avere sugli insediamenti antropici, sulle infrastrutture e sull'ambiente naturale, evidenziando così le aree a più elevato rischio di incendio. A tal fine sono state utilizzate le seguenti cartografie numeriche vettoriali:

- Carta Tecnica Regionale edita dalla Regione Liguria alla scala nominale di 1:10.000 (*raster*);
- Mosaico degli Strumenti Urbanistici della Regione Liguria;
- Piano Territoriale di Coordinamento Paesistico della Provincia di Imperia;
- Reticolo stradale semplificato, comprendente l'autostrada internazionale A10, le strade statali, le strade provinciali e le principali strade comunali dell'area di studio;
- Parchi regionali e aree protette della Regione Liguria;

2. Rappresentazione della pericolosità da incendio boschivo

La rappresentazione della pericolosità da incendio boschivo si basa sulla valutazione dei valori medi stagionali della velocità potenziale di propagazione [m h^{-1}] e della intensità lineare potenziale [kW m^{-1}] del fronte di fiamma. Questi dati sono ottenuti dalla modellazione semi-fisica della propagazione di un incendio su una griglia composta da k celle regolari, per l'intero territorio in esame, su scala temporale stagionale.

Le finalità del progetto Ge.Ri.A. rendono necessaria l'introduzione di alcune semplificazioni riguardo ai tipi di incendio considerati. Si osserva, infatti, che gli incendi sotterranei si verificano generalmente in concomitanza con un incendio radente e rappresentano un evento non particolarmente significativo nella casistica regionale. Per questo motivo essi non sono considerati dalla metodologia proposta, e non è stata definita una modellazione specifica per questo fenomeno che, invece, è considerato come una possibile conseguenza di un incendio radente. La modellazione degli incendi di chioma non è considerata direttamente, bensì è considerata come una possibile degenerazione di un incendio radente in presenza di vegetazione arborea superiore. La modellazione radente è quindi applicata a tutto il materiale vegetale combustibile definito dall'insieme del materiale vegetale morto depresso al suolo, dalla vegetazione erbacea, dalla vegetazione arbustiva e dalle chiome della vegetazione arborea. La procedura ha utilizzato un modello parametrico fisicamente basato, calibrato sul tipo di vegetazione che caratterizza il territorio.

2.1 La modellazione del territorio in funzione della suscettibilità all'accensione e propagazione degli incendi boschivi

La modellazione semi-fisica della propagazione degli incendi boschivi utilizzata, deriva la propria struttura algoritmica dagli studi pubblicati da Drouet (1974). Il modello, modificato secondo le esigenze del progetto, è in grado di calcolare la velocità potenziale del fuoco. Essa è data dal prodotto di diversi termini che rappresentano in modo indipendente i contributi delle diverse variabili considerate, su ogni cella in cui è discretizzato il territorio, per ogni diversa tipologia di combustibile che caratterizza la cella. Le variabili considerate sono:

- la velocità massima di propagazione del fuoco in assenza di vento e su suolo piatto per un assegnato combustibile di riferimento;
- il contributo dovuto alla temperatura media stagionale dell'aria;
- il deficit idrico stagionale del terreno, definito dall'altezza dello strato secco del suolo in relazione allo spessore dello strato di terreno interessato dallo scambio idrico con il vegetale;
- l'influenza della velocità del vento a due metri dal suolo, sulla velocità di propagazione del fuoco.

La conoscenza del valore di queste variabili, per ogni cella in cui è discretizzato il territorio, permette il calcolo della velocità potenziale del fuoco su suolo piatto.

L'acclività e l'esposizione dei versanti interessati da un incendio sono in grado di modificare il comportamento del fuoco, (Rothermel, 1972), sia per le dinamiche dei moti convettivi prodotti dal fuoco, sia per l'influenza della direzione del vento sulla propagazione del fronte di

fiamma. Per questo motivo il passo successivo dell'algoritmo consiste nel calcolo della velocità potenziale di propagazione su terreno inclinato, che è effettuata introducendo nell'algoritmo alcuni parametri che dipendono dalla pendenza dei versanti e dall'angolo fra la direzione del vento e l'esposizione del terreno considerato.

La vegetazione incontrata dal fuoco nell'avanzamento del fronte è descritta, per ogni cella k , dai valori di potere calorico inferiore LHV_k [kJ kg^{-1}] e dal carico superficiale δ_k . A questo fine è introdotto un coefficiente di calore che moltiplicato per la velocità su suolo acclive permette di definire il valore stagionale della velocità media di propagazione per ogni cella.

Il valore dell'intensità lineare I_k [kWm^{-1}] (Byram, 1959), per ogni cella k , è ottenuto dal prodotto della velocità di propagazione per il valore di LHV_k per il carico di combustibile δ_k . La metodologia proposta assume che la pericolosità dell'incendio sia descritta da quest'ultima grandezza. Essa rappresenta un indicatore di sintesi in grado di definire con precisione la potenzialità energetica del fronte e, inoltre, di quantificare il dispositivo d'attacco che può essere mobilitato per estinguere le fiamme. L'intensità lineare è, infatti, legata funzionalmente all'altezza del fronte di fiamma e alla velocità con cui esso si propaga sul terreno.

3. Rappresentazione del rischio incendi boschivi

3.1 Identificazione e classificazione dell'esposto vulnerabile

In termini generali, seguendo le indicazioni metodologiche contenute nella normativa prodotta sull'argomento nel caso idraulico o idrogeologico (c.f.r. il D.L. 180/98), l'espressione formale del rischio prevede il coinvolgimento di tre grandezze principali: **la pericolosità; il valore o costo degli elementi esposti; la vulnerabilità.**

La pericolosità assunta come grandezza deterministica stagionale è definita dalla variabile intensità lineare I_k [kWm^{-1}] per assegnata direzione e intensità del vento. Essa è in grado di misurare la magnitudo che un incendio può raggiungere su ogni cella della regione studiata in funzione delle caratteristiche climatiche, vegetazionali e orografiche locali. Per quanto riguarda le variabili climatiche, è da notare che i dati in nostro possesso hanno permesso di elaborare esclusivamente le intensità massime e medie di vento, mentre i valori di direzione, disponibili solo per poche stazioni e per periodi di osservazione giudicati non significativi, non sono stati utilizzati. L'assenza di questa informazione fondamentale ha reso necessaria l'adozione di una metodologia in grado di valutare con la dovuta precisione l'effetto della direzione del vento sulla potenziale propagazione del fuoco.

La metodologia adottata è consistita nel calcolare per ogni cella k , per ogni valore massimo stagionale di intensità del vento, per ogni valore medio stagionale di carico di combustibile e di LHV, le intensità lineari dovute ad otto direzioni possibili di vento per assegnata intensità, rappresentate dai venti provenienti dai quattro quadranti principali e dalle quattro direzioni intermedie. Il valore finale di intensità, attribuito alla k -sima cella, è dato dalla media dei trentadue diversi valori calcolati secondo la metodologia descritta sopra.

Nelle zone antropizzate, dove il carico di combustibile è generalmente trascurabile, si ha una pericolosità vicino a zero. Questo non significa che il rischio percepito dagli elementi antropici, definiti con il termine generale di esposto vulnerabile, sia nullo. Al fine di valutare il rischio degli esposti vulnerabili, essi sono stati perimetrati da una zona di confine (*buffer*), la cui profondità è funzione della tipologia o classe dell'esposto, in grado di definire per ognuno di essi un'area di rispetto o di sicurezza (*safety zone*), in cui si assume che la presenza del fuoco possa determinare una potenziale perdita di funzionalità dell'esposto, o nei casi peggiori un vero e proprio danneggiamento fisico o strutturale dello stesso. In questa zona il rischio percepito è pesato dal prodotto della pericolosità per il costo e la vulnerabilità degli esposti presenti, estesi a tutta la superficie identificata dai relativi *buffer*. Alla base di questa metodologia vi è l'idea di misurare sul territorio l'incompatibilità che la presenza di un incendio può avere con le attività e le destinazioni d'uso cui esso è soggetto. In particolare, laddove le zone urbane periferiche si diradano per trasformarsi in superfici agricole produttive o dismesse, poste a diretto contatto con il bosco, si propone una situazione di grave pericolosità e rischio indotto, legato alle pratiche agricole che prevedono l'accensione di fuochi in vicinanza di boschi generalmente ricchi di biomassa e prossimi alle zone abitate.

Il valore, o costo, degli elementi esposti c_i^k appartenenti alla classe i , la cui influenza può essere estesa alla cella k , è ottenuto in funzione del valore dell'oggetto esposto alla pericolosità I_k , o del valore del servizio che tale oggetto assicura alla comunità.

La vulnerabilità v_k della cella k , è definita dalla risposta fisica, funzionale o sistemica (introdotta nella Fase B del progetto GERIA) che essa è in grado di offrire in relazione ad una sollecitazione esterna I_k .

Dalla definizione delle variabili introdotte appare chiaro come la fase di pianificazione territoriale, ad esempio alla scala di bacino, non possa essere finalizzata all'eliminazione totale del rischio, ma deve essere indirizzata alla sua mitigazione.

La mitigazione del rischio insistente su un sistema territoriale è perseguibile secondo due differenti approcci:

- 1 riduzione della pericolosità I_k : consiste nell'intervenire direttamente sulle caratteristiche fisiche del combustibile disponibile nella cella k , ad esempio con azioni di assestamento forestale utili alla diminuzione del potere calorico disponibile sulla cella considerata, o mantenendo valori di umidità minimi del combustibile elevati per mezzo di atomizzatori a bassa pressione.
- 2 riduzione della vulnerabilità v_k : si basa su interventi diretti da effettuarsi sull'esposto vulnerabile, siano essi strutturali o funzionali, in grado di diminuire la vulnerabilità del territorio, ad esempio mediante la costruzione di nuove infrastrutture di approvvigionamento idrico.

Entrambe le metodologie richiedono l'impiego di risorse economiche per effettuare interventi diretti sul territorio.

L'insieme degli elementi esposti è costituito da tutti gli elementi caratterizzanti il sistema territoriale che, a diverso titolo e per diverse finalità, devono essere preservati e protetti dalla collettività affinché non siano persi, danneggiati, o resi inutilizzabili per un certo periodo di tempo in seguito ad un incendio boschivo. Gli obiettivi da preservare in fase di pianificazione del territorio per la difesa dagli incendi boschivi, possono essere raggruppati macroscopicamente in cinque gruppi principali: le persone residenti, i beni immobili, le infrastrutture, le reti tecnologiche e gli spazi naturali posti all'interno dell'area di studio. Nella prima fase del progetto (Fase A), è stata effettuata un'elencazione ed individuazione su base GIS degli elementi esposti, ricavati dalla legenda della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000. Questa prima fase di ricognizione sul territorio ha portato alla definizione di due diverse classi di elementi esposti; i primi di tipologia areale, restituiti su base GIS da una poligonale chiusa complessa georeferenziata, mentre i secondi, di tipologia lineare sono definiti da una polilinea georeferenziata.

Il numero rilevante di elementi esposti identificati sul territorio e l'eterogeneità delle loro caratteristiche fisiche o della loro destinazione d'uso, rende necessaria una radicale semplificazione del problema in grado di aggregare in classi omogenee il maggior numero possibile di elementi senza per questo perdere informazioni in grado di caratterizzare il sistema territoriale. Alla luce di quanto scritto sopra e di quanto riportato nella relazione relativa alla seconda fase del progetto (fase B), è possibile introdurre sette classi generali di elementi esposti al pericolo di incendio boschivo. Esse sono riportate nella tabella seguente (Tabella 2).

<i>i</i>	<i>Tipologia</i>	<i>Descrizione</i>
1	Areale	Aree insediate sature
2	Areale	Aree insediate diffuse
3	Areale	Aree artigianali o commerciali
4	Areale	Aree di coltivazione dell' <i>Olea europea</i>

5	Areale/Lineare	Rete Autostradale e aree accessorie
6	Lineare	Rete Stradale Ordinaria Principale (SS1 Aurelia) e aree accessorie
7	Lineare	Rete Stradale Ordinaria (Strade Prov., Com.) e aree accessorie
8	Areale/Lineare	Rete ferroviaria e aree accessorie
9	Areale/Lineare	Rete ENEL alta e media tensione e infrastrutture di distribuzione

Tabella 2. Identificazione delle classi di esposto vulnerabile

Le informazioni necessarie alla localizzazione e alla perimetrazione degli elementi esposti sono state ottenute dalla cartografia ufficiale edita dalla Regione Liguria. In particolare è stata utilizzata la Carta d'Uso del Suolo della Regione Liguria, edizione novembre 2000 per la perimetrazione del tessuto urbano saturo, del tessuto urbano diffuso e delle zone industriali e commerciali e un reticolo stradale semplificato, riportante le Strade Statali, le Strade Provinciali e parte delle Strade Comunali, la rete ENEL e la rete ferroviaria, ottenuto dalla vettorializzazione della Carta Tecnica Regionale 1:10.000.

3.1.1 Elementi esposti areali

Aree insediate sature

Queste aree sono rappresentate dai centri storici o da edifici a prevalente uso residenziale sorti ai margini dei nuclei storici creando forme insediative prive di un disegno urbano ordinato di riferimento. In queste aree l'edificazione si è sviluppata in maniera spesso casuale e disgregata anche sotto il profilo delle tipologie edilizie, spesso contrastanti con quelle prevalenti nei nuclei di antica origine. L'uso casuale del territorio iniziato prima dell'introduzione degli strumenti urbanistici guida, ha determinato in alcuni casi uno sfruttamento eccessivo delle possibilità edificatorie dei lotti con realizzazione di edifici di notevoli dimensioni addensati tra loro, mentre in altri casi, il parziale sfruttamento edilizio ha creato vuoti urbani privi di qualità urbanistica e paesaggistica e spesso a diretto contatto con zone combustibili.

Aree insediate diffuse

Le aree così definite sono normalmente dotate di opere di urbanizzazione primaria. Tali aree sono state individuate all'interno del contesto edilizio determinato dagli insediamenti abitativi esistenti e si caratterizzano per essere parzialmente libere da costruzioni, con spazi interclusi potenzialmente utilizzabili per nuovi interventi edificatori che, in forme, dimensioni e tipologie siano di completamento del tessuto edilizio esistente. Le zone insediate diffuse sono ubicate ai margini degli insediamenti storici, compenstrate ed integrate con le aree residenziali sature e con la presenza, al loro interno, di edifici spesso non riconducibili ad una matrice caratterizzante e prevalente. In queste aree possono essere insediate anche le attività pertinenti agli insediamenti residenziali come il commercio, le attività connesse con il terziario e le attività comunque connesse con la residenza.

Aree artigianali o commerciali

Queste aree sono caratterizzate da una prevalente presenza di insediamenti industriali o artigianali o dalla presenza di centri commerciali di grandi dimensioni. Esse sono generalmente localizzate nelle zone periferiche dei centri abitati a diretto contatto con le zone boscate o con zone caratterizzate da una vegetazione arbustiva o da coltivazioni.

Aree di coltivazione dell'Olea europea (olivo)

I terreni coltivati ad olivo ricoprono quasi il 14% della superficie territoriale provinciale (1.154.195.419,4 m²). La provincia di Imperia è la provincia ligure in cui l'agricoltura assume la maggior importanza, con punte di eccellenza nell'attività florovivaistica (6.393 aziende), che costituisce la principale fonte di produzione, di occupazione e di reddito dell'agricoltura

imperiese (oltre il 91% del P.I.L. totale), e olivicola (12.323 aziende), che rappresenta l'orientamento specializzato maggiormente diffuso in provincia. Le zone coltivate ad olivo e le aree con esse confinanti sono, per motivi legati alle pratiche agricole stagionali, le zone in cui è più frequentemente l'accensione di un fuoco può degenerare in incendio boschivo.

Aree accessorie della rete autostradale

In questa classe sono ricondotte tutte le aree di proprietà della Società Autostrade non costituite dalle carreggiate autostradali. Gli elementi principali di questa classe sono i caselli autostradali, le rampe di accesso ed uscita, le aree di parcheggio e le aree di rifornimento.

Aree accessorie della rete ferroviaria

Questa classe è rappresentata da tutte le aree di proprietà delle Ferrovie dello Stato utilizzate per le operazioni di movimentazione interna dei convogli ferroviari, per le operazioni di manutenzione del materiale circolante, per il carico e scarico delle merci e per l'accoglienza dei viaggiatori. A tale classe appartengono le stazioni ferroviarie, le aree di parcheggio dei treni e le aree di manovra.

Infrastrutture asservite alla Rete ENEL alta e media tensione

Questa classe elenca tutte le infrastrutture collegate alla rete elettrica principale e necessarie alla distribuzione e trasformazione dell'energia elettrica. A tale classe appartengono le centrali di produzione, le centrali di trasformazione, le cabine e le sottocabine di distribuzione. Nella tabella seguente (Tabella 3) sono riportati il numero e le caratteristiche fisiche di ogni esposto areale censito nella Provincia di Imperia.

i	ESPOSTO AREALE [m ²]	N°	Area min.	Area massima	Area media	Area totale
1	Aree insediate sature	389	5.324,4	4.720.166,8	97.083,1	37.765.330,6
2	Aree insediate diffuse	142	6.194,2	630.394,7	57.818,8	8.210.264,6
3	Aree artig.li o com.li	57	2.633	306.793,8	39.951,8	2.277.251,9
4	Coltivazione Olivo	241	5.520,3	309.070.809,8	683.484,3	164.719.713,8
5	Aree autostradali A10	14	232,2	1.528,5	569,3	7.970,7
7	Rete ferroviaria	8	1.000	97.760,2	20.159,2	161.273,9
8	Rete elettrica	19	22,6	1.114,8	199,3	3.787,3
	-TOTALE-	870	-	-	-	1.695.623.063,8

Tabella 3. Numero, valore minimo, valore massimo, valore medio e somma delle aree coperte dagli esposti vulnerabili areali censiti.

3.1.2 Elementi esposti lineari

Rete Autostradale

La rete autostradale ligure costituisce un'importante elemento lineare di discontinuità che divide nettamente l'area di costa, caratterizzata da insediamenti urbani saturi o diffusi posti in contatto con una vegetazione di macchia o arbustiva, dal primo entroterra, in cui si localizzano piccoli insediamenti isolati posti in zone boscate o coltivate ad olivo. Il sistema autostradale ligure è spesso interessato dal fenomeno degli incendi boschivi che, tra le varie catastrofi naturali, è senza dubbio quella in grado di ostacolare con maggior frequenza il normale esercizio.

Rete Stradale Ordinaria Principale (SS 1 Aurelia) e Rete Stradale Ordinaria (Strade Provinciali, Comunali)

L'orografia della Liguria è caratterizzata essenzialmente da formazioni collinari o montagnose separate da valli aventi uno sviluppo generalmente perpendicolare alla linea di costa. Queste caratteristiche unite alla notevole dispersione degli insediamenti abitati, hanno prodotto nei secoli una fitta rete stradale, molto ramificata, che, diramandosi dalla viabilità principale (Strada Statale 1 Aurelia), si addentra nell'entroterra seguendo percorsi paralleli alle isoipse, spesso tagliando orizzontalmente versanti scoscesi e ricoperti da boschi. Si può assumere che il volume di flusso maggiore sia associabile alla SS 1 Aurelia, che costituisce la viabilità principale e di riferimento per i trasporti di uomini e cose nella Provincia di Imperia.

Rete ferroviaria

Lo sviluppo della rete ferroviaria ligure segue una direttrice essenzialmente parallela alla linea di costa e, salvo alcune sezioni poste nel primo entroterra o lungo i fondovalle che portano ai valichi interregionali, si localizza quasi interamente in una fascia posta a non più di due chilometri dal mare. Questa zona, generalmente caratterizzata da insediamenti abitati saturi, è spesso caratterizzata dalla presenza di una rigogliosa vegetazione che entra direttamente a contatto con il rilevato ferroviario. La ferrovia è al tempo stesso un ostacolo alla propagazione del fuoco verso i centri abitati ed un esposto all'intensità delle fiamme che ne possono impedire il normale esercizio.

Rete di distribuzione elettrica ENEL alta e media tensione

Il trasporto di energia elettrica a media e alta tensione operata da ENEL, con elettrodotti o linee trifase a quattro fili, è spesso ostacolato dalla presenza di incendi boschivi. Il problema è particolarmente grave qualora gli incendi siano estesi, prolungati e interessino linee elettriche primarie. Eventuali interruzioni di linee d'alta tensione che non possano prevedere una rapida commutazione su altri elettrodotti, possono, infatti, provocare gravi conseguenze sulla regolare fornitura di energia (blocco della fornitura) o nella funzionalità della rete (possibili sovraccarichi di linee collegate). L'interruzione del trasporto di energia su linee di alta tensione può inoltre essere necessaria per garantire la sicurezza degli operatori nelle fasi di spegnimento, in particolare quando sono utilizzati mezzi aerei. Lo sviluppo spaziale degli elettrodotti e la loro localizzazione geografica è generalmente indipendente dalle caratteristiche orografiche del territorio, bensì è finalizzato al trasporto e all'erogazione dell'energia elettrica verso i centri abitati o al trasferimento interregionale o internazionale di energia elettrica ad alta tensione.

Nella tabella seguente (Tabella 4) sono riportati il numero e le caratteristiche fisiche di ogni diverso esposto lineare censito nella Provincia di Imperia.

i	ESPOSTO LINEARE [m]	N°	Lunghezza minima	Lunghezza massima	Lunghezza media	Lunghezza totale
5	Autostrada A10 (due carreggiate)	250	29,3	2447,6	683,7	170931
6	Strade Statali, Provv. e Comunali	1532	9	17724,3	824,6	1263261,6
7	Rete ferroviaria	2	7034,6	63179,2	35106,9	70213,8
8	Rete elettrica	105	72,2	17706	3629,2	381064,4
	-TOTALE-	1889	-	-	-	1885471

Tabella 4. Numero, valore minimo, valore massimo, valore medio e somma delle aree coperte dagli esposti vulnerabili areali censiti.

Il grado di dettaglio ottenibile con la modellazione del territorio definita dalle classi introdotte permette di effettuare un'analisi particolareggiata del rischio cui sono soggetti gli elementi esposti presenti.

3.2 La determinazione della funzione di costo

La presenza di diverse destinazioni d'uso o infrastrutture nella stessa porzione di territorio (k-esima cella) rende maggiore la percezione del rischio, poiché aumenta il numero di soggetti e di attività ad esso esposti. Tali esposti possono essere a loro volta relazionati con altri elementi, presenti in celle confinanti o fuori dall'area di studio, e in definitiva costituiscono l'intero sistema territoriale. Per questo motivo, ad ogni diversa classe di elemento esposto i è attribuito un peso, $c_k^i \in [0, 1]$, che definisce il costo totale dell'esposto vulnerabile presente sulla cella k , calcolato in modo che la somma su tutte le classi i considerate, per ogni cella, abbia valore nullo qualora non sia presente alcun esposto e, al contrario, raggiunga valore massimo, pari ad uno qualora siano presenti tutte le classi considerate. Il costo attribuito agli elementi esposti areali è commisurato alla densità di abitanti presenti, alle attività insediate, al valore di mercato dei terreni considerati o al valore delle infrastrutture presenti. La mancanza di informazioni precise sul valore dell'abitato e la complessità dell'argomento impongono una notevole semplificazione della metodologia. Si assume che il valore attribuito agli elementi esposti sia ricavabile ed esprimibile in termini monetari per unità territoriale. Il costo assegnato alla rete stradale ordinaria e autostradale è, invece, determinato dall'importanza che le diverse arterie stradali rappresentano per gli spostamenti originati e diretti in zone interne all'area di studio, oppure generati all'interno dell'area e diretti verso l'esterno e viceversa. Un'analisi precisa dei flussi [veicoli/giorno per corsia] insistenti sulla rete dovrebbe considerare gli spostamenti suddivisi per origine, destinazione, motivo dello spostamento, modo di spostamento ed ora dello spostamento, al fine di ottenere un valore medio stagionale o mensile in grado di approssimare con sufficiente precisione il costo percepito dall'utenza e dai gestori della rete stradale in caso di interruzione del servizio. Il valore dei costi è stato attribuito ad ogni cella applicando una procedura gerarchica. In essa sono state definite tre classi principali di esposti vulnerabili:

- 1 i sistemi di trasporto;
- 2 l'uso del suolo;
- 3 le reti tecnologiche.

Ad ognuna di queste classi o criteri fanno capo delle sottoclassi o sottocriteri, in grado di definire con maggiore precisione i diversi esposti vulnerabili e, ad un livello di dettaglio ancora maggiore, tali sottoclassi possono essere ulteriormente suddivise. Nella Figura 1 è riportato lo schema con cui è stato effettuato l'ordinamento gerarchico del sistema territoriale.

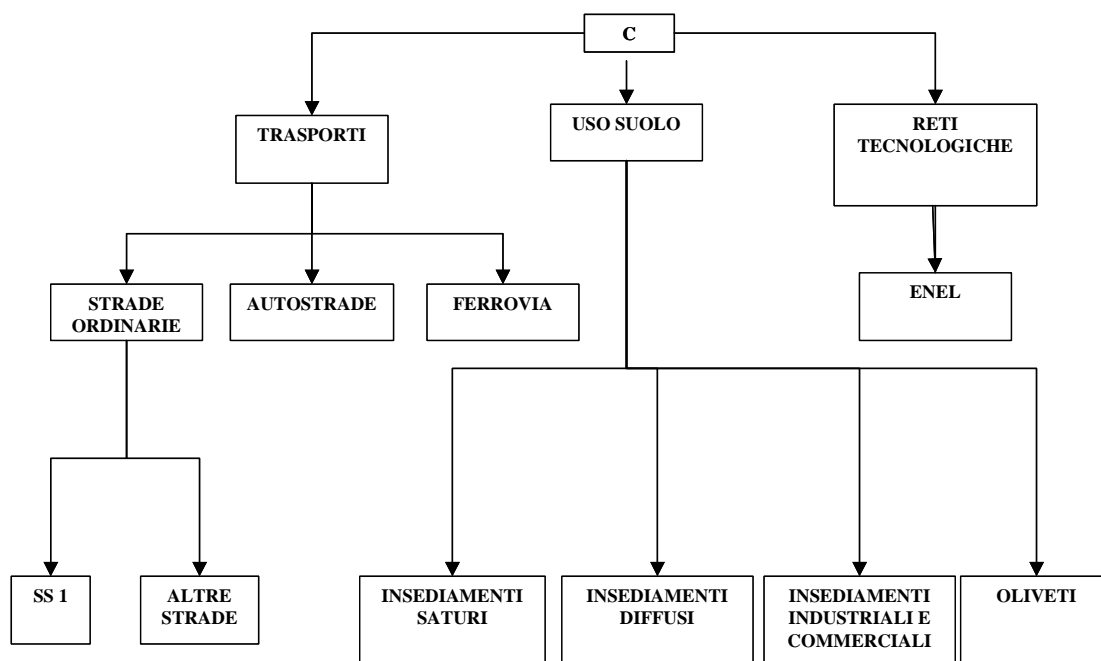


Figura 1. Schema gerarchico del sistema territoriale.

I valori attribuiti agli esposti vulnerabili definiti sul territorio di Imperia, calcolati con una metodologia gerarchica multicriterio (Girard, Nijkamp, 1997), sono riportati nella Tabella 5.

i	ESPOSTO	buffer [m]	Estensione	Costo c ⁱ
1	Aree insediate sature [m ²]	500	37765330,6	0.3
2	Aree insediate diffuse [m ²]	250	8210264,6	0.12
3	Aree artigianali o commerciali [m ²]	200	2277251,9	0.12
4	Aree coltivate ad Olea europea [m ²]	0	164719713,8	0.06
5	Autostrada A10 [m]	250	178901,7	0.125
6	Rete ferroviaria [m]	100	231487,7	
7	Statale Aurelia SS1 [m]	100	85465,4	0.09375
8	Strade Provinciali. e Comunali [m]	100	1263261,6	0.03125
9	Rete elettrica lineare [m]	60	381064,4	0.15
	-TOTALE-	-	-	1

Tabella 5. Raggio della safety zone, numero di esposti censiti e vulnerabilità assegnata per ogni singola classe i di esposto vulnerabile.

3.3 La valutazione della vulnerabilità

La vulnerabilità fisica nel caso di incendio boschivo, a differenza del caso sismico e, in parte, del caso idrogeologico e idraulico, non può essere descritta da una relazione meccanicistica causa/effetto tra la sollecitazione data dalla presenza di un incendio e i danni che l'esposto vulnerabile può presentare. Gli incendi boschivi, infatti, sono controllabili dall'uomo in fase di evento. Ovvero, qualora vi sia un incendio in atto, le forze antincendio boschivo sono

chiamate ad intervenire, con l'obiettivo prioritario di salvaguardare l'ambiente antropizzato dalle fiamme, bloccando il fronte di avanzamento dell'incendio.

Le caratteristiche di avanzamento lineare del fronte di un incendio e la dinamica della propagazione nello spazio e nel tempo fanno sì che la vulnerabilità fisica degli esposti sia funzione dell'azione di spegnimento. Ai fini pratici si assume, quindi, che le (scarse) risorse siano utilizzate per proteggere gli elementi esposti di natura residenziale o produttiva, non intervenendo, se non in seconda battuta, sugli esposti vulnerabili lineari e soprattutto sulle reti tecnologiche che, per questo motivo, sono quelle che subiscono il maggior danno fisico.

L'analisi della dinamica di propagazione di un incendio boschivo permette di esprimere alcune considerazioni riguardo alla valutazione della vulnerabilità e quindi del rischio cui è soggetto il territorio in caso di emergenza. Si assume quindi che la vulnerabilità del territorio, funzione della sola posizione geografica della cella, sia misurata in relazione alla capacità d'intervento, in termini di uomini e di mezzi disponibili, nella cella stessa o nelle celle vicine, da parte delle forze antincendio, che possono agire in caso di emergenza o in fase pre-operativa. Nella valutazione della vulnerabilità dell'area in esame si assumono le seguenti condizioni semplificative:

- 1 Il Corpo Forestale dello Stato ed i volontari antincendio boschivo (VAB) sono considerati gli unici attori impegnati nella lotta antincendio boschivo. Si assume che il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco possa operare esclusivamente all'interno dei centri abitati.
- 2 Ogni Comando Stazione è responsabile della sicurezza di un numero fisso e predeterminato di Comuni, secondo lo schema riportato in Tabella 6.
- 3 Le tipologie di mezzi a disposizione del CFS sono tre: 1) i Veicoli da Trasporto per le squadre (VM); 2) le Auto Pompe Serbatoio (APS), con capacità inferiore o eguale a 400 litri di liquido ritardante o acqua; e le Auto Botti Pompa (ABP) con volumi maggiori di 1000 litri di liquido ritardante o acqua.
- 4 Le distanze, calcolate tra i Comandi Stazione ed i Comuni della Provincia di Imperia ad essi assegnate, sono state ottenute considerando il percorso più breve, in termini chilometrici, congiungente i centroidi dei due comuni percorrendo la rete stradale ordinaria. Nel caso di scelta tra due o più percorsi alternativi equidistanti, si è operato scegliendo la viabilità che consente la velocità più elevata.
- 5 L'intervento aereo coordinato dal COAU è considerato esclusivamente in funzione della distanza del centro della cella k dal mare. Il velivolo anfibia Canadair, infatti, se il fuoco si sviluppa nell'entroterra ha dei tempi di intervento (rotazione) molto alti e vede diminuita drasticamente l'efficacia del suo intervento. L'acqua lanciata dal velivolo, infatti, ha proprietà raffreddanti ed estinguenti sulla vegetazione in fiamme, ma qualora venga a mancare la continuità dell'azione nel tempo essa non è in grado di mantenere la temperatura ed il livello di umidità sufficientemente bassi; in genere poi l'inefficacia dell'azione è ancor più esaltata dalla presenza del vento.

Al fine di valutare la vulnerabilità da incendio boschivo è stata effettuata un'attenta analisi della struttura antincendio boschivo del Corpo Forestale dello Stato della Regione Liguria, delle modalità operative sia in fase pre-operativa, sia in caso di emergenza. Il Corpo Forestale dello Stato è decentrato sul territorio della Provincia di Imperia con dieci Comandi Stazione o Centri Operativi Locali (COL), che fanno capo al Centro Operativo Provinciale (COP) di Imperia ed al Centro Operativo Regionale (COR) di Genova. Di seguito (Tabella 6) sono riportati i comuni della provincia di Imperia suddivisi in funzione del Comando Stazione cui fanno riferimento in caso di emergenza.

Comando Stazione o Reparto	Comuni di giurisdizione
COORDINAMENTO PROVINCIALE	Tutti i comuni della provincia

BAJARDO	Bajardo, Ceriana, Perinaldo
BADALUCCO	Badalucco, Carpasio, Castellaro, Moltalto Ligure, Taggia
IMPERIA	Cervo, Cipressa, Civezza, Costarainera, Diano Arentino, Diano Castello, Diano Marina, Diano S. Pietro, Dolcedo, Imperia, Pietrabruna, Pompeiana, Prelà, Riva Ligure, S. Bartolomeo al mare, Cervo, S. Lorenzo al mare, S. Stefano al mare, Terzorio, Vasia, Villa Faraldi
PIEVE DI TECO	Aquila d'Arroscia, Armo, Borghetto d'Arroscia, Cosio d'Arroscia, Mendatica, Montegrosso Pian Latte, Pieve di Teco, Pornassio, Ranzo, Rezzo, Vessalico
PIGNA	Apricale, Castel Vittorio, Pigna
PONTEDESSIO	Aurigo, Borgomaro, Garavonica, Cesio, Chiusanico, Chiusavecchia, Lucinasco, Pontedassio
ROCCHETTA NERVINA	Dolceacqua, Isolabona, Rocchetta Nervina
SANREMO	Bordighera, Ospedaletti, Sanremo, Seborga, Vallebona
TRIORA	Molini di Triora, Triora
VENTIMIGLIA	Airole, Camporosso, Olivetta S.Michele, S. Biagio della cima, Soldano, Vallecrosia, Ventimiglia

Tabella 6. Elenco dei Reparti e Comandi Stazione della Provincia di Imperia e relativi comuni di competenza in caso di emergenza da incendio boschivo.

Il Centro Operativo Provinciale di Imperia ha a disposizione un organico di sessantuno uomini (dato del 1998. Piano Regionale di Protezione del Patrimonio Boschivo – Regione Liguria), che, defalcato dagli impiegati aventi compiti amministrativi e dal personale non impegnato sul territorio, raggiunge una forza di circa cinquanta unità tra agenti forestali e graduati. Essi sono distribuiti su dieci Comandi Stazione in costante contatto radio sia con il COP d'Imperia situato presso il coordinamento provinciale CFS, sia con il COR di Genova presso il coordinamento regionale CFS. Al personale del Corpo Forestale va aggiunto, ai sensi della Legge Regionale n° 6 del 28/01/1997, l'organico messo a disposizione dai Comuni per mezzo delle Squadre Comunali ed Intercomunali dei Volontari Antincendio boschivo (VAB) e tramite le Organizzazioni di Volontariato iscritte al Registro Regionale (Legge Regionale n° 15/1992). L'apporto di queste squadre è fondamentale nella gestione dell'emergenza, raggiungendo circa novecento unità (1998), considerando i diversi gruppi operativi, inquadrati in 51 Squadre Comunali o Intercomunali. Purtroppo quindici comuni della provincia di Imperia ancora non hanno organizzato delle proprie squadre e non prevedono ad oggi (dati 1998) l'utilizzo di organizzazioni iscritte al registro (Piano Regionale per la Difesa e la Conservazione del Patrimonio Boschivo, periodo 1998 – 2002. CFS).

La dotazione in mezzi di ogni Comando Stazione è generalmente costituita da un autoveicolo fuoristrada eventualmente dotato di modulo antincendio trasportabile. I COL posti nelle zone maggiormente esposte al rischio di incendio boschivo sono dotati di auto pompe serbatoio (APS) di piccole dimensioni a trazione integrale o, più raramente, di autobotti pompa (ABP) di grandi dimensioni; queste ultime sono accentrate in congruo numero presso i distaccamenti provinciali da cui si muovono in caso di richiesta di intervento. Sono inoltre a disposizione degli Ispettorati Ripartimentali delle Foreste della Regione Liguria, due elicotteri SA 315B con serbatoi fissi e naspo per l'approvvigionamento, dislocati presso l'aeroporto Cristoforo Colombo di Genova per operazioni nelle province di La Spezia e Genova, e presso l'aeroporto di Villanova d'Albenga per le province di Savona ed Imperia. Per ogni comune della provincia di Imperia sono noti i seguenti dati, tramite i quali è possibile valutare la vulnerabilità.

- 1 numero di veicoli da trasporto medi disponibili presso il comando stazione di riferimento;
- 2 numero di autopompe serbatoio disponibili presso il comando stazione di riferimento
- 3 numero di autobotti pompa disponibili presso il comando stazione di riferimento;
- 4 disponibilità di squadre VAB;
- 5 distanza del centroide del comune cui appartengono le celle considerate dal centroide del comune ove è posto il Comando Stazione di riferimento.

3.4 Applicazione della metodologia al territorio della provincia di Imperia

La metodologia fin qui esposta è stata applicata al territorio della Provincia di Imperia, al fine di fornire una valutazione del rischio incendi boschivi cui è esposto il territorio della zona Ge.Ri.A. Il valore di rischio è stato calcolato per l'intera superficie territoriale, in relazione ad ogni diversa classe di esposto considerato. La metodologia adottata, che prevede l'utilizzo di una cartografia numerica su base GIS, ha portato alla produzione di nove diverse basi cartografiche strutturate in un file ASCII e visualizzabili da un *browser* GIS.

Successivamente si è proceduto al calcolo del rischio da incendi boschivi secondo la metodologia introdotta ai capitoli precedenti. La procedura è stata applicata per ogni diversa categoria di esposto definendo, a livello provinciale, il rischio relativo agli insediamenti saturi, diffusi e alle aree industriali e commerciali (Figura 7). In questa fase si è proceduto ad un'analisi di dettaglio territoriale molto interessante, che ha portato alla evidenziazione grafica delle zone a maggior rischio. A questo proposito si cita, ad esempio, la zona di confine fra il comune di Triora e il comune di Molini di Triora, in cui si evidenzia la più alta concentrazione di celle ad elevato valore di rischio. Tale situazione è da imputarsi principalmente alla conformazione orografica (forte acclività) del territorio nel quale si sono sviluppati gli insediamenti abitativi dei due comuni, e alla presenza consistente di superficie boscata ad alto valore energetico a ridosso degli insediamenti stessi. Inoltre, pur esistendo un comando stazione del CFS cui fanno capo solo i due comuni, la vulnerabilità risulta piuttosto elevata, in quanto l'intervento aereo è penalizzato dalla elevata distanza dal mare, e i mezzi a disposizione del comando stazione sono costituiti esclusivamente da due autoveicoli per il trasporto di personale (Piano Regionale per la Conservazione del Patrimonio Boschivo, 1998).

La metodologia è stata quindi estesa alle linee elettriche ad alta e media tensione, alla rete stradale, costituita dalla Strada Statale Aurelia, dalle strade Provinciali e Comunali e dalla rete autostradale e alla rete ferroviaria. L'analisi di dettaglio ha permesso di effettuare alcune considerazioni su queste tipologie di esposto, evidenziando, per quanto attiene le linee elettriche, un valore particolarmente elevato di rischio per il territorio comunale di Camporosso. In figura 8 viene riportato il rischio percepito dalle infrastrutture di trasporto; come si può osservare le situazioni di rischio più elevate sono localizzate in prossimità della rete autostradale che, frequentemente, si trova a diretto contatto con le zone boscate. Inoltre, qualora si effettuasse una valutazione del rischio sistemico, la rete autostradale risulta sicuramente prioritaria rispetto alle altre reti stradali, in quanto costituisce un collegamento di importanza internazionale, essendo la via di maggior traffico di persone e di merci fra l'Italia e la Francia.

Il basso costo attribuito alle zone del territorio coltivate ad olivo (*Olea europea*), fa sì che tale esposto presenti valori contenuti del rischio, ma una distribuzione spaziale molto elevata sul territorio, evidenziata soprattutto nell'imperiese. La sovrapposizione del rischio alla mappatura dei punti dove è avvenuto l'innescò di un incendio boschivo nel triennio 1997-2000 mette in evidenza l'elevata correlazione fra la presenza di coltivazioni di olivo e i focolai degli incendi

boschivi. E' interessante notare come i valori di rischio più elevati occorrono nelle zone a più elevata acclività, nelle quali si ha una più elevata intensità del fronte di fiamma, inoltre, è importante rilevare che spesso le coltivazioni di *Olea europea* sono spesso in stato di abbandono poiché irraggiungibili con mezzi meccanici a causa dei vincoli connessi alla notevole pendenza. Questa situazione di degrado aggrava il rischio da incendio boschivo, giacché la presenza di vegetazione erbacea e arbustiva, che prolifera in maniera incontrollata in seguito all'abbandono delle coltivazioni, facilita l'accensione di focolai e la propagazione di incendi boschivi in un sistema forestale contraddistinto da un elevato valore di potere calorico.

Il valore del rischio da incendi boschivi percepito dal sistema territoriale complessivo, è ottenuto per ogni singola cella k dalla somma pesata dei valori di costo attribuiti ad ogni diverso esposto "bufferizzato" moltiplicata per la pericolosità insistente. Questo valore rappresenta un risultato intermedio di grande importanza poiché permette di definire il rischio trascendendo dalla capacità operativa di spegnimento disponibile sul territorio.

Il prodotto di tale valore per la vulnerabilità della k-sima cella consente, in ultima analisi, di ottenere il rischio da incendio boschivo cui è soggetta l'intera superficie provinciale, caratterizzando in modo completo l'area di studio.

3.5 Individuazione di indicatori sintetici relativamente a pericolosità, vulnerabilità e danni

Gli indicatori sintetici di pericolosità, vulnerabilità e danni, definiti per ogni cella k della griglia con cui è discretizzato il territorio, possono essere suddivisi in due classi principali: indicatori di input, indicatori di output.

Per indicatori di *input*, si intendono tutte le informazioni disponibili sul territorio che non richiedono elaborazioni, ma che forniscono direttamente indicazioni a riguardo delle caratteristiche di pericolosità, vulnerabilità o danno. Essi sono:

- **Potere calorico superiore stagionale** [kW/m²].
Tale parametro, fornisce un'indicazione della potenza massima sviluppabile in seguito all'accensione di un incendio boschivo, in ogni cella del territorio, considerando tutto il combustibile vegetale totalmente privo di umidità.
- **Carico di combustibile medio stagionale** [kg/m²].
Tale parametro è anch'esso un buon indicatore di pericolosità, in quanto rappresenta la quantità di combustibile disponibile nella fase di accensione e propagazione dell'incendio.
- **Ventosità reale per assegnato periodo di ritorno.**
Il vento, fra tutte le variabili meteorologiche, è sicuramente quella che influenza maggiormente la velocità del fronte dell'incendio boschivo e di conseguenza l'intensità lineare potenziale.
- **Mappatura degli incendi storici.**
La mappatura degli incendi storici rappresenta un indicatore di pericolosità molto importante. Tale indicatore è attualmente utilizzato dal Centro Operativo Regionale del Corpo Forestale dello Stato per definire la pericolosità del territorio a livello comunale.

Per indicatori di *output*, si intendono tutte le informazioni ottenute dalle elaborazioni dei dati disponibili. Essi sono:

- **Potere calorico inferiore medio stagionale;**

- **Intensità lineare del fronte di fiamma dell'incendio boschivo;**
- **Mappa del valore dell'esposto vulnerabile;**
- **Mappe di vulnerabilità;**
- **Mappe di rischio.**

3.6 Proposta di una metodologia comune valida per organismi e/o strutture competenti

L'unità minima territoriale e amministrativa coinvolta nella fase di mappatura dei rischi naturali, in base alla legge regionale n.45 del 21 ottobre 1996 in "Disciplina delle attività di protezione civile in ambito regionale" B.U.R. n. 21 del 13 novembre 1996, è il comune.

Inoltre, il Corpo Forestale dello Stato, struttura competente sia in fase di prevenzione che in fase di intervento, è organizzata su base intercomunale. Alla luce di tali considerazioni, il rischio è stato aggregato a livello comunale, definendo il rischio medio, e il rischio massimo relativo all'intera superficie comunale.

I comuni che presentano i valori puntuali di rischio più elevati sull'intera superficie comunale, non coincidono con i comuni che presentano valori di rischio medio più elevati su tutta la superficie comunale. Entrambe le situazioni sono prioritarie a livello provinciale.

Al fine di ridurre il rischio medio e il rischio massimo a livello provinciale, sono stati selezionati i comandi stazione cui fanno capo i comuni che presentano le situazioni di rischio più elevato. Le situazioni di rischio più rilevanti sono state identificate nei comuni di Triora, che fa capo al comando stazione di Triora, e nel comune di Ranzo, che fa capo al comando stazione di Pieve di Teco. Ai comandi stazione selezionati sono state attribuite rispettivamente 1 autobotte pompa, al comando di Pieve di Teco, e 2 auto pompe serbatoio, al comando stazione di Triora. Tale intervento porta ad una diminuzione del rischio massimo pari a circa il 20%, e ad una riduzione del rischio medio comunale pari al 26%.

La conoscenza dettagliata del valore, associato alle varie tipologie di esposto vulnerabile a livello provinciale, può permettere di effettuare un'analisi costi benefici, che sulla base delle risorse economiche disponibili, attraverso la risoluzione di un problema di ottimizzazione, può essere in grado di fornire indicazioni precise circa gli interventi da effettuarsi sul territorio provinciale al fine di ridurre al minimo il rischio da incendi boschivi sul territorio.

Naturalmente, la funzione di vulnerabilità identificata in questo contesto, deve necessariamente tenere in considerazione tutti i fattori che condizionano la vulnerabilità del territorio, come ad esempio i punti di approvvigionamento idrico, il numero di uomini appartenenti alle squadre

4. Un sistema di supporto alle decisioni per la pianificazione delle risorse anti incendio e la gestione operativa dell'emergenza

Sulla base delle mappe di pericolosità, ottenute come descritto al Paragrafo 2 del presente dossier, è possibile valutare il dispositivo antincendio boschivo necessario a fronteggiare un potenziale evento catastrofico generatosi in un qualunque punto del territorio.

Si può affermare che il dispositivo ottimo di attacco ad un incendio boschivo è quello in grado di fornire una potenza di spegnimento pari alla potenza generata dall'incendio medesimo. Nel caso di risorse illimitate si potrebbe ipotizzare una dislocazione su tutto il territorio boscato di dispositivi antincendio in grado di contrastare contemporaneamente tutta la potenza generabile dal combustibile presente sul territorio, ovvero un dispositivo antincendio che per ogni cella k sia in grado di fornire un valore di potenza di attacco diretto al fronte di fiamma pari valore di pericolosità stimato dalla procedura proposta. Tale soluzione è chiaramente improponibile, sia perché le risorse sono limitate sia perché il rapporto costi-benefici risulterebbe estremamente svantaggioso per l'intera comunità. Una soluzione più realistica consiste nel concentrare le risorse necessarie in pochi centri operativi, dai quali possano facilmente e in tempi accettabili raggiungere gli eventuali focolai. Anche in questo caso però la limitatezza delle risorse non permette la disponibilità di potenza di spegnimento pari a quella potenzialmente presente su tutta la superficie boscata. E' quindi necessario concentrare l'attenzione nelle zone dove il rischio percepito è più elevato, privilegiando, ad esempio, la messa in sicurezza delle zone antropizzate. Anche in questo caso le risorse non sono assolutamente sufficienti ad assicurare l'intervento su tutte le celle di interesse, ipotizzando che queste siano incendiate contemporaneamente. D'altronde l'ipotesi che tutta la superficie boscata provinciale, a ridosso delle zone antropizzate, sia incendiata risulta uno scenario d'evento con probabilità di verificarsi molto prossima allo zero. Una soluzione accettabile consiste quindi nel posizionare le risorse nei centri operativi cercando di soddisfare al meglio, in termini di minimo scarto fra la potenza richiesta e la potenza disponibile, tutte le celle in cui il rischio percepito è maggiore di zero o di un certo valore di soglia stabilito a priori.

La metodologia proposta consiste, quindi, nella determinazione di una strategia antincendio, in termini di dislocazione di uomini e di mezzi, presso i vari comandi stazione, avente l'obiettivo di minimizzare la differenza fra l'intensità lineare potenziale calcolata per ogni cella k e la potenza di estinzione disponibile, su tutte le celle dove il rischio è diverso da zero.

La potenza di estinzione disponibile totale è data dalla somma della potenza di estinzione di ogni risorsa disponibile. La potenza di spegnimento delle componenti aeree e terrestri dei mezzi antincendio può essere stimata come il prodotto della portata media di ogni mezzo per il calore latente di vaporizzazione dell'acqua assumendo che tutta l'acqua diretta sulla fiamma venga vaporizzata. Associando un valore ad ogni risorsa è possibile determinare il costo totale del dispositivo antincendio.

Il problema consiste nella determinazione dell'allocazione delle risorse che minimizzi la differenza fra l'intensità potenziale calcolata in ogni cella k con rischio $R_k > 0$, e la potenza di spegnimento disponibile, con il vincolo che sia rispettata la disponibilità massima delle risorse. Si noti che in questa fase la disponibilità massima della potenza di spegnimento disponibile è considerata come una quantità continua, ovvero, si può supporre che tutta la potenza sia concentrata in un unico centro operativo.

Una volta risolto tale problema di ottimizzazione e aver determinato la potenza assegnabile ad ogni cella, è necessario impostare un nuovo problema per l'allocazione della potenza di

spegnimento ai vari comandi stazione presenti sul territorio. Si definisce a questo scopo un problema di ottimizzazione che determini la porzione di potenza di spegnimento, esprimibile in termini di uomini e di mezzi, da assegnare ad ogni comando stazione tale che i tempi di intervento dalla cella k , dove sono localizzati i mezzi, e le celle dove il rischio è maggiore di zero sia minima. Tale condizione assicura che l'intervento sul luogo dove è stata avvistato un incendio sia il più efficace fra tutti gli interventi possibili. Qualora la soluzione trovata sia realizzabile, tale soluzione fa sì che la superficie boschiva bruciata da ogni incendio sia minima.

Bibliografia

Byram, G. M. (1959). *Combustion of forest fuels*, p. 61-89. In DAVIS, KENNETH P. *Forest fire: Control and use*. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York.

Corpo Forestale dello Stato, Servizio Antincendio Boschivo (2002). *Statistiche sull'attività antincendio anni 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001*.

Drouet, J.C., (1974). *Theorie de la propagation des feux de forets*. Tesi di Dottorato Università d'Aix- Marseille (F).

Fusco Girard L., Nijkamp P., (1997). *Le valutazioni per lo sviluppo sostenibile della città e del territorio*. Franco Angeli, Milano.

Regione Liguria, Autorità di Bacino regionale. (2000). *Raccolta dei criteri per l'elaborazione dei piani di bacino*. Genova, 2000

Regione Liguria, Assessorato agricoltura parchi zone montane caccia e pesca, Dipartimento Agricoltura Parchi e Foreste, servizio politiche agricole forestali e della montagna. (1998). *Piano regionale per la difesa e la conservazione del patrimonio boschivo. Periodo 1998-2002*. Genova, 1998.

Rothermel, R.C. (1972). *A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels*. USDA, For. Serv. res. pap. Intermt. For. and range exp. sta., Ogden, UT. 114, 1-40

Ministere de l'aménagement du territoire et de l'environnement, Ministère de l'agriculture et de la pêche, ministère de l'équipement, des transports et du logement. (2000) *Plans de prévention des risques naturels (PPR). Risques d'incendies de forêt. Guide méthodologique*.

Jappiot M., Mariel A., (1998). *Evaluation et cartographie du risque d'incendie de forêt*. CEMAGREF Division agriculture et forêt méditerranéennes. Aix en Provence, Mai 1998