

Miglioramento nella previsione e prevenzione degli incendi boschivi nel Parco nazionale dell'Appennino tosco-emiliano, in attuazione del Piano AIB 2016-2020

Relazione intermedia

Luglio 2022



G. Vacchiano, S. Brocco, S. Galimberti, S. Oggioni, L. Rossi¹

D. Ascoli, A. Bono, D. Vecchio, R. Berretti²

¹ Dip. Scienze Agrarie e Ambientali, Università degli Studi di Milano

² Dip. Scienze Agraria, Forestali e Alimentari, Università di Torino

1. Introduzione

Nel presente documento viene descritta la metodologia ed i risultati preliminari dell'analisi del rischio incendi nei territori di interesse per la pianificazione della prevenzione e lotta agli incendi del Parco Nazionale dell'Appennino Tosco Emiliano (PNATE).

Sulla base dello “Schema di piano A.I.B. per la programmazione delle attività di previsione, prevenzione e lotta attiva contro gli incendi boschivi nei parchi nazionali” (art. 8 comma 2 della legge 21 novembre 2000, n. 353) pubblicato nell'ottobre 2018 (il documento più recente scaricabile dal sito del MITE – sezione incendi boschivi)³ e del “Manuale per l'applicazione dello Schema di Piano A.I.B. nei Parchi Nazionali - 2018”, nel presente elaborato viene adottata la nomenclatura proposta che definisce il rischio come sovrapposizione fra “pericolosità” e “gravità”. Tuttavia, qualora fosse consentito suggeriamo di utilizzare il termine “vulnerabilità” in sostituzione di quello di “gravità” in quanto più corretto e coerente con la pianificazione della previsione, prevenzione e lotta attiva a scala regionale dove la gran parte dei piani ha adottato questa dicitura.

Inoltre, il presente elaborato, a partire dalle linee guida metodologiche proposte nei documenti ministeriali, propone delle analisi della pericolosità e della gravità che superano alcuni limiti metodologici presenti nelle linee guida ministeriali, e in particolare:

- l'analisi della pericolosità è basata su equazioni empiriche che moltiplicano informazioni geografiche (esposizione, pendenza, copertura del suolo e fitoclima) e andamento storico degli incendi, ma questi algoritmi empirici non sono stati calibrati e validati. Inoltre, utilizzando il dato storico incendi, questo approccio non è adatto a prevedere la pericolosità futura in un contesto di cambiamento climatico, in particolare in un contesto territoriale come il PNATE dove la serie storica incendi è esigua;
- l'analisi della gravità è basata sul solo uso del suolo, zonizzazione dell'area protetta, presenza di aree della Rete Natura 2000 e relativi habitat e specie prioritarie, e quindi non tiene conto dei molteplici servizi ecosistemici forniti dal territorio.

Le analisi del presente elaborato tengono in considerazione, coerentemente con le linee guida ministeriali, tutte queste informazioni, ma utilizzano approcci diversi, frutto di attività di ricerca e metodologie consolidate per l'analisi del rischio incendi (Finney 2005, Aeger 2022).

Di seguito viene illustrato il flusso metodologico che ha portato alla “analisi della pericolosità”, alla “analisi della gravità”, alla “analisi del rischio” ed alla elaborazione dei prodotti cartografici allegati:

Allegato 1 – Carta della intensità

Allegato 2 – Carta della probabilità

Allegato 3 – Carta della pericolosità

Allegato 4 – Carta della gravità

Allegato 5 – Carta del rischio

³ Vedere link: <https://www.mite.gov.it/pagina/attivita-antincendi-boschivi>

2. Analisi della pericolosità

2.1. Area di analisi

Per tenere in debita considerazione sia la possibilità che incendi originatisi all'interno del parco possano espandersi all'esterno, sia dell'opposto, si è scelto di sottoporre ad analisi un'area rettangolare includente l'intera superficie del Parco Nazionale dell'Appennino Tosco-Emiliano (PNATE) e non la sola area di competenza del Parco (Figura 1).

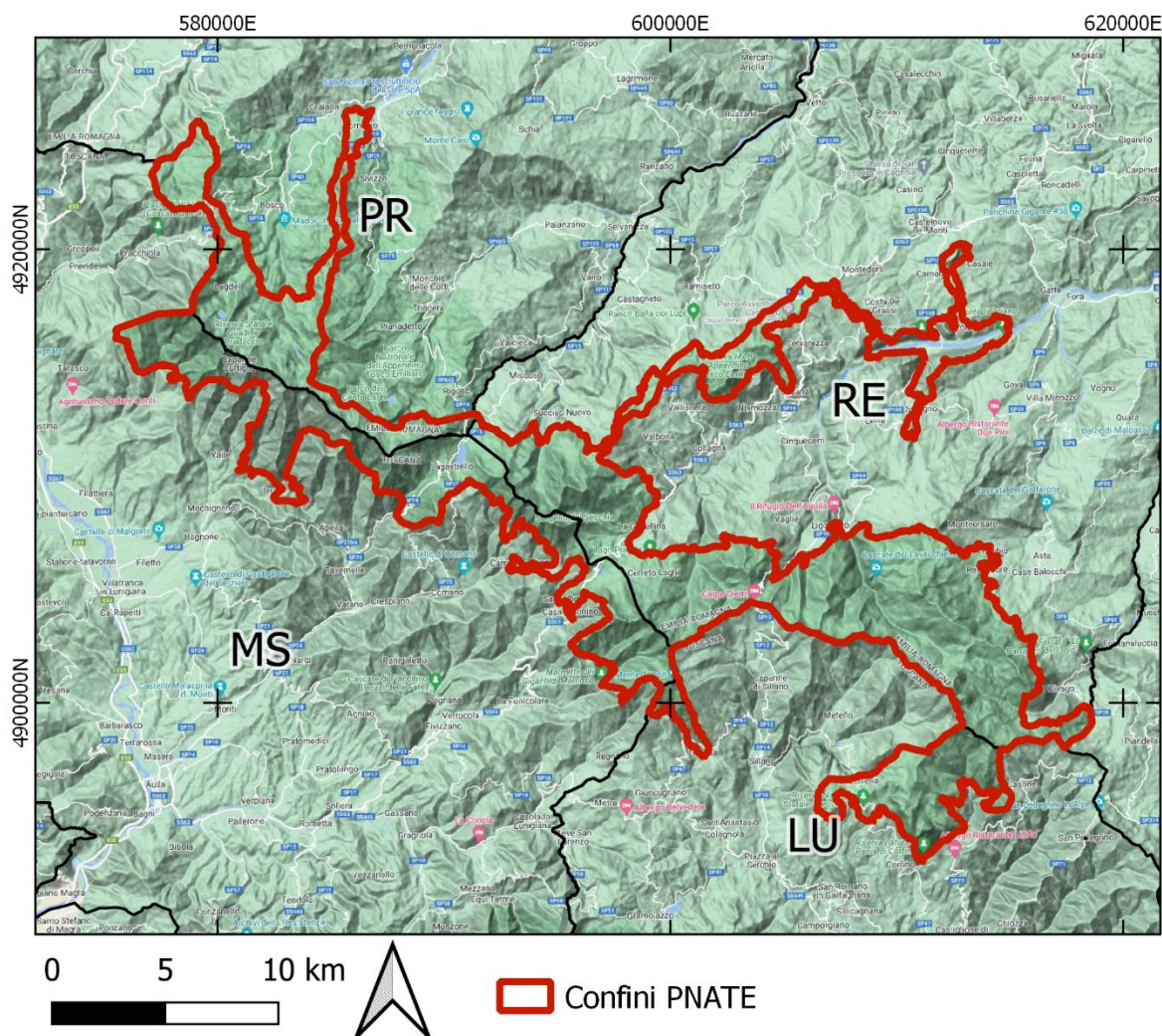


Figura 1 - Inquadramento del Parco Nazionale dell'Appennino Tosco-Emiliano all'interno dell'area rettangolare scelta per le analisi del rischio di incendio boschivo.

2.2. Materiali e metodi

L'analisi della pericolosità ha il compito di definire, per ogni porzione di territorio analizzata, quale sia la probabilità che si verifichi un incendio con un certo comportamento. Per raggiungere questo obiettivo in modo da ottenere un risultato facilmente trasmissibile e comprensibile si è deciso di suddividere la pericolosità in classi. Sono state definite 5 classi di pericolosità (Molto bassa, Bassa, Media, Alta e Molto alta). Il calcolo della classe di pericolosità deriva dalla

combinazione di altrettante classi di pericolo (probabilità di incendio) e di comportamento (intensità lineare espressa in kW/m) secondo una matrice specifica (Figura 2).

$$\text{Pericolosità} = \text{Probabilità} \times \text{Intensità}$$

Tabella 1 - Matrice per il calcolo della classe di pericolosità come combinazione della probabilità di incendio (BP) con l'intensità lineare del fonte di fiamma.

INTENSITÀ LINEARE	PROBABILITÀ DI INCENDIO					
	PERICOLOSITÀ	Molto alta	Alta	Media	Bassa	Molto bassa
	Molto alta	Molto alta	Molto alta	Alta	Alta	Bassa
	Alta	Molto alta	Alta	Alta	Media	Bassa
	Media	Alta	Alta	Media	Bassa	Bassa
	Bassa	Alta	Media	Media	Bassa	Molto bassa
	Molto bassa	Media	Media	Bassa	Molto bassa	Molto bassa

Al fine di capire il comportamento potenziale degli incendi all'interno del PNATE (intensità, velocità di propagazione, lunghezza di fiamma) e le loro traiettorie preferenziali dalle aree esterne a quelle interne si è deciso di usare degli strumenti di supporto alle decisioni basati sulla simulazione degli incendi in due dimensioni. Questi strumenti forniscono informazioni fondamentali per individuare anche i "nodi strategici" di prevenzione degli incendi mediante la gestione dei combustibili per limitare la propagazione del fronte di fiamma e creare opportunità di lotta attiva, nonché le aree esterne al Parco dove interrompere i corridoi infiammabili e ridurre il rischio incendi in aree di interfaccia a protezione dell'incolumità pubblica.

Il calcolo delle due componenti, pericolo e intensità lineare, è stato effettuato utilizzando il software *FlamMap 6*. Questo software, sviluppato dal Forest Service dell'USDA (*United States Department of Agriculture*), permette di simulare, mappare e analizzare le caratteristiche del comportamento potenziale degli incendi boschivi in un ambiente bidimensionale sfruttando il modello semi-empirico sviluppato da Rothermel nel 1972. Inoltre, permette di valutare l'effetto, in termini di variazione del comportamento potenziale del fuoco, di una modifica nei combustibili rispetto ad uno scenario iniziale e di definire dove queste modifiche sono più efficaci per la mitigazione della severità di incendio (Finney 2006).

Per il suo utilizzo occorre:

- definire l'ambiente di simulazione dal punto di vista fisico-morfologico e vegetazionale;
- definire i parametri di umidità e di vento per lo svolgimento delle simulazioni;
- scegliere la tipologia di simulazione desiderata (FB – *Fire Behavior Options*, MTT – *Minimum Travel Time* o TOM – *Treatment Optimization Model*);
- selezionare gli output desiderati.

Il primo passaggio consiste nel generare l'ambiente di simulazione – *landscape file* – contenente tutte le caratteristiche morfologiche e vegetazionali dell'ambiente entro cui analizzare il comportamento del fuoco. Per questa fase sono necessari 5 temi di base (file in formato ASCII) contenenti le caratteristiche della topografia e dei combustibili. A questi temi di base si possono aggiungere 3 temi supplementari per migliorare la parametrizzazione dei combustibili di chioma, ma, data l'estesa superficie considerata, una tematizzazione di dettaglio non risulta possibile.

Il secondo passaggio consiste nel definire gli input di simulazione cioè i parametri di umidità dei combustibili vivi e morti (*fuel moisture file*), l'umidità della chioma (*foliar moisture content*) ed il metodo di calcolo dell'incendio di chioma (*Crown fire calculation method*), e infine i parametri relativi al vento, velocità (in mph) e direzione di provenienza (in ° rispetto al N).

Una volta definite le condizioni ambientali si sceglie la tipologia di simulazione in base agli output desiderati.

I 5 temi base riguardano:

- *Elevation* - quota [m s.l.m.];
- *Slope* - pendenza [°];
- *Aspect* - esposizione [°N];
- *Fuel model* - modelli di combustibile [codice Scott e Burgan 2005];
- *Canopy cover* - copertura delle chiome [%].

Si è reso quindi necessario avviare una serie di indagini conoscitive per:

- i) aggiornare la carta di uso del suolo nell'area per arrivare a definire i tipi di combustibile che si stanno sviluppando a seguito dell'abbandono delle attività agricole;
- ii) produrre una carta aggiornata dei modelli di combustibile da utilizzare per la simulazione di scenari di propagazione incendi con gli strumenti di supporto alle decisioni;
- iii) elaborare una carta della pericolosità di incendio boschivo basata su strumenti di simulazione della propagazione e della probabilità di incendio.

2.3. Definizione dell'ambiente di simulazione

a. Quota, Pendenza ed Esposizione

I dati morfologici quali quota (*elevation*), pendenza (*slope*) ed esposizione (*aspect*) sono stati ottenuti dal DEM (Digital Elevation Model) italiano elaborato nell'ambito del progetto Tinitaly (Tarquini et al. 2007). Dal momento che la risoluzione del dato originale, 10 m, risulta compatibile con le esigenze del progetto corrente non sono state fatte modifiche. A partire dal DEM, tramite QGIS, sono state derivate la carta delle pendenze e quella delle esposizioni con pari risoluzione ed estensione (Figura 2).

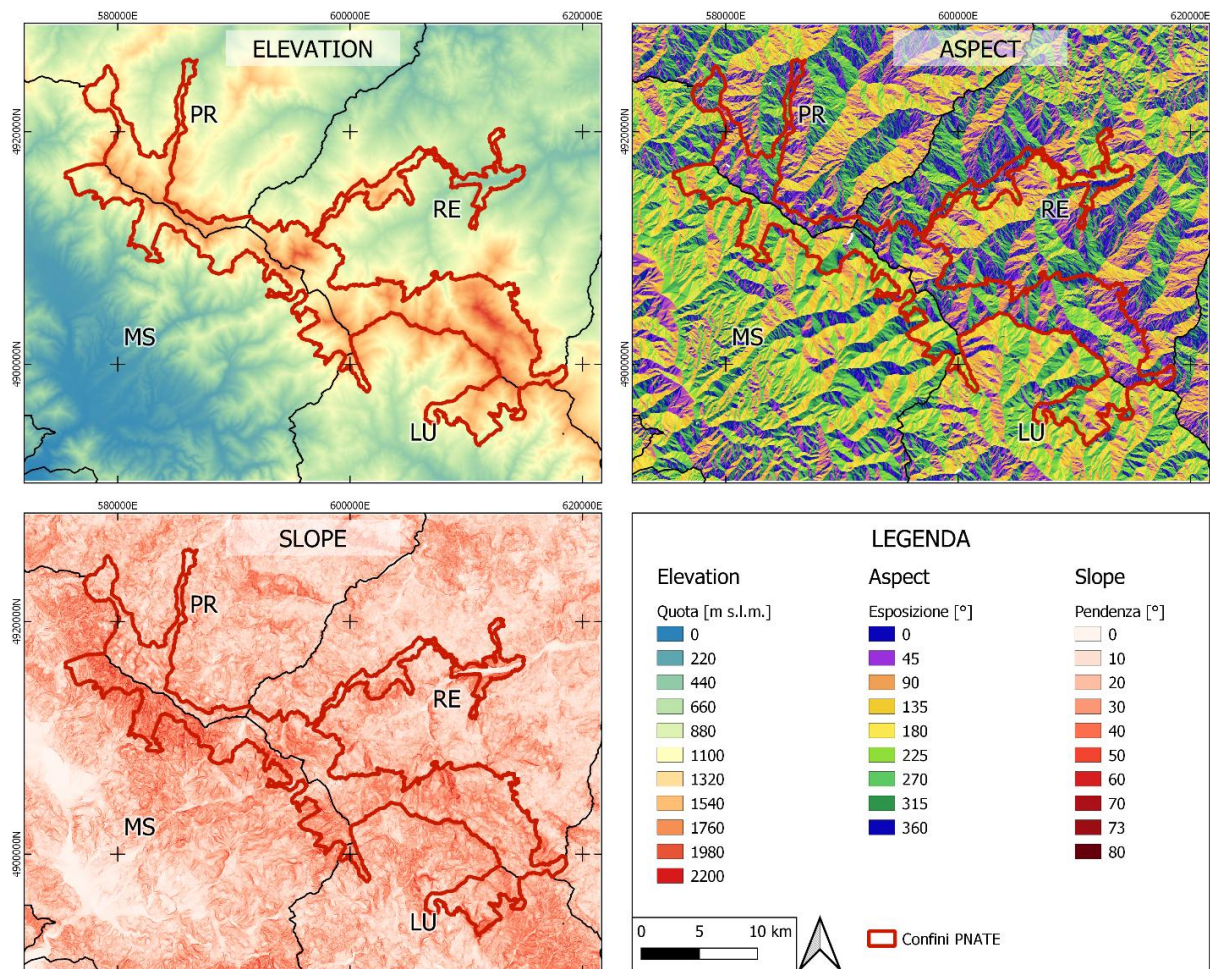


Figura 2 - Carte dei 3 temi relativi alla topografia dell'ambiente di simulazione utilizzato in FlamMap.

b. Copertura delle chiome

Il dato di copertura delle chiome (*Canopy Cover*) è stato scaricato dalla banca dati del Land Monitoring Service di Copernicus (EU 2018) che riporta in percentuale il grado di copertura del terreno da parte delle chiome in riferimento all'anno 2018 con una risoluzione spaziale di 10 m (Figura 3).

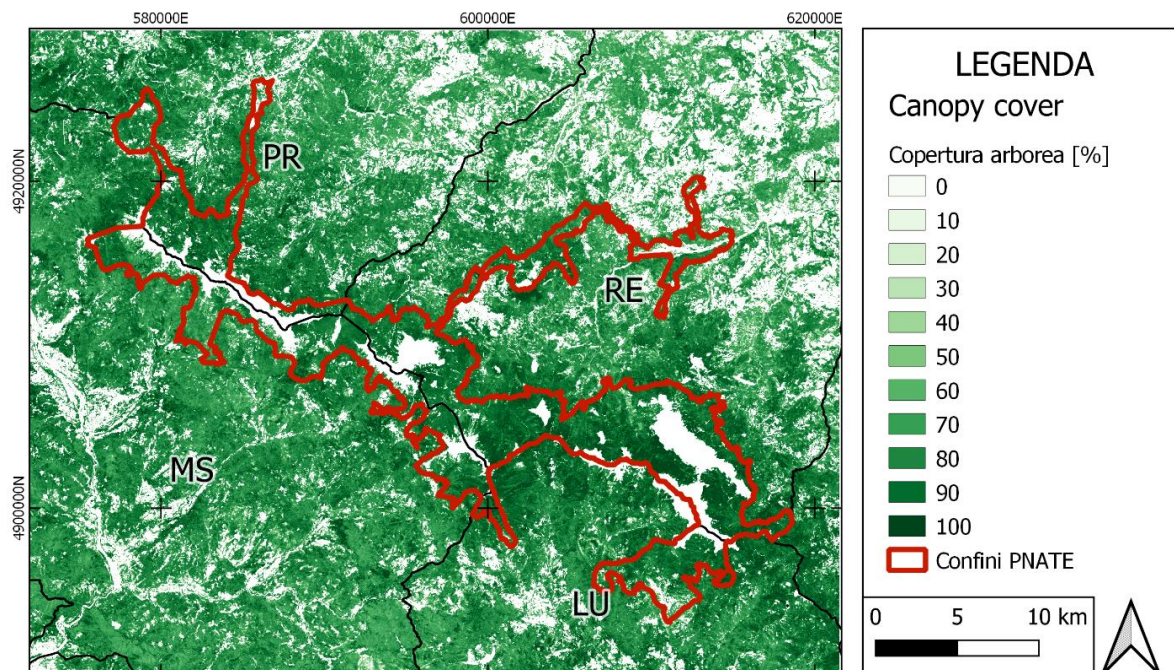


Figura 3 - Carta della copertura arborea percentuale dell'ambiente di simulazione utilizzato in FlamMap.

c. Attribuzione dei modelli di combustibile

Per completare la tematizzazione dell'ambiente di simulazione e arrivare a definire la carta dei modelli di combustibile sono stati indagati gli usi del suolo. Per mancanza di una carta vegetazionale unica ed esaustiva relativa all'intero territorio in analisi si è proceduto alla mosaicatura di numerosi strati informativi partendo dagli strati di maggior dettaglio e colmando le lacune mediante carte con dettaglio decrescente (Tabella 2). Il prodotto finale è poi stato controllato e validato tramite confronto con ortofoto.

Per quanto riguarda l'Emilia-Romagna il punto di partenza è stato l'unione della Carta Forestale della provincia di Parma e quella di Reggio nell'Emilia. Primo prodotto caratterizzato da buon dettaglio delle superfici forestali, ma privo di informazioni sulle altre tipologie di copertura del suolo. Sulla base di questo primo strato si è ritagliata e aggiunta la Carta degli Habitat RN2000 andando a colmare parte delle lacune e ottenendo un nuovo livello più ricco. Ulteriori informazioni sono state derivate aggiungendo a questo secondo strato la Carta Vegetazionale della Val Parma e Cedra e quella dell'Alto Appennino reggiano.

Per la porzione della Toscana, invece, lo strato base è stato la Carta della Vegetazione a cui si è integrata la Carta degli Usi e Coperture del Suolo (UCS). Dato il ridotto dettaglio della Carta UCS tutti i poligoni interessati da vegetazione forestale (latifoglie, conifere e boschi misti) sono stati raffinati tramite sovrapposizione con la Carta Forestale della Regione Toscana (cartografia non utilizzabile indipendentemente in quanto costituita da soli poligoni quadrati con lato di 250 m).

Il prodotto complessivo delle due Regioni è stato unito e le ultime lacune colmate con le informazioni derivanti dalla codifica di IV livello della Corine Land Cover (CLC) (Figura 4).

Tabella 2 - Strati informativi utilizzati per tematizzare l'area in analisi (dettaglio decrescente dall'alto verso il basso).

Emilia-Romagna	Toscana
Carta Forestale Carta degli Habitat RN 2000 Carta vegetazionale Val Parma + Carta vegetazionale Alto Appennino reggiano	Carta della vegetazione Carta degli usi e coperture del suolo Carta Forestale (250m)
Corine Land Cover (IV livello di codifica)	

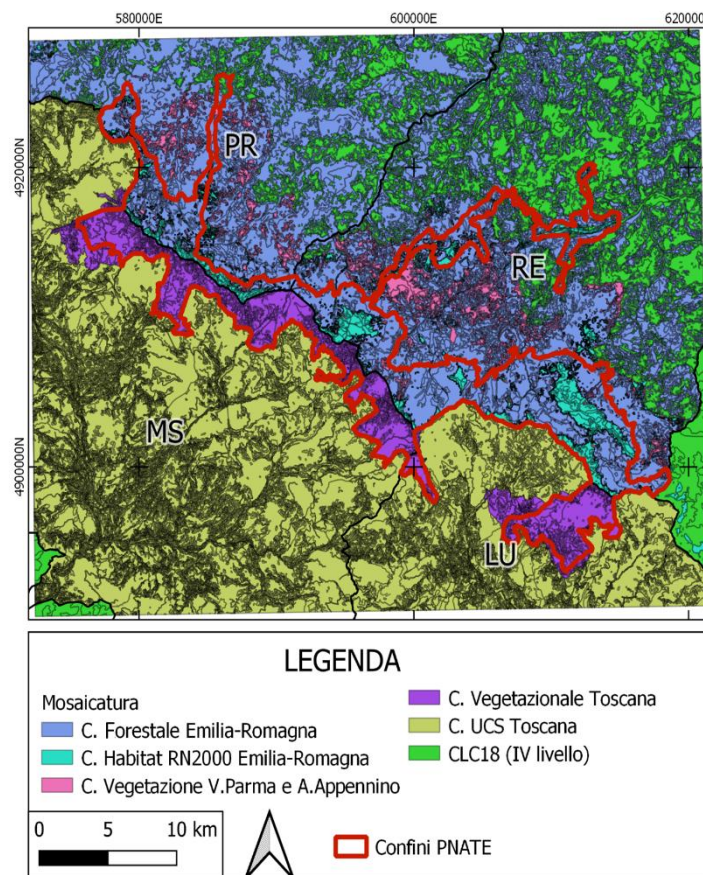


Figura 4 - Mosaico degli strati informativi utilizzati per tematizzare l'area in analisi.

Per ciascun uso del suolo infiammabile individuato dalla carta sono stati fatti dei rilievi (da 1 a 3 punti di rilievo) per caratterizzare la struttura e la quantità di biomassa infiammabile secondo un metodo standard di analisi dei combustibili compatibile con il dataset nazionale di combustibili sviluppato dalla Società Italiana di Selvicoltura ed Ecologia Forestale (Ascoli et al. 2020). La definizione dei tipi di combustibili è stata sulla base delle categorie forestali e degli usi di suolo più abbondanti al fine di indirizzare e quantificare i rilievi in campo. Tuttavia, durante sopralluoghi, rilievi e tematizzazione finale sono stati aggiunti ulteriori tipi per avere un più ampio spettro di possibilità per tematizzare il territorio così da rispettarne la variabilità vegetazionale (diversi combustibili e comportamenti potenziali). Questo lavoro ha consentito di raggruppare i diversi usi del suolo in “Tipi di combustibile” (Tabella 3) e di attribuire ad ogni poligono di uso del suolo il “tipo di combustibile” di riferimento. In Figura 5-a viene riportata la carta dei “Tipi di combustibile” ed in Tabella 3 l’elenco dei tipi di combustibile con i dati medi di struttura e quantità di biomassa.

In base a valutazione esperta basata sul comportamento atteso del fronte di fiamma di superficie in termini di lunghezza di fiamma, e mediante sopralluoghi e dati di campo, ad ogni tipo di combustibile è stato associato un modello di combustibile (Scott and Burgan, 2005) di base (BASE), ovvero la parametrizzazione delle caratteristiche dei combustibili di input del modello di Rothermel per le analisi con l'applicativo Flammap. Per migliorare la modellizzazione questa prima classificazione è stata raffinata attraverso il seguente flusso metodologico (Figura 6). Per i poligoni con tipi di combustibile forestali sono stati definiti due modelli aggiuntivi oltre a quello di BASE per tener conto degli effetti di un taglio di utilizzazione, modello SB1 per tagli recenti (< 10 anni) e GS1 per tagli vecchi (> 10 anni). Dove non è stata effettuata alcuna utilizzazione si è valutato il livello di copertura arborea fissando una soglia di riferimento del 40% al di sotto della quale ci si può aspettare che la componente erbacea sia abbondante e contribuisca significativamente alla propagazione del fuoco. Quindi, per i popolamenti forestali con copertura superiore al 40% si è conservato il modello BASE, mentre per quelli con copertura inferiore al 40% si è attribuito un nuovo modello (C40) variabile a seconda della condizione di partenza. Per i poligoni a vegetazione prevalentemente erbacea non si è fatto riferimento alle utilizzazioni, ma solo alla possibile presenza di una componente arborea più o meno abbondante. Seguendo un ragionamento opposto al precedente, si è mantenuto il modello BASE dove la copertura arborea non supera la soglia del 40%, mentre è stato applicato un modello nuovo (C40) dove la soglia viene superata. In Tabella 3 viene riportata l'elenco completo dei tipi di combustibile individuati e dei corrispondenti modelli di combustibile.

In fase di verifica si è riscontrata una bassa precisione nella mappatura delle aree di suolo nudo, prevalentemente pietraie nelle aree alle quote più elevate, spesso incluse in poligoni dominati da vegetazione erbacea. Questo uso del suolo rappresenta una barriera naturale alla propagazione degli incendi ed è quindi stato analizzato nel dettaglio. Per migliorare questo aspetto è stata calcolata, mediante indici spettrali della vegetazione, una maschera per discriminare vegetazione erbacea pura, suolo nudo puro e vegetazione discontinua (misto suolo nudo ed erba). Tramite questa maschera si è andati a raffinare la modellizzazione di queste aree. Al suolo nudo puro è stato attribuito il modello NB9, nelle aree di vegetazione pura è stato mantenuto il modello preesistente, mentre alle aree miste con vegetazione molto discontinua si è attribuito un modello customizzato (C_14) caratterizzato da carichi di combustibile ridotti (Figura 7) tali da generare fiamme di ridotta lunghezza e bassa velocità di propagazione.

In Figura 8 viene riportata la carta finale dei modelli di combustibile utilizzata per l'analisi del pericolo con l'applicativo Flammap.

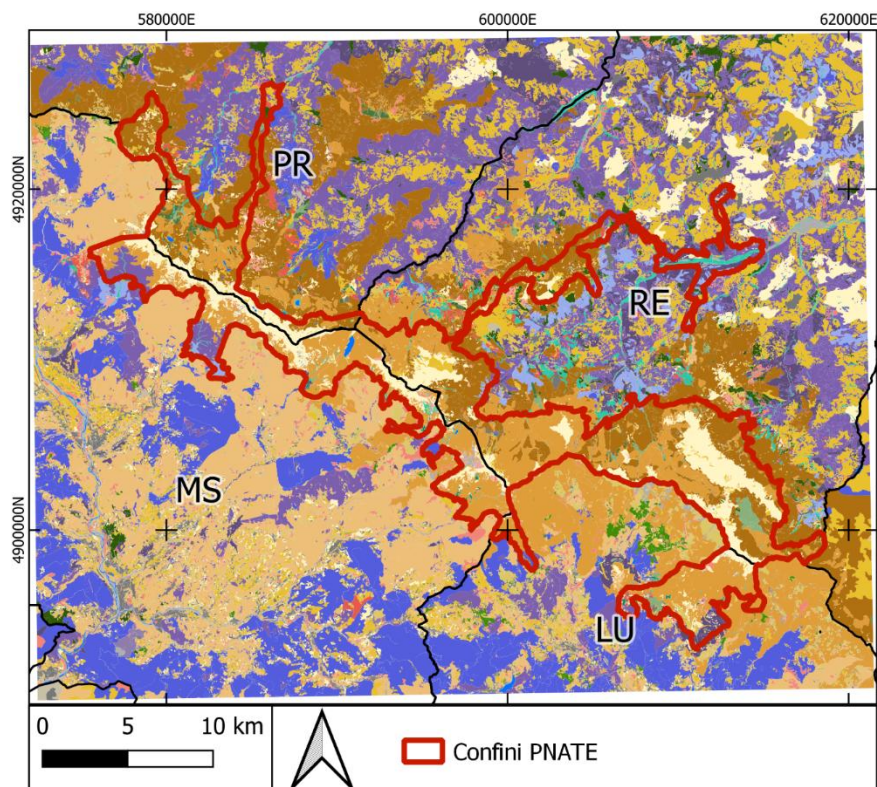


Figura 5a - Carta dei tipi di combustibile

Legenda Carta dei tipi di combustibile

Tipi di combustibile

- Bosco di neoformazione con erba diffusa e arbusti radi di bassa statura
- Bosco di neoformazione con erba e arbusti diffusi di media statura
- Bosco di neoformazione con erbe e arbusti diffusi di alta statura
- Canneto a carico elevato
- Vegetazione ripariale
- Felceto a carico medio-alto e continuo
- Lettiera di conifere a foglia corta con necromassa scarsa
- Lettiera di conifere a foglia corta con necromassa abbondante
- Lettiera di conifere a foglia corta con necromassa diffusa
- Lettiera di conifere a foglia media con necromassa diffusa
- Lettiera di conifere a foglia media con erba e necromassa diffusa
- Lettiera di faggio con erba scarsa e necromassa media
- Lettiera di faggio con necromassa media
- Lettiera di latifoglie mesofile compatta con erba scarsa
- Lettiera di latifoglie a foglia lunga porosa e abbondante
- Lettiera di latifoglie a foglia lunga con erba diffusa e arbusti radi
- Lettiera di latifoglie sempreverdi
- Lettiera di latifoglie termofile porosa con erba scarsa
- Lettiera di latifoglie termofile porosa con erba diffusa
- Residui di utilizzazione abbondante con lettiera scarsa ed erba diffusa
- Praterie continue con erbe corte a basso carico
- Praterie continue di media statura e carico medio
- Praterie discontinue a basso carico
- Specchi d'acqua
- Area agricola
- Urbano
- Suolo nudo, rocce e macereti

Figura 6b – Legenda dei tipi di combustibile (Figura 5a).

Tabella 3 - Elenco dei Tipi di Combustibile e dei corrispondenti Modelli di combustibile (Scott & Burgan, 2005). BASE = modello di base; TR = taglio recente (< 10 anni); TV = taglio vecchio (> 10 anni); C40 = modello sostitutivo del BASE in relazione al grado di copertura arborea (C40 applicato alle foreste non tagliate con copertura arborea inferiore al 40%; C40 applicato alle praterie con copertura arborea superiore al 40%).

N_TIPO	TIPO_NOME	MOD_BASE	MOD_TR	MOD_TV	MOD_C40	NOTE_MOD
1	Praterie discontinue a basso carico	SH1			SH2	MOD_C40 se copertura > 40%
1	Praterie discontinue a basso carico	SH1			SH2	MOD_C40 se copertura > 40%
2	Praterie continue con erbe corte a basso carico	GR1			GS1	MOD_C40 se copertura > 40%
2	Praterie continue con erbe corte a basso carico	GR1			GS1	MOD_C40 se copertura > 40%
3	Praterie continue di media statura e carico medio	GR2			GS1	MOD_C40 se copertura > 40%
4	Bosco di neoformazione con erba diffusa e arbusti radi di bassa statura	GS1			TU2	MOD_C40 se copertura > 40%
5	Bosco di neoformazione con erba e arbusti diffusi di media statura	GS2			TU4	MOD_C40 se copertura > 40%
6	Bosco di neoformazione con erbe e arbusti diffusi di alta statura	TU4	SB1	GS1	TU2	MOD_C40 se copertura < 40% fuori taglio
7	Lettieria di latifoglie a foglia lunga porosa e abbondante	TL9	SB1	GS1	TU2	MOD_C40 se copertura < 40% fuori taglio
7	Lettieria di latifoglie a foglia lunga porosa e abbondante	TL9	SB1	GS1	TU2	MOD_C40 se copertura < 40% fuori taglio
8	Lettieria di latifoglie a foglia lunga con erba diffusa e arbusti radi	TU5	SB1	GS1	TU2	MOD_C40 se copertura < 40% fuori taglio
9	Lettieria di latifoglie termofile porosa con erba scarsa	TL6	SB1	GS1	TU2	MOD_C40 se copertura < 40% fuori taglio
9	Lettieria di latifoglie termofile porosa con erba scarsa	TL6	SB1	GS1	TU2	MOD_C40 se copertura < 40% fuori taglio
10	Lettieria di latifoglie termofile porosa con erba diffusa	TL9	SB1	GS1	TU2	MOD_C40 se copertura < 40% fuori taglio
11	Lettieria di faggio con necromassa media	TL4	SB1	GS1	TU2	MOD_C40 se copertura < 40% fuori taglio
11	Lettieria di faggio con necromassa media	TL4	SB1	GS1	TU2	MOD_C40 se copertura < 40% fuori taglio
12	Lettieria di faggio con erba scarsa e necromassa media	TL6	SB1	GS1	TU2	MOD_C40 se copertura < 40% fuori taglio
13	Residui di utilizzazione abbondante con lettiera scarsa ed erba diffusa	SB1				ceduo 4+
14	Lettieria di faggio scarsa con erba e necromassa diffusa	GS1				ceduo 10+
15	Lettieria di latifoglie mesofile compatta con erba scarsa	TL6	SB1	GS1	TU2	MOD_C40 se copertura < 40% fuori taglio
16	Lettieria di latifoglie sempreverdi	TL6	SB1	GS1	TU2	MOD_C40 se copertura < 40% fuori taglio
17	Vegetazione ripariale	TU1	SB1	GS1	TU2	MOD_C40 se copertura < 40% fuori taglio
18	Lettieria di conifere a foglia corta con necromassa scarsa	TL1	SB1	GS1	TU2	MOD_C40 se copertura < 40% fuori taglio
18	Lettieria di conifere a foglia corta con necromassa scarsa	TL1	SB1	GS1	TU2	MOD_C40 se copertura < 40% fuori taglio
19	Lettieria di conifere a foglia corta con necromassa diffusa	TL3	SB1	GS1	TU2	MOD_C40 se copertura < 40% fuori taglio
20	Lettieria di conifere a foglia media con necromassa diffusa	TL3	SB1	GS1	TU4	MOD_C40 se copertura < 40% fuori taglio
21	Lettieria di conifere a foglia corta con necromassa abbondante	TL4	SB1	GS1	TU2	MOD_C40 se copertura < 40% fuori taglio
22	Lettieria di conifere a foglia lunga con erba e necromassa diffusa	TU1	SB1	GS1	TU4	MOD_C40 se copertura < 40% fuori taglio
23	Canneto a carico elevato	GR9			GR9	MOD_C40 se copertura > 40%
24	Felceto a carico medio-alto e continuo	TU2			GS1	MOD_C40 se copertura > 40%
25	Urbano	NB1				
26	Area agricola	NB3				
27	Specchi d'acqua	NB8				
28	Suolo nudo, rocce e macereti	NB9				

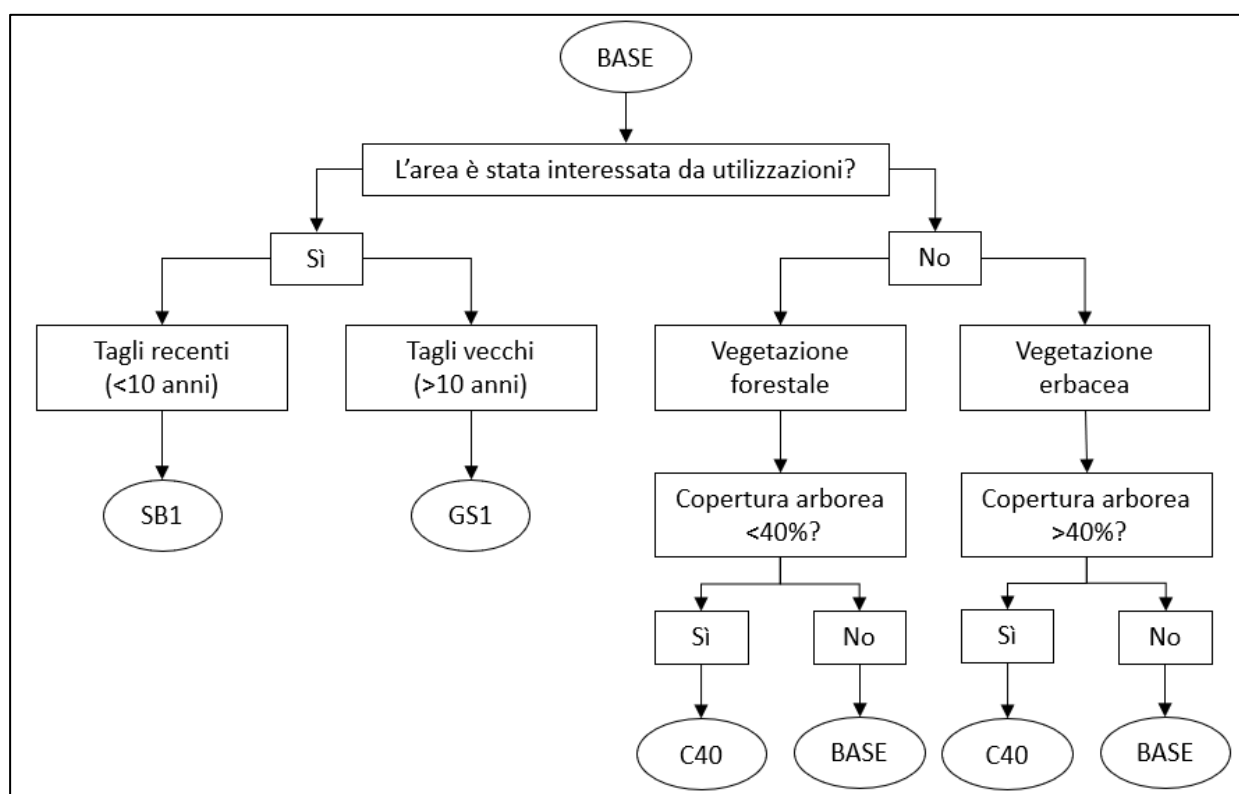


Figura 6 - Grafico esplicativo del modello dicotomico utilizzato per l'attribuzione del modello di combustibile a partire dal tipo di combustibile. Il modello base si applica in condizioni ordinarie. Viene modificato in presenza di tagli più o meno recenti (soglia dei 10 anni) o in base alla copertura delle chiome (> 40%, i.e. C40).

Inputs: SURFACE			
Description		C_14	
Fuel/Vegetation, Surface/Understory		Initialize from a Fuel Model	
Fuel Model Type			S
1-h Fuel Load	tonne/ha		1.10
10-h Fuel Load	tonne/ha		4.90
100-h Fuel Load	tonne/ha		6.30
Live Herbaceous Fuel Load	tonne/ha		0.70
Live Woody Fuel Load	tonne/ha		1.00
1-h SA/V	m ² /m ³		6562
Live Herbaceous SA/V	m ² /m ³		5906
Live Woody SA/V	m ² /m ³		5249
Fuel Bed Depth	m		0.09
Dead Fuel Moisture of Extinction	%		20
Dead Fuel Heat Content	kJ/kg		18622
Live Fuel Heat Content	kJ/kg		18622

Figura 7 - Parametrizzazione del modello di combustibile customizzato (C_14).

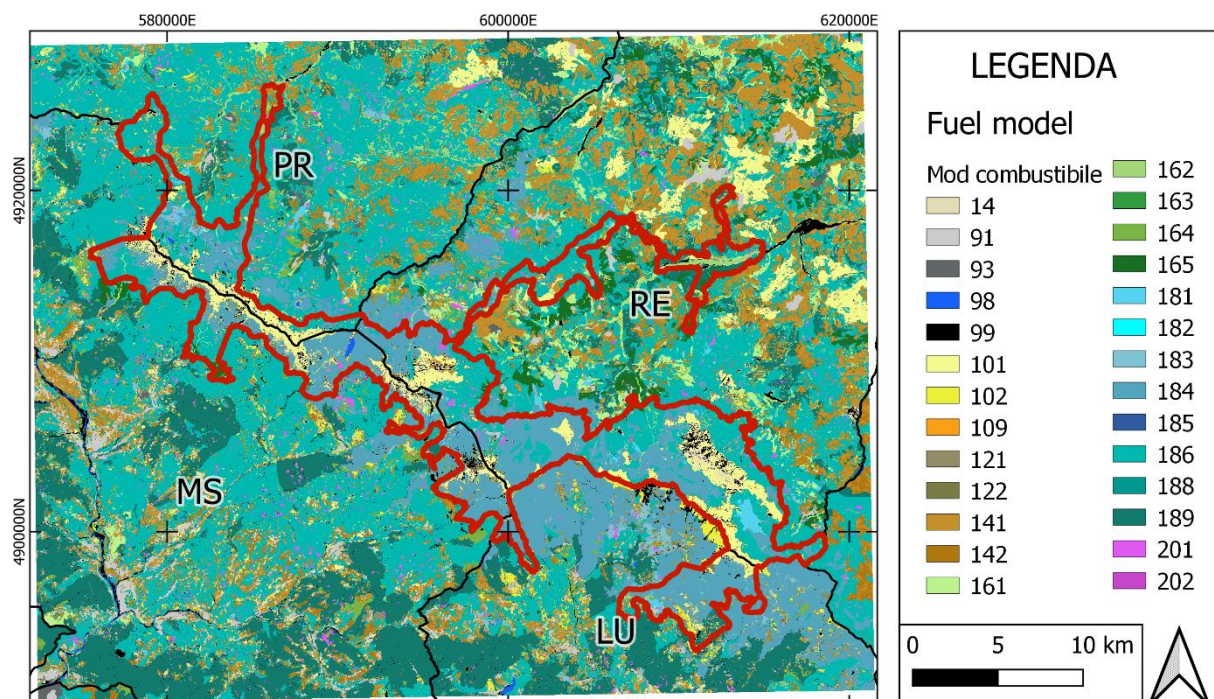


Figura 8 - Carta dei modelli di combustibile utilizzata per definire i combustibili nell'ambiente di simulazione in FlamMap.

d. Condizioni ambientali e parametri meteorologici

Una volta definito dal punto di vista fisico e vegetazionale l'ambiente di simulazione occorre definire le condizioni ambientali (umidità dei combustibili vivi e morti) e i parametri meteorologici (direzione ed intensità del vento) per lo svolgimento delle simulazioni.

Si è deciso di condurre le simulazioni ipotizzando incendi topografici, con vento condizionato dalla morfologia del territorio e quindi orientato da valle verso monte con una velocità medio-alta (24km/h = 15mph). Per valutare il potenziale di incendio in condizioni di siccità si è ipotizzato un livello di umidità basso sia per i combustibili morti e molto basso per quelli vivi (D2-L1), corrispondente ad un'umidità del 6, 7 e 8% per i combustibili morti da 1, 10 e 100h ore rispettivamente e del 30 e 60% per i combustibili vivi erbacei e legnosi rispettivamente (Scott e Burgan 2005).

2.4. Pericolo – Probabilità di incendio

L'indagine delle aree più suscettibili di incendio è stata condotta attraverso l'analisi della carta della Probabilità di incendio - *Burn probability* (BP) derivante dalla simulazione, con l'algoritmo Minimum Travel Time (MTT) utilizzato da Flammap, di numerosi incendi a partire da 5000 inneschi distribuiti sul territorio secondo uno approccio probabilistico (Figura 9). I punti di innesco sono stati distribuiti tenendo conto sia della probabilità di innesco antropico che naturale (principalmente fulmini). Gli inneschi naturali, distribuiti casualmente sull'intero territorio, rappresentano una componente minoritaria (5%), mentre gli inneschi legati a cause antropiche, costituenti il rimanente 95%, sono stati distribuiti in corrispondenza delle aree agricole (20%) e in un intorno di 100 m rispetto rete stradale principale (75%). Ogni singolo incendio è stato simulato in modo da consentire una propagazione per 100 ore (tempo di un grande incendio nell'area).

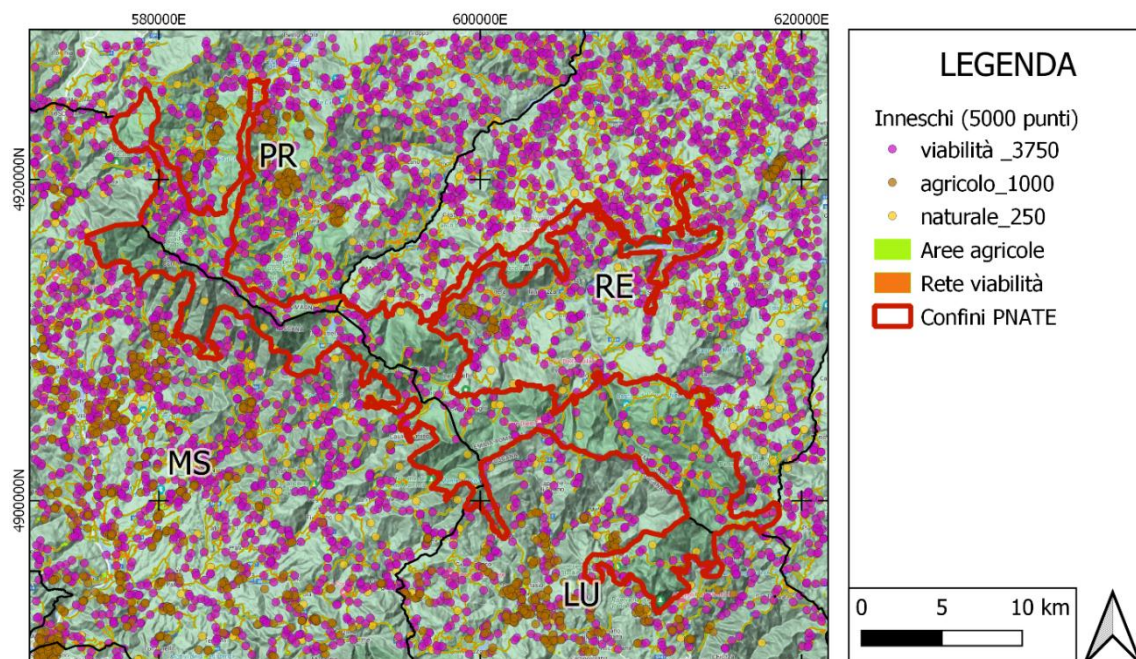


Figura 9 - Carta dei 5000 punti di innesco utilizzati per la simulazione MTT per il calcolo della probabilità di incendio (BP)

La probabilità di incendio (BP) calcolata da *FlamMap* è data dal numero di volte in cui un certo pixel brucia e il numero di incendi simulati secondo la seguente relazione:

$$BP = \frac{n. \text{ volte pixel bruciato}}{n. \text{ incendi simulati}}$$

Sono state individuate 5 classi di probabilità di incendio di cui si riportano le soglie in Tabella 4.

Tabella 4 - Soglie di riferimento per la definizione delle classi di probabilità di incendio.

BP	Classe di probabilità	Codice
< 0,035	Molto bassa	1
0,035 - 0,085	Bassa	2
0,085 - 0,16	Media	3
0,16 - 0,32	Alta	4
> 0,32	Molto alta	5

2.5. Comportamento potenziale – Intensità lineare del fronte di fiamma

Il comportamento potenziale del fuoco può essere definito attraverso diversi output di *FlamMap* quali la velocità di propagazione (ROS – *Rate of Spread*), la lunghezza di fiamma (FL – *Flame Length*), calore per unità di area (*Heat per Unit area*) e l'intensità lineare del fronte di fiamma (FLI – *Fireline Intensity*).

In questo contesto si è fatto riferimento all'intensità lineare come indicatore del comportamento potenziale dell'incendio e si è seguita la suddivisione utilizzata nel Piano AIB 2021-25 della Regione Piemonte per definire i valori soglia di ciascuna classe (Tabella 5).

Tabella 5 - Soglie di riferimento per la definizione delle classi di intensità lineare.

FLI [kW/m]	Classe intensità lineare	Codice
< 200	Molto bassa	1
200 - 1000	Bassa	2
1000 - 3000	Media	3
3000 - 8000	Alta	4
> 8000	Molto alta	5

2.6. Pericolosità

Nella figura 10 si riporta la carta delle classi di pericolosità ottenuta combinando le 5 classi di probabilità di incendio con quelle dell'intensità lineare attesa.

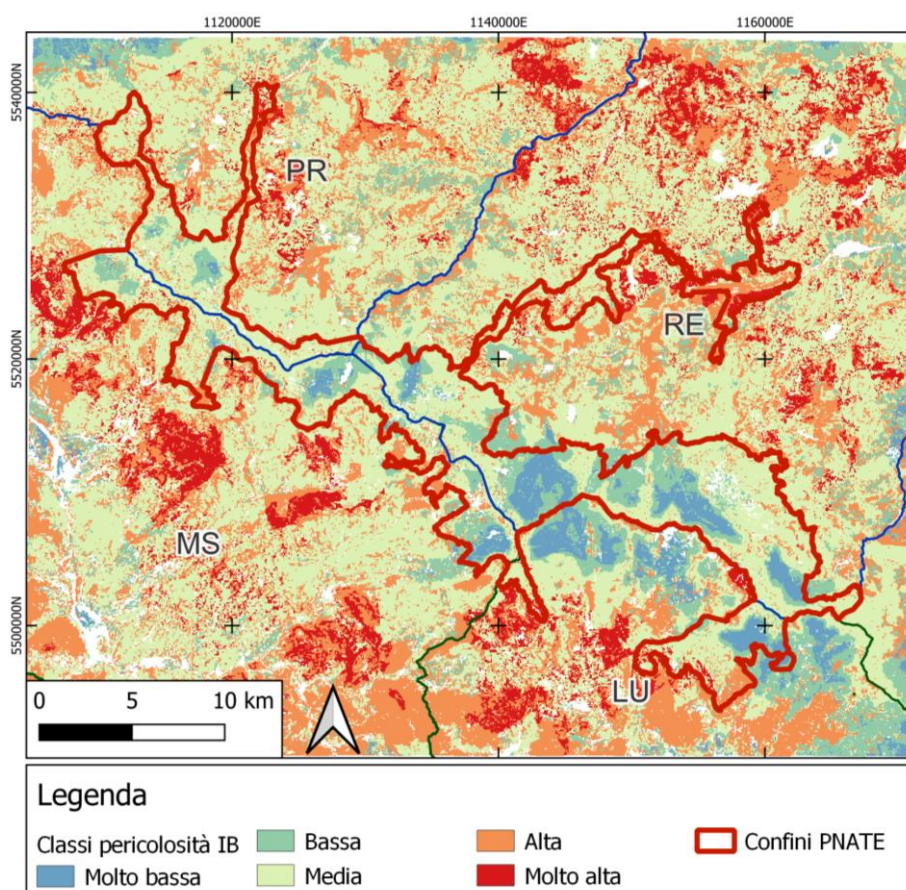


Figura 10 - Carta delle classi di pericolosità.

3. Analisi della vulnerabilità

La Carta di Vulnerabilità agli incendi del PNATE è stata redatta con il fine di evidenziare gli obiettivi strategici sui quali gli effetti di un incendio sarebbero più gravi.

Le aree di maggiore importanza per il parco sono state selezionate seguendo diversi criteri, di seguito elencati e successivamente approfonditi:

- Emergenze naturalistiche strategiche per il Parco;
- Vulnerabilità delle vie di comunicazione (sentieristica, strade e impianti di risalita);
- Prossimità all'edificato;
- Rischio di erosione del suolo;
- Gravità del danno;
- Funzione di protezione da caduta massi;
- Stock e sink di carbonio.

Per ognuno dei criteri indicati è stato prodotto un layer in formato raster con un punteggio da 0 (meno vulnerabile) a 100 (più vulnerabile). Infine la Carta di Vulnerabilità è stata ottenuta effettuando una media aritmetica dei layer precedenti.

3.1. Metodi

Di seguito una spiegazione maggiormente dettagliata dei layer realizzati come input per la Carta di Vulnerabilità.

1. **Emergenze naturalistiche:** gli obiettivi naturalistici sono stati individuati tramite dati provenienti dalle Regioni Emilia-Romagna e Toscana e dai dati forniti dall'Ente Parco. Questo layer è frutto della media aritmetica tra i punteggi (da 0 a 100) di tre layer:
 - a. Emergenze naturalistiche indicate da Regione Toscana e Regione Emilia-Romagna (disponibili sui rispettivi geoportali);
 - b. Emergenze naturalistiche di particolare interesse per il Parco: presenza di boschi autoctoni di abete bianco e siti rendez vous del lupo;
 - c. Vocazione del territorio per la presenza di ungulati (cervo, capriolo e cinghiale).

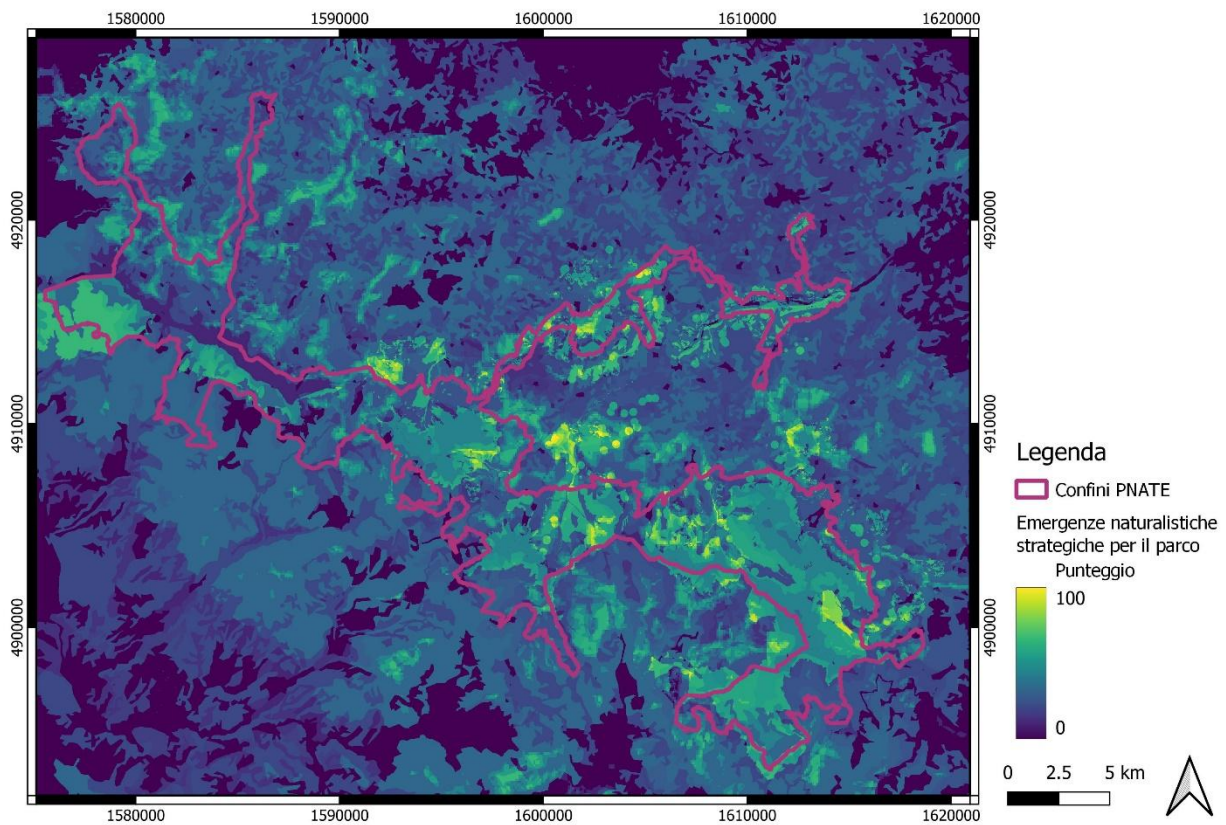


Figure 11 Carta delle emergenze naturalistiche.

2. **Vie di comunicazione:** per valutare la vulnerabilità delle vie di comunicazione agli incendi è stata creata una carta di importanza relativa delle infrastrutture, a partire da dati relativi a strade, sentieri e impianti di risalita provenienti dall'Ente Parco e da Open Street Maps. È stato conferito un punteggio massimo (100) a infrastrutture di primaria importanza come strade provinciali e impianti di risalita e punteggi via via più bassi a strade secondarie, ciclovie, strade pedonali e sentieri.

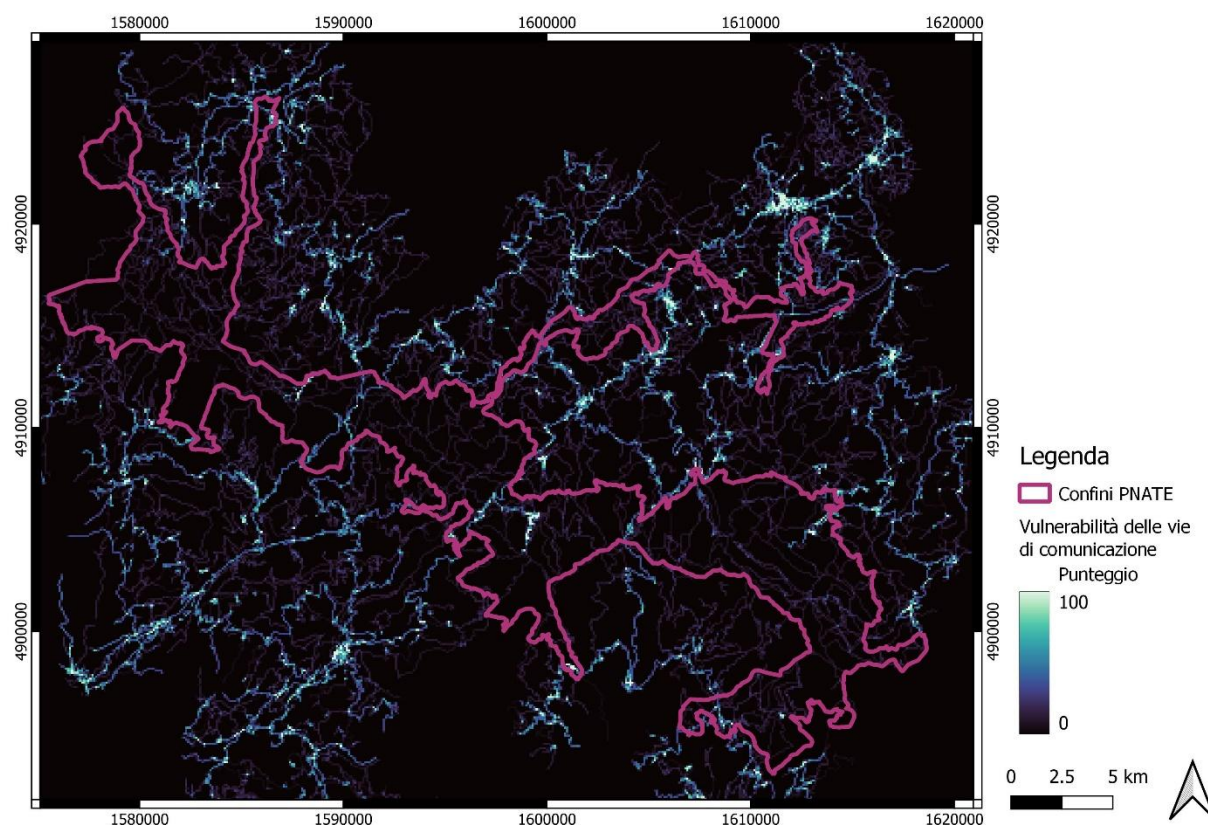


Figure 12 Vulnerabilità delle vie di comunicazione

3. **Vicinanza agli edifici:** per questo layer è stato utilizzato un criterio basato sulla distanza in linea d'aria. Attorno a ogni edificio ricavato grazie ai dati provenienti dall'Ente Parco e da Open Street Maps è stato creato un buffer di raggio 100m, valore indicato comunemente in letteratura grigia come utile per valutare la vulnerabilità di un edificio a un incendio.

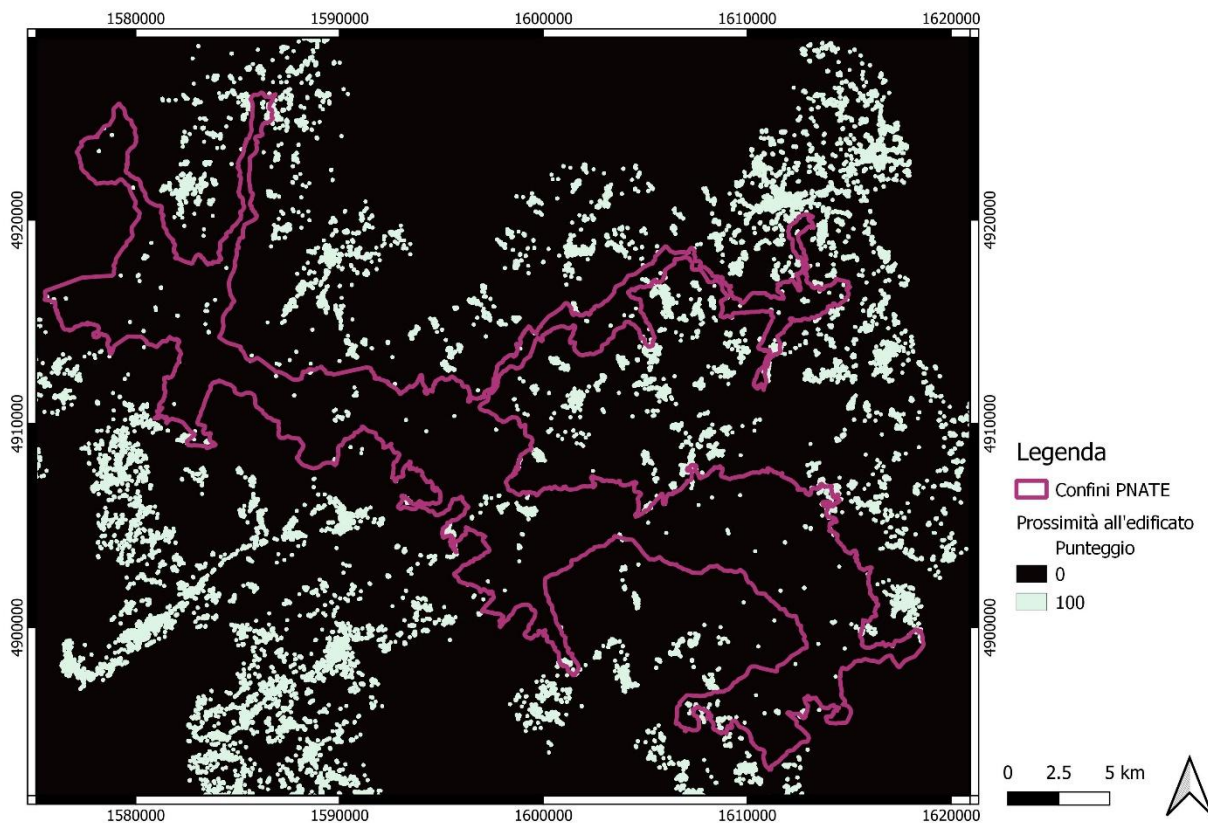


Figure 11 Prossimità all'edificato

4. **Rischio di erosione del suolo:** per calcolare questo fattore si è fatto ricorso all'equazione RUSLE, che moltiplica 5 fattori al fine di ricavare una stima della quantità di suolo che annualmente viene erosa dalle piogge in un ettaro (espressa in $\text{ton ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$). I cinque input sono i seguenti:
 - a. **R Factor:** fattore che quantifica l'aggressività delle precipitazioni, tenendo conto dell'intensità dei singoli eventi piovosi e della loro distribuzione nel corso dell'anno. Data la necessità di effettuare numerose misurazioni pluviometriche per ricavare questo fattore, si è optato per l'utilizzo di una mappa di R factor calcolata a livello europeo con precisione di 500m [1];
 - b. **LS Factor:** fattore legato alla morfologia (pendenza e lunghezza dei versanti), è stato calcolato con il tool LS Factor di QGIS a partire dal DEM;
 - c. **K Factor:** fattore di erodibilità del suolo, legato alla tessitura, al materiale organico e alla permeabilità. Anche in questo caso è stata utilizzata una carta già elaborata dal JRC (Joint Research Centre) avente precisione di 500m [2];
 - d. **C Factor:** Cover Management Factor, fattore legato alla capacità della vegetazione di trattenere l'erosione. Per ottenere questo input sono stati utilizzati dati provenienti dal JRC [3] e dati da letteratura. Il JRC infatti dispone di una carta con precisione 100m del C factor su tutto il continente europeo. Per l'applicazione nella mappa di rischio incendio si è voluta calcolare l'erosione in corrispondenza di foresta bruciata,

per cui la mappa di base del C factor è stata modificata assegnando un valore di 0.4, indicato in letteratura come valore tipico di C per le foreste soggette a incendio [4];

- e. **P factor:** fattore legato alle pratiche agricole cui è soggetto il suolo. In caso di foresta assume valore 1.

Il suolo perso per erosione è calcolato come prodotto dei cinque fattori. Per creare una scala di gravità del fenomeno erosivo si è comparata l'erosione con la velocità media di formazione del suolo. Utilizzando i valori soglia già utilizzati da Regione Emilia-Romagna [5] sono state create le seguenti classi a cui sono stati riferiti i punteggi di gravità.

Risultato RUSLE	Significato	Punteggio attribuito
0 - 2.2 ton ha ⁻¹ yr ⁻¹	Guadagno netto di suolo (il suolo si forma più velocemente di quanto non venga eroso)	0
2.2 - 11.2 ton ha ⁻¹ yr ⁻¹	Perdita netta	70
> 11.2 ton ha ⁻¹ yr ⁻¹	Perdita grave	100

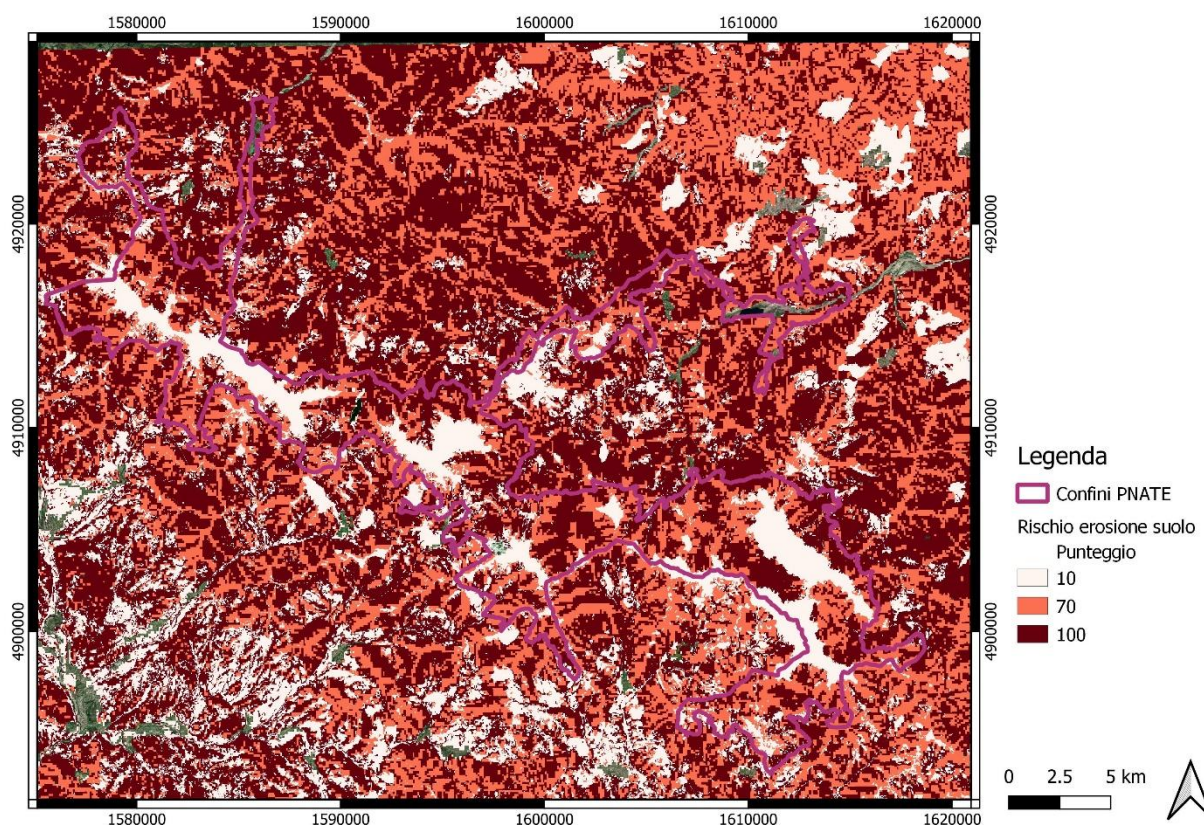


Figure 12 Carta di erosione del suolo

5. Carta della gravità: redatta come da indicazioni del Manuale per l'applicazione dello schema di Piani A.I.B. nei Parchi Nazionali. La carta consta di 4 layer:

- a. **Carta silvo-pastorale:** il manuale dà indicazioni circa il pregio delle diverse tipologie forestali. A partire dalle informazioni presenti nel manuale e dalla carta forestale è stata creata una carta di pregio naturalistico tramite elaborazione su GIS;
- b. **Zonizzazione del Parco:** ricavata dai geoportali di Regione Emilia-Romagna e Regione Toscana;
- c. **Carta di SIC/ZSC e RNS:** ricavata dai geoportali di Regione Emilia-Romagna e Regione Toscana;
- d. **Carta degli habitat e delle specie prioritarie:** per costruire questo layer serve considerare il numero di habitat prioritari (contrassegnati in cartografia regionale dei SIC con la lettera P) e il numero di specie prioritarie (tipicamente contrassegnate con il simbolo *). Quest'ultimo valore è stato ricavato tramite la consultazione delle schede tecniche di ogni SIC.

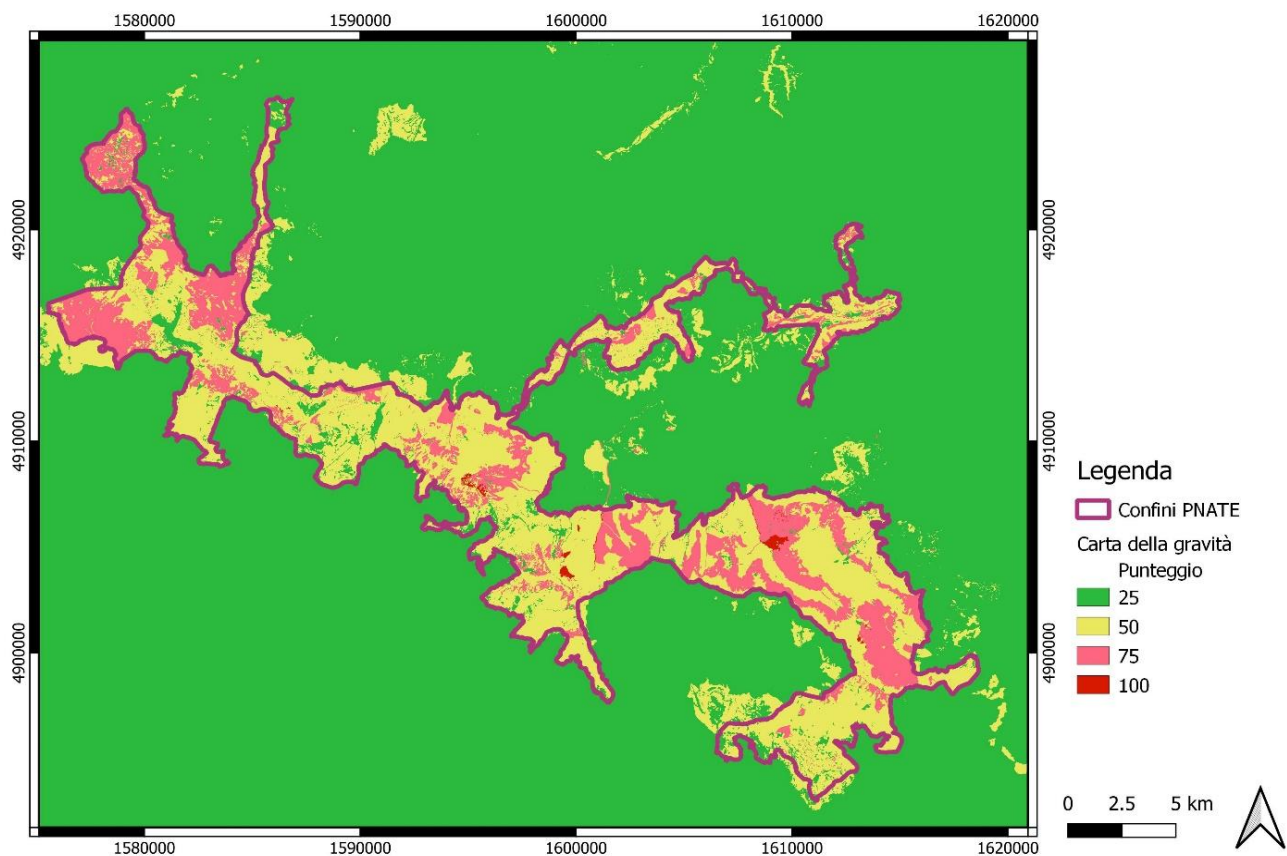


Figure 13 Carta della gravità

6. Rischio di caduta massi: questo layer ha riguardato la funzione protettiva delle foreste.

Sono state quindi selezionate tutte le foreste che soddisfacenti due criteri:

- a. sorgere su inclinazioni maggiori del 40% (maschera di pendenza ricavata tramite DEM);
- b. essere a monte di edifici e strade, a una distanza massima corrispondente alla lunghezza della catchment area (calcolata tramite QGIS), usata come approssimazione delle aree da cui potrebbero giungere massi o frane.

L'intersezione delle aree così ricavate ha fornito un'indicazione di quelle foreste aventi un ruolo particolarmente importante per proteggere le infrastrutture presenti sul territorio.

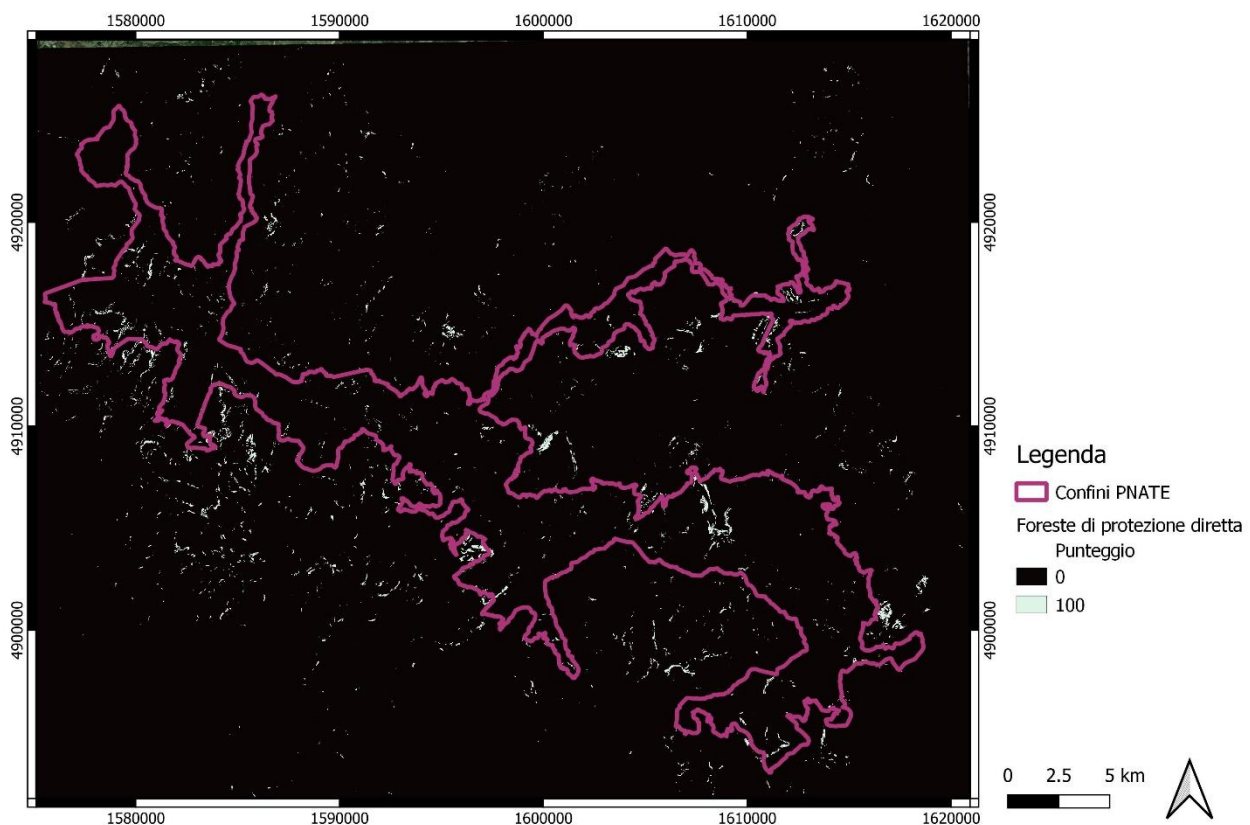


Figure 14 Funzione di protezione da caduta massi e frane delle foreste

7. Stock e Sink di Carbonio: in questo layer si è valutata la capacità del territorio di assorbire carbonio atmosferico e di stoccarlo. Entrambe le carte sono state ricavate tramite i dati dell'Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi di Carbonio (INFC): la carta forestale è stata riclassificata secondo le categorie forestali INFC e sono stati utilizzati i valori di incremento corrente per la carta Sink, i valori relativi a carbonio contenuto nella biomassa epigea e in suolo e lettiera per la carta Stock. Una volta ottenute le due carte, i valori sono stati scalati per ottenere un punteggio compreso tra 0 e 100. Infine è stato ottenuto un punteggio medio tra le due carte.

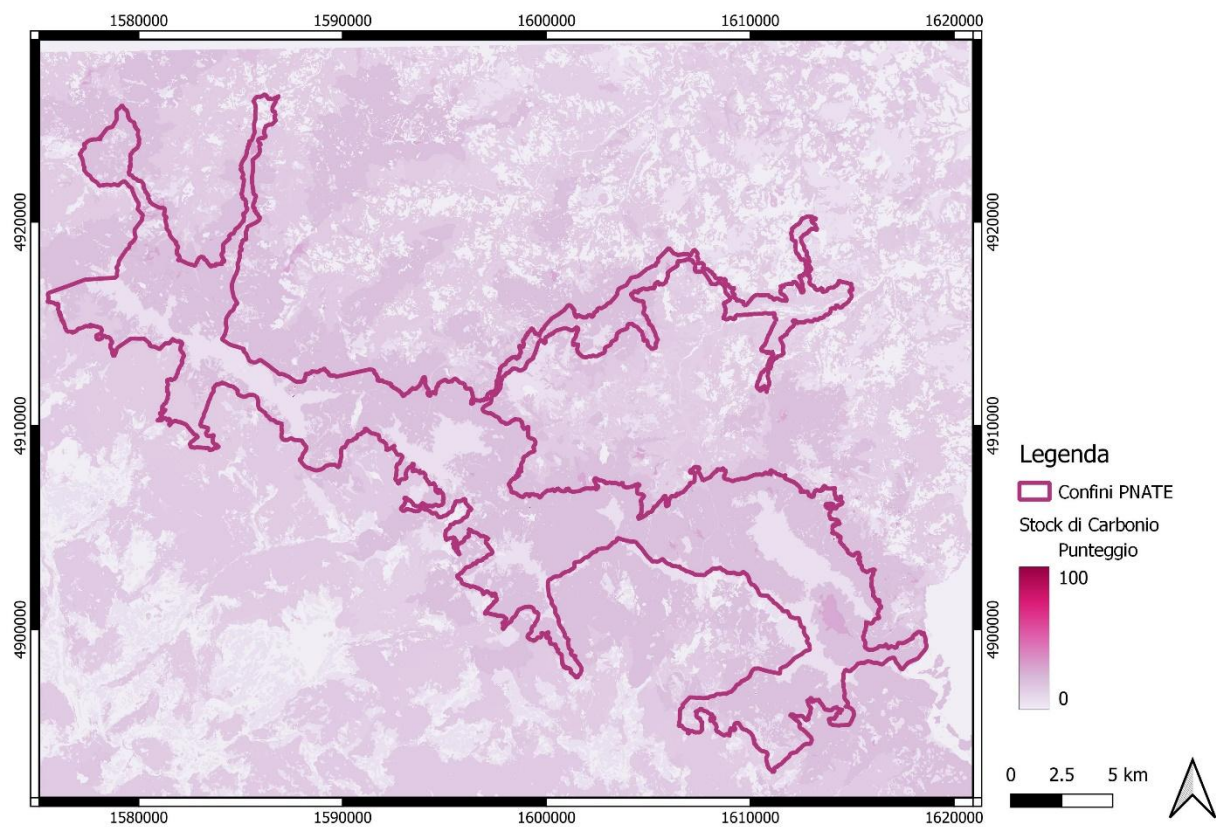


Figure 15 Carta dello Stock di Carbonio

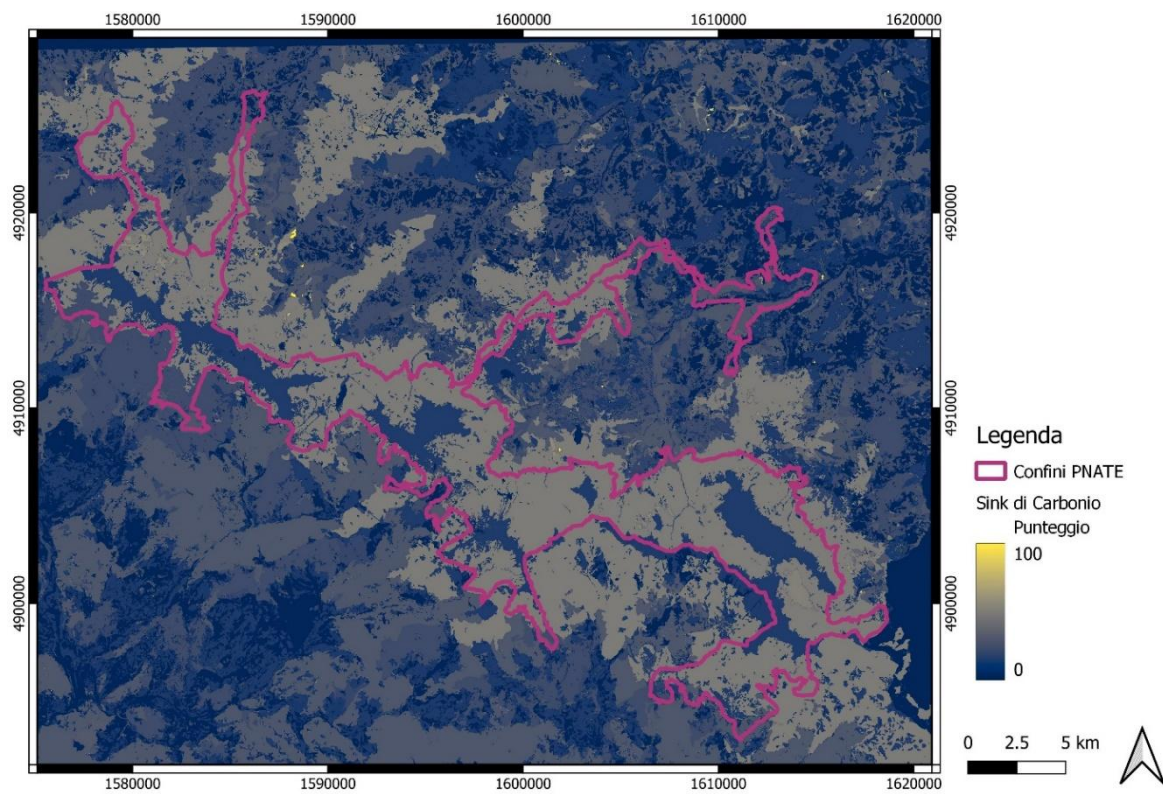


Figure 16 Carta del Sink di Carbonio

Una volta ottenuti i 7 layer di input è stata effettuata una media aritmetica. Il layer risultante è stato infine riscalo tra 0 e 100 per fornire un'indicazione più chiara della vulnerabilità del territorio. Il risultato è presentato in figura 19.

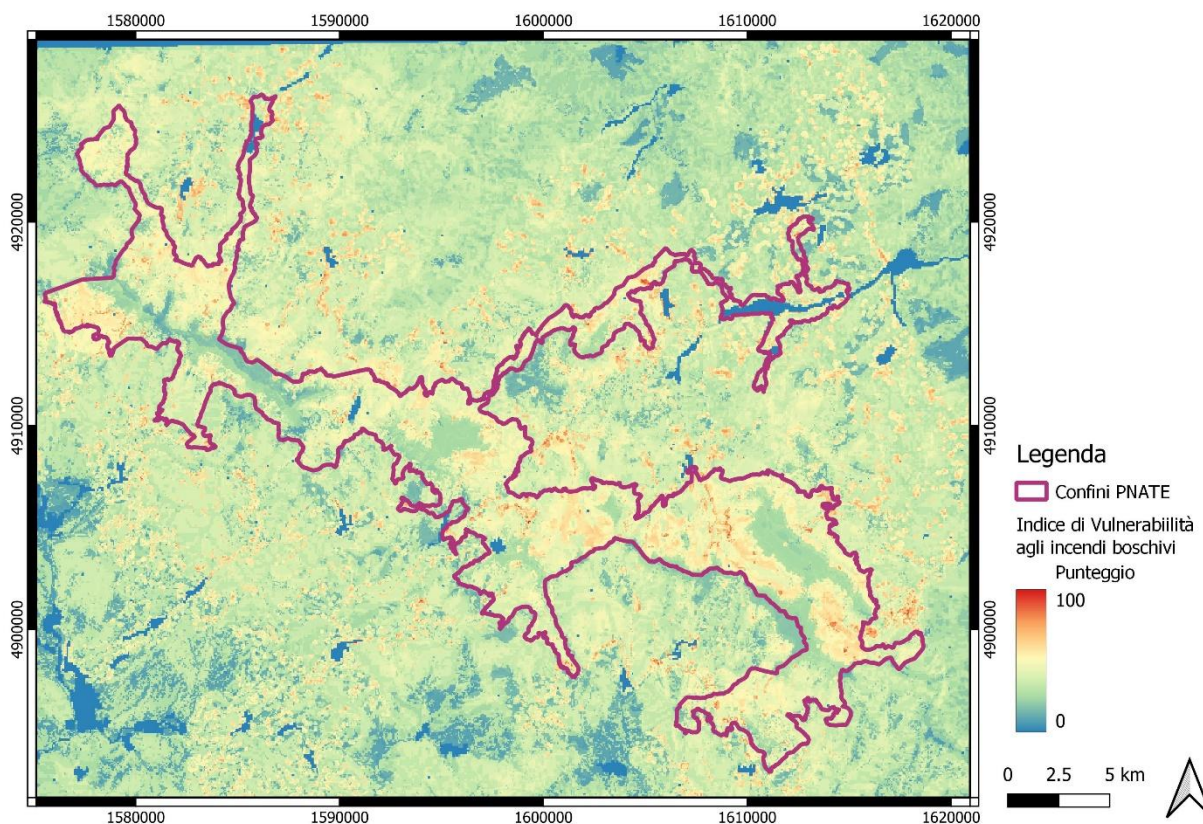


Figura 17 Carta di Vulnerabilità agli Incendi

4. Analisi del rischio

Per il calcolo del rischio di incendio boschivo si è fatto riferimento alla seguente formula:

$$\text{Rischio IB} = \text{Pericolosità} \times \text{Gravità}$$

La metodologia di calcolo si è basata, come per la pericolosità, su una matrice di combinazione due componenti considerate (Tabella 6), derivata dal Piano AIB della Regione Piemonte. Dalla combinazione 5 classi di pericolosità e vulnerabilità si è arrivati alla definizione di altrettante classi di rischio. In Figura 20 viene riportata la carta del rischio.

Tabella 6 – Matrice di calcolo del rischio di incendio boschivo.

GRAVITA'	PERICOLOSITÀ					
	RISCHIO IB	Molto alta	Alta	Media	Bassa	Molto bassa
	Molto alta	Molto alto	Molto alto	Alto	Alto	Basso
	Alta	Molto alto	Alto	Alto	Medio	Basso
	Media	Alto	Alto	Medio	Basso	Basso
	Bassa	Alto	Medio	Medio	Basso	Molto basso
	Molto bassa	Medio	Medio	Basso	Molto basso	Molto basso

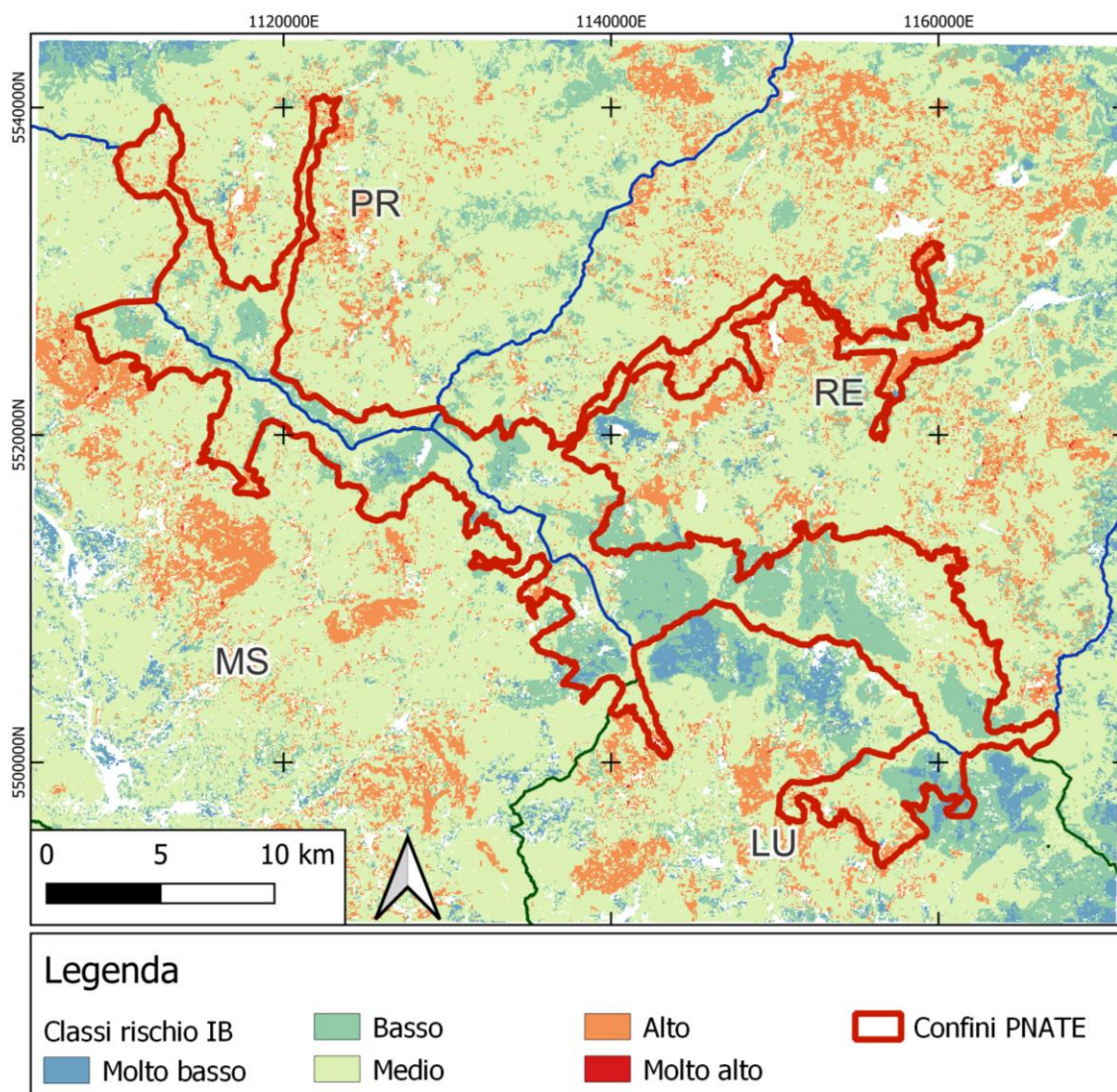


Figura 20 - Carta delle classi di rischio di incendio boschivo.

Riferimenti bibliografici

Ager, A. A., Palaiologou, P., Evers, C. R., Day, M. A., Ringo, C., & Short, K. (2019). Wildfire exposure to the wildland urban interface in the western US. *Applied geography*, 111, 102059.

Ascoli, D., Vacchiano, G., Scarpa, C., Arca, B., Barbati, A., Battipaglia, G., ... & Bacciu, V. (2020). Harmonized dataset of surface fuels under Alpine, temperate and Mediterranean conditions in Italy. A synthesis supporting fire management. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 13(6), 513.

European Commission 2018. <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/forests/tree-cover-density/status-maps/tree-cover-density-2018?tab=mapview>

Finney, M. A. (2005). The challenge of quantitative risk analysis for wildland fire. *Forest ecology and management*, 211(1-2), 97-108.

Finney, M. A. (2006). An overview of FlamMap fire modeling capabilities. In In: Andrews, Patricia L.; Butler, Bret W., comps. 2006. *Fuels Management-How to Measure Success: Conference Proceedings*. 28-30 March 2006; Portland, OR. Proceedings RMRS-P-41. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. p. 213-220 (Vol. 41).

Scott, J. H., Burgan RE (2005). Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

Tarquini S., Isola I., Favalli M., Battistini A. (2007) TINITALY, a digital elevation model of Italy with a 10 m-cell size (Version 1.0) [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/TINITALY/1.0>.

[1] <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/rainfall-erosivity-european-union-and-switzerland>

[2] <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/soil-erodibility-k-factor-high-resolution-dataset-europe>

[3] <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/cover-management-factor-c-factor-eu>

[4] Depountis, N.; Michalopoulou, M.; Kavoura, K.; Nikolakopoulos, K.; Sabatakakis, N. Estimating Soil Erosion Rate Changes in Areas Affected by Wildfires. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2020, 9, 562. <https://doi.org/10.3390/ijgi9100562>

[5] <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/suoli/uso-e-gestione-dei-suoli/erosione>

[6]

https://www.mite.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/aib/manuale_schema_piano_aib_pn_130_52016.pdf