

SVILUPPO CONGIUNTO DI STRATEGIE DI ADATTAMENTO AGLI INCENDI BOSCHIVI ADATTATE ALL'AREA CARSICA TRANSFRONTALIERA

O1.1

KARST FIREWALL 5.0

Adattamento innovativo al cambiamento climatico basato sugli ecosistemi nella regione del Carso. Promuovere una silvicoltura resistente agli incendi con il supporto di Industria 5.0

**Inovativno ekosistemsko-zasnovano prilagajanje podnebnim spremembam na Krasu.
Spodbujanje požarno odporne gmajne s podporo industrije 5.0**

INFORMAZIONI	
Acronimo del progetto / Akronim projekta:	KARST FIREWALL 5.0
Titolo del progetto / Naslov projekta:	Adattamento innovativo al cambiamento climatico basato sugli ecosistemi nella regione del Carso. Promuovere una silvicoltura resistente agli incendi con il supporto di Industria 5.0 Inovativno ekosistemsko-zasnovano prilagajanje podnebnim spremembam na Krasu. Spodbujanje požarno odporne gmajne s podporo industrije 5.0
Area prioritaria / Prednostno področje:	Un'Europa più verde e a basse emissioni di carbonio, che si muove verso un'economia a zero emissioni di carbonio e resiliente Bolj zelena, nizkoogljikna Evropa, ki prehaja na gospodarstvo z ničelno stopnjo neto emisij ogljika in je odporna
Obiettivo specifico del programma / Specifični cilj programa:	SO4: Promuovere l'adattamento ai cambiamenti climatici e la prevenzione del rischio di catastrofi e la resilienza, tenendo conto degli approcci ecosistemici. SO4: Spodbujanje prilagajanja podnebnim spremembam in preprečevanja tveganja nesreč ter odpornosti ob upoštevanju ekosistemskih pristopov
URL del sito web del progetto / URL spletne strani projekta:	www.ita-slo.eu/en/karst-firewall-50
Numero del documento / Številka dokumenta	KFW50-O11
Titolo del documento / Naslov dokumenta	SVILUPPO CONGIUNTO DI STRATEGIE DI ADATTAMENTO AGLI INCENDI BOSCHIVI ADATTATE ALL'AREA CARSICA TRANSFRONTALIERA
Work Package	1
Attività / Aktivnost	Ouput 1.1
Partner responsabili (autori) / Odgovorni partnerji (avtorji)	IUAV Università di Venezia (IT) (Granceri Bradaschia, M.; Morassutti G.; Longato D.; Maragno D.; Musco F.)
Partner coinvolti / Sodelujoči partnerji	Corpo Forestale FVG (IT), Zavoda za gozdove Slovenije (SI), Infordata (IT), ZRC-SAZU (SI)
Luogo e data di pubblicazione / Kraj in datum objave	Trieste, 30/07/2026

Sommario

1	INTRODUZIONE	5
1.1	Il Progetto Karst Firewall 5.0	5
2	L'AREA DI STUDIO	7
3	LE ANALISI DI PERICOLO E VULNERABILITÀ	8
4	L'ANALISI DEL PERICOLO DI INCENDIO BOSCHIVO	10
5	L'ANALISI DI VULNERABILITÀ AGLI INCENDI BOSCHIVI	12
6	APPROFONDIMENTO SUGLI APPROCCI ADOTTATI PER L'ANALISI DEL PERICOLO E DELLA VULNERABILITÀ AGLI INCENDI BOSCHIVI	13
7	L'ABACO DELLE AZIONI PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO INCENDIO BOSCHIVO SUL CARSO	14
7.1	COME LEGGERE QUESTO ABACO	16
7.2	GLOSSARIO	17
	LE MISURE DI PREVENZIONE DEL RISCHIO INCENDIO BOSCHIVO	18
8	GLI INTERVENTI DIRETTI SUL TERRITORIO	19
8.1	RIMOZIONE SELETTIVA SPECIE AD ALTO RISCHIO INCENDIO	19
8.2	CREAZIONE, MANTENIMENTO E ALLARGAMENTO DELLE PISTE TAGLIAFUOCO	20
8.3	CREAZIONE DI AREE CUSCINETTO SENZA O A BASSA VEGETAZIONE ATTORNO AD INFRASTRUTTURE E CENTRI ABITATI	21
8.4	DESTINAZIONE DI ZONE SICURE PER L'ACCUMULO DELLA NECROMASSA	23
8.5	DIRADAMENTO DI VEGETAZIONE TRAMITE INCENDI CONTROLLATI	24
8.6	CREAZIONE DI BACINI IDRICI ARTIFICIALI PER LO SPEGNIMENTO DEL FUOCO	25
8.7	MANTENIMENTO DELLA LANDA CARSICA	26
8.8	MANTENIMENTO E INNALZAMENTO DEI MURETTI A SECCO	28
9	PIANIFICARE LA RESILIENZA DEL PAESAGGIO AGLI INCENDI BOSCHIVI	29
9.1	DIVIETO DI RILASCIARE PERMESSI DI EDIFICAZIONE IN AREE VULNERABILI E ISOLATE	29
9.2	STANDARD DI UTILIZZO DI MATERIALE IGNIFUGO	30

9.3	LA FRAMMENTAZIONE DEL PAESAGGIO ED IL MOSAICO DI COMBUSTIBILE	31
9.4	PAGAMENTI PER I SERVIZI ECOSISTEMICI	32
9.5	ZONE DI INTERVENTO FORESTALE	34
10	LA SENSIBILIZZAZIONE E LA PROTEZIONE CIVILE	35
10.1	SISTEMA DI MESSAGGISTICA DI ALLERTA	35
10.2	CAMPAGNE DI SENSIBILIZZAZIONE AL RISCHIO INCENDIO E PRESCRIZIONI DI COMPORTAMENTO NEI PERIODI DI MAGGIOR RISCHIO	36
11	IL RILEVAMENTO IN TEMPO REALE DEGLI INCENDI – <i>EARLY WARNING SYSTEM</i>	37
11.1	IL MONITORAGGIO DEL BOSCO CON I SATELLITI	37
11.2	IL MONITORAGGIO DEL BOSCO CON LA VIDEOSORVEGLIANZA	38
11.3	I SENSORI PER IL RILEVAMENTO IN TEMPO REALE DEGLI INCENDI	39
12	BIBLIOGRAFIA	40

1 INTRODUZIONE

1.1 Il Progetto Karst Firewall 5.0

Il regime degli incendi boschivi nell'area del Kras/Carso è influenzato dal cambiamento climatico in corso. È probabile che gli incendi diventino più frequenti e intensi a causa di diversi trend, come l'aumento delle temperature, ondate di calore prolungate e siccità (Dupuy et al., 2020). Le strategie attuali di gestione degli incendi stanno diventando meno efficaci, rendendo necessario esplorare nuove modalità di adattamento. Il progetto Karst Firewall 5.0 affronta due sfide presenti nell'area del programma: gli incendi boschivi e la gestione della governance degli stessi. Per affrontarli intende sviluppare piani di azione innovativi per preservare lo stato di salute del territorio carsico e massimizzarne la resilienza, ponendo uno sguardo al futuro. Data le caratteristiche transfrontaliere dell'area di studio nel paesaggio carsico tra Italia e Slovenia, è fondamentale promuovere la cooperazione tra entrambi i paesi per affrontare l'urgente necessità di ridurre il rischio di incendi e sviluppare strategie di risposta tempestive, come dimostrato dall'importante incendio dell'estate 2022.

Il progetto intende aprire la strada non solo a un maggiore dialogo e a una maggiore cooperazione tra gli attori direttamente coinvolti nella gestione e nell'attuazione delle strategie di risposta agli incendi boschivi dai due lati del confine, ma anche tra gli attori di diversi settori, nonché la comunità in generale che sono in qualche modo coinvolti negli impatti che ne derivano. In questo modo, il progetto Karst Firewall potrebbe essere davvero determinante per lo sviluppo di un efficace meccanismo transfrontaliero di prevenzione e gestione degli incendi boschivi, grazie al fatto che tutti gli attori coinvolti, dai singoli cittadini e utenti del territorio ai decisori di alto livello, svolgono un ruolo molto importante e complementare a questo obiettivo.

Il Work Package 1 del progetto Karst Firewall 5.0 è intitolato "Come renderlo meno infiammabile: un quadro concettuale per la riduzione del rischio di incendi transfrontalieri nel Carso" e mira a sviluppare un quadro concettuale per promuovere la riduzione del rischio di incendi boschivi attraverso la creazione di una collaborazione transfrontaliera per un'efficace gestione adattiva degli incendi boschivi nelle regioni carsiche. Ciò include l'elaborazione di specifiche analisi spaziali che analizzano il pericolo di incendi boschivi, attuale e nel futuro prossimo secondo i dati fornitici dalle proiezioni climatiche e la vulnerabilità del territorio nell'area di progetto, oggetto di questo deliverable. A tale scopo, sono stati selezionati e testati due approcci: l'analisi tramite **modellazione di Massima Entropia (MaxEnt)** per la valutazione del **pericolo di incendi boschivi** (di seguito definita come pericolo) e **l'Analisi**

Decisionale Multi-criteriale (MCDA) per l'analisi della **vulnerabilità del territorio agli incendi** (di seguito vulnerabilità).

La modellazione con MaxEnt ha guadagnato una vasta popolarità grazie alla sua relativa semplicità ed è ampiamente utilizzata, soprattutto nei campi dell'ecologia e della biogeografia (Phillips et al., 2006). Tuttavia, questi metodi di modellazione ecologica, come MaxEnt, i modelli lineari generalizzati (GLM) o i modelli additivi generalizzati (GAM), si sono già dimostrati efficaci anche in altri campi per prevedere la distribuzione spaziale di determinati fenomeni e comprendere i pattern spaziali dei processi naturali. Ad esempio, la modellazione con MaxEnt è stata utilizzata per prevedere la distribuzione spaziale di grotte che identificano le aree del più critiche per il flusso delle acque sotterranee nel sistema carsico (Blitch et al., 2023). Negli ultimi anni, MaxEnt è stato utilizzato con successo anche per valutare il rischio, la vulnerabilità e la probabilità di incendi boschivi in ambienti diversi, performando in alcuni studi comparativi meglio di algoritmi di Random forest e modelli GLM (Kim et al., 2019; Mishra et al., 2023; Paudel et al., 2024; Vilar et al., 2016; Yang et al., 2021).

L'analisi di vulnerabilità agli incendi boschivi richiede la valutazione di fattori diversi che possono concorrere a determinarlo. Poiché questi fattori sono eterogenei, caratterizzati da un certo grado di importanza relativa e misurati con unità di misura diverse, per identificare le aree di maggiore o minore vulnerabilità agli incendi è stato scelto l'approccio dell'analisi decisionale multi-criteriale (MCDA) applicato a valutazioni spazialmente esplicite con sistemi informativi geografici (GIS) (Malczewski, 2006). Nell'ambito dell'MCDA, il metodo Analytic Hierarchy Process (AHP), uno dei metodi più diffusi per valutare l'importanza relativa di tutti i fattori analizzati (Gigović & Jakovljević, 2018; Goleiji et al., 2017; Maniatis et al., 2022; Sivrikaya & Küçük, 2022) è stato utilizzato per assegnare i pesi rappresentanti l'importanza relativa di tutti i fattori selezionati. L'AHP è stato teorizzato per la prima volta da Saaty (2002) per confrontare i diversi criteri in un MCDA e fornire un metodo matematico per quantificare le valutazioni soggettive della loro relativa importanza.

Le analisi del pericolo e della vulnerabilità agli incendi boschivi sul Carso non hanno avuto un valore puramente conoscitivo, ma hanno costituito la base empirica su cui è stata costruita la strategia transfrontaliera di prevenzione, articolata in una serie di misure preventive e di pronta risposta – dagli interventi diretti sul territorio alla pianificazione territoriale integrata e ai sistemi di allerta precoce – individuate e condivise congiuntamente dai partner italiani e sloveni come risposta operativa diretta ai rischi e alle vulnerabilità evidenziati dalle analisi.

2 L'AREA DI STUDIO

L'area di studio comprende la regione storico-geografica dell'altopiano carsico (denominato Carso in Italia e Kras in Slovenia) e le sue aree limitrofe, abbracciando il nord del Mare Adriatico. L'area di studio si estende per circa 1000 km², ricadendo approssimativamente per il 30% in Italia e per il 70% in Slovenia. L'area è compresa tra le coordinate geografiche 13,47 long., 45,55 lat. e 14,05 long., 45,96 lat. (EPSG:4326-WGS84). L'area è caratterizzata sia da climi mediterranei superiori, sulla costa, sia da zone fitoclimatiche più continentali sul versante interno. Il Carso è un classico esempio di altopiano a substrato calcareo, che si innalza rapidamente dalla costa fino a 350 m s.l.m., con creste collinari che raggiungono i 400-700 m s.l.m.. La vegetazione varia dalle macchie costiere di leccio mediterraneo (*Quercus ilex*) alle associazioni di carpino nero (*Ostrya carpinifolia*) e frassino (*Fraxinus ornus*), dominate dalla roverella (*Quercus pubescens*) che ricopre sempre la landa carsica sull'altopiano, sempre di più in stato di abbandono (Oriolo et al., 2021). Sono comuni macchie di foreste di pino nero (*Pinus nigra*), specie non autoctona importata con gli sforzi di rimboschimento della landa carsica risalenti al XIX secolo.

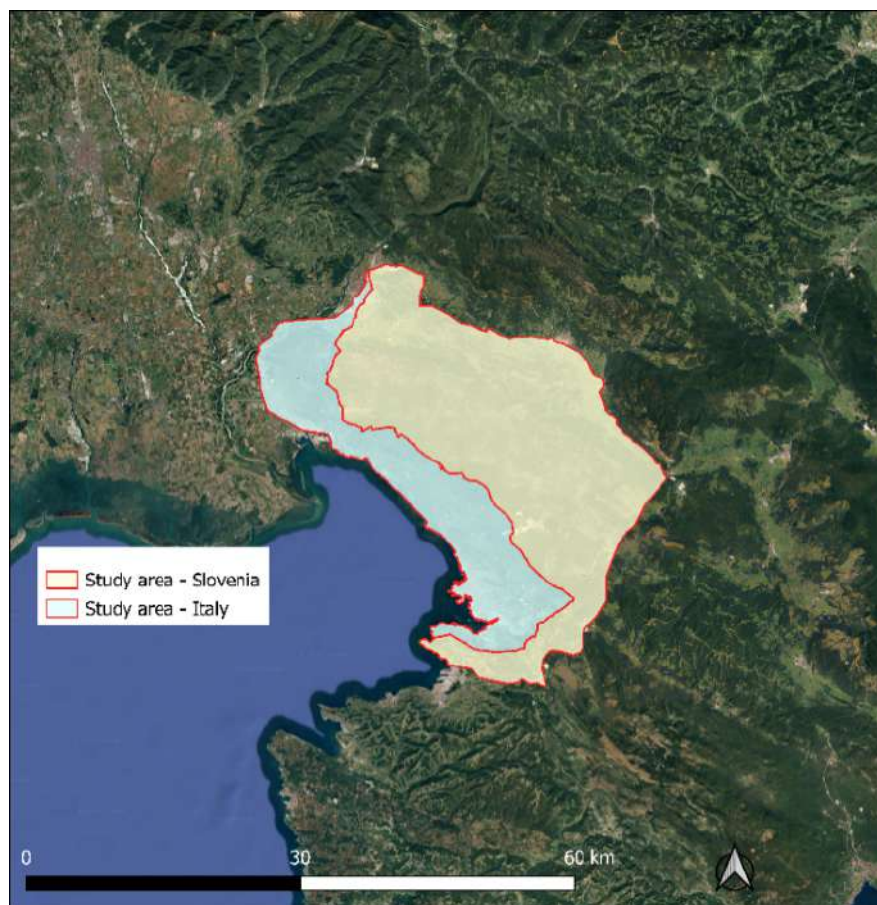


Figura 1: L'area di studio. A sinistra la parte ricadente in Italia, a destra in Slovenia.

3 LE ANALISI DI PERICOLO E VULNERABILITÀ

Questo lavoro ha eseguito due analisi: **Il pericolo di incendi boschivi** basata sulla modellazione di Massima Entropia (MaxEnt) e la **vulnerabilità agli incendi boschivi** basata sull'Analisi Decisionale Multicriteriale (MCDA) utilizzando l'Analytic Hierarchy Process (AHP). Prima di eseguire le analisi sono state selezionate, sulla base dei dati transfrontalieri disponibili (e comparabili), le variabili esplicative che concorrono all'innesco e alla diffusione degli incendi.

Sulla base di una revisione della letteratura (Gigović & Sekulović, 2018; Maniatis et al., 2022; Mishra et al., 2023; Nuthammachot & Stratoulis, 2021; Sivrikaya & Küçük, 2022; Trucchia et al., 2022, 2023; Yang et al., 2021), sono state selezionate **11 variabili esplicative** che sono state utilizzate per la modellazione e le analisi in quanto potenziali fattori che influenzano il

pericolo e la vulnerabilità agli incendi boschivi. Tra queste vi sono delle variabili che riflettono le caratteristiche **antropiche** (la distanza da ferrovie, strade (strade principali, strade forestali e sentieri escursionistici) e insediamenti), **ambientali** (copertura del suolo), **climatiche** (precipitazioni e temperatura) e **topografiche** (aspetto, elevazione, pendenza, Indice di Posizionamento Topografico (TPI, *Topographic Position Index*), Indice Topografico di Saturazione (TWI, *Topographic Wetness Index*), un indice della saturazione del versante). L'elenco delle variabili, con la fonte dei dati, è riportato nella Tabella 1. Tutte le variabili sono state elaborate con i software ESRI ArcGIS Pro 3.4.0 (ESRI, Redlands, CA, USA) e QGIS 3.40.4 (QGIS Development Team, 2025).

A causa della natura transfrontaliera dell'area di studio, sono state incontrate alcune sfide nella raccolta e nella standardizzazione dei dati di input. Al fine di ottenere la massima risoluzione possibile, abbiamo cercato di ottenere il maggior numero possibile di dati da banche dati locali, nazionali o regionali (Tabella 1). I dati che riflettono le caratteristiche antropiche sono stati forniti dall'Autorità di rilevamento e cartografia della Repubblica di Slovenia (GURS) e dall'Infrastruttura per i dati ambientali e territoriali (IRDAT) della Regione autonoma Friuli-Venezia Giulia (RAFGV). Tuttavia, poiché Openstreetmap (OSM) contiene una rappresentazione più completa dei sentieri escursionistici, sia in Italia che in Slovenia, i layer delle strade è stato integrato con elementi scaricati dal database OSM. Per elaborare invece il layer di copertura del suolo, si è scelto di ricorrere ai dati di copertura del suolo nazionali e regionali, che hanno una risoluzione significativamente più alta rispetto alla carta europea Corine Land Cover (CLC).

A causa delle diverse caratteristiche spazio-temporali dei dati climatici nazionali e regionali per l'Italia e la Slovenia, si è deciso di utilizzare i dati forniti dal progetto CHELSA Climate sia per le serie storiche climatiche più recenti (1981-2010) che per le proiezioni climatiche del prossimo futuro (2011-2040) (Brun et al., 2022; Karger et al., 2017).

Tabella 1: Elenco delle variabili con la fonte dei dati

	Variabile	Fonte del dato SLO	Fonte del dato ITA
Antropiche	Distanza da strade, strade boschive e sentieri	Dati forniti dall'Autorità di Geografia della Repubblica Slovenia (GURS), Openstreetmap	RAFGV, ISPRA e Insiel S.p.a., Openstreetmap
	Distanza da ferrovie		

	Distanza da insediamenti		
Ambie ntali	Copertura del suolo	Dati forniti dal Ministero dell'Agricoltura, delle Foreste e dell'Alimentazione (MKGP), Corine Land Cover (CLC)	RAFVG, Corine Land Cover (CLC)
Climati che	Precipitazione media annua (1981–2010)	CHELSA Climate (Brun et al., 2022; Karger et al., 2017)	
	Temperatura media annua (1981–2010)		
	Precipitazione media annua (2011–2040)		
	Temperatura media annua (2011–2040)		
Topogr afiche	Orientamento del terreno	Dati Lidar (risoluzione 1 × 1 m) forniti dall'Agenzia della Repubblica Slovenia per l'Ambiente (ARSO)	Dati Lidar (risoluzione 1 x 1 m cell) forniti dalla RAFVG
	Altitudine		
	Pendenza		
	Indice di Posizionamento Topografico (TPI)		
	Indice Topografico di Saturazione (TWI)		

4 L'ANALISI DEL PERICOLO DI INCENDIO BOSCHIVO

I livelli finali del pericolo attuale e futuro di incendi boschivi sono stati classificati in cinque livelli (basso, moderato, alto, significativamente alto ed estremamente alto) in base all'intervallo definito, di dimensioni pari a 0,20 (Fig. 6). Le cinque classi con diversi livelli di pericolosità classificata rappresentano rispettivamente il 22,71%, il 38,20%, il 23,00%, il 10,30% e il 5,78% dell'area di studio (Tabella 2). La maggior parte dell'area di studio è coperta da aree classificate a pericolosità moderata, che coprono il 38,20% dell'area totale. Seguono le aree con pericolosità elevata (23,00%) e bassa (22,71%). Le aree con pericolosità significativamente ed estremamente alta rappresentano rispettivamente il 10,30% e il 5,78% (Tabella 2). È evidente che le aree classificate come zone di pericolo di incendi boschivi significativamente elevato e superiore rappresentano una percentuale relativamente bassa (16,08%) dell'area di studio.

Nello scenario futuro di pericolo di incendi boschivi, i cinque livelli rappresentano rispettivamente il 26,83%, il 40,16%, il 21,25%, l'8,24% e il 3,51% dell'area di studio (Tabella 2). Analogamente all'attuale pericolo di incendi boschivi, la maggior parte dell'area di studio rimane nella categoria di pericolo di incendi boschivi moderato, coprendo il 40,16% dell'area totale. Tuttavia, l'area classificata a basso pericolo di incendi boschivi è aumentata del 4,12%, raggiungendo il 26,83%, mentre la categoria di pericolo di incendi boschivi elevato è leggermente diminuita, attestandosi al 21,25%. In particolare, la percentuale di aree classificate a pericolo di incendi boschivi significativamente elevato ed estremamente elevato è diminuita, rispettivamente, dal 2,06% e dal 2,27% all'8,24% e al 3,51% (Tabella 2). Ciò indica che in futuro si osserverà uno spostamento globale della pericolosità di incendi boschivi verso livelli più bassi, con un minor numero di aree soggette a condizioni di pericolosità significativamente o estremamente elevata.

Un'analisi della distribuzione spaziale delle zone di pericolosità rivela una considerevole variazione geografica del rischio di incendi boschivi all'interno dell'area di studio. Le aree con pericolo di incendio elevato, significativamente elevato ed estremamente elevato sono distribuite prevalentemente lungo la costa e attorno ai maggiori insediamenti, dove la densità di strade e ferrovie è maggiore. Le proiezioni indicano che nelle proiezioni climatiche future il pericolo di incendi boschivi diminuirà nelle regioni costiere, mentre aumenterà nelle aree interne (Fig. 6).

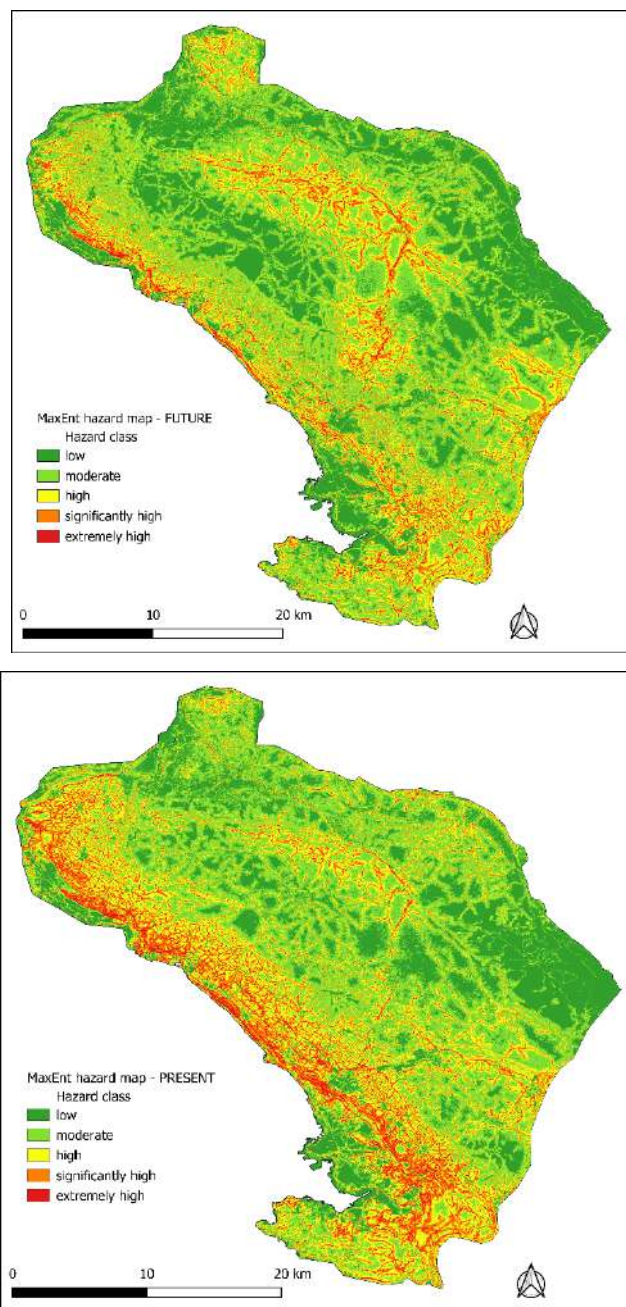


Figura 2: Carta del pericolo di incendi boschivi nelle condizioni climatiche attuali, a destra, e future, a sinistra.

Tabella 2: Area (km²) delle classi di pericolo nell'area studio secondo le condizioni climatiche odierne e future e lor percentuale sul totale (%).

	Pericolo odierno		Pericolo futuro		Differenza	
	Area	Percentuale	Area	Area	Percentuale	Area

Karst Firewall 5.0

Bassa	228,36	22,71	269,78	26,83	41,42	4,12
Moderata	384,10	38,20	403,83	40,16	19,73	1,96
Elevata	231,28	23,00	213,67	21,25	-17,61	-1,75
Significativamente elevata	103,60	10,30	82,88	8,24	-20,72	-2,06
Estremamente elevata	58,12	5,78	35,30	3,51	22,82	-2,27
Totale	1005,46	100	1005,46	100	/	/

5 L'ANALISI DI VULNERABILITÀ AGLI INCENDI BOSCHIVI

Le carte di vulnerabilità (Figura 3) mostrano che, nelle attuali condizioni climatiche, la maggior parte dell'area di studio rientra nella classe di vulnerabilità significativamente elevata (67%), seguita dalle aree di vulnerabilità estrema (25%) (Tabella 3). Considerando le proiezioni climatiche future, le aree caratterizzate da una vulnerabilità estremamente elevata aumentano fino al 30%, a scapito di quelle caratterizzate da una vulnerabilità significativamente elevata (62%) (Tabella 3).

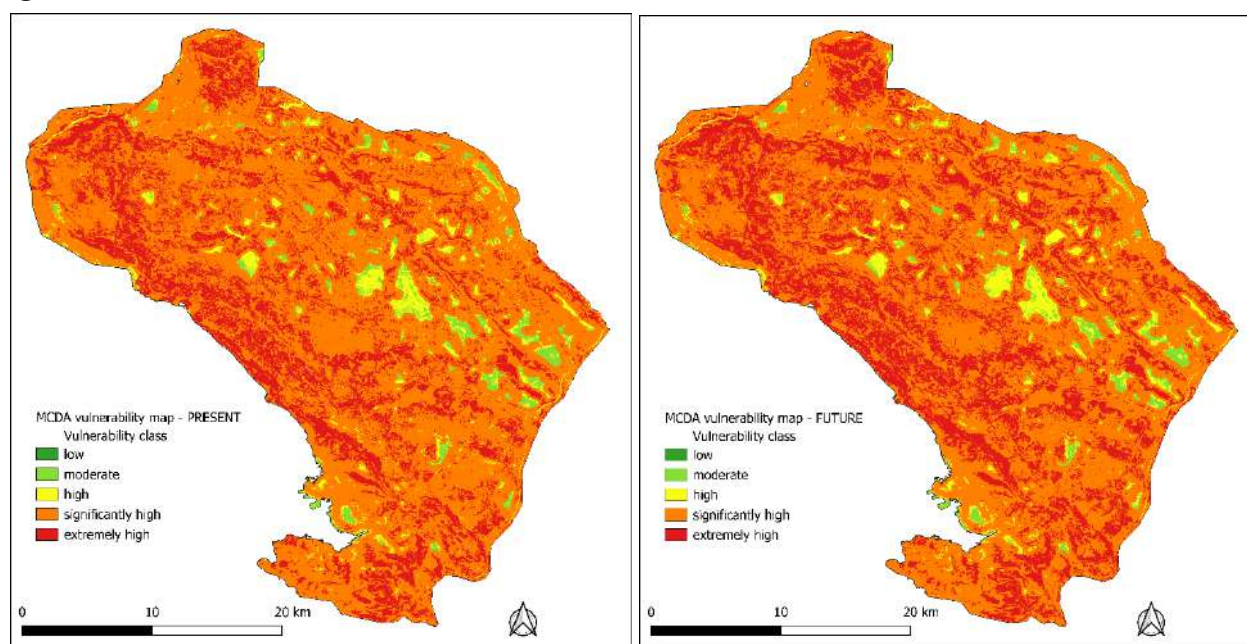


Figura 3: Carta della vulnerabilità nelle condizioni climatiche odierne, sulla sinistra, e secondo le proiezioni climatiche future, sulla destra.

Tabella 3: Area (km²) delle classi di vulnerabilità nell'area studio secondo le condizioni climatiche odierne e future e percentuale sul totale (%).

	Vulnerabilità odierna		Vulnerabilità futura		Differenza	
	Area	Percentuale	Area	Percentuale	Area	Percentuale
Bassa	0,04	0,004	0,02	0,002	-0,02	-0,001
Moderata	25,1	2,49	21,2	2,11	-3,86	-0,38
Elevata	44,8	4,46	43,3	4,31	-1,52	-0,15
Significativamente elevata	679,4	67,58	630,4	62,70	-49,04	-4,87
Estremamente elevata	256,1	25,47	310,4	30,87	54,32	5,40
Totale	1005,5	100,00	1005,5	100,00	-	-

Le variabili climatiche sembrano comunque essere la categoria meno impattante sulla vulnerabilità agli incendi boschivi nel nostro scenario. Infatti, i layer di dati climatici utilizzati nello studio tengono conto solo dei valori medi annui di temperatura e dei valori cumulativi annui di precipitazione. La mancanza di una distribuzione dei dati nell'arco dell'anno non consente di distinguere gli andamenti meteorologici stagionali, che potrebbero celare la presenza di periodi più lunghi caratterizzati da clima secco e caldo. Inoltre, le proiezioni della quantità e della distribuzione delle precipitazioni durante le stagioni sono più difficili da stabilire a causa dell'elevato numero di variabili coinvolte e sono per lo più non significative per il periodo futuro più prossimo (Bertalanič et al., 2018).

6 APPROFONDIMENTO SUGLI APPROCCI ADOTTATI PER L'ANALISI DEL PERICOLO E DELLA VULNERABILITÀ AGLI INCENDI BOSCHIVI

Le carte di vulnerabilità e di pericolo ottenute sono notevolmente diverse. Mentre infatti l'analisi della vulnerabilità ha identificato come aree di vulnerabilità significativamente ed estremamente elevata il 93% dell'area di studio che rientra in aree ad alta vulnerabilità, le due classi di pericolo più elevato costituiscono solamente il 16% dell'intera area di studio nell'analisi del pericolo di incendio. Ciò è probabilmente dovuto alla distribuzione spaziale degli incendi boschivi passati, particolarmente concentrata in un'area ristretta rispetto all'intera area studio. Il dataset di input è stato appositamente ridotto da 2367 a 1206 punti per ridurre l'effetto distorsivo sul modello. La modellazione MaxEnt sembra essere più indicata per le analisi del pericolo di incendio boschivo, appunto perché è focalizzata sulla probabilità di accadimento di incendi boschivi. D'altra parte, l'analisi di vulnerabilità distribuisce equamente le aree ad alta vulnerabilità in tutta l'area studio, indipendentemente dagli eventi di incendio passati, fornendo così informazioni, oltre che sulle aree in cui è più probabile che gli incendi boschivi si inneschino, anche su dove è più probabile che si propaghino una volta innescati.

Un'altra differenza fondamentale tra i due metodi è la proiezione futura della probabilità di rischio di incendi boschivi e della loro vulnerabilità. Nello specifico, l'analisi di vulnerabilità prevede un aumento delle aree classificate a vulnerabilità estremamente elevata, dal 25% al 30% dell'area totale, mentre l'analisi di pericolosità ha previsto una diminuzione della probabilità di incendi boschivi nello scenario climatico futuro. Ciò è verosimilmente dovuto al fatto che, come risulta dall'AHP nell'analisi di vulnerabilità, alla temperatura e alle precipitazioni viene attribuito un peso rispettivamente del 4,32% e dell'1,44%. L'analisi indica che la temperatura ha un impatto tre volte superiore a quello delle precipitazioni sulla vulnerabilità finale, mentre l'analisi di pericolosità MaxEnt assegna alla temperatura e alla

precipitazione un contributo rispettivamente del 2,8% e del 7,0%. Secondo le proiezioni climatiche future, è previsto che entrambe le variabili aumenteranno, ma ciascuna ha un effetto opposto sugli incendi boschivi. A seconda di quale delle due prevalga in ciascun approccio, i risultati saranno contraddittori.

Entrambi gli approcci si sono dimostrati strumenti efficaci per la mappatura della pericolosità e della vulnerabilità agli incendi boschivi, concentrandosi su diverse caratteristiche del rischio. La loro efficacia nell'analisi del rischio di incendio boschivo può quindi essere massimizzata integrando i rispettivi risultati. La modellazione MaxEnt ha fornito preziose informazioni attraverso le curve di risposta, dimostrando che la probabilità di incendi boschivi è maggiore sui pendii esposti a sud e sud-ovest, nelle aree forestali seminaturali e di conifere e nelle regioni con precipitazioni e pendenze moderate. Inoltre, la probabilità di rischio di incendi boschivi ha mostrato anche una forte correlazione negativa con la distanza da strade, ferrovie e insediamenti, sottolineando il ruolo critico delle infrastrutture nell'innescare degli incendi boschivi.

7 L'ABACO DELLE AZIONI PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO INCENDIO BOSCHIVO SUL CARSO

È in questo contesto che la pianificazione integrata del paesaggio appare come la strategia necessaria e più efficace per aumentare la resilienza del territorio: non solo a livello locale, ma transfrontaliera. Il Carso non riconosce confini politici nei suoi continui vegetazionali e nella propagazione del fuoco: i territori italiano e sloveno interagiscono quotidianamente nei processi climatici e nei movimenti del fuoco. Dopo gli incendi estesi dell'estate 2022, numerose iniziative hanno coinvolto cooperazione operativa tra vigili del fuoco, enti forestali, protezione civile e istituzioni locali su entrambi i lati del confine per gli interventi di spegnimento, monitoraggio e prevenzione. Tuttavia, manca ancora un quadro normativo e di pianificazione del territorio transfrontaliero che definisca regole condivise per uso del suolo, vincoli per edificazioni, gestione del combustibile e manutenzione attiva. Colmare questo gap è cruciale per affrontare in modo coerente il rischio incendi in un paesaggio che, dal punto di vista ecologico e climatico, è unico e continuo.

Un numero crescente di studi rileva che il rischio incendi non può essere efficacemente mitigato se le politiche restano settoriali. La progettazione forestale e

paesaggistica che incorpora metriche del rischio antincendio rende i territori maggiormente resistenti al fuoco, pur mantenendo la redditività economica (González-Olabarria and Pukkala, 2011). Ad esempio, le ricerche dimostrano che la combinazione di pascolo con incendi pianificati mantiene effettiva la riduzione del combustibile nel tempo, più a lungo di ciascuna misura presa singolarmente (Starns et al., 2019).

In parallelo, il cambiamento climatico sta aggravando questi fattori di rischio: gli scenari climatici per l'Europa meridionale e l'area adriatica indicano un aumento delle temperature medie, ondate di calore più frequenti e prolungate e una riduzione delle precipitazioni estive, che insieme portano a suoli e vegetazione più secchi, aumento dei giorni con condizioni meteorologiche favorevoli all'innesco e alla propagazione degli incendi (Granceri Bradaschia *et al.*, 2025). Questi cambiamenti incrementano l'estensione potenziale degli incendi e la probabilità di eventi estremi. In particolare, la combinazione di vento di bora, basse umidità e alte temperature estive già osservata nel Carso tenderà a intensificarsi, aumentando la finestra di pericolosità e riducendo i giorni sicuri per operazioni di prevenzione.

Per questo la pianificazione integrata deve incorporare esplicitamente scenari climatici futuri e modelli previsionali di rischio: gli strumenti urbanistici comunali devono coordinarsi con i piani paesaggistici e regionali, con i piani antincendio boschivo e con le politiche di protezione civile, normando dove non è consentita l'edificazione, prevedendo fasce di rispetto vegetazionale, definendo materiali ignifughi, reti di piste tagliafuoco, infrastrutture idriche di supporto, sensori e sistemi di allerta, ma anche modalità di attuazione, risorse finanziarie, monitoraggio, partecipazione dei cittadini e dei proprietari privati. Quando queste misure funzionano in maniera sinergica si osservano risultati migliori in termini di riduzione della superficie bruciata, intensità media del fuoco e tempi di risposta. Questa integrazione verticale (Comune-Regione-Stato-UE) e orizzontale (tra settori e misure) è ciò che trasforma interventi singoli in una vera strategia di resilienza paesaggistica.

Infine, non deve essere sottovalutata l'importanza del monitoraggio e della valutazione continua: il paesaggio è dinamico, le condizioni climatiche evolvono e la vegetazione cresce e muore; misure che oggi sono efficaci, se non mantenute nel tempo, possono perdere la loro utilità.



7.1 COME LEGGERE QUESTO ABACO

Questo abaco nasce per fornire agli amministratori locali, tecnici comunali, responsabili di protezione civile, gestori di aree naturali e infrastrutture, uno strumento pratico e scientificamente fondato per orientare la pianificazione e l'attuazione delle azioni di prevenzione incendi. Ogni azione è stata strutturata in modo uniforme per facilitare il confronto immediato tra interventi diversi e per aiutare chi decide a capire quale misura è più adatta al proprio contesto. Per ciascuna di esse sono infatti indicati:

- La componente del rischio che l'azione affronta:

- *pericolo*
- *vulnerabilità*
- *esposizione*
- *capacità di risposta al disastro*
- *capacità adattiva*

Questa distinzione aiuta a capire l'implicazione delle azioni contro gli incendi (vedasi Box 1 per i dettagli)

- Tipi di copertura del suolo dove l'azione è applicabile:
 - aree boschive
 - aree prative, inclusa la landa carsica
 - aree di interfaccia urbano-rurale
- Tipo di strumento di pianificazione dove l'azione può essere inclusa (es. piano regolatore generale comunale, piano paesaggistico regionale, piani di protezione civile, piani di gestione delle aree Natura 2000)
- Quali soggetti sono coinvolti nell'attuazione o nella gestione delle azioni (es. enti pubblici, privati, gestori infrastrutture, consorzi, proprietà collettive, aziende agricole)

Il documento contiene inoltre, per ogni misura, un breve inquadramento scientifico con riferimenti scientifici e normativi, in modo da garantire solidità delle informazioni e facilitare l'integrazione nei piani e nei bandi. L'uso di questo abaco consente quindi ai decisori politici e non solo di comprendere quali misure esistono per ridurre il rischio di incendi boschivi, quali di queste possono essere adottate in modo sinergico e di indirizzare in modo mirato le risorse sugli aspetti più critici del proprio territorio e sugli attori giusti. Tutte queste informazioni sono anche racchiuse nella tabella che si trova in appendice al testo.

BOX 1 - IL CONCETTO DI RISCHIO

$$\text{RISCHIO} = (\text{PERICOLO} \times \text{VULNERABILITÀ} \times \text{ESPOSIZIONE}) / (\text{CAPACITÀ DI RISPOSTA} \times \text{CAPACITÀ ADATTIVA})$$

Pericolo = la probabilità con cui un incendio può accadere (es. vicinanza ad aree ad elevata presenza antropica, accumulo incontrollato di sterpaglie).

Vulnerabilità = la suscettibilità di un elemento territoriale ad incendiarsi (es. le conifere sono più infiammabili rispetto a specie a latifoglie e quindi più vulnerabili).

Esposizione = il livello di prossimità ad aree potenzialmente infiammabili di popolazione, edifici, infrastrutture (es. case unifamiliari isolate nel mezzo di pinete sono altamente esposte al rischio incendi).

Capacità di risposta al disastro = la capacità di intervento immediato per identificare e/o controllare l'incendio (es. sistema di allerta in tempo reale).

Capacità adattiva = la capacità di migliorare il sistema di riduzione del rischio di incendi nel lungo termine da un punto di vista legislativo, istituzionale e comportamentale (es. creazione di zone E nel Piano Regolatore Generale Comunale tra zone edificate (A, B, C, D) e zone F).

7.2 GLOSSARIO

CARICO DI COMBUSTIBILE: Quantità totale di materiale infiammabile presente in un'area. Un carico elevato aumenta l'intensità e la durata di un incendio.

COMBUSTIBILE: Insieme dei materiali vegetali vivi o morti che possono bruciare, come foglie secche, aghi, arbusti, legna morta o lettiera del suolo.

CONTINUITÀ DEL COMBUSTIBILE: Modo in cui il combustibile è distribuito orizzontalmente (tra aree) e verticalmente (tra suolo, sottobosco e chioma). Maggiore è la continuità, più facilmente il fuoco si propaga.

NECROMASSA: Insieme della biomassa morta accumulata nel bosco: legno caduto, rami secchi, foglie, ceppaie e alberi morti in piedi. Rappresenta una componente importante del ciclo ecologico, ma se non gestita aumenta il rischio di incendio e la sua intensità.

SPOTTING: Fenomeno per cui frammenti incandescenti (braci, pezzi di corteccia, foglie in fiamme) vengono trasportati dal vento e danno origine a nuovi focolai anche a distanza di centinaia di metri o chilometri dal fronte principale.

WUI - INTERFACCIA URBANO-RURALE (WILDLAND URBAN INTERFACE): Zona di contatto tra aree naturali e aree edificate, dove il rischio di incendio è maggiore per la vicinanza di vegetazione e abitazioni.

LE MISURE DI PREVENZIONE DEL RISCHIO INCENDIO BOSCHIVO

8 GLI INTERVENTI DIRETTI SUL TERRITORIO

8.1 RIMOZIONE SELETTIVA SPECIE AD ALTO RISCHIO INCENDIO

FUNZIONI DEL RISCHIO: Vulnerabilità

COPERTURA DEL SUOLO INTERESSATA: Bosco

STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE: Piani antincendio boschivo, Piano Paesaggistico

SOGGETTI COINVOLTI: Guardia Forestale

La combustibilità del paesaggio dipende dalla quantità, continuità e tipo di combustibile vegetale. Rimuovendo specie che producono grandi quantità di materiale secco, aghi resiniferi o che favoriscono la continuità verticale, si riduce la probabilità che un fuoco superficiale si trasformi in un incendio di chioma ad alta intensità. La rimozione selettiva è quindi un intervento di gestione forestale che consiste nell'identificare e rimuovere (o ridurre in modo significativo) individui o popolazioni di specie arboree che, per caratteristiche biologiche o strutturali, aumentano il rischio e l'intensità degli incendi in un'area. Lo scopo non è eliminare la copertura arborea, ma modificarne la composizione e la struttura verso comunità vegetali meno infiammabili e più diradate. Sul Carso alcune specie, come ad esempio il pino nero (*Pinus nigra*) e lo scotano (*Cotinus Coggygria*) oltre a soffrire durante gli eventi di siccità estrema e prolungata, sono anche altamente vulnerabili di fronte agli incendi. Tali alberi indeboliti accumulano rami secchi e resinosi che aumentano l'infiammabilità e la probabilità di propagazione dell'incendio alla chioma. Nel Carso, la combinazione di suoli sottili e caldo estremo accentua questi rischi, rendendo il pino nero sia vittima sia fattore di maggiore rischio incendio nelle pinete degradate (Savi et al., 2019). La rimozione può avvenire tramite taglio selettivo, diradamento, o sostituzione con specie meno combustibili, spesso integrata con altri interventi (prescrizioni di fuoco, pascolo, rimboschimenti mirati).

8.2 CREAZIONE, MANTENIMENTO E ALLARGAMENTO DELLE PISTE TAGLIAFUOCO

FUNZIONI DEL RISCHIO: Vulnerabilità, Capacità di risposta al disastro

COPERTURA DEL SUOLO INTERESSATA: Bosco

STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE: Piani antincendio boschivo, Piano Paesaggistico

SOGGETTI COINVOLTI: Guardia Forestale, Comune, privati cittadini, proprietà collettive

Le piste taglia-fuoco, infrastrutture lineari o strisce di terreno in cui la vegetazione è rimossa o modificata, riducono la continuità e la quantità di combustibile vegetale e agevolano l'accesso per le operazioni di spegnimento. Possono andare dal semplice percorso erboso o strada sterrata fino a fasce trattate con diradamento, rimozione del sottobosco e mantenimento periodico. L'obiettivo pratico è quindi limitare o rallentare la propagazione degli incendi.

Per progettare correttamente le piste taglia fuoco bisogna effettuare innanzitutto una mappatura delle aree maggiormente vulnerabili e delle aree maggiormente esposte per poi prevedere i possibili corridoi di propagazione, considerando l'orografia e le direzioni prevalenti del vento. La larghezza di una pista tagliafuoco può variare, da pochi metri fino ad un centinaio in casi estremi, a seconda del tipo di vegetazione (nello specifico dall'altezza e dal rischio di *spotting*) e della conformazione e del terreno. Nel caso di un pendio ad esempio, la larghezza di una pista tagliafuoco dovrà essere maggiore nel caso in cui il fuoco provenga dal basso.

Nella pratica si raccomanda che i tagli selettivi, il diradamento, il controllo della vegetazione lungo piste forestali e margini di radure, siano usati per creare una rete interconnessa di aree a minor combustibile e non solo fasce lineari isolate. Questo approccio permette non solo di ridurre il rischio, ma anche di offrire opportunità di spegnimento in sicurezza e di migliorare la biodiversità creando habitat più vari. Nella progettazione di piste taglia-fuoco è altresì fondamentale integrare sempre misure di controllo di specie invasive in quanto queste possono facilitarne la propagazione fungendo da corridoi di accesso (Shinneman *et al.*, 2019). È consigliato evitare macchine pesanti che scavano o compattano il suolo calcareo; privilegiare tagli manuali selettivi, cippatura leggera e pascolo controllato per ridurre il sottobosco. Questo limita erosione e danno alle superfici rocciose (McKinney *et al.*, 2022). Ai fini di facilitarne il mantenimento, è più pratico istituire un minor numero di piste ma che siano più larghe e più efficaci. Sfruttare la mobilitazione della cittadinanza in occasione dei

lavori di pulizia delle piste maggiormente importanti è un metodo efficace per ridurre il tempo ed il costo del mantenimento, oltreché facilitarne l'accettazione da parte della cittadinanza.

8.3 CREAZIONE DI AREE CUSCINETTO SENZA O A BASSA VEGETAZIONE ATTORNO AD INFRASTRUTTURE E CENTRI ABITATI

FUNZIONI DEL RISCHIO: Pericolo, Esposizione

COPERTURA DEL SUOLO INTERESSATA: Bosco, Interfaccia urbano-rurale

STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE: Piano antincendio boschivo, Piano Paesaggistico, Piano Regolatore Generale

SOGGETTI COINVOLTI: Guardia Forestale, Comune

La creazione e manutenzione di fasce di rispetto prive di vegetazione intorno alle abitazioni, ai nuclei abitati e alle principali infrastrutture lineari (ferrovie, strade, elettrodotti, metanodotti) è una delle misure più semplici e al tempo stesso più efficaci per ridurre il rischio che un incendio boschivo raggiunga persone, case e infrastrutture con un conseguente impatto sulla sicurezza della popolazione oltreché ingenti danni economici.

Queste fasce interrompono la continuità orizzontale del materiale infiammabile e riducono la probabilità che scintille e fiamme possano propagarsi alle strutture. In un contesto carsico, caratterizzato da uno strato arboreo contenuto in altezza, una fascia priva di vegetazione o con vegetazione a bassa infiammabilità tra i 10 ed i 30 metri attorno alle abitazioni è una scelta ragionevole ed efficace. Distanze più limitate possono essere adeguate per singole costruzioni isolate se la vegetazione è ben gestita; per nuclei densamente boschivi o in presenza di pendenze elevate si raccomanda invece di aumentare la fascia fino a 30 m.

Per infrastrutture gestite da terzi (ferrovie, società elettriche, strade, metanodotti) è prassi e spesso obbligo contrattuale o normativo che sia il concessionario a mantenere le fasce di rispetto: ciò è giustificato perché sono loro a trarre beneficio dalla mitigazione del rischio (minore interruzione del servizio) e perché possono pianificare manutenzione e interventi con continuità operativa.

L'adozione di separatori fisici (come muretti a secco, cordoli in pietra, barriere non combustibili, reti metalliche) nei punti critici può aiutare a mantenere la fascia libera, impedire la migrazione di materiale vegetale e ridurre l'accumulo di combustibile vicino alle costruzioni o ai cavidotti. Questa combinazione di gestione della vegetazione e barriere fisiche rappresenta uno strumento semplice ma strategico di protezione civile e dovrebbe essere integrata nelle norme locali e nei piani di manutenzione delle infrastrutture. Perché siano davvero utili è essenziale che vengano mantenute regolarmente, rimuovendo periodicamente erbe, arbusti e residui; attraverso piani pluriennali e risorse dedicate.

BOX 2 - DI QUANTI METRI DOVREBBE ESSERE LA FASCIA DI RISPETTO PER BLOCCARE IL FUOCO?

La logica dietro la larghezza consigliata delle piste taglia-fuoco è duplice: **(1)** ridurre la energia radiante che arriva all'edificio o all'infrastruttura (la radiazione diminuisce rapidamente con la distanza), e **(2)** abbassare la probabilità che braci incandescenti (che possono essere trasportate dal vento) trovino materiale suscettibile all'accensione vicino alla struttura. La letteratura su spotting mostra che, sebbene in eventi estremi le braci possano volare chilometri, la probabilità e la massa di braci diminuiscono con la distanza; pertanto fasce libere o ben gestite intorno a beni critici riducono significativamente l'esposizione a inneschi da braci e la probabilità di accensione diretta. Studi classici e recenti (Albini 1983; Koo et al. 2010;) spiegano questi meccanismi e quantificano come la distanza e la continuità del combustibile influenzino il rischio di propagazione per spotting. Per questi motivi è consigliato attenersi a larghezze dai 10 m in su.

8.4 DESTINAZIONE DI ZONE SICURE PER L'ACCUMULO DELLA NECROMASSA

FUNZIONI DEL RISCHIO: Pericolo

COPERTURA DEL SUOLO INTERESSATA: Bosco

STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE: Piano Antincendio Boschivo

SOGGETTI COINVOLTI: Guardia Forestale, Comune

La creazione di aree sicure dedicate all'accumulo della necromassa (rami, foglie, tronchi morti) prodotta da diradamenti, pulizie del sottobosco e altre operazioni preventive è essenziale per evitare che il materiale tagliato aumenti il carico di combustibile *in situ*, vanificando l'intervento stesso. Queste zone, idealmente spoglie da vegetazione, pianeggianti e accessibili ai mezzi, devono essere posizionate a distanza di sicurezza dalle abitazioni e dai corridoi di propagazione del fuoco, con cumuli di dimensioni contenute, eventuale cippatura e copertura per ridurre l'essiccamento. Studi su trattamenti di combustibile mostrano che il materiale lasciato in loco senza gestione può innalzare il potenziale energetico degli incendi per diversi anni, mentre la rimozione o concentrazione in siti dedicati riduce l'intensità del fuoco e migliora la sicurezza operativa (Agee and Skinner, 2005; Stephens *et al.*, 2012). Questa pratica, integrata con cippatura, incendi controllati o utilizzo energetico del materiale, permette di mantenere i benefici ecologici della rimozione del combustibile minimizzando gli effetti collaterali sul rischio incendi.

8.5 DIRADAMENTO DI VEGETAZIONE TRAMITE INCENDI CONTROLLATI

FUNZIONI DEL RISCHIO: Pericolo, Vulnerabilità

COPERTURA DEL SUOLO INTERESSATA: Bosco, Landa carsica

STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE: Piani antincendio boschivo, Piano paesaggistico

SOGGETTI COINVOLTI: Guardia Forestale, Vigili del Fuoco

Gli incendi controllati sono un metodo efficace e poco costoso per ridurre la vulnerabilità di un territorio e ridurre il pericolo che si scateni un incendio di grande intensità. Gli incendi controllati infatti riducono la quantità di combustibile presente nei boschi, rimuovendo lo strato arbustivo del sottobosco consumando la necromassa in accumulo. Può contribuire a mantenere la landa carsica bruciando lo strato arbustivo che la sostituisce, aiutando così a preservarne la biodiversità.

Un incendio controllato è definito come l'applicazione esperta del fuoco a bassa intensità in aree pianificate, attraverso l'uso di personale appositamente addestrato all'uso del fuoco e l'adozione di procedure operative e requisiti definiti in anticipo con linee guida specifiche. Solitamente vengono pianificati da tecnici formati della Guardia Forestale e dei Vigili del Fuoco in condizioni meteorologiche a basso rischio di propagazione, non troppo calde ed in assenza di vento. Purtroppo, è possibile che in futuro questa misura sia sempre meno applicabile a causa dell'incremento delle giornate calde e con una maggior imprevedibilità meteorologica (Swain et al., 2023). Tra le diverse controindicazioni, vi è la possibilità che gli incendi controllati favoriscano la colonizzazione dei terreni bruciati da parte di specie pioniere invasive (Keeley, 2006).

8.6 CREAZIONE DI BACINI IDRICI ARTIFICIALI PER LO SPEGNIMENTO DEL FUOCO

FUNZIONI DEL RISCHIO: Vulnerabilità, Capacità di risposta al disastro

COPERTURA DEL SUOLO INTERESSATA: Bosco

STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE: Piani antincendio boschivo, Piano Regolatore Generale

SOGGETTI COINVOLTI: Guardia Forestale, Comune, Vigili del Fuoco, Protezione Civile

La creazione di bacini idrici artificiali rappresenta una misura fondamentale per rendere più efficace e tempestiva la lotta agli incendi boschivi, specialmente in territori come il Carso triestino dove la carenza di corpi d'acqua superficiali limita l'approvvigionamento idrico per i mezzi antincendio. Un bacino artificiale può assumere la forma di una vasca, di un piccolo serbatoio in calcestruzzo o acciaio, o di una cisterna interrata impermeabilizzata, progettata per rendere l'acqua immediatamente disponibile a camion, idranti e, quando le condizioni lo consentono, anche agli elicotteri impegnati nello spegnimento. L'acqua può essere raccolta tramite captazioni di sorgenti naturali intermittenti, convogliamento delle acque piovane nei periodi umidi o approvvigionamento programmato da reti idriche pubbliche o da pozzi laddove idrogeologicamente sostenibile. La capacità di questi bacini deve essere dimensionata per coprire i fabbisogni operativi: la letteratura tecnica suggerisce volumi dell'ordine di almeno 50 m³ per ciascun punto di rifornimento per garantire carichi completi a un'autobotte forestale e, se pensati anche per l'uso da parte di elicotteri, bacini di alcune centinaia di metri cubi con profondità adeguata e facile accesso dall'alto. Per massimizzare l'efficacia operativa i bacini dovrebbero essere distribuiti capillarmente, ad esempio ogni 4-6 km nelle aree di maggior rischio, e collegati ad infrastrutture di spegnimento come idranti, piste di accesso e piazzole di manovra per garantire tempi rapidi di caricamento (Holuša *et al.*, 2021). Tra i vantaggi principali vi è la drastica riduzione dei tempi di approvvigionamento dell'acqua, con conseguente aumento della rapidità e dell'efficacia dell'intervento e potenziale riduzione dell'area bruciata; la possibilità di integrare la funzione antincendio con altri usi (agricoli, pastorali, di raccolta piovana) può favorire l'accettazione sociale e l'economia locale. Tuttavia, questa misura comporta anche limiti e criticità: i costi di costruzione e manutenzione possono essere elevati, soprattutto in ambiente carsico dove serve impermeabilizzare le vasche contro perdite e percolazione; l'evaporazione estiva e il vento possono ridurre rapidamente il volume disponibile.

8.7 MANTENIMENTO DELLA LANDA CARSICA

FUNZIONI DEL RISCHIO: Vulnerabilità, Capacità adattiva

COPERTURA DEL SUOLO INTERESSATA: Landa carsica

STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE: Piano Paesaggistico, Piano Regolatore Generale

SOGGETTI COINVOLTI: Guardia Forestale, Comune, Regione, privati cittadini, proprietà collettive, aziende agricole

Il mantenimento della landa carsica rappresenta una delle misure più efficaci per prevenire la propagazione rapida degli incendi boschivi e al contempo conservare un patrimonio ecologico e culturale di grande valore. Negli ultimi decenni, l'abbandono delle pratiche agro-pastorali tradizionali ha favorito l'avanzata di arbusti e giovani piante legnose che aumentano la continuità dei combustibili, trasformando progressivamente la landa aperta in boscaglia più infiammabile. La pastorizia mirata è una tecnica di gestione che sfrutta gli animali da pascolo per contenere la ricrescita vegetale, mantenendo l'habitat aperto e creando discontinuità orizzontali e verticali del combustibile. Questa pratica non solo abbassa il rischio di incendi intensi ma preserva la biodiversità caratteristica delle praterie carsiche, molte delle quali ospitano specie floristiche rare e insetti specialisti.

Poiché il pascolo estensivo tradizionale è oggi poco redditizio, la sua applicazione come strumento di prevenzione incendi richiede un sostegno pubblico strutturale. Sovvenzioni attraverso i Programmi di Sviluppo Rurale (PSR) o misure agro-ambientali possono remunerare gli allevatori per il servizio ecosistemico offerto, garantendo continuità e qualità nella gestione. Senza un finanziamento stabile, le superfici trattate sono troppo limitate per incidere sul rischio incendi a scala di paesaggio.

BOX 3 - CHE ANIMALE DA PASCOLO È PIÙ ADATTO PER RIDURRE IL RISCHIO INCENDIO?

Le specie animali da impiegare vanno scelte anche in base alla composizione vegetale:

- i **caprini** sono particolarmente efficaci nel brucare arbusti e giovani piante legnose, incluse specie invasive, riducendo rapidamente il carico di combustibile arbustivo.
- Gli **ovini** mantengono il prato basso e controllano l'erba fine, limitando la ricrescita di specie erbacee che possono formare uno strato continuo di combustibile durante l'estate.
- i **bovini** possono contribuire a mantenere mosaici aperti e calpestare la lettiera, ma richiedono spazi più ampi, acqua e infrastrutture aggiuntive. Combinare specie diverse, ad esempio greggi miste di capre e pecore, risulta particolarmente efficace nel creare e mantenere discontinuità nel combustibile a diverse altezze.

Gli studi scientifici confermano questi benefici: in contesti mediterranei il pascolo mirato riduce significativamente la biomassa del sottobosco e ritarda la ricolonizzazione arbustiva, aumentando la resilienza al fuoco (Spadoni *et al.*, 2023). In Spagna e nel sud della Francia la reintroduzione del pascolo estensivo in aree abbandonate ha mostrato effetti positivi sia sulla biodiversità prativa che sulla riduzione del rischio incendi (Ruiz-Mirazo *et al.* 2011; Lasanta *et al.*, 2020)).

L'approccio deve essere adattivo, monitorando nel tempo gli effetti sulla vegetazione e sul rischio incendi e aggiustando carichi e tempi di pascolamento. Così concepita, la pastorizia mirata diventa un investimento pubblico strategico, non un costo, perché fornisce un servizio ecosistemico di prevenzione incendi, preserva un paesaggio culturale unico e sostiene attività economiche locali a rischio di estinzione.

8.8 MANTENIMENTO E INNALZAMENTO DEI MURETTI A SECCO

FUNZIONI DEL RISCHIO: Pericolo, Vulnerabilità

COPERTURA DEL SUOLO INTERESSATA: Bosco, Landa, Interfaccia urbano-rurale

STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE: Piano Regolatore Generale, Piano paesaggistico

SOGGETTI COINVOLTI: Guardia Forestale, Comune, privati cittadini, proprietà collettive

Nel paesaggio carsico triestino e sloveno, i muretti a secco sono parte integrante del patrimonio rurale e paesaggistico, tradizionalmente usati per delimitazioni, confinamenti del bestiame e controllo dell'erosione. Ripristinarli o aumentarne l'altezza laddove in parte crollati offre vantaggi aggiuntivi nella mitigazione del rischio incendio: un muretto in pietra stabile può fungere barriera fisica contro i fuochi radenti, impedendo che fiamme basse e braci si propaghino rapidamente oltre piccole discontinuità del combustibile, rallentando la velocità di avanzamento e creando punti dove intervenire.

Per essere efficaci, i muretti dovrebbero avere un'altezza attorno agli 80-100 cm (o più alta nei tratti con vegetazione abbondante o forte pendenza). È importante che siano continui nei punti critici: attorno a macchie di bosco e nelle fasce di interfaccia urbano-rurale. Oltre ad essere relativamente duraturi, e poco costosi rispetto a strutture più complesse, i muretti a secco contribuiscono a preservare l'identità del paesaggio carsico, ridurre l'erosione nelle forti pendenze, fornire habitat per diverse specie. Naturalmente, la loro erezione è molto laboriosa ed in condizioni estreme (vento forte, spotting, fuochi di chioma) la loro efficacia è limitata.

La collaborazione con i proprietari privati e le proprietà collettive del Carso è cruciale: servono accordi per la manutenzione continua, la ricostruzione da zero nei punti in cui il muro è scomparso, e un coinvolgimento della comunità locale che riconosca anche il valore culturale e storico del muretto, non solo la sua funzione preventiva. Il finanziamento potrebbe venire da misure di gestione dei rischi, fondi rurali, interventi ambientali o programmi legati alla lotta agli incendi.

9 PIANIFICARE LA RESILIENZA DEL PAESAGGIO AGLI INCENDI BOSCHIVI

9.1 DIVIETO DI RILASCIARE PERMESSI DI EDIFICAZIONE IN AREE VULNERABILI E ISOLATE

FUNZIONI DEL RISCHIO: Esposizione, Capacità Adattiva

COPERTURA DEL SUOLO INTERESSATA: Interfaccia urbano-rurale

STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE: Piano Regolatore Generale

SOGGETTI COINVOLTI: Comune

Imporre il divieto (o perlomeno forti limitazioni) al rilascio di nuovi permessi di costruzione in aree isolate a elevata vulnerabilità al rischio di incendi è una misura preventiva diretta: evita l'aumento della popolazione e delle infrastrutture esposte, riduce la necessità di interventi d'emergenza in luoghi difficili e mantiene il paesaggio più gestibile dal punto di vista della riduzione del combustibile. Questa politica va inserita nei piani urbanistici e nei piani di prevenzione incendi regionali, con definizione chiara delle aree sulle quali è vietato costruire basata su valutazioni del rischio (WUI, pendenze, accessibilità), garantendo equità e trasparenza tramite consultazioni pubbliche. L'importanza di integrare la pianificazione territoriale con la gestione del rischio incendi è ribadita nelle linee guida europee, che invitano gli Stati e le regioni a considerare restrizioni allo sviluppo nelle aree ad alto rischio come misura strutturale di resilienza (Mauri and Jankavić, 2023).

9.2 STANDARD DI UTILIZZO DI MATERIALE IGNIFUGO

FUNZIONI DEL RISCHIO: Vulnerabilità, Capacità adattiva

COPERTURA DEL SUOLO INTERESSATA: Interfaccia urbano-rurale

STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE: regolamenti

SOGGETTI COINVOLTI: Comune

Stabilire obblighi normativi che impongano l'uso di materiali esterni poco infiammabili (tetti, rivestimenti, infissi, elementi esterni come tettoie e verande) e manufatti anti-brace (griglie alle ventilazioni, giunzioni sigillate) per le nuove costruzioni in zone a rischio è una misura di mitigazione efficace e relativamente poco onerosa rispetto al danno potenziale (Oliveira, 2023). Questi standard devono essere tradotti in regolamenti locali/edilizi e in normative tecniche che siano coerenti con le pratiche di protezione delle costruzioni contro il fuoco: la letteratura tecnica e le normative nazionali indicano che la scelta di materiali non combustibili e la progettazione attenta di dettagli riducono significativamente la probabilità di ignizione da braci e la propagazione del fuoco alle strutture. Le raccomandazioni tecniche e i nuovi regolamenti edilizi nazionali (europei) promuovono proprio l'integrazione di requisiti costruttivi per la protezione dai rischi esterni, compresi i carichi termici e lo *spotting*.

9.3 LA FRAMMENTAZIONE DEL PAESAGGIO ED IL MOSAICO DI COMBUSTIBILE

FUNZIONI DEL RISCHIO: Vulnerabilità, Capacità adattiva

COPERTURA DEL SUOLO INTERESSATA: Bosco, Landa Interfaccia urbano-rurale

STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE: Piano Regolatore Generale, Piano Paesaggistico, Piano Antincendio

SOGGETTI COINVOLTI: Regione, Comune, Guardia Forestale, privati, proprietà collettive, aziende agricole

Progettare e mantenere una mosaicatura del combustibile, ovvero una pianificazione del paesaggio e una gestione del territorio intenzionale che alterna aree soggette ad attività antropica (pascolo, diradamenti, fasce taglia-fuoco, colture agricole) ad aree più naturali, riduce la continuità spaziale del materiale infiammabile e limita l'estensione e l'intensità degli incendi.

L'obiettivo è frammentare le aree ad alta pericolosità in comparti più piccoli, intervallati da aree a basso carico di combustibile, in modo da ostacolare la continuità del fuoco e facilitare le operazioni di spegnimento.

Studi comparativi tra regimi di trattamento diversi mostrano come approcci che privilegiano la frammentazione del combustibile, piuttosto che interventi diretti di gestione tramite fasce tagliafuoco, possono aumentare la resilienza paesaggistica, favorire la biodiversità e rendere meno probabile la formazione di mega-incendi, purché il mosaico sia pianificato su scala compatibile con la dinamica del fuoco locale (Duncan *et al.*, 2015; Lasanta *et al.*, 2022). È importante che le politiche di gestione incentivino dalle fasi pianificatorie, tramite variazioni alla zonizzazione funzionale delle aree ed i piani paesaggistici, lo sviluppo del territorio in un mosaico di usi del suolo diversi ed integrati, tra pascolo, agricoltura con coltivazioni (sia annuali che perenni) e corridoi con fasce prive di vegetazione arborea.

9.4 PAGAMENTI PER I SERVIZI ECOSISTEMICI

FUNZIONI DEL RISCHIO: Capacità adattiva

COPERTURA DEL SUOLO INTERESSATA: Bosco, Landa, Interfaccia urbano-rurale

STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE: Legislazione e regolamenti

SOGGETTI COINVOLTI: Regione, Comune, privati cittadini, proprietà collettive, aziende agricole

I pagamenti per servizi ecosistemici (PES) per la prevenzione degli incendi sono sistemi di incentivi finanziari che pagano i proprietari o i gestori del territorio (privati, enti locali, imprese) per attività misurabili e verificate che producono servizi ambientali utili alla collettività — in questo caso la riduzione del rischio incendio tramite riduzione del carico di combustibile, pascolo estensivo, diradamenti e gestione attiva del sottobosco. L'approccio PES può essere progettato come pagamento diretto per un'azione (pay-for-action), ad esempio pagare un cittadino privato se ha effettuato dei tagli del sottobosco su un'area definita, o come pagamento legato ai risultati (pay-for-outcome), nel caso in cui si paghi non per effettuare un taglio ma per mantenere la copertura vegetale ad una soglia di densità prestabilita. In alternativa, possono essere concepiti come schemi di incentivazione integrati in misure agro-ambientali più ampie; schemi orientati alla gestione attiva (ad es. pagare per pascolo mirato o per fasce taglia-fuoco gestite attivamente) sono più efficaci se vengono identificati indicatori verificabili ed espliciti meccanismi di monitoraggio.

Possono essere compensate tramite PES azioni quali: (i) tagli selettivi e diradamenti mirati a ridurre densità di chioma; (ii) rimozione e valorizzazione della necromassa (cippatura, produzione di biomassa per energia) con pagamento per il servizio di raccolta; (iii) pascolo mirato (con pagamenti al carico di bestiame controllato o per ettaro trattato; (iv) manutenzione di fasce tagliafuoco e infrastrutture pastorali; (v) pagamenti per aziende per il monitoraggio e la certificazione (es. per mantenere standard di gestione sostenibile). Misure di progettazione importanti sono contratti pluriennali (3–5 anni), pagamenti differenziati in base al servizio fornito e soprattutto la misurabilità degli indicatori (come ad esempio la riduzione della biomassa, la densità di arbusti, gli indici di copertura vegetale).

BOX 4 - FINANZIARE LA MANUTENZIONE DEL BOSCO

Allocare risorse sufficienti è fondamentale: ciò include dotazioni finanziarie per mezzi, personale antincendio, formazione, infrastrutture (vie di accesso, depositi acqua, centri operativi), manutenzione della vegetazione. Le risorse possono venire stanziare da bilanci nazionali, regionali e comunali nell'ambito di Piani antincendio boschivo, protezione civile. Le Regioni sono competenti per la prevenzione e il coordinamento della lotta agli incendi boschivi, e nei loro piani inseriscono la programmazione delle risorse umane, finanziarie e strumentali necessarie.

A livello europeo, gli strumenti principali che possono finanziare (o facilitare) PES e pagamenti per misure anti-incendio sono il Fondo europeo agricolo per lo sviluppo rurale (FEASR/ Programmi per lo sviluppo rurale (PSR), 2° pilastro della Politica Agricola Comune (PAC)) e i programmi LIFE per progetti dimostrativi o di conservazione. La Commissione EU ha prodotto linee guida per lo sviluppo di schemi pubblici e privati di pagamento per i servizi forestali, evidenziando opportunità di integrazione con fondi regionali e programmi di stato (ad esempio ProForPES e linee guida UE). Le misure di PSR includono strumenti agro-ambientali e investimenti per infrastrutture rurali che possono essere progettati per pagare la riduzione del combustibile (tagli, cippatura, recinzioni per pascolo, abbeveratoi). Tuttavia la letteratura mostra risultati misti sull'efficacia degli stanziamenti PSR nel ridurre il rischio incendi, spesso per problemi di scala, targeting spaziale o insufficiente continuità finanziaria. Per questo gli autori raccomandano schemi PES più mirati e coordinati con la politica antincendio.

A livello nazionale e regionale (esempi e meccanismi pratici): molti Stati membri e regioni attivano misure che, pur non chiamandosi sempre «PES», funzionano come tali — cioè pagamenti o contributi ai proprietari per azioni di pubblica utilità. Esempi concreti i includono programmi che pagano per pascolo mirato, contributi per tagli selettivi e per la rimozione/valorizzazione della biomassa (cippatura, filiere locali), o premi per la certificazione forestale (FSC/PEFC) che include pratiche di prevenzione. Studi su programmi come la rete RAPCA (Rete di aree pascolate come fasce tagliafuoco) in Andalusia mostrano la fattibilità e la sostenibilità di pagamenti che mantengono aree prive di vegetazione arbustiva od arborea gestite tramite pastorizia (Ruiz-Mirazo et al., 2011). Schemi regionali ben progettati (con contratti pluriennali, pagamenti differenziati per intensità di gestione e controlli biometrici) aumentano la partecipazione dei privati e la continuità della gestione.

9.5 ZONE DI INTERVENTO FORESTALE

FUNZIONI DEL RISCHIO: Pericolo, Vulnerabilità, Capacità adattiva

COPERTURA DEL SUOLO INTERESSATA: Bosco, Landa Interfaccia urbano-rurale

STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE: Piano Regolatore Generale, Piano Paesaggistico, Piano Antincendio

SOGGETTI COINVOLTI: Regione, Comune, Guardia forestale, privati, proprietà collettive, aziende agricole

Il modello portoghese delle *Zonas de Intervenção Florestal (ZIF)*, o meglio Zone di Intervento Forestale, è un esempio di come sia possibile facilitare attraverso misure legislative la gestione coordinata di aree boscate frammentate in diverse proprietà. Nei piani di gestione antincendio, il Portogallo ha infatti istituito nelle foreste del Portogallo a più altro rischio incendio le cosiddette ZIF, aree forestali i cui proprietari terrieri si aggregano nella gestione del patrimonio boschivo in modo coordinato e sostenibile. In questo modo, si permette anche a proprietari terrieri privati, senza la disponibilità di risorse economiche e capacità tecniche di poter partecipare alla gestione del bosco. In ciascuna ZIF la gestione è affidata a un unico soggetto (pubblico o privato) scelto dai proprietari, che pianifica e attua misure comuni di riduzione del rischio incendio – come diradamenti, fasce taglia-fuoco o pascolo – con il supporto tecnico ed economico. Gli obiettivi delle ZIF sono la manutenzione del bosco, la riduzione del rischio incendio e la valorizzazione delle risorse forestali.

Le ZIF definiscono obiettivi di gestione del combustibile e affidano la manutenzione ad un unico organismo coordinatore, spesso con accesso a incentivi pubblici e supporto tecnico delle autorità forestali (Valente, Coelho and Soares, 2013). Il quadro normativo portoghese accompagna inoltre strumenti che permettono intervento pubblico in aree private in casi di inadempienza (misure di gestione obbligatoria o intervento sostitutivo) e prevede piani nazionali integrati che sostengono queste misure. Questa esperienza mostra come il coordinamento su base territoriale e la possibilità di misure pubbliche in ambito privato (con regole e compensazioni) siano essenziali per superare la frammentazione fondiaria e rendere possibile la manutenzione forestale su larga scala.

10 LA SENSIBILIZZAZIONE E LA PROTEZIONE CIVILE

10.1 SISTEMA DI MESSAGGISTICA DI ALLERTA

FUNZIONI DEL RISCHIO: Capacità di risposta al disastro

COPERTURA DEL SUOLO INTERESSATA: Interfaccia urbano-rurale

STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE: Piano Protezione Civile

SOGGETTI COINVOLTI: Regione, Protezione Civile, Vigili del Fuoco, Agenzia Protezione per l'Ambiente

Sistemi di messaggistica di allerta sono fondamentali per informare tempestivamente la popolazione in caso di gravissime emergenze, includendo scenari di protezione civile come incendi boschivi in casi futuri se ritenuto necessario. Le modalità operative prevedono messaggi di tipo "allerta", "pericolo", "emergenza" a seconda della gravità, identità del rischio, soggetto emittente e contenuti; tali messaggi sono integrati nei piani di allertamento regionale e nazionali, e devono essere chiari, comprensibili, con indicazioni concrete di autoprotezione per la popolazione.

In Italia, è attualmente in fase di sperimentazione in determinati campi, il sistema IT-Alert, disciplinato dalla Direttiva del Presidente del Consiglio del 23 ottobre 2020 e dagli allegati attuativi, è il sistema nazionale di allarme pubblico via messaggi broadcast che la Protezione Civile può utilizzare. La Slovenia sta sviluppando un analogo sistema di messaggistica, SI-Alarm, sperimentato di recente in una fase di test. Il suo utilizzo è previsto anche per catastrofi naturali quali gli incendi boschivi.

Karst Firewall Portal: offre sistema di notifiche email, sms e whatsapp quando viene "triggerato" un evento di allerta generato dai dati dei sensori ambientali (telecamere IR, nati elettronici, dati satellitari) e dal Algoritmo AI collegato al Fire Weather Index. Il sistema di notifica è destinato agli operatori e coordinatori delle attività emergenziali. Tramite il portale KF5.0 inoltre è possibile monitorare i dati in tempo reale

Infodata in collaborazione con i vigili del fuoco di Borovnica (Slovenia) nel ambito del progetto KF5.0 ha sviluppato la mobile app "Gasilski kviz" "per la consapevolezza sul rischio e gestione incendi" destinata ai bambini e ragazzi (pionirji, mladinci, pripravniki) con strumenti di e-learning & quiz "gamification" e strumenti per segnalare rischi di incendio.

10.2 CAMPAGNE DI SENSIBILIZZAZIONE AL RISCHIO INCENDIO E PRESCRIZIONI DI COMPORTAMENTO NEI PERIODI DI MAGGIOR RISCHIO

FUNZIONI DEL RISCHIO: Pericolo, Capacità di risposta al disastro, Capacità adattiva

COPERTURA DEL SUOLO INTERESSATA: Interfaccia urbano-rurale

STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE: Piano Protezione Civile

SOGGETTI COINVOLTI: Comune, Regione, Protezione Civile, Vigili del Fuoco, Agenzia
Protezione Ambiente

La formazione e sensibilizzazione costituiscono un pilastro della resilienza: la Protezione Civile, regioni e enti locali organizzano corsi per volontari AIB, operatori locali, sindaci, imprese e cittadini per promuovere la cultura della prevenzione, la conoscenza dei piani comunali/regionali, l'autoprotezione e le modalità corrette di comportamento durante l'allerta o l'emergenza.

Durante i periodi di pericolosità elevata, vengono prescritte o raccomandate misure obbligatorie o fortemente consigliate per aziende, infrastrutture private, allevatori e cittadini: ad esempio divieto di accendere fuochi aperti, di usare attrezzature che producono scintille, obbligo di pulizia delle aree attorno alle abitazioni, obbligo di tenere mezzi di estinzione pronti. Sebbene non sempre uniformemente applicate, queste prescrizioni fanno parte delle ordinanze stagionalmente emesse in occasione della campagna antincendio boschivo.

11 IL RILEVAMENTO IN TEMPO REALE DEGLI INCENDI - *EARLY WARNING SYSTEM*

11.1 IL MONITORAGGIO DEL BOSCO CON I SATELLITI

FUNZIONI DEL RISCHIO: Pericolo, Capacità di risposta al disastro

COPERTURA DEL SUOLO INTERESSATA: Bosco, Landa, Interfaccia urbano-rurale

STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE: Piano Antincendio Boschivo, Piano Protezione civile

SOGGETTI COINVOLTI: Guardia Forestale, Vigili del Fuoco, Protezione Civile, Agenzia per la Protezione dell'Ambiente

Il rilevamento precoce di incendi tramite immagini satellitari utilizza dati da satelliti in orbita, sia a orbita polare che geostazionaria, che acquisiscono immagini multispettrali e termiche per individuare anomalie di calore, cambiamenti nelle firme spettrali della vegetazione o pennacchi di fumo, spesso supportati da intelligenza artificiale per analisi automatica. È stato dimostrato che l'uso di immagini di satellite (Landsat-8) accompagnato da tecniche di apprendimento automatico consente di rilevare incendi attivi con ampia copertura spaziale, utile per territori vasti (Singh, Ang and Srivastava, 2025). Altri lavori (come mostrano che le immagini iperspettrali migliorano la capacità di distinguere incendi reali da false anomalie (alte temperature non legate a fiamme) grazie alla ricchezza dei dati spettrali (Thangavel *et al.*, 2023). I satelliti geostazionari, di nuova generazione, permettono una scansione molto frequente (ogni pochi minuti su Europa), il che consente un avviso di diverse ore prima dell'attivazione delle reti tradizionali, specialmente per incendi di rapida evoluzione. Le risoluzioni spaziali purtroppo non sempre sono sufficientemente elevate per individuare focolai piccoli, e la capacità di rilevamento si abbassa notevolmente in presenza di copertura nuvolosa o interferenze atmosferiche.

Col progetto Karst Firewall 5.0 introduciamo un sistema di monitoraggio integrato ed in tempo reale dei boschi, che include i dati satellitari provenienti dal sistema europeo Copernicus, dati dalle immagini delle telecamere IR di sorveglianza, dai sensori ambientali (stazioni meteo, nasi elettronici) e dall'algoritmo IA KF5.0.

11.2 IL MONITORAGGIO DEL BOSCO CON LA VIDEOSORVEGLIANZA

FUNZIONI DEL RISCHIO: Pericolo, Capacità di risposta al disastro

COPERTURA DEL SUOLO INTERESSATA: Bosco, Landa, Interfaccia urbano-rurale

STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE: Piano Antincendio Boschivo, Piano Protezione civile

SOGGETTI COINVOLTI: Guardia Forestale, Vigili del Fuoco, Protezione Civile, Agenzia per la Protezione dell'Ambiente

Il monitoraggio con telecamere, sia fisse che montate su droni, è una delle forme più dirette ed efficaci di rilevamento precoce degli incendi: le telecamere fisse possono essere installate su torri, pali o edifici lungo il confine boschivo o presso aree WUI per sorveglianza continua, mentre i droni forniscono flessibilità e mobilità per pattugliamenti periodici, soprattutto in zone remote o di difficile accesso. Le immagini ottenute (visibili, RGB; talvolta infrarosse) vengono analizzate con algoritmi di visione artificiale (deep learning, reti neurali, trasformatori) per riconoscere fumo, variazioni cromatiche, scintille, o modelli temporali di fumo nascosto. Uno studio recente ha rilevato che un modello di rilevamento usando telecamere visibili raggiunge un tasso di rilevazione vero-positivo dell'80,4 % con un tasso di falsi positivi molto basso ($\approx 1,13$ %) su un grande set di immagini contenenti pennacchi di fumo (Fernandes, Utkin and Chaves, 2023). I droni equipaggiati con fotocamere omnidirezionali o fisheye (angolo di visione ampio) permettono di coprire aree maggiori con meno punti di osservazione fissi, stimando la posizione del focolaio tramite coordinamento GPS dei filmati e inviando allarmi automatici via reti IoT. Limiti: visibilità compromessa (fumo, nebbia, notte o maltempo), consumo energetico, necessità di manutenzione e aggiornamento dei modelli di IA per ridurre falsi allarmi; inoltre, una rete di telecamere/drone richiede investimenti non solo nell'hardware ma anche nell'infrastruttura dati e nelle procedure operative.

11.3I SENSORI PER IL RILEVAMENTO IN TEMPO REALE DEGLI INCENDI

FUNZIONI DEL RISCHIO: Pericolo, Capacità di risposta al disastro

COPERTURA DEL SUOLO INTERESSATA: Bosco, Landa, Interfaccia urbano-rurale

STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE: Piano Antincendio Boschivo, Protezione civile

SOGGETTI COINVOLTI: Guardia Forestale, Vigili del Fuoco, Protezione Civile, Agenzia per la Protezione dell'Ambiente

In un'area vulnerabile come il Carso, l'adozione di reti di sensori intelligenti per la rilevazione precoce degli incendi può rappresentare un salto di qualità nella prevenzione del rischio incendio. I sensori IoT, disposti su pali o su alberi lungo pendii e crinali, possono segnalare la presenza di un incendio fin dalle fasi di combustione senza fiamma, rilevando nell'aria la presenza di gas caratteristici della combustione e della pirolisi, nella fattispecie:

- Monossido di carbonio (CO);
- Anidride carbonica (CO₂);
- Idrogeno (H₂);
- Composti Organici Volatili (VOC);
- Gas e vapori derivati da pirolisi / decomposizione del combustibile;
- Variazioni locali di umidità e temperatura.

I sensori dovrebbero essere preferibilmente installati ad almeno 2-3 metri d'altezza per evitare danni da fuoco vicino al suolo, umidità e animali. In mancanza di fonti energetiche stabili possono venire alimentati da pannelli solari. Gli intervalli tra sensori dovrebbero essere tali da coprire le aree ad alto rischio, riducendo però il numero totale per contenere il costo e la manutenzione. Rispetto ad altre forme di rilevamento, come ad esempio i satelliti, i sensori hanno il vantaggio di poter abbattere il tempo di allerta, ma il loro alto costo di installazione e manutenzione ne rende difficile l'applicazione in ampi contesti territoriali. Inoltre, sono frequenti i falsi allarmi, dovuti ad esempio a variazioni climatiche improvvise o a fumo proveniente da attività agricole. Studi recenti hanno dimostrato che i modelli dotati di software assistiti dall'IA sono maggiormente capaci di rilevare incendi in tempi più brevi (De Rango *et al.*, 2025).

12 BIBLIOGRAFIA

- Agee, J.K. and Skinner, C.N. (2005) 'Basic principles of forest fuel reduction treatments', *Forest Ecology and Management*, 211(1-2), pp. 83-96. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.01.034>.
- Blitch, W., Sovie, A., & Tobin, B. (2023). Predictive modeling of cave entrance locations: Relationships between surface and subsurface morphology. *International Journal of Speleology*, 52(2), 101-108. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.52.2.2455>
- Brown, J. L. (2014). SDMtoolbox: A python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. *Methods in Ecology and Evolution*, 5(7), 694-700. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12200>
- Brun, P., Zimmermann, N. E., Hari, C., Pellissier, L., & Karger, D. N. (2022). *CHELSEA-BIOCLIM+ A novel set of global climate-related predictors at kilometre-resolution* (Versione 1.0) [Geotiff,PDF]. EnviDat. <https://doi.org/10.16904/ENVIDAT.332>
- De Rango, A. et al. (2025) 'Wildfire Early Warning System Based on a Smart CO2 Sensors Network', *Sensors*, 25(7), p. 2012. Available at: <https://doi.org/10.3390/s25072012>.
- Djabri, A. D., Bouhata, R., Guellouh, S., & Bensekhria, A. (2024). Wildfire Vulnerability Assessment and Mapping Using Remote Sensing, GIS and Weighted Overlay Method in the Eastern Aures in Khenchela, Algeria. *Geoadria*, 28(2), 191-210. <https://doi.org/10.15291/geoadria.4218>
- Duncan, B.W. et al. (2015) 'Comparing fuels reduction and patch mosaic fire regimes for reducing fire spread potential: A spatial modeling approach', *Ecological Modelling*, 314, pp. 90-99. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.07.013>.
- Dupuy, J., Fargeon, H., Martin-StPaul, N., Pimont, F., Ruffault, J., Guijarro, M., Hernando, C., Madrigal, J., & Fernandes, P. (2020). Climate change impact on future wildfire danger and activity in southern Europe: A review. *Annals of Forest Science*, 77(2), 35. <https://doi.org/10.1007/s13595-020-00933-5>
- Fernandes, A.M., Utkin, A.B. and Chaves, P. (2023) 'Automatic early detection of wildfire smoke with visible-light cameras and EfficientDet', *Journal of Fire Sciences*, 41(4), pp. 122-135. Available at: <https://doi.org/10.1177/07349041231163451>.
- Gigović, & Jakovljević. (2018). GIS Multi-Criteria Analysis for Identifying and Mapping Forest Fire Hazard: Nevesinje, Bosnia and Herzegovina. *Tehnicki Vjesnik - Technical Gazette*, 25(3). <https://doi.org/10.17559/TV-20151230211722>

- Goleiji, E., Hosseini, S. M., Khorasani, N., & Monavari, S. M. (2017). Forest fire risk assessment-an integrated approach based on multicriteria evaluation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(12), 612. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6225-7>
- González-Olabarria, J.-R. and Pukkala, T. (2011) 'Integrating fire risk considerations in landscape-level forest planning', *Forest Ecology and Management*, 261(2), pp. 278–287. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.10.017>.
- Granceri Bradaschia, M., Giacomo, M., Longato, D., Domen, P., Maragno, D., & Musco, F. (2025). Valutazione del cambiamento climatico sul carso, tra italia e slovenia / ocena podnebnih sprememb na krasu med Italijo in Slovenijo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18230894>
- Holuša, J. et al. (2021) 'A simple model indicates that there are sufficient water supply points for fighting forest fires in the Czech Republic', *International Journal of Wildland Fire*, 30(6), pp. 428–439. Available at: <https://doi.org/10.1071/WF20103>.
- Karger, D. N., Conrad, O., Böhrer, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R. W., Zimmermann, N. E., Linder, H. P., & Kessler, M. (2017). Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific Data*, 4(1), 170122. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122>
- Kim, S. J., Lim, C.-H., Kim, G. S., Lee, J., Geiger, T., Rahmati, O., Son, Y., & Lee, W.-K. (2019). Multi-Temporal Analysis of Forest Fire Probability Using Socio-Economic and Environmental Variables. *Remote Sensing*, 11(1), 86. <https://doi.org/10.3390/rs11010086>
- Lasanta, T. et al. (2020) 'Soil quality and soil organic carbon storage in abandoned agricultural lands: Effects of revegetation processes in a Mediterranean mid-mountain area', *Land Degradation & Development*, 31(18), pp. 2830–2845. Available at: <https://doi.org/10.1002/ldr.3655>.
- Lasanta, T. et al. (2022) 'An environmental management experience to control wildfires in the mid-mountain mediterranean area: Shrub clearing to generate mosaic landscapes', *Land Use Policy*, 118, p. 106147. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106147>.
- Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703–726. <https://doi.org/10.1080/13658810600661508>
- Maniatis, Y., Doganis, A., & Chatzigeorgiadis, M. (2022). Fire Risk Probability Mapping Using Machine Learning Tools and Multi-Criteria Decision Analysis in the GIS Environment: A Case Study in the National Park Forest Dadia-Lefkimi-Soufli, Greece. *Applied Sciences*, 12(6), 2938. <https://doi.org/10.3390/app12062938>
- Mauri, E. and Jankavić, M. (2023) Wildfire risk planning and prevention - Innovations in the Mediterranean and beyond. European Forest Institute. Available at: <https://doi.org/10.36333/rs8en>.

- McKinney, S.T. et al. (2022) 'A systematic review of empirical evidence for landscape-level fuel treatment effectiveness', *Fire Ecology*, 18(1), p. 21. Available at: <https://doi.org/10.1186/s42408-022-00146-3>.
- Merow, C., Smith, M. J., & Silander, J. A. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: What it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36(10), 1058–1069. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x>
- Mishra, B., Panthi, S., Poudel, S., & Ghimire, B. R. (2023). Forest fire pattern and vulnerability mapping using deep learning in Nepal. *Fire Ecology*, 19(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s42408-022-00162-3>
- Oliveira, F.P. (2023) 'Forest Fires and Building Rules', *Civil Engineering Research Journal*, 14(1). Available at: <https://doi.org/10.19080/CERJ.2023.14.555878>.
- Paudel, G., Pandey, K., Lamsal, P., Bhattarai, A., Bhattarai, A., & Tripathi, S. (2024). Geospatial forest fire risk assessment and zoning by integrating MaxEnt in Gorkha District, Nepal. *Heliyon*, 10(11), e31305. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31305>
- Phillips, S. J. (2017). *A Brief Tutorial on Maxent* (p. 39). http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3–4), 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Phillips, S. J., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2), 161–175. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x>
- Phillips, S. J., Dudík, M., Elith, J., Graham, C. H., Lehmann, A., Leathwick, J., & Ferrier, S. (2009). Sample selection bias and presence-only distribution models: Implications for background and pseudo-absence data. *Ecological Applications*, 19(1), 181–197. <https://doi.org/10.1890/07-2153.1>
- RAFG - DC production, trade, cooperation, agricultural and forest resources – Regional Forestry Corps Service. (2024). *Fire beginning point* [Dataset].
- Ruiz-Mirazo, J., Robles, A.B. and González-Rebollar, J.L. (2011) 'Two-year evaluation of fuelbreaks grazed by livestock in the wildfire prevention program in Andalusia (Spain)', *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 141(1), pp. 13–22. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.02.002>.
- Saaty, T. I. (2002). *DECISION MAKING WITH THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS*. 9(3), 215–229.
- Shinneman, D.J. et al. (2019) 'The ecological uncertainty of wildfire fuel breaks: examples from the sagebrush steppe', *Frontiers in Ecology and the Environment*, 17(5), pp. 279–288. Available at: <https://doi.org/10.1002/fee.2045>.

- Singh, H., Ang, L.-M. and Srivastava, S.K. (2025) 'Active wildfire detection via satellite imagery and machine learning: an empirical investigation of Australian wildfires', *Natural Hazards*, 121(8), pp. 9777–9800. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-025-07163-w>.
- Sivrikaya, F., & Küçük, Ö. (2022). Modeling forest fire risk based on GIS-based analytical hierarchy process and statistical analysis in Mediterranean region. *Ecological Informatics*, 68, 101537. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101537>
- Spadoni, G.L. et al. (2023) 'Active governance of agro-pastoral, forest and protected areas mitigates wildfire impacts in Italy', *Science of The Total Environment*, 890, p. 164281. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164281>.
- Starns, H.D. et al. (2019) 'Recoupling fire and grazing reduces wildland fuel loads on rangelands', *Ecosphere*, 10(1), p. e02578. Available at: <https://doi.org/10.1002/ecs2.2578>.
- Stephens, S.L. et al. (2012) 'The Effects of Forest Fuel-Reduction Treatments in the United States', *BioScience*, 62(6), pp. 549–560. Available at: <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.6.6>.
- Sušnik, A., Vlahović, Ž., Moderc, A., & Habič, B. (2023). *Prilagajanje podnebnim spremembam. [PP14] Kmetijske suše*. Agencija RS za okolje. <https://kazalci.arso.gov.si/sl/content/kmetijske-suse-0>
- Thangavel, K. et al. (2023) 'Autonomous Satellite Wildfire Detection Using Hyperspectral Imagery and Neural Networks: A Case Study on Australian Wildfire', *Remote Sensing*, 15(3), p. 720. Available at: <https://doi.org/10.3390/rs15030720>.
- Valente, S., Coelho, C. and Soares, J. (no date) 'Forest Intervention Areas (ZIF): A New Approach for Non-Industrial Private Forest Management in Portugal'.
- Vilar, L., Gómez, I., Martínez-Vega, J., Echavarría, P., Riaño, D., & Martín, M. P. (2016). Multitemporal Modelling of Socio-Economic Wildfire Drivers in Central Spain between the 1980s and the 2000s: Comparing Generalized Linear Models to Machine Learning Algorithms. *PLOS ONE*, 11(8), e0161344. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161344>
- Yang, X., Jin, X., & Zhou, Y. (2021). Wildfire Risk Assessment and Zoning by Integrating Maxent and GIS in Hunan Province, China. *Forests*, 12(10), 1299. <https://doi.org/10.3390/f12101299>

SKUPNI RAZVOJ STRATEGIJ PRILAGODITVE NA GOZDNE POŽARE V ČEZMEJNEMU KARSTNEMU OBMOČJU

O.1.1

KARST FIREWALL 5.0

Adattamento innovativo al cambiamento climatico basato sugli ecosistemi nella Ministrstvo za
Okolje in Prostor del Carso. Promuovere una silvicoltura resistente agli incendi con il supporto
di Industria 5.0

Inovativno ekosistemsko-zasnovano prilagajanje podnebnim spremembam na Krasu.
Spodbujanje požarno odporne gmajne s podporo industrije 5.0

DELIVERABLE INFORMATION	
Acronimo del progetto / Akronim projekta:	KARST FIREWALL 5.0
Titolo del progetto / Naslov projekta:	Adattamento innovativo al cambiamento climatico basato sugli ecosistemi nella Ministrstvo za Okolje in Prostor del Carso. Promuovere una silvicoltura resistente agli incendi con il supporto di Industria 5.0 Inovativno ekosistemsko-zasnovano prilagajanje podnebnim spremembam na Krasu. Spodbujanje požarno odporne gmajne s podporo industrije 5.0
Area prioritaria / Prednostno področje:	Un'Europa più verde e a basse emissioni di carbonio, che si muove verso un'economia a zero emissioni di carbonio e resiliente Bolj zelena, nizkoogljikna Evropa, ki prehaja na gospodarstvo z ničelno stopnjo neto emisij ogljika in je odporna
Obiettivo specifico del programma / Specifični cilj programa:	SO4: Promuovere l'adattamento ai cambiamenti climatici e la prevenzione del rischio di catastrofi e la resilienza, tenendo conto degli approcci ecosistemici. SO4: Spodbujanje prilagajanja podnebnim spremembam in preprečevanja tveganja nesreč ter odpornosti ob upoštevanju ekosistemskih pristopov
URL del sito web del progetto / URL spletne strani projekta:	https://www.ita-slo.eu/en/karst-firewall-50
Numero del documento / Številka dokumenta:	KFW50-O11
Titolo del documento / Naslov dokumenta:	SKUPNI RAZVOJ STRATEGIJ PRILAGODITVE NA GOZDNE POŽARE V ČEZMEJNEMU KARSTNEMU OBMOČJU
Obiettivo specifico / Specifični cilj:	Output 1.1
Attività / Aktivnost:	
Partner responsabili (autori) / Odgovorni partnerji (avtorji):	IUAV Università di Venezia (IT) (Granceri Bradaschia, M.; Morassutti G.; Longato D.; Maragno D.; Musco F.)
Partner coinvolti / Sodelujoči partnerji:	Corpo Forestale FVG (IT), Zavoda za gozdove Slovenije (SI), Infodata (IT), ZRC-SAZU (SI)
Stato / Status:	Trst, 30/07/2026
Data / Datum:	

Kazalo

1	UVOD	5
2	PREUČEVANO OBMOČJE	7
3	ANALIZE NEVARNOSTI IN RANLJIVOSTI PRED GOZDNIMI POŽARI	8
4	ANALIZA VERJETNOSTI POŽARNE NEVARNOSTI	11
5	ANALIZA POŽARNE RANLJIVOSTI	13
6	POUDARKI IZ ANALIZ NEVARNOSTI IN RANLJIVOSTI ZARADI POŽAROV V NARAVI	15
7	PRIROČNIK	16
7.1	KAKO UPORABLJATI TA PRIROČNIK	18
7.2	SLOVAR	19
I DEL - UKREPI ZA ZMANJŠANJE TVEGANJA ZARADI POŽAROV V NARAVI		20
8	NEPOSREDNI POSEGI NA TERENU	21
8.1	SELEKTIVNO ODSTRANJEVANJE GORIVA	21
8.2	USTVARJANJE IN VZDRŽEVANJE PROTIPOŽARNIH POSEK	22
8.3	USTVARJANJE IN VZDRŽEVANJE PASOV BREZ VEGETACIJE OKOLI INFRASTRUKTURE IN NASELIJ	23
8.4	DOLOČANJE VARNIH OBMOČIJ ZA SKLADIŠČENJE SEČNIH OSTANKOV	25
8.5	REDČENJE VEGETACIJE Z NADZOROVANIMI POŽARI	26
8.6	UMETNI VODNI ZBIRALNIKI ZA GAŠENJE POŽAROV	27
8.7	VZDRŽEVANJE KRAŠKE GMAJNE	28
8.8	VZDRŽEVANJE IN VIŠANJE SUHIH ZIDOV	30
9	NAČRTOVANJE ODPORNOSTI KRAJINE NA GOZDNE POŽARE	31
9.1	PREPOVED IZDAJE DOVOLJENJ ZA GRADNJO NA OBČUTLJIVIH OBMOČJIH	31
9.2	STANDARDI ZA UPORABO OGNJEVARNIH MATERIALOV	32
9.3	MOZAIČNOST KRAJINE	33
9.4	PLAČILA ZA EKOSISTEMSKESKE STORITVE (PES)	34
9.5	OBMOČJA ZA POSEGE V GOZDOVIH	36
10	PREPREČEVANJE TVEGANJA IN CIVILNA ZAŠČITA	37

10.1	SISTEMI JAVNEGA OBVEŠČANJA IN ALARMIRANJA PO JAVNIH MOBILNIH OMREŽJIH	37
10.2	OZAVEŠČANJE O NEVARNOSTI ZARADI POŽAROV IN PREDPISI O RAVNANJU V OBDOBJIH NAJVEČJE NEVARNOSTI	38
11	ODKRIVANJE POŽAROV V REALNEM ČASU – EARLY WARNING SYSTEM	39
11.1	MONITORING GOZDA S SATELITI	39
11.2	MONITORING GOZDA Z VIDEO NADZOROM	40
11.3	SENZORJI ZA ZGODNJE ODKRIVANJE POŽAROV	41
12	VIRI	42

1 UVOD

Podnebne spremembe vplivajo na požarni režim na Krasu. Zaradi globalnega segrevanja bodo požari v naravi verjetno postali pogostejši in hujši (Dupuy et al., 2020). Sedanje strategije gašenja in upravljanja požarov postajajo manj učinkovite, zato so potrebni novi prilagoditveni pristopi. Projekt Karst Firewall 5.0 obravnava dva izziva na programskem območju: požare v naravi in upravljanje požarov v naravi. Za njuno reševanje namerava razviti inovativne akcijske načrte za ohranitev zdravega čezmejnega območja Krasa/Carso in povečanje njegove odpornosti z mislijo na prihodnost. Glede na čezmejne značilnosti študijskega območja v kraški pokrajini med Italijo in Slovenijo je ključno spodbujati čezmejno sodelovanje med obema državama, da bi obravnavali nujno potrebo po zmanjšanju tveganja požarov v naravi in razvoju strategij pravočasnega odzivanja, kar se je pokazalo ob velikem požaru poleti leta 2022.

Namen projekta je pripraviti podlago za boljši dialog in sodelovanje ne le med akterji, ki so neposredno vključeni v upravljanje in izvajanje strategij odzivanja na požare v naravi na obeh straneh meje, temveč tudi med akterji iz različnih sektorjev in širšo skupnostjo, ki so na nek način prizadeti zaradi posledic požarov v naravi. Na ta način bi lahko bil projekt Karst Firewall 5.0 resnično koristen pri razvoju učinkovitega čezmejnega mehanizma za preprečevanje in obvladovanje požarov v naravi, saj imajo vsi vključeni akterji, od posameznih državljanov in uporabnikov zemljišč do odločevalcev na visoki ravni, pri tem cilju zelo pomembno in dopolnilno vlogo.

Delovni sklop 1, ki se imenuje »Kako narediti Kras manj vnetljiv: konceptualni okvir za zmanjšanje tveganja čezmejnih kraških požarov«, je namenjen razvoju konceptualnega okvira za spodbujanje zmanjšanja tveganja požarov v naravi z vzpostavitvijo čezmejnega sodelovanja za učinkovito in prilagodljivo upravljanje požarov v naravi na kraških območjih. To vključuje izdelavo zemljevidov verjetnosti nevarnosti in ranljivosti zaradi požarov v naravi na projektnem območju. Cilj je osredotočiti se na vpliv prihodnjih podnebnih napovedi na režime požarov v naravi na čezmejnem območju Krasa/Carso. V ta namen sta bila izbrana dva skupna pristopa, in sicer **modeliranje na podlagi maksimalne entropije (MaxEnt) za analizo verjetnosti nevarnosti požarov v naravi** in **analiza večkriterijskih odločitev (MCDA, AHP) za analizo ranljivosti požarov v naravi**.

Modeliranje na podlagi Maxenta je zaradi svoje relativne preprostosti postalo zelo priljubljeno in se pogosto uporablja, zlasti na področjih ekologije in biogeografije (Phillips et al., 2006). Uporaba metod ekološkega modeliranja, kot so MaxEnt, posplošeni linearni modeli (ang. *Generalised linear models*; GLM) ali posplošeni aditivni modeli (ang. *Generalised additive models*; GAM), se je že izkazala za uspešno tudi na drugih znanstvenih področjih (npr. naravne nesreče, geografija) za napovedovanje prostorske porazdelitve naravnih pojavov in razumevanje prostorskih vzorcev naravnih procesov. Modeliranje MaxEnt je bilo npr. uporabljeno za napovedovanje prostorske razporeditve jam, kar lahko pomaga pri določanju območij v pokrajini, ki so kritična za pretok v kraškem sistemu podzemne vode (Blitch et al., 2023). V zadnjih letih je bil MaxEnt uspešno uporabljen tudi za oceno požarne ogroženosti, tveganja in verjetnosti v različnih okoljih in je v primerjalnih študijah presegel metode naključnega gozda (ang. *Random forest*) in modeliranje na podlagi GLM (Kim et al., 2019; Mishra et al., 2023; Paudel et al., 2024; Vilar et al., 2016; Yang et al., 2021).

Izdelava karte požarne ogroženosti zahteva oceno številnih različnih dejavnikov. Ker so dejavniki heterogeni in ima vsak določeno stopnjo relativne pomembnosti in se merijo svoj relativni pomen in mersko enoto, je bil za opredelitev območij z večjo/manjšo ranljivostjo izbran prostorsko-eksplicitni GIS-ovski pristop večkriterijske analize odločanja (MCDA) (Malczewski, 2006). V okviru izvedene MCDA je bila za dodelitev uteži, ki prikazujejo relativno pomembnost med izbranimi dejavniki, uporabljena metoda analitičnega hierarhičnega procesa (AHP), ki je ena najpogostejše uporabljenih metod za oceno relativne pomembnosti vseh analiziranih dejavnikov (Gigović in Jakovljević, 2018; Goleiji et al., 2017; Maniatis et al., 2022; Sivrikaya in Küçük, 2022). AHP je prvi teoretično utemeljil Saaty (2002) za primerjavo meril v MCDA in zagotavljanje matematično utemeljene metode za količinsko opredelitev subjektivnih ocen relativne pomembnosti.

Analize požarne nevarnosti in ranljivosti gozdnih požarov na Krasu niso imele zgolj spoznavne vrednosti, temveč so predstavljale empirično osnovo, na kateri je bila zgrajena čezmejna preventivna strategija, razdeljena na vrsto preventivnih ukrepov in ukrepov za hitro odzivanje – od neposrednih posegov na terenu do celostnega prostorskega načrtovanja in sistemov zgodnjega opozarjanja – ki so jih italijanski in slovenski partnerji skupaj opredelili in uskladili kot neposreden operativni odgovor na tveganja in ranljivosti, ugotovljene z analizami.

2 PREUČEVANO OBMOČJE

Območje raziskave zajema zgodovinsko-geografsko območje planote Kras/Carso (Carso v Italiji in Kras v Sloveniji) in njene meje, ki segajo do severnega Jadranskega morja. Razteza se na približno 1000 km², pri čemer 30 % ozemlja spada pod Italijo, 70 % pa pod Slovenijo. Območje, na katerem poteka študija, se razteza med 13,47 zemljepisne dolžine in 45,55 zemljepisne širine ter 14,05 zemljepisne dolžine in 45,96 zemljepisne širine (EPSG:4326-WGS84). Za območje je značilno tako zgornje sredozemsko podnebje na obali kot bolj celinsko fitoklimatsko območje v notranjosti. Kras/Carso je klasičen primer kraške planote z apnenčasto podlago, ki se od obale hitro dviga do 350 m nadmorske višine, s hribovitimi grebeni, ki segajo od 400 do 700 m nadmorske višine. Vegetacija se spreminja od obalnih zaplat hrasta črnike (*Quercus ilex*), do združb črnega gabra (*Ostrya carpinifolia*), jesena (*Fraxinus ornus*) in puhastega hrasta (*Quercus pubescens*), ki vse bolj prekriva opuščene suhe kraške pašnike in travnike (Oriolo et al., 2021). Pogoste so zaplate tujerodnih gozdov črnega bora (*Pinus nigra*), ki izvirajo iz prizadevanj za pogozdovanje v 19. stoletju.



Slika 1 Preučevano območje – Italija (levo), Slovenija (desno).

3 ANALIZE NEVARNOSTI IN RANLJIVOSTI PRED GOZDNIMI POŽARI

Za oceno in kartiranje **verjetnosti nevarnosti požarov v naravi** (ang. *wildfire hazard probability*; v nadaljevanju »požarna nevarnost«) smo uporabili modeliranje z MaxEntom, **za ranljivost zaradi požarov** (ang. *wildfire vulnerability*; v nadaljevanju »požarna ranljivost«) pa večkriterijsko analizo odločanja (MCDA) z uporabo analitičnega hierarhičnega procesa (AHP). Pred izvedbo analiz so bile na podlagi razpoložljivih (in primerljivih) čezmejnih podatkov izbrane pojasnjevalne spremenljivke, ki lahko predstavljajo dejavnike, ki prispevajo k nastanku in širjenju požarov v naravi.

Na podlagi pregleda literature (Gigović & Sekulović, 2018; Maniatis et al., 2022; Mishra et al., 2023; Nuthammachot & Stratoulis, 2021; Sivrikaya & Küçük, 2022; Trucchia et al., 2022, 2023; Yang et al., 2021) smo kot potencialne dejavnike, ki vplivajo na požarna nevarnost in ranljivost, izbrali **11 pojasnjevalnih spremenljivk** ter jih uporabili za modeliranje in analize. To je zajemalo spremenljivke, ki odražajo različne **antropogene** (oddaljenost od železnic, cest (glavne ceste, gozdne ceste in pohodniške poti) in naselij), **okoljske** (pokrovnost/raba tal), **klimatske** (padavine in temperatura) in **topografske značilnosti** (ekspozicija, nadmorska višina, naklon, topografski pozicijski indeks (ang. *Topographic Position Index*, TPI), indeks topografske vlažnosti (ang. *Topographic Wetness Index*, TWI). Seznam spremenljivk skupaj z njihovim razponom in viri podatkov je v preglednici 1. Za izračun in obdelavo vseh spremenljivk sta bila uporabljena programa ESRI ArcGIS Pro 3.4.0 (ESRI, Redlands, CA, ZDA) in QGIS 3.40.4 (QGIS Development Team, 2025).

Zaradi čezmejne narave študijskega območja je bilo pri zbiranju in standardizaciji vhodnih podatkov nekaj izzivov. Da bi dosegli čim boljše prostorsko ločljivost podatkov, smo poskušali čim več podatkov pridobiti od državnih ali regionalnih uradnih služb (preglednica 1). Podatke, ki odražajo antropogene značilnosti smo pridobili od Geodetske uprave Republike Slovenije (GURS) in Infrastrukture za okoljske in prostorske podatke (IRDAT) Avtonomne dežele Furlanije-Juljske krajine (RAFVG). Poleg tega je bil ob spoznanju, da ima Openstreetmap (OSM) popolnejši prikaz pohodniških poti tako v Italiji kot v Sloveniji, cestni sloj integriran z elementi, prenesenimi s strežnika OSM. Antropogene sloje, ki so bili za obe strani na voljo v vektorski obliki, smo najprej združili v en sam sloj za vsako spremenljivko posebej in jih nato rasterizirali. Za izdelavo slojev razdalj smo uporabili orodje za izračun evklidske razdalje..

Za izdelavo sloja pokrovnosti/rabe tal so bili uporabljeni nacionalni in regionalni sloji pokrovnosti/rabe tal, ki so imeli bistveno večjo ločljivost kot evropski podatki Corine Land Cover (CLC).

Zaradi različnih prostorsko-časovnih značilnosti državnih/regionalnih podnebnih podatkov za Italijo in Slovenijo, smo se odločili, da uporabimo podnebne podatke za trenutno (1981–2010) in bližnje prihodnje stanje (2011–2040), ki so na voljo na podatkovnem portalu CHELSA Climate (Brun et al., 2022; Karger et al., 2017). Ker so bili podnebni podatki na voljo v ločljivosti 1 km × 1 km, smo jih pretvorili celično ločljivost 3 m × 3 m. Za izračun topografskih značilnosti smo uporabili digitalni model reliefa (DMR) z ločljivostjo celice 1 m × 1 m, ki smo ga pridobili od Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) in IRDAT FVG (preglednica 1).

Preglednica 1: Seznam pojasnjevalnih spremenljivk z virom podatkov.

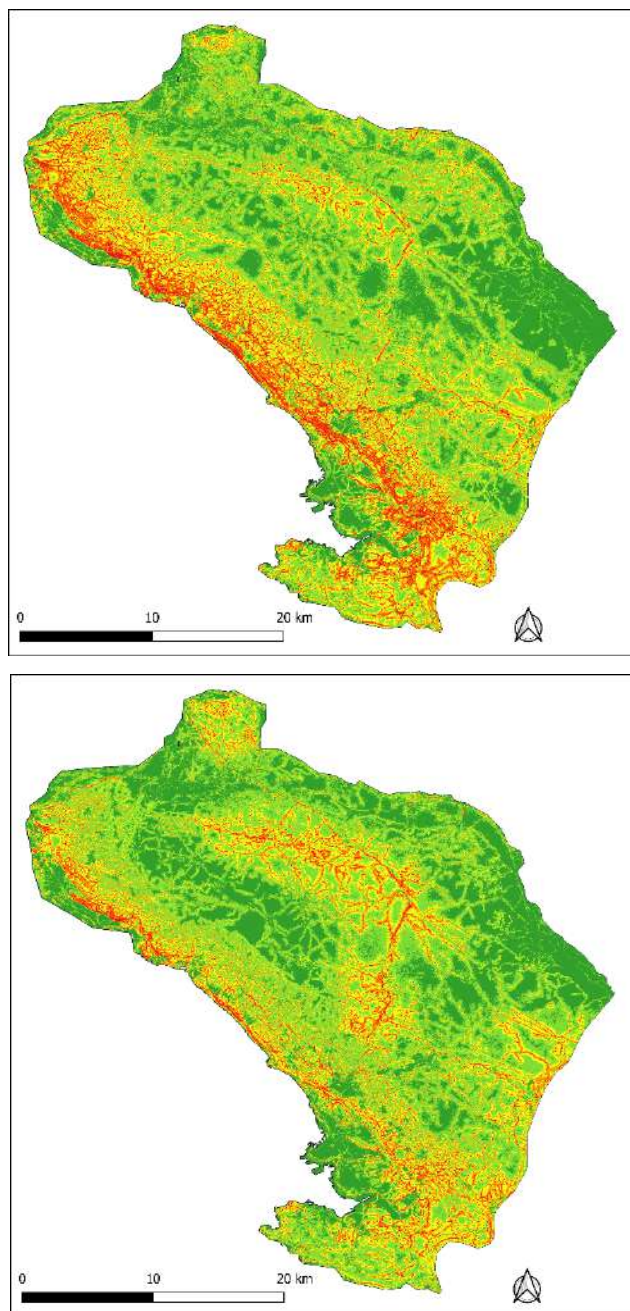
	Spremenljivka	Vir podatkov SLO	Vir podatkov ITA
Antropogene	Oddaljenost od glavnih cest, gozdne cest in pohodniških poti	Podatki Geodetske uprave Republike Slovenije (GURS), Openstreetmap	RAFGV, ISPRA, Insiel S.p.a., Openstreetmap
	Oddaljenost od železnic		
	Oddaljenost od naselij		
Okoljske	Pokrovnost/raba tal	Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP), Corine Land Cover (CLC)	RAFGV, Corine Land Cover (CLC)
Klimatske	Letna količina padavin (1981–2010)	CHELSA Climate (Brun et al., 2022; Karger et al., 2017)	
	Povprečna letna temperatura zraka (1981–2010)		
	Letna količina padavin (2011–2040)		
	Povprečna letna temperatura zraka (2011–2040)		
Topografske	Ekspozicija	Podatki LiDAR (ločljivost celice 1 m × 1 m), Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO)	Podatki LiDAR (ločljivost celice 1 m × 1 m), RAFVG
	Naklon		
	Topografski pozicijski indeks (TPI)		
	Indeks topografske vlažnosti (TW)		

4 ANALIZA VERJETNOSTI POŽARNE NEVARNOSTI

Končni sloji trenutne in prihodnje požarne nevarnosti so bili klasificirani v pet stopenj požarne ogroženosti (tj. nizka, zmerna, visoka, znatno visoka in izjemno visoka) na podlagi opredeljenega intervala z velikostjo intervala 0,20 (Slika 2). Pet razredov z različnimi stopnjami klasificirane požarne nevarnosti je obsegalo 22,71 %, 38,20 %, 23,00 %, 10,30 % in 5,78 % preučevanega območja (Preglednica 2). Največji delež preučevanega območja pokrivajo območja, ki so razvrščena kot območja z zmerno požarno nevarnostjo, in sicer 38,20 % celotnega območja. Sledila so jim območja z visoko (23,00 %) in nizko (22,71 %) požarno ogroženostjo. Območja z znatno visoko in izjemno visoko požarno nevarnostjo so obsegala 10,30 % oz. 5,78 % (Preglednica 2). Očitno je, da območja, ki so uvrščena med območja z znatno visoko in izjemno visoko požarno nevarnostjo, predstavljajo razmeroma majhen delež (16,08 %) preučevanega območja.

V scenariju prihodnje požarne nevarnosti je pet stopenj predstavljalo 26,83 %, 40,16 %, 21,25 %, 8,24 % in 3,51 % preučevanega območja (Preglednica 2). Podobno kot pri trenutni požarni nevarnosti je največji delež preučevanega območja ostal v kategoriji zmerne požarne nevarnosti, ki je zajemala 40,16 % celotnega območja. Površina kategorije nizka požarna nevarnost se je povečala za 4,12 % na 26,83 %, medtem ko se je kategorija visoka požarna nevarnost nekoliko zmanjšala (na 21,25 %). Delež površin, ki so razvrščene v kategorijo znatno visoke in izjemno visoke požarne nevarnosti, se je zmanjšal za 2,06 % in 2,27 % na 8,24 % oziroma 3,51 % (Preglednica 2). To kaže na premik k nižji požarni nevarnosti v prihodnosti, pri čemer bo manj površin z znatno visoko ali izjemno visoko požarno nevarnostjo.

Pri pregledu vzorcev prostorske porazdelitve je razvidna precejšnja geografska raznolikost požarne nevarnosti na preučevanem območju. Območja z visoko, znatno visoko in izjemno visoko požarno nevarnostjo so večinoma razporejena ob obali in okoli večjih naselij, kjer je gostota cest in železnic največja. Projekcije kažejo, da se bo požarna nevarnost na obalnih območjih zmanjšala, medtem ko se bo na v notranjosti skladno s prihodnjimi podnebnimi scenariji povečala (Slika 2).



Slika 2 Trenutna (levo) in prihodnja (desno) požarna nevarnost na podlagi MaxEnta.

Preglednica 2: Površina (km²) in delež (%) razredov požarne nevarnosti za trenutno in prihodnjo požarno nevarnost ter razlika na podlagi modeliranja z MaxEntom.

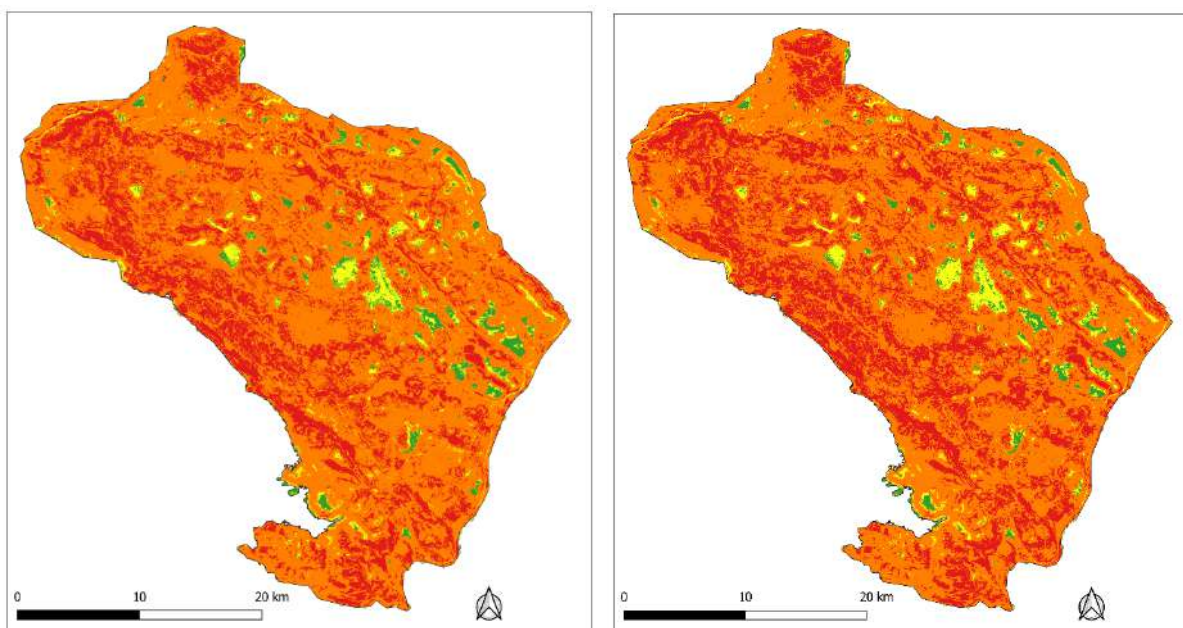
Karst Firewall 5.0

	Trenutna požarna ogroženost		Prihodnja požarna ogroženost		Razlika	
	Površina	Delež	Površina	Delež	Površina	Delež
Nizka	228,36	22,71	269,78	26,83	41,42	4,12
Zmerna	384,10	38,20	403,83	40,16	19,73	1,96
Visoka	231,28	23,00	213,67	21,25	-17,61	-1,75
Znatno visoka	103,60	10,30	82,88	8,24	-20,72	-2,06
Izjemno visoka	58,12	5,78	35,30	3,51	22,82	-2,27
Skupaj	1005,46	100	1005,46	100	/	/

5 ANALIZA POŽARNE RANLJIVOSTI

Postopek parne primerjave AHP je bil uspešno izveden, pri čemer so bili indeksi skladnosti precej pod pragom 0,01. Uteži vsake spremenljivke in njihovih kategorij, ki izhajajo iz AHP, so prikazane v preglednici 11. Najpomembnejša skupina makrodejavnikov so antropogeni dejavniki, kar na splošno dokazuje tudi literatura (Djabri et al., 2024; Gigović in Jakovljević, 2018; Sivrikaya in Küçük, 2022), s skupno utežjo 51 %. Med antropogenimi spremenljivkami je najpomembnejša spremenljivka oddaljenost od cest (37 %), sledita ji oddaljenost od naselij (9 %) in železnice (5 %). Na drugem mestu je okoljska spremenljivka, ki jo predstavlja pokrovnost tal z utežjo 31,5 %. Sledijo topografske spremenljivke z 11,6 % in podnebne spremenljivke s 5,8 %.

Končne karte ranljivosti (Slika 3) kažejo, da v sedanjih podnebnih razmerah pade večina preučevanega območja v razred zelo velike ranljivosti (67 %), sledijo pa mu območja izjemne ranljivosti (25 %; Preglednica 3). S prihodnjimi napovedmi se bodo območja izjemne ranljivosti povečala do 30 % na račun območij zelo visoke ranljivosti (62 %; Preglednica 3).



Slika 3 Zemljevid ranljivosti s sedanjimi podnebnimi razmerami (levo) in prihodnjimi napovedmi (desno).

Preglednica 3: Površina (km²) in delež (%) razredov požarne ranljivosti za trenutno in prihodnjo požarno ranljivost ter razlika.

	Trenutna ranljivost		Prihodnja ranljivost		Razlika	
	Površina	Delež	Površina	Delež	Površina	Delež
Nizka	0,04	0,004	0,02	0,002	-0,02	-0,001
Zmerna	25,1	2,49	21,2	2,11	-3,86	-0,38
Visoka	44,8	4,46	43,3	4,31	-1,52	-0,15
Znatno visoka	679,4	67,58	630,4	62,70	-49,04	-4,87
Izjemno visoka	256,1	25,47	310,4	30,87	54,32	5,40
Skupaj	1005,5	100	1005,5	100	-	-

Kot je razvidno iz analize AHP, so se podnebne spremenljivke v našem scenariju izkazale za najmanj vplivne na ranljivost zaradi gozdnih požarov. Morda zato, ker je ta spremenljivka precej homogena na celotnem preučevanem območju, za katerega so značilne pomembne letne padavine (od 1300 do 2400 mm/leto, preglednica 1). Pomanjkanje podatkov o porazdelitvi padavin med letom in nizka ločljivost podatkov (1 km × 1 km) ne omogočata razlikovanja lokalnih vremenskih vzorcev, ki bi lahko poudarili prisotnost trajnih suhih vremenskih razmer. Poleg tega je zaradi velikega števila spremenljivk težje napovedati količino in porazdelitev padavin po letnih časih, ki so za najbližjo prihodnost večinoma nepomembne (Bertalanič et al., 2018).

6 POUDARKI IZ ANALIZ NEVARNOSTI IN RANLJIVOSTI ZARADI POŽAROV V NARAVI

Zemljevidi verjetnosti nevarnosti in ranljivosti zaradi požarov v naravi se močno razlikujejo. Analiza ranljivosti je opredelila, da 93 % preučevanega območja spada v razreda znatno visoke in izjemno visoke ranljivosti. Medtem ko ta dva razreda predstavljata le 16 % celotnega preučevanega območja na karti verjetnosti nevarnosti. To je verjetno posledica porazdelitve preteklih požarov v naravi, uporabljenih za analizo MaxEnt, ki so zgoščeni v vidnih gruclah. Posledično je bil nabor podatkov o preteklih požarih prečiščen z namenom zmanjšanja pristranskosti modela (z 2367 na 1206 lokacij). Zato se zdi, da je analiza MaxEnt primernejša za kartiranje nevarnosti, pri čemer se ugotavlja verjetnost pojava požarov v naravi. Po drugi strani pa MCDA enakomerno porazdeli območja velikega tveganja po celotnem preučevanem območju, pri čemer ugotavlja statično ranljivost območja za požare v naravi in nakazuje možna območja širjenja požarov v naravi.

Poleg tega je ena od glavnih razlik med obema metodama v prihodnji projekciji verjetnosti požarne ogroženosti in požarne ranljivosti. V analizi ranljivosti naj bi se območja z izjemno visoko ranljivostjo povečala s 25 % na 30 % celotnega območja, medtem ko je analiza verjetnosti nevarnosti pokazala splošno zmanjšanje verjetnosti požarov v naravi v skladu s prihodnjim podnebnim scenarijem. To je verjetno posledica dejstva, da sta spremenljivki temperatura in padavine po AHP imeli teži 4,32 % in 1,44 %, pri čemer je temperatura trikrat bolj vplivala na končno ranljivost, medtem ko je analiza nevarnosti na podlagi MaxEnta pripisala temperaturi in padavinam prispevek 2,8 % in 7,0 %. Obe spremenljivki naj bi se v prihodnjih projekcijah povečali, vendar imata vsaka nasprotni učinek na ranljivost. Glede na to, katera od teh dveh spremenljivk prevladuje v posameznem pristopu modeliranja, bodo rezultati nasprotujoči.

Ta razlika kaže na to, da sta oba pristopa učinkovita orodja za kartiranje verjetnosti in ranljivosti požarov v naravi, vendar se osredotočata na različne značilnosti. Njuno uporabo za analizo požarov v naravi bi zato lahko kar najbolj povečali z dopolnjevanjem rezultatov in ne s primerjanjem enega z drugim.

Modeliranje Maxent je z odzivnimi krivuljami omogočilo pomemben vpogled, ki je pokazal, da je verjetnost požarne nevarnosti največja na južnih in jugozahodnih pobočjih, na polnaravnih in iglastih gozdnih območjih ter na območjih z zmernimi padavinami in nakloni. Verjetnost požarne nevarnosti je bila tudi močno negativno povezana z oddaljenostjo od cest, železnic in naselij, kar poudarja ključno vlogo infrastrukture pri vžigu požarov v naravi.

7 PRIROČNIK

V tem kontekstu se zdi celostno načrtovanje v pokrajini nujna in najučinkovitejša strategija za povečanje odpornosti območja: ne le na lokalni, temveč tudi na čezmejni ravni. Kras ne pozna političnih meja v svoji neprekinjeni vegetaciji in širjenju ognja: italijansko in slovensko ozemlje sta dnevno izpostavljena podnebnim procesom kakor širjenju požarov. Po obsežnih požarih poleti 2022 so številne pobude vključevale operativno sodelovanje med gasilci, gozdarskimi organizacijami, civilno zaščito in lokalnimi institucijami na obeh straneh meje za potrebe gašenja, monitoringa in preprečevanja novih požarov. Vendar še vedno ni regulativnega okvira in načrtovanja čezmejnega ozemlja, ki bi opredeljeval skupna pravila za rabo tal, omejitve za gradnjo in aktivno gospodarjenje z gozdnimi zemljišči. Zapolnitev te vrzeli je ključnega pomena za dosledno obravnavanje tveganja požarov v pokrajini, ki je z ekološkega in podnebnega vidika edinstvena in neprekinjena.

Vedno več študij ugotavlja, da tveganja požarov ni mogoče učinkovito zmanjšati, če politike ostajajo sektorske. Gozdarsko in krajinsko načrtovanje vključuje merila tveganja pred požari ter povečuje odpornost območij pred požari, hkrati pa ohranja gospodarsko donosnost (González-Olabarria in Pukkala, 2011). Nekatere raziskave kažejo, da kombinacija paše in načrtovanih požarov ohranja učinkovito zmanjšanje goriva v daljšem časovnem obdobju kot vsak ukrep posebej (Starns et al., 2019).

Hkrati podnebne spremembe še poslabšujejo dejavnike tveganja: podnebni scenariji za južno Evropo in jadransko območje kažejo na povišanje povprečnih temperatur, pogostejše in daljše vročinske valove ter zmanjšanje količine poletnih padavin, kar skupaj vodi do bolj suhih tal in vegetacije ter povečanja števila dni z vremenskimi razmerami, ki so ugodne za nastanek in širjenje požarov (Granceri Bradaschia, M. et al., 2025). Te spremembe povečujejo potencialni obseg požarov in verjetnost ekstremnih dogodkov. Zlasti razmere s kombinacijo burje, nizke vlažnosti in visokih poletnih temperatur se bodo še okrepile, s čimer se bo podaljšalo obdobje požarne ogroženosti in zmanjšalo število dni, primernih za preventivne ukrepe.

Na koncu, ne smemo podcenjevati pomena monitoringa in stalnega spremljanja stanja: pokrajina je dinamična, podnebne razmere se spreminjajo, vegetacija raste in

odmira; ukrepi, ki so danes učinkoviti, lahko izgubijo svojo koristnost, če se ne vzdržujejo skozi čas.

Zato mora celostno (integrirano) načrtovanje izrecno vključevati prihodnje podnebne scenarije in modele za napovedovanje tveganj: komunalni urbanistični instrumenti morajo biti usklajeni z načrti za krajinsko ureditev in regionalnimi načrti, načrti za preprečevanje požarov v naravi in politikami civilne zaščite, pri čemer morajo določiti, kje gradnja ni dovoljena, predvideti pasove zaščite z vegetacijo, opredeliti ognjevarne materiale, mreže protipožarnih poti, podporno vodno infrastrukturo, senzorje in sisteme za opozarjanje pa tudi načine izvajanja, finančne vire, monitoring, sodelovanje državljanov in zasebnih lastnikov. Ko ti ukrepi delujejo sinergistično, se opazijo boljši rezultati v smislu zmanjšanja pogorele površine, povprečne intenzivnosti požara in odzivnega časa. Ta vertikalna (občina-regija-država-EU) in horizontalna (med sektorji in ukrepi) integracija je tisto, kar posamezne ukrepe spreminja v pravo strategijo odpornosti krajine.

Nazadnje, ne smemo podcenjevati pomena stalnega monitoringa in ocenjevanja: pokrajina je dinamična, podnebne razmere se spreminjajo, rastlinstvo raste in umira; ukrepi, ki so danes učinkoviti, lahko izgubijo svojo koristnost, če se ne vzdržujejo skozi čas.

7.1 KAKO UPORABLJATI TA PRIROČNIK

Ta priročnik je bil ustvarjen, da bi lokalnim upravljavcem in izvajalcem, odgovornim za civilno zaščito, upravljavcem naravnih območij in infrastrukture zagotovil praktično in znanstveno utemeljeno orodje za usmerjanje načrtovanja in izvajanja ukrepov za preprečevanje požarov. Vsak ukrep je bil strukturiran na enoten način, da se olajša neposredna primerjava med različnimi ukrepi in pomaga odločevalcem razumeti, kateri ukrep je najbolj primeren za njihov kontekst. Za vsakega od njih so navedeni:

- Komponenta tveganja, ki jo ukrep obravnava:
 - *nevarnost,*
 - *ranljivost,*
 - *izpostavljenost,*
 - *spodobnost odziva na nesrečo,*
 - *prilagodljivost.*

To razlikovanje pomaga pri razumevanju učinkov navedenih protipožarnih ukrepov (glej Okvir 1 za podrobnosti)

- Vrste rabe tal, kjer je ukrep uporaben:
 - gozdna območja,
 - travnata območja, kot je kraška gmajna,
 - območja na stiku med mestom in podeželjem.
- Vrsta načrtovalskega instrumenta, v katerega se lahko vključi ukrep (npr. splošni občinski prostorski načrt, regionalni razvojni načrt, načrti za civilno zaščito, načrti za upravljanje območij Natura 2000, gozdnogospodarski načrti gozdnogospodarskih območij/ enot, načrti zavarovanih območij)
- Kateri subjekti so vključeni v izvajanje ali upravljanje ukrepov (npr. javni organi, zasebni subjekti, upravljavci infrastrukture, konzorciji, kolektivna lastnina, kmetijska gospodarstva).

Dokument za vsak ukrep vsebuje tudi kratek znanstveni pregled z znanstvenimi in normativnimi sklici, da se zagotovi zanesljivost informacij in olajša vključitev v načrte in razpise. Uporaba tega pregleda omogoča političnim odločevalcem in drugim, da razumejo, kateri ukrepe obstajajo za zmanjšanje tveganja gozdnih požarov, katere od teh ukrepov je mogoče sprejeti sinergistično, in da ciljno usmerijo vire v najbolj kritične vidike svojega ozemlja in ustrezne akterje. Vse te informacije so vključene tudi v tabelo, ki se nahaja v prilogi k besedilu.

OKVIR 1 – POJEM TVEGANJA

TVEGANJE = NEVARNOST × RANLJIVOST × IZPOSTAVLJENOST

Nevarnost = verjetnost, da pride do požara (npr. bližina območij z visoko antropogeno prisotnostjo, nenadzorovano kopičenje grmovja).

Ranljivost = dovzetnost teritorialnega elementa za vžig (npr. iglavci so bolj vnetljivi kot listavci in zato bolj ranljivi).

Izpostavljenost = stopnja bližine potencialno vnetljivih območij prebivalstva, stavb, infrastrukture (npr. enodružinske hiše, osamljene sredi borovih gozdov, so zelo izpostavljene nevarnosti požara).

Sposobnost odziva na nesrečo = sposobnost takojšnjega ukrepanja za identifikacijo in/ali nadzor požara (npr. sistem opozarjanja v realnem času).

Prilagodljivost = sposobnost izboljšanja sistema zmanjševanja tveganja požarov na dolgi rok z zakonodajnega, institucionalnega in vedenjskega vidika (npr. oblikovanje območij E v splošnem urbanističnem načrtu med pozidanimi območji (A, B, C, D) in območji F).

7.2 SLOVAR

OBREMENITEV GORIVA: Skupna količina vnetljivega materiala, prisotnega na določenem območju. Visoka obremenitev poveča intenzivnost in trajanje požara.

GORIVO: Skupek živih ali mrtvih rastlinskih materialov, ki lahko gorijo, kot so suho listje, suha trava, iglice, grmičevje, živa in odmrta lesna biomasa ali podrast.

KONTINUITETA GORIVA: Način, kako je gorivo razporejeno horizontalno (med območji) in vertikalno (med tlemi, podrastjo in krošnjami). Večja je kontinuiteta, lažje se ogenj širi.

KRAŠKA GMAJNA: skupina sušnih in polsušnih travnikov na apnenčastih tleh. Del Kraške gmajne so tudi grmovne vrste in posamično gozdno drevje. Ta je kulturna krajina ki je nastala zaradi dolgotrajne paše, krčenja gozda in požigov.

ODMRLA BIOMASA: Celotna odmrta biomasa: suha trava, vejevje, listje, štori in odmrta drevesa. Predstavlja pomemben del ekološkega cikla, vendar lahko poveča tveganje za požar in njegovo jakost.

SPOTTING (požarni preskok): Pojav, pri katerem veter prenaša žareče delce (žerjavico, koščke lubja, goreče liste) in povzroča nove požare tudi na razdalji več sto metrov ali kilometrov od glavnega ognjišča.

WUI (WILDLAND URBAN INTERFACE): Območje stika med naravnimi in pozidanimi območji, kjer je tveganje za požar večje zaradi bližine vegetacije in stanovanj.

I DEL - UKREPI ZA ZMANJŠANJE TVEGANJA ZARADI POŽAROV V NARAVI

8 NEPOSREDNI POSEGI NA TERENU

8.1 SELEKTIVNO ODSTRANJEVANJE GORIVA

OBRAVNAVANE FUNKCIJE TVEGANJA: Ranljivost

RABA TAL: Gozd

NIVOJI NAČRTOVANJA: Državni načrt zaščite in reševanja ob velikem požaru v naravnem okolju, Občinski prostorski načrt

VKLJUČENI AKTERJI: Zavod za Gozdove Slovenije, občine

V praksi se priporoča, da se izbiralna sečnja, redčenje in nadzor vegetacije ob gozdnih poteh in gozdnih robovih uporablja za ustvarjanje medsebojno povezane mreže območij z zmanjšano količino gorljivega materiala. Ta pristop ne le zmanjšuje tveganje, ampak tudi omogoča varno gašenje in povečanje biotske raznovrstnosti z ustvarjanjem bolj raznolikih habitatov. Pri načrtovanju protipožarnih presek je prav tako bistveno, da se vedno vključijo ukrepi za nadzor invazivnih vrst, saj te lahko olajšajo njihovo širjenje ker delujejo kot dostopni koridorji (Shinneman et al., 2019). Priporočljivo se je izogibati uporabi težkih strojev, ki lahko poškodujejo tla; prednost je treba dati ročni sečnji in lahkemu drobljenju. Takšen način dela omejuje erozijo in poškodbe skalnatih površin (McKinney et al., 2022). Da bi olajšali vzdrževanje, je bolj praktično urediti manjše število poti, ki pa so širše in učinkovitejše. Izkoriščanje mobilizacije državljanov ob čiščenju najpomembnejših poti je učinkovit način za zmanjšanje časa in stroškov vzdrževanja, pa tudi za lažje sprejetje s strani skupnosti.

8.2 USTVARJANJE IN VZDRŽEVANJE PROTIPOŽARNIH POSEK

OBRAVNAVANE FUNKCIJE TVEGANJA: Ranljivost, sposobnost odziva na nesrečo

RABA TAL: Gozd

NIVOJI NAČRTOVANJA: Državni načrt zaščite in reševanja ob velikem požaru v naravnem okolju, Gozdnogospodarski načrti

VKLJUČENI AKTERJI: Zavod za Gozdove, Občina, zasebniki, prebivalci, agrarne skupnosti

Protipožarne poseke, linearne infrastrukture ali pasovi zemlje, na katerih je vegetacija odstranjena ali spremenjena, zmanjšujejo kontinuiteto in količino rastlinskega goriva ter olajšujejo dostop za gašenje. Lahko gre za preproste travnate poti ali makadamske ceste ali pa za pasove, ki so bili obdelani z redčenjem, odstranjevanjem podrasti in rednim vzdrževanjem. Praktični cilj je torej omejiti ali upočasniti širjenje požarov.

Za pravilno načrtovanje protipožarnih pasov je treba najprej narediti kartiranje najbolj ranljivih in izpostavljenih območij, nato pa predvideti možne koridorje širjenja, ob upoštevanju orografije in prevladujočih smeri vetra. Širina protipožarne poseke se lahko giblje od nekaj metrov do sto metrov v skrajnih primerih, odvisno od vrste vegetacije (natančneje od višine in tveganja za iskanje) ter oblike in terena. V primeru pobočja mora biti širina protipožarnih posek večja, če ogenj prihaja od spodaj.

V praksi se priporoča, da se selektivna sečnja, redčenje in nadzor vegetacije ob gozdnih poteh in robovih jas uporabljajo za ustvarjanje medsebojno povezane mreže območij z manj gorljivim materialom in ne le izoliranih linearnih pasov. Ta pristop ne le zmanjšuje tveganje, ampak tudi omogoča varno gašenje in povečanje biotske raznovrstnosti z ustvarjanjem bolj raznolikih habitatov. Pri načrtovanju protipožarnih posek je prav tako bistveno, da se vedno vključijo ukrepi za nadzor invazivnih vrst, saj te lahko olajšajo njihovo širjenje, saj delujejo kot dostopni koridorji (Shinneman et al., 2019).

8.3 USTVARJANJE IN VZDRŽEVANJE PASOV BREZ VEGETACIJE OKOLI INFRASTRUKTURE IN NASELJ

OBRAVNAVANE FUNKCIJE TVEGANJA: Nevarnost, izpostavljenost

RABA TAL: Gozd, WUI

NIVOJI NAČRTOVANJA: Gozdnogospodarski načrt gozdnogospodarske enote,
Občinski prostorski načrti

VKLJUČENI AKTERJI: Občina, Zavod za gozdove Slovenije

Ustvarjanje in vzdrževanje pasov brez lesnate vegetacije okoli naselij in glavne linearne infrastrukture (železnice, ceste, električni vodi, plinovodi) je eden najpreprostejših in hkrati najučinkovitejših ukrepov za zmanjšanje tveganja, da bi gozdni požar dosegel ljudi, hiše in infrastrukturo, kar bi imelo posledice za varnost prebivalstva in povzročilo veliko gospodarsko škodo.

Ti pasovi prekinjajo horizontalno kontinuiteto vnetljivega materiala in zmanjšujejo verjetnost, da bi se iskre in plameni razširili na stavbe. V kraškem okolju, za katerega je značilna nizka drevesna plast, je pas brez vegetacije ali z vegetacijo z nizko vnetljivostjo v širini od 10 do 30 metrov okoli naselij in infrastrukture razumna in učinkovita izbira. Manjše razdalje so lahko primerne za posamezne izolirane stavbe, če je vegetacija dobro urejena; za gosto gozdnata območja ali območja z velikimi nakloni pa se priporoča, da se pas poveča na 30 m.

Za infrastrukturo, ki jo upravljajo tretje osebe (železnice, elektrarne, ceste, plinovodi), je običajno, da vzdržuje varovalne pasove koncesionar: to je upravičeno, ker so oni tisti, ki imajo koristi od zmanjšanja tveganja (manjše prekinitev storitev) in ker lahko načrtujejo vzdrževanje in posege z neprekinjenim delovanjem. Zavod za Gozdove Slovenije izda odločbo, sečnji morajo pa vedno privoliti lastniki.

Uporaba fizičnih ločevalnih elementov (kot so suhozidi, kamniti robniki, negorljive pregrade, kovinske mreže) na kritičnih točkah lahko pomaga ohraniti pas prost, prepreči širjenje vegetacije in zmanjša kopičenje goriva v bližini objektov ali infrastrukture. Ta kombinacija upravljanja vegetacije in fizičnih ovir je preprosta, in hkrati strateški instrument civilne zaščite, zato bi jo bilo treba vključiti v lokalne predpise in načrte vzdrževanja infrastrukture. Da bi bile resnično koristne, je bistveno, da se takšna območja redno vzdržujejo s košnjo in preprečevanjem zaraščanja; to je mogoče doseči z večletnimi načrti in namenskim financiranjem.

KOLIKO METROV MORA BITI VARNOSTNI PAS ŠIROK, DA SE PREPREČI POŽAR?

Logika priporočene širine protipožarnih pasov je dvojna: (1) zmanjšati sevanje energije, ki doseže stavbo ali infrastrukturo (sevanje se z razdaljo hitro zmanjšuje), in (2) zmanjšati verjetnost, da bi žerjavica (ki jo lahko prenaša veter) našla v bližini objekta material, ki se lahko vname. Literatura o iskrenju kaže, da čeprav lahko v ekstremnih primerih žerjavica leti kilometre daleč, se verjetnost in masa žerjavice z oddaljenostjo zmanjšujeta; zato prosti ali dobro upravljani pasovi okoli kritičnih objektov znatno zmanjšujejo izpostavljenost vžigu zaradi žerjavice in verjetnost neposrednega vžiga. Klasične in novejšje študije (Albini 1983; Koo et al. 2010;) pojasnjujejo te mehanizme in količinsko opredeljujejo, kako razdalja in zveznost goriva vplivata na tveganje širjenja zaradi iskrenja. Zaradi teh razlogov se priporoča, da se upoštevajo širine nad 10 m in več.

8.4 DOLOČANJE VARNIH OBMOČIJ ZA SKLADIŠČENJE SEČNIH OSTANKOV

OBRAVNAVANE FUNKCIJE TVEGANJA: Nevarnost

RABA TAL: Gozd, zaraščajoča kmetijska površina

NIVOJI NAČRTOVANJA: Gozdnogospodarski načrt gozdnogospodarskega enote

VKLJUČENI AKTERJI: Zavod za gozdove Slovenije, občina

Pri negi gozda nastane lahko velika količina biomase. Študije kažejo, da lahko material, ki je brez obdelave zapuščen na kraju samem, več let povečuje energijski potencial požarov, medtem ko odstranjevanje ali zbiranje na namenskih mestih zmanjšuje intenzivnost požara in izboljšuje varnost delovanja (Agee in Skinner, 2005; Stephens et al., 2012).

Zaradi tega je ustvarjanje varnih območij namenjenih za zbiranje sečnih ostankov pomembno, da se prepreči da bi posekana biomasa povečala količino gorljivega materiala. Ta območja, ki so idealno brez vegetacije, ravna in dostopna za vozila, morajo biti nameščena na varni razdalji od stanovanjskih objektov in koridorjev širjenja požara, z majhnimi kupi in morebitnim pokrivanjem, da se zmanjša izsuševanje. Ta praksa, dopolnjena z drobljenjem lesa ali energetsko rabo materiala, omogoča ohranitev ekoloških koristi odstranjevanja goriva ob zmanjšanju stranskih učinkov na nevarnost požarov.

Pri tem je potrebno opomniti da večji deli odmrlega lesa, kot so hlodi, prispevajo le malo k intenzivnosti gozdnih požarov in so dragoceni za biotsko raznovrstnost. Zato je pomembno, da se prizadevanja za odstranjevanje osredotočijo na drobne lesne ostanke (majhne veje in vejice), ki so bolj vnetljivi, večje hlode pa ohranijo na terenu, da se ohranijo funkcije habitata in ekosistema.

8.5 REDČENJE VEGETACIJE Z NADZOROVANIMI POŽARI

OBRAVNAVANE FUNKCIJE TVEGANJA: Nevarnost, ranljivost

RABA TAL: Kraška gmajna v zaraščanju

NIVOJI NAČRTOVANJA: Državni načrt zaščite in reševanja ob velikem požaru v naravnem okolju, Regionalni prostorski plan

VKLJUČENI AKTERJI: Zavod za gozdove Slovenije, Gasilska zveza, Uprava za zaščito in reševanje

Nadzorovani požari so učinkovit in poceni način za zmanjšanje ranljivosti območja in nevarnosti izbruha velikega požara. Nadzorovani požari namreč zmanjšujejo količino goriva v gozdovih, saj odstranjujejo grmičevje v podrasti in porabijo nakopičeno odmrlo biomaso. Lahko prispevajo k ohranjanju kraške pokrajine, saj sežge grmičevje, ki ga nadomešča, in tako pomagajo ohranjati njegovo biotsko raznovrstnost.

Nadzorovan požar je opredeljen kot strokovna uporaba ognja nizke intenzivnosti na načrtovanih območjih, s pomočjo osebja, ki je posebej usposobljeno za uporabo ognja, in sprejetjem operativnih postopkov in zahtev, ki so vnaprej določeni s posebnimi smernicami. Običajno jih načrtujejo usposobljeni gozdarski strokovnjaki in gasilci v vremenskih razmerah z nizkim tveganjem za širjenje, ko ni preveč vroče in ni vetra. Na žalost je mogoče, da bo ta ukrep v prihodnosti vedno manj uporaben zaradi povečanja števila vročih dni in večje nepredvidljivosti vremena (Swain et al., 2023). Med različnimi kontraindikacijami je možnost, da nadzorovani požari lahko zmanjšujejo biodiverziteto in spodbujajo naseljevanje pogorelih površin s pionirskimi invazivnimi vrstami (Keeley, 2006).

8.6 UMETNI VODNI ZBIRALNIKI ZA GAŠENJE POŽAROV

OBRAVNAVANE FUNKCIJE TVEGANJA: Ranljivost, sposobnost odziva na nesrečo

RABA TAL: Gozd

NIVOJI NAČRTOVANJA: Državni načrt zaščite in reševanja ob velikem požaru v naravnem okolju, Občinski prostorski načrti, gozdnospodarski načrti gozdnogospodarskih enot

VKLJUČENI AKTERJI: Zavod za gozdove, občina, Gasilska zveza, Civilna zaščita, Uprava za zaščito in reševanje

Ustvarjanje umetnih vodnih zbiralnikov je ključni ukrep za učinkovitejše in hitrejše gašenje gozdnih požarov, zlasti na območjih, kot je Kras, kjer pomanjkanje površinskih vodnih teles ali dostop do hidrantih omejuje oskrbo z vodo za gasilska vozila. Umetni vodni zbiralnik je lahko v obliki bazena, majhnega betonskega ali jeklenega rezervoarja ali podzemne neprepustne cisterne, zasnovane tako, da je voda takoj na voljo za tovarnjake in, če razmere to dopuščajo, tudi za helikopterje, ki sodelujejo pri gašenju. Vodo je mogoče zbrati z zajemanjem iz občasnih naravnih virov, zbiranjem deževnice v vlažnih obdobjih ali z načrtovano oskrbo iz javnih vodovodnih omrežij ali vodnjakov, kjer je to hidrogeološko izvedljivo. Zmogljivost teh rezervoarjev mora biti dimenzionirana tako, da pokriva operativne potrebe: strokovna literatura priporoča prostornino vsaj 50 m³ za vsako točko oskrbe, da se zagotovi polno polnjenje gozdarske cisterne, če pa so rezervoarji namenjeni tudi za uporabo helikopterjev, pa rezervoarje nekaj sto kubičnih metrov z ustrezno globino in enostavnim dostopom od zgoraj (Holuša et al., 2021).

Da bi dosegli največjo operativno učinkovitost, bi morali biti bazeni razporejeni po celotnem območju, na primer vsakih 4–6 km na območjih z največjim tveganjem, in povezani z infrastrukturo za gašenje, kot so hidranti, dostopne poti in manevrska mesta, da se zagotovi hitro polnjenje (Holuša et al., 2021). Med glavnimi prednostmi je drastično skrajšanje časa za oskrbo z vodo, kar posledično poveča hitrost in učinkovitost posredovanja ter potencialno zmanjša površino požara; možnost integracije protipožarne funkcije z drugimi izrabami (kmetijske, pašne, zbiranje deževnice) lahko spodbuja družbeno sprejemljivost in lokalno gospodarstvo. Vendar pa ta ukrep prinaša tudi omejitve in kritične točke: poleg stroškov gradnje in vzdrževanja, je potrebna pridobitev gradbenega dovoljenja zlasti v kraškem okolju, poletno izhlapevanje in veter lahko hitro zmanjšata razpoložljivo količino.

8.7 VZDRŽEVANJE KRAŠKE GMAJNE

OBRAVNAVANE FUNKCIJE TVEGANJA: Ranljivost, prilagodljivost

RABA TAL: Kraška gmajna

NIVOJI NAČRTOVANJA: Občinski prostorski načrti

VKLJUČENI AKTERJI: Občina, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, Ministrstvo za naravne vire in prostor, zasebniki, prebivalci, agrarne skupnosti, kmetje

Ohranjanje kraškega sveta je eden najučinkovitejših ukrepov za preprečevanje hitrega širjenja gozdnih požarov in hkrati ohranjanje dragocene ekološke in kulturne dediščine. V zadnjih desetletjih je opustitev tradicionalnih kmetijsko-pastirskih praks spodbudila zaraščanje kmetijskih površin in mladih lesnih rastlin, ki povečujejo kontinuiteto gorljivih snovi in postopoma spreminjajo travnate površine v grmičevje, ki gori z večjo jakostjo.

Ciljna paša je tehnika upravljanja, ki izkorišča živino za omejevanje ponovne rasti rastlin, ohranjanje odprtega habitata in ustvarjanje horizontalnih in vertikalnih prekinitev gorljivega materiala. Ta praksa ne le zmanjšuje tveganje za intenzivne požare, ampak ohranja tudi biotsko raznovrstnost, značilno za kraške travnike, na katerih živijo redke rastlinske vrste in specializirani žuželke.

Ker je tradicionalna ekstenzivna paša danes malo donosna, je za njeno uporabo kot sredstvo za preprečevanje požarov potrebna strukturna javna podpora. Subvencije v okviru programov razvoja podeželja ali kmetijsko-okoljskih ukrepov lahko kmetom zagotovijo plačilo za ekosistemsko storitev, ki jo opravljajo, in tako zagotovijo kontinuiteto delovanja.

KATERA PAŠNA ŽIVAL JE NAJBOLJ PRIMERNA ZA ZMANJŠANJE TVEGANJA POŽARA?

Živalske vrste, ki se uporabljajo, je treba izbrati tudi glede na sestavo rastlinja:

- **Koze** so posebej učinkovite pri paši grmovja in mladih lesnih rastlin, vključno z invazivnimi vrstami, saj hitro zmanjšujejo količino gorljivega grmovja.
- **Ovce** ohranjajo travnik nizek in nadzorujejo drobno travo, s čimer omejujejo ponovno rast travnatih vrst, ki lahko poleti tvorijo neprekinjeno plast gorljivega materiala.
- **Govedo** lahko prispeva k ohranjanju odprtih mozaikov in pohodi podstrešje, vendar potrebuje več prostora, vode in dodatne infrastrukture. Kombinacija različnih vrst, na primer mešane črede koz in ovac, je posebej učinkovita pri ustvarjanju in ohranjanju prekinitev v gorljivem materialu na različnih višinah.
- Konji in osli

Znanstvene študije potrjujejo te koristi: v sredozemskih okoljih namenska paša znatno zmanjša biomaso podrasti in upočasni zaraščanje kmetijskih površin, s čimer se poveča odpornost proti požarom (Spadoni et al., 2023). V Španiji in južni Franciji je ponovna uvedba ekstenzivne paše na opuščenih območjih pokazala pozitivne učinke tako na biotsko raznovrstnost travnikov kot na zmanjšanje tveganja požarov (Ruiz-Mirazo et al. 2011; Lasanta et al., 2020).

Pristop mora biti prilagodljiv, pri čemer je treba spremljati učinke na vegetacijo in tveganje požarov ter prilagajati obremenitve in čas paše. Tako zasnovana ciljna paša postane strateška javna naložba, ne strošek, saj zagotavlja ekosistemsko storitev preprečevanja požarov, ohranja edinstveno kulturno krajino in podpira lokalne gospodarske dejavnosti, ki upadajo.

8.8 VZDRŽEVANJE IN VIŠANJE SUHIH ZIDOV

OBRAVNAVANE FUNKCIJE TVEGANJA: Nevarnost, ranljivost

RABA TAL: Gozd, Kraška gmajna, WUI

NIVOJI NAČRTOVANJA: Občinski prostorski načrti

VKLJUČENI AKTERJI: občina, zasebniki, agrarne skupnosti

V kraškem okolju, bodisi na italijanski kakor na slovenski strani, so suhi zidovi sestavni del podeželske in krajinske dediščine, tradicionalno pa se uporabljajo za ograjevanje, omejevanje živine in nadzor erozije. Njihova obnova ali povečanje višine, kjer so delno porušeni, prinaša dodatne prednosti pri zmanjševanju tveganja požara: stabilna kamnita zidana ograja lahko deluje kot fizična pregrada proti požarom, ki se širijo po tleh, saj preprečuje, da bi se nizki plameni in žerjavica hitro širile prek majhnih prekinitev goriva, s čimer upočasni hitrost širjenja in ustvari točke, kjer je mogoče posredovati.

Da bi bili učinkoviti, morajo biti zidovi visoki okoli 80–100 cm (ali višji na območjih z obilno vegetacijo ali strmim naklonom). Pomembno je, da so neprekinjeni na kritičnih točkah: okoli gozdnih območij in na območjih, kjer se stikata urbano in podeželsko okolje. Poleg tega, da so relativno trajne strukture, suhozidne stene prispevajo k ohranjanju identitete kraške pokrajine, zmanjšujejo erozijo na strmih pobočjih in zagotavljajo habitat za različne vrste. Seveda je njihova gradnja zelo zahtevna, v ekstremnih pogojih (močan veter, požarni preskok) pa je njihova učinkovitost omejena.

Sodelovanje z zasebnimi lastniki in skupnimi lastniki na Krasu je ključnega pomena: potrebni so dogovori za stalno vzdrževanje, obnovo od začetka na mestih, kjer je zid izginil, in vključevanje lokalne skupnosti, ki priznava tudi kulturno in zgodovinsko vrednost zidu, ne le njegovo preventivno vlogo. Financiranje bi lahko prišlo iz ukrepov za obvladovanje tveganj, podeželskih skladov, okoljskih ukrepov ali programov, povezanih z bojem proti požarom.

9 NAČRTOVANJE ODPORNOSTI KRAJINE NA GOZDNE POŽARE

9.1 PREPOVED IZDAJE DOVOLJENJ ZA GRADNJO NA OBČUTLJIVIH OBMOČJIH

OBRAVNAVANE FUNKCIJE TVEGANJA: Izpostavljenost, prilagodljivost

RABA TAL: Gozd, Kraška gmajna, WUI

NIVOJI NAČRTOVANJA: Regionalni prostorski načrti, Občinski prostorski načrti

VKLJUČENI AKTERJI: Občina

Uvedba prepovedi (ali vsaj stroge omejitve) izdajanja novih gradbenih dovoljenj v osamljenih območjih, ki so zelo izpostavljena nevarnosti požarov, je neposredni preventivni ukrep: preprečuje povečanje števila prebivalcev in izpostavljene infrastrukture, zmanjšuje potrebo po nujnih ukrepih na težko dostopnih mestih in ohranja pokrajino bolj obvladljivo z vidika zmanjševanja količine goriva. To politiko je treba vključiti v urbanistične načrte in regionalne načrte za preprečevanje požarov, z jasno opredelitvijo območij, na katerih je gradnja prepovedana, na podlagi ocene tveganja (WUI, naklon, dostopnost), pri čemer je treba zagotoviti pravičnost in preglednost z javnimi posvetovanji. Pomen vključevanja prostorskega načrtovanja v obvladovanje tveganja požarov je poudarjen v evropskih smernicah, ki države in regije pozivajo, naj omejitve razvoja na območjih z visokim tveganjem obravnavajo kot strukturni ukrep za odpornost (Mauri in Jankavić, 2023).

9.2 STANDARDI ZA UPORABO OGNJEVARNIH MATERIALOV

OBRAVNAVANE FUNKCIJE TVEGANJA: Ranljivost, prilagodljivost

RABA TAL: WUI

NIVOJI NAČRTOVANJA: Zakonodaja in predpisi

VKLJUČENI AKTERJI: Občina

Določitev zakonskih obveznosti, ki zahtevajo uporabo težko vnetljivih zunanjih materialov (strehe, obloge, okna, zunanji elementi, kot so nadstreški in verande) in izdelkov proti iskrenju (rešetke na prezračevalnih odprtinah, zatesnjene spoje) za nove stavbe na ogroženih območjih je učinkovit ukrep za zmanjšanje tveganja, ki je v primerjavi s potencialno škodo relativno poceni (Oliveira, 2023). Ti standardi morajo biti preneseni v lokalne/gradbene predpise in tehnične norme, ki so skladne s praksami zaščite stavb pred požarom: strokovna literatura in nacionalni predpisi kažejo, da izbira negorljivih materialov in skrbno načrtovanje podrobnosti znatno zmanjšata verjetnost vžiga zaradi žerjave in širjenja ognja na konstrukcije. Tehnična priporočila in nove nacionalne (evropske) gradbene predpise spodbujajo prav integracijo gradbenih zahtev za zaščito pred zunanjimi tveganji, vključno s toplotnimi obremenitvami in iskrenjem.

9.3 MOZAIČNOST KRAJINE

OBRAVNAVANE FUNKCIJE TVEGANJA: Ranljivost, Prilagodljivost

RABA TAL: Gozd, Gmajna, WUI

NIVOJI NAČRTOVANJAL: Občinski prostorski načrti, Regionalni prostorski načrti, Gozdnogospodarski načrt gozdnogospodarskega območja

VKLJUČENI AKTERJI: Ministrstvo za naravne vire in prostor, občina, Zavod za gozdove, zasebniki, skupne lastnine, kmetije

Načrtovanje in vzdrževanje mozaičnosti, tj. namerno načrtovanje krajine in upravljanje ozemlja, ki izmenjuje območja, izpostavljena antropogenim dejavnostim (paša, redčenje, protipožarni pasovi, kmetijske kulture), z bolj naravnimi območji, zmanjšuje prostorsko kontinuiteto vnetljivega materiala in omejuje obseg in intenzivnost požarov.

Cilj je razdeliti območja z visoko nevarnostjo na manjše dele, med katerimi so območja z manj gorljivim materialom, da se prekine ogenj in olajša gašenje.

Primerjalne študije različnih načinov obravnave kažejo, da lahko pristopi, ki dajejo prednost ohranjanju mozaičnosti, namesto neposrednih ukrepov upravljanja s požarnimi pasovi, povečajo odpornost pokrajine, spodbujajo biotsko raznovrstnost in zmanjšajo verjetnost nastanka velikih požarov, če je mozaičnost načrtovana v obsegu, ki je združljiva z dinamiko lokalnega ognja (Duncan et al., 2015; Lasanta et al., 2022). Pomembno je, da politike upravljanja že v fazi načrtovanja spodbujajo razvoj mozaičnosti različnih in integriranih rabe tal, med katerimi so paša, kmetijstvo z letnimi in trajnimi kulturami ter koridorji brez drevesne vegetacije, in sicer s spremembami funkcionalne razdelitve območij in krajinskih načrtov.

9.4 PLAČILA ZA EKOSISTEMSKESKE STORITVE (PES)

OBRAVNAVANE FUNKCIJE TVEGANJA: Prilagodljivost

RABA TAL: Gozd, gmajna, WUI

NIVOJI NAČRTOVANJA: Zakonodaja in predpisi

VKLJUČENI AKTERJI: Ministrstvo za naravne vire in prostor, občina, zasebniki, skupne lastnine, kmetje

Plačila za ekosistemske storitve (PES) za preprečevanje požarov so sistemi finančnih spodbud, ki lastnikom ali upravljavcem zemljišč (zasebnikom, lokalnim organom, podjetjem) plačujejo za merljive in preverjene dejavnosti, ki prinašajo okoljske storitve, koristne za skupnost – v tem primeru zmanjšanje tveganja požara z zmanjšanjem količine goriva, ekstenzivno pašo, redčenjem in aktivnim upravljanjem podrasti. Pristop PES se lahko oblikuje kot neposredno plačilo za ukrep (pay-for-action), na primer plačilo zasebnemu državljanu, če je izvedel redčenje podrasti na določenem območju, ali kot plačilo, vezano na rezultate (pay-for-outcome), v primeru, da se ne plača za izvedbo redčenja, ampak za ohranjanje vegetacijskega pokrova na vnaprej določeni gostoti. Alternativno se lahko zasnujejo kot spodbujevalni programi, vključeni v širše kmetijsko-okoljske ukrepe; programi, usmerjeni v aktivno upravljanje (npr. plačilo za ciljno pašo ali za aktivno upravljanje protipožarne pasove), so učinkovitejši, če se opredelijo preverljivi kazalniki in jasni mehanizmi monitoringa.

Prek PES se lahko nadomestijo naslednje dejavnosti: (i) izbiralna sečnja in redčenje za zmanjšanje gostote krošnje; (ii) odstranjevanje in predelava mrtve lesne biomase (sekanje, proizvodnja biomase za energijo) s plačilom za storitev zbiranja; (iii) ciljno pašo (s plačili na podlagi kontrolirane živine ali na hektar obdelane površine); (iv) vzdrževanje protipožarnih pasov in pašniške infrastrukture; (v) plačila kmetijskim gospodarstvom za monitoring in certificiranje (npr. za ohranjanje standardov trajnostnega upravljanja). Pomembni ukrepi načrtovanja so večletne pogodbe (3–5 let), različna plačila glede na opravljeno storitev in predvsem merljivost kazalnikov (kot so zmanjšanje biomase, gostota grmovja, indeksi vegetacijskega pokrova).

FINANCIRANJE VZDRŽEVANJA GOZDA

Zagotovitev zadostnih sredstev je ključnega pomena: to vključuje finančna sredstva za opremo, gasilsko osebje, usposabljanje, infrastrukturo (dostopne poti, vodne zbiralnike, operativne centre) in vzdrževanje vegetacije. Sredstva se lahko dodelijo iz nacionalnih, regionalnih in občinskih proračunov v okviru načrtov za gašenje gozdnih požarov in civilno zaščito. Regije so pristojne za preprečevanje in usklajevanje boja proti gozdnim požarom, v svoje načrte pa vključijo načrtovanje potrebnih človeških, finančnih in materialnih virov. Na evropski ravni so glavni instrumenti, ki lahko financirajo (ali olajšajo) PES in plačila za protipožarne ukrepe, Evropski kmetijski sklad za razvoj podeželja (FEASR/programi za razvoj podeželja (PSR), 2. steber skupne kmetijske politike (SKP)) in programi LIFE za demonstracijske ali ohranitvene projekte. Evropska komisija je pripravila smernice za razvoj javnih in zasebnih shem plačil za gozdarske storitve, v katerih je poudarila možnosti za integracijo z regionalnimi skladi in državnimi programi (npr. ProForPES in smernice EU). Ukrepi PSR vključujejo kmetijsko-okoljske instrumente in naložbe v podeželsko infrastrukturo, ki se lahko načrtujejo za plačilo zmanjšanja količine goriva (sekanje, drobljenje, ograje za pašo, napajališča). Vendar pa literatura kaže mešane rezultate glede učinkovitosti sredstev PSR pri zmanjševanju tveganja požarov, pogosto zaradi problemov obsega, prostorskega ciljanja ali nezadostne finančne kontinuitete. Zato avtorji priporočajo bolj usmerjene sheme PES, usklajene s politiko preprečevanja požarov.

Na nacionalni in regionalni ravni (primeri in praktični mehanizmi): številne države članice in regije izvajajo ukrepe, ki sicer niso vedno poimenovani „PES“, vendar delujejo kot taki – to so plačila ali prispevki lastnikom za ukrepe v javnem interesu. Konkretni primeri vključujejo programe, ki plačujejo za namensko pašo, prispevke za selektivno sekanje in odstranjevanje/izkoriščanje biomase (sekanje, lokalne verige), ali nagrade za gozdno certificiranje (FSC/PEFC), ki vključujejo preventivne ukrepe. Študije programov, kot je mreža RAPCA (mreža pašnikov kot protipožarnih pasov) v Andaluziji, kažejo izvedljivost in trajnost plačil, ki ohranjajo območja brez grmovja in dreves, ki se upravljajo s pomočjo paše (Ruiz-Mirazo et al., 2011). Dobro zasnovani regionalni programi (z večletnimi pogodbami, plačili, razlikovanimi glede na intenzivnost upravljanja, in biometričnimi kontrolami) povečujejo udeležbo zasebnikov in kontinuiteto upravljanja.

9.5 OBMOČJA ZA POSEGE V GOZDOVIH

OBRAVNAVANE FUNKCIJE TVEGANJA: Nevarnost, ranljivost, prilagodljivost

RABA TAL: Gozd, gmajna WUI

NIVOJI NAČRTOVANJA: Občinski prostorski načrti, Regionalni prostorski načrti, Gozdnogospodarski načrt gozdnogospodarskega enote

VKLJUČENI AKTERJI: Ministrstvo za naravne vire in prostor, ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, občina, Zavod za gozdove, zasebniki, skupne lastnine, kmetje

Portugalski model Zonas de Intervenção Florestal (ZIF) ali območja za posege v gozdovih je primer, kako je mogoče z zakonodajnimi ukrepi olajšati usklajeno upravljanje gozdnih območij, ki so razdeljena na več lastniških enot. V načrtih za preprečevanje požarov je Portugalska v gozdovih z največjim tveganjem za požare uvedla tako imenovane ZIF, gozdna območja, katerih lastniki zemljišč se združujejo v usklajeno in trajnostno upravljanje gozdnega bogastva. Na ta način se tudi zasebnim lastnikom zemljišč, ki nimajo na voljo gospodarskih virov in tehničnih zmogljivosti, omogoči sodelovanje pri upravljanju gozda. V vsakem ZIF je upravljanje zaupano enemu samemu subjektu (javnemu ali zasebnemu), ki ga izberejo lastniki in ki načrtuje in izvaja skupne ukrepe za zmanjšanje tveganja požara – kot so redčenje, protipožarni pasovi ali paša – s tehnično in finančno podporo. Cilji ZIF so vzdrževanje gozda, zmanjšanje tveganja požara in valorizacija gozdnih virov.

ZIF določajo cilje upravljanja z gorivom in vzdrževanje zaupajo enemu samemu koordinatorju, ki ima pogosto dostop do javnih spodbud in tehnične podpore gozdarskih organov (Valente, Coelho in Soares, 2013). Portugalski pravni okvir spremljajo tudi instrumenti, ki omogočajo javno posredovanje na zasebnih območjih v primerih neizpolnjevanja obveznosti (obvezni ukrepi upravljanja ali nadomestno posredovanje), in predvideva integrirane nacionalne načrte, ki podpirajo te ukrepe. Ta izkušnja kaže, da so teritorialno usklajevanje in možnost javnih ukrepov na zasebnem področju (s pravili in nadomestili) bistvenega pomena za premagovanje razdrobljenosti zemljišč in omogočanje vzdrževanja gozdov v velikem obsegu.

10 PREPREČEVANJE TVEGANJA IN CIVILNA ZAŠČITA

10.1 SISTEMI JAVNEGA OBVEŠČANJA IN ALARMIRANJA PO JAVNIH MOBILNIH OMREŽJIH

OBRAVNAVANE FUNKCIJE TVEGANJA: Sposobnost odziva na nesrečo

RABA TAL: WUI

NIVOJI NAČRTOVANJA: Civilna zaščita

VKLJUČENI AKTERJI: Ministrstvo za obrambo, Civilna zaščita, Gasilska zveza, ARSO

Sistemi javnega obveščanja in alarmiranja so ključnega pomena za pravočasno opozarjanje prebivalstva v primeru izredno resnih izrednih razmer, kot so gozdni požari. Načini delovanja predvidevajo sporočila kakor „opozorilo“, „nevarnost“, „izredne razmere“ glede na resnost, identiteto tveganja, izdajatelja in vsebino; ta sporočila so vključena v regionalne in nacionalne načrte opozarjanja in morajo biti jasna, razumljiva, s konkretnimi navodili za samozaščito prebivalstva.

Karst Firewall Portal ponuja sistem obveščanja prek e-pošte, SMS-ov in poročil na WhatsAppu, ko se sproži alarmni dogodek, ki ga generirajo podatki iz okoljskih senzorjev (IR-kamere, elektronski nosovi, satelitski podatki) in algoritem AI, povezan z indeksom Fire Weather Index. Sistem obveščanja je namenjen operaterjem in koordinatorjem dejavnosti v izrednih razmerah. Prek portala KF5.0 je mogoče spremljati podatke v realnem času. Infordata je v sodelovanju z gasilci iz Borovnice (Slovenija) v okviru projekta KF5.0 razvila mobilno aplikacijo „Gasilski kviz“ za ozaveščanje o tveganjih in obvladovanju požarov, namenjeno otrokom in mladim (pionirji, mladinci, pripravniki) z orodji za e-učenje in kvizi „gamification“ ter orodji za signaliziranje požarnih tveganj.

10.2 OZAVEŠČANJE O NEVARNOSTI ZARADI POŽAROV IN PREDPISI O RAVNANJU V OBDOBJIH NAJVEČJE NEVARNOSTI

OBRAVNAVANE FUNKCIJE TVEGANJA: Nevarnost, sposobnost odziva na nesrečo, prilagodljivost

RABA TAL: WUI

NIVOJI NAČRTOVANJA: Civilna zaščita

VKLJUČENI AKTERJI: Občina, Ministrstvo za Okolje in Prostor, Uprava za Zaščito in reševanje, Civilna zaščita, Gasilska zveza, ARSO

Usposabljanje in ozaveščanje sta temeljni stebri odpornosti: Civilna zaščita, regije in lokalne oblasti organizirajo tečaje za prostovoljce AIB, lokalne izvajalce, župane, podjetja in državljane, da bi spodbujali kulturo preprečevanja, poznavanje občinskih/regionalnih načrtov, samozaščito in pravilno ravnanje med alarmom ali izrednimi razmerami.

V obdobjih visoke nevarnosti se predpisujejo ali priporočajo obvezni ali močno priporočeni ukrepi za podjetja, zasebno infrastrukturo, živinorejce in državljane: na primer prepoved kurjenja odprtih ognjev, uporabe opreme, ki proizvaja iskre, obveznost čiščenja območij okoli stanovanj, obveznost pripravljenosti gasilnih sredstev. Čeprav se te zahteve ne izvajajo vedno enotno, so del sezonskih odredb, ki se izdajajo ob kampanji za preprečevanje gozdnih požarov.

11 ODKRIVANJE POŽAROV V REALNEM ČASU – EARLY WARNING SYSTEM

11.1 MONITORING GOZDA S SATELITI

OBRAVNAVANE FUNKCIJE TVEGANJA: Nevarnost, sposobnost odziva na nesrečo

RABA TAL: Gozd, gmajna, WUI

NIVOJI NAČRTOVANJA: Civilna zaščita

VKLJUČENI AKTERJI: Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje, Zavod za gozdove Slovenije, Gasilska zveza, Civilna zaščita, Agencija RS za okolje

Zgodnje odkrivanje požarov s satelitskimi posnetki uporablja podatke iz satelitov v orbiti, tako polarni kot geostacionarni, ki zajemajo multispektralne in toplotne posnetke za odkrivanje toplotnih anomalij, sprememb v spektralnih značilnostih vegetacije ali dimnih oblakov, pogosto podprtih s strojnim učenjem za avtomatsko analizo. Dokazano je, da uporaba satelitskih posnetkov (Landsat-8) v kombinaciji s tehnikami avtomatskega učenja omogoča odkrivanje aktivnih požarov z obsežnim prostorskim pokritjem, kar je koristno za velika območja (Singh, Ang in Srivastava, 2025). Druge študije kažejo, da hiperspektralne slike izboljšujejo sposobnost razlikovanja med dejanskimi požari in lažnimi anomalijami (npr. visoke temperature, ki niso povezane s požari) (Thangavel et al., 2023). Geostacionarni sateliti nove generacije omogočajo zelo pogosto skeniranje (na območju Evrope vsakih nekaj minut), kar omogoča opozorilo nekaj ur pred aktiviranjem tradicionalnih omrežij, zlasti pri hitro razvijajočih se požarih. Žal prostorske ločljivosti niso vedno dovolj visoke, da bi lahko zaznali majhna žarišča, zmogljivost zaznavanja pa se znatno zmanjša v prisotnosti oblačnosti ali atmosferskih motenj.

S projektom Karst Firewall 5.0 uvajamo integriran sistem za monitoring gozdov v realnem času, ki vključuje satelitske podatke iz evropskega sistema Copernicus, podatke iz slik IR-nadzornih kamer, okoljskih senzorjev (vremenske postaje, elektronski nosovi) in algoritma IA KF5.0.

11.2 MONITORING GOZDA Z VIDEO NADZOROM

OBRAVNAVANE FUNKCIJE TVEGANJA: Nevarnost, sposobnost odziva na nesrečo

RABA TAL: Gozd, gmajna, WUI

NIVOJI NAČRTOVANJA: Gozdnogospodarski načrt, Civilna zaščita

VKLJUČENI AKTERJI: Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje, Zavod za gozdove Slovenije, Gasilska zveza, Civilna zaščita, Agencija RS za okolje

Nadzor s fiksnimi kamerami in kamerami, nameščenimi na dronih, je ena najbolj neposrednih in učinkovitih oblik zgodnjega odkrivanja požarov: fiksne kamere se lahko namestijo na stolpe, drogove ali stavbe ob gozdnem robu ali v območjih WUI za neprekinjeno nadzorovanje, medtem ko droni zagotavljajo prožnost in mobilnost za redno patroljiranje, zlasti v oddaljenih ali težko dostopnih območjih. Pridobljene slike (vidne, RGB; včasih infrardeče) se analizirajo z algoritmi umetnega vida (globoko učenje, nevronske mreže, transformatorji) za prepoznavanje dima, barvnih sprememb, isker ali časovnih vzorcev skritega dima. Nedavna študija je pokazala, da model zaznavanja z vidnimi kamerami doseže 80,4-odstotno stopnjo pravilnih pozitivnih rezultatov z zelo nizko stopnjo lažnih pozitivnih rezultatov ($\approx 1,13\%$) na velikem nizu slik, ki vsebujejo dimne oblake (Fernandes, Utkin in Chaves, 2023). Droni, opremljeni z omnidirekcionalnimi ali fisheye (širokokotnimi) kamerami, omogočajo pokrivanje večjih območij z manj fiksnimi opazovalnimi točkami, pri čemer ocenijo lokacijo ognjišča s pomočjo GPS-koordinacij posnetkov in pošiljajo avtomatske alarme prek omrežij IoT. Omejitve so omejena vidljivost (dim, megla, noč ali slabo vreme), poraba energije, potreba po vzdrževanju in posodabljanju modelov umetne inteligence za zmanjšanje lažnih alarmov; poleg tega omrežje kamer/dronov zahteva naložbe ne le v strojno opremo, temveč tudi v podatkovno infrastrukturo in operativne postopke.

11.3 SENZORJI ZA ZGODNJE ODKRIVANJE POŽAROV

OBRAVNAVANE FUNKCIJE TVEGANJA: Nevarnost, sposobnost odziva na nesrečo

RABA TAL: Gozd, gmajna, WUI

NIVOJI NAČRTOVANJA: Gozdnogospodarski načrt, Civilna zaščita

VKLJUČENI AKTERJI: Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje, Zavod za gozdove Slovenije, Gasilska zveza, Civilna zaščita, Agencija RS za okolje

Na ranljivih območjih, kot je Kras, lahko uvedba pametnih senzorskih mrež za zgodnje odkrivanje požarov pomeni velik napredek v preprečevanju požarnih nevarnosti. Senzorji IoT, nameščeni na stebrih ali drevesih vzdolž pobočij in grebenov, lahko signalizirajo prisotnost požara že v fazi gorenja brez plamena, saj zaznavajo prisotnost plinov v zraku, značilnih za gorenje in pirolizo, in sicer:

- Ogljikov monoksid (CO);
- Ogljikov dioksid (CO₂);
- Vodik (H₂);
- Hlapne organske spojine (VOC);
- Plini in hlapi, ki nastanejo pri pirolizi/razgradnji goriva;

Lokalne spremembe vlažnosti in temperature.

Senzorje je najbolje namestiti na višini vsaj 2–3 metre, da se prepreči poškodbe zaradi ognja blizu tal, vlage in živali. Če ni stabilnih virov energije, jih je mogoče napajati s sončnimi celicami. Razmiki med senzorji morajo biti takšni, da pokrivajo območja z visokim tveganjem, vendar je treba zmanjšati njihovo skupno število, da se omejijo stroški in vzdrževanje. V primerjavi z drugimi oblikami zaznavanja, kot so na primer sateliti, imajo senzorji prednost, da lahko skrajšajo čas opozarjanja, vendar njihovi visoki stroški namestitve in vzdrževanja otežujejo njihovo uporabo na večjih območjih. Poleg tega so pogosti lažni alarmi, na primer zaradi nenadnih vremenskih sprememb ali dima iz kmetijskih dejavnosti. Nedavne študije so pokazale, da so modeli, opremljeni s programsko opremo, podprto z umetno inteligenco, bolj sposobni zaznati požare v krajšem času (De Rango et al., 2025).

12 VIRI

- Agee, J.K. and Skinner, C.N. (2005) 'Basic principles of forest fuel reduction treatments', *Forest Ecology and Management*, 211(1–2), pp. 83–96. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.01.034>.
- Blitch, W., Sovie, A., & Tobin, B. (2023). Predictive modeling of cave entrance locations: Relationships between surface and subsurface morphology. *International Journal of Speleology*, 52(2), 101–108. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.52.2.2455>
- Brown, J. L. (2014). SDMtoolbox: A python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. *Methods in Ecology and Evolution*, 5(7), 694–700. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12200>
- Brun, P., Zimmermann, N. E., Hari, C., Pellissier, L., & Karger, D. N. (2022). *CHELSEA-BIOCLIM+ A novel set of global climate-related predictors at kilometre-resolution* (Versione 1.0) [Geotiff,PDF]. EnviDat. <https://doi.org/10.16904/ENVIDAT.332>
- De Rango, A. et al. (2025) 'Wildfire Early Warning System Based on a Smart CO2 Sensors Network', *Sensors*, 25(7), p. 2012. Available at: <https://doi.org/10.3390/s25072012>.
- Djabri, A. D., Bouhata, R., Guellouh, S., & Bensekhria, A. (2024). Wildfire Vulnerability Assessment and Mapping Using Remote Sensing, GIS and Weighted Overlay Method in the Eastern Aures in Khenchela, Algeria. *Geoadria*, 28(2), 191–210. <https://doi.org/10.15291/geoadria.4218>
- Duncan, B.W. et al. (2015) 'Comparing fuels reduction and patch mosaic fire regimes for reducing fire spread potential: A spatial modeling approach', *Ecological Modelling*, 314, pp. 90–99. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.07.013>.
- Dupuy, J., Fargeon, H., Martin-StPaul, N., Pimont, F., Ruffault, J., Guijarro, M., Hernando, C., Madrigal, J., & Fernandes, P. (2020). Climate change impact on future wildfire danger and activity in southern Europe: A review. *Annals of Forest Science*, 77(2), 35. <https://doi.org/10.1007/s13595-020-00933-5>
- Fernandes, A.M., Utkin, A.B. and Chaves, P. (2023) 'Automatic early detection of wildfire smoke with visible-light cameras and EfficientDet', *Journal of Fire Sciences*, 41(4), pp. 122–135. Available at: <https://doi.org/10.1177/07349041231163451>.
- Gigović, & Jakovljević. (2018). GIS Multi-Criteria Analysis for Identifying and Mapping Forest Fire Hazard: Nevesinje, Bosnia and Herzegovina. *Tehnicki Vjesnik - Technical Gazette*, 25(3). <https://doi.org/10.17559/TV-20151230211722>

- Goleiji, E., Hosseini, S. M., Khorasani, N., & Monavari, S. M. (2017). Forest fire risk assessment-an integrated approach based on multicriteria evaluation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(12), 612. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6225-7>
- González-Olabarria, J.-R. and Pukkala, T. (2011) 'Integrating fire risk considerations in landscape-level forest planning', *Forest Ecology and Management*, 261(2), pp. 278–287. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.10.017>.
- Granceri Bradaschia, M., Giacomo, M., Longato, D., Domen, P., Maragno, D., & Musco, F. (2025). Valutazione del cambiamento climatico sul carso, tra italia e slovenia / ocena podnebnih sprememb na krasu med Italijo in Slovenijo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18230894>
- Holuša, J. et al. (2021) 'A simple model indicates that there are sufficient water supply points for fighting forest fires in the Czech Republic', *International Journal of Wildland Fire*, 30(6), pp. 428–439. Available at: <https://doi.org/10.1071/WF20103>.
- Karger, D. N., Conrad, O., Böhrer, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R. W., Zimmermann, N. E., Linder, H. P., & Kessler, M. (2017). Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific Data*, 4(1), 170122. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122>
- Kim, S. J., Lim, C.-H., Kim, G. S., Lee, J., Geiger, T., Rahmati, O., Son, Y., & Lee, W.-K. (2019). Multi-Temporal Analysis of Forest Fire Probability Using Socio-Economic and Environmental Variables. *Remote Sensing*, 11(1), 86. <https://doi.org/10.3390/rs11010086>
- Lasanta, T. et al. (2020) 'Soil quality and soil organic carbon storage in abandoned agricultural lands: Effects of revegetation processes in a Mediterranean mid-mountain area', *Land Degradation & Development*, 31(18), pp. 2830–2845. Available at: <https://doi.org/10.1002/ldr.3655>.
- Lasanta, T. et al. (2022) 'An environmental management experience to control wildfires in the mid-mountain mediterranean area: Shrub clearing to generate mosaic landscapes', *Land Use Policy*, 118, p. 106147. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106147>.
- Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703–726. <https://doi.org/10.1080/13658810600661508>
- Maniatis, Y., Doganis, A., & Chatzigeorgiadis, M. (2022). Fire Risk Probability Mapping Using Machine Learning Tools and Multi-Criteria Decision Analysis in the GIS Environment: A Case Study in the National Park Forest Dadia-Lefkimi-Soufli, Greece. *Applied Sciences*, 12(6), 2938. <https://doi.org/10.3390/app12062938>
- Mauri, E. and Jankavić, M. (2023) Wildfire risk planning and prevention - Innovations in the Mediterranean and beyond. European Forest Institute. Available at: <https://doi.org/10.36333/rs8en>.

- McKinney, S.T. et al. (2022) 'A systematic review of empirical evidence for landscape-level fuel treatment effectiveness', *Fire Ecology*, 18(1), p. 21. Available at: <https://doi.org/10.1186/s42408-022-00146-3>.
- Merow, C., Smith, M. J., & Silander, J. A. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: What it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36(10), 1058–1069. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x>
- Mishra, B., Panthi, S., Poudel, S., & Ghimire, B. R. (2023). Forest fire pattern and vulnerability mapping using deep learning in Nepal. *Fire Ecology*, 19(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s42408-022-00162-3>
- Oliveira, F.P. (2023) 'Forest Fires and Building Rules', *Civil Engineering Research Journal*, 14(1). Available at: <https://doi.org/10.19080/CERJ.2023.14.555878>.
- Paudel, G., Pandey, K., Lamsal, P., Bhattarai, A., Bhattarai, A., & Tripathi, S. (2024). Geospatial forest fire risk assessment and zoning by integrating MaxEnt in Gorkha District, Nepal. *Heliyon*, 10(11), e31305. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31305>
- Phillips, S. J. (2017). *A Brief Tutorial on Maxent* (p. 39). http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3–4), 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Phillips, S. J., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2), 161–175. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x>
- Phillips, S. J., Dudík, M., Elith, J., Graham, C. H., Lehmann, A., Leathwick, J., & Ferrier, S. (2009). Sample selection bias and presence-only distribution models: Implications for background and pseudo-absence data. *Ecological Applications*, 19(1), 181–197. <https://doi.org/10.1890/07-2153.1>
- RAFGV - DC production, trade, cooperation, agricultural and forest resources – Regional Forestry Corps Service. (2024). *Fire beginning point* [Dataset].
- Ruiz-Mirazo, J., Robles, A.B. and González-Rebollar, J.L. (2011) 'Two-year evaluation of fuelbreaks grazed by livestock in the wildfire prevention program in Andalusia (Spain)', *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 141(1), pp. 13–22. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.02.002>.
- Saaty, T. I. (2002). *DECISION MAKING WITH THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS*. 9(3), 215–229.
- Shinneman, D.J. et al. (2019) 'The ecological uncertainty of wildfire fuel breaks: examples from the sagebrush steppe', *Frontiers in Ecology and the Environment*, 17(5), pp. 279–288. Available at: <https://doi.org/10.1002/fee.2045>.

- Singh, H., Ang, L.-M. and Srivastava, S.K. (2025) 'Active wildfire detection via satellite imagery and machine learning: an empirical investigation of Australian wildfires', *Natural Hazards*, 121(8), pp. 9777–9800. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-025-07163-w>.
- Sivrikaya, F., & Küçük, Ö. (2022). Modeling forest fire risk based on GIS-based analytical hierarchy process and statistical analysis in Mediterranean region. *Ecological Informatics*, 68, 101537. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101537>
- Spadoni, G.L. et al. (2023) 'Active governance of agro-pastoral, forest and protected areas mitigates wildfire impacts in Italy', *Science of The Total Environment*, 890, p. 164281. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164281>.
- Starns, H.D. et al. (2019) 'Recoupling fire and grazing reduces wildland fuel loads on rangelands', *Ecosphere*, 10(1), p. e02578. Available at: <https://doi.org/10.1002/ecs2.2578>.
- Stephens, S.L. et al. (2012) 'The Effects of Forest Fuel-Reduction Treatments in the United States', *BioScience*, 62(6), pp. 549–560. Available at: <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.6.6>.
- Sušnik, A., Vlahović, Ž., Moderc, A., & Habič, B. (2023). *Prilagajanje podnebnim spremembam. [PP14] Kmetijske suše*. Agencija RS za okolje. <https://kazalci.arso.gov.si/sl/content/kmetijske-suse-0>
- Thangavel, K. et al. (2023) 'Autonomous Satellite Wildfire Detection Using Hyperspectral Imagery and Neural Networks: A Case Study on Australian Wildfire', *Remote Sensing*, 15(3), p. 720. Available at: <https://doi.org/10.3390/rs15030720>.
- Valente, S., Coelho, C. and Soares, J. (no date) 'Forest Intervention Areas (ZIF): A New Approach for Non-Industrial Private Forest Management in Portugal'.
- Vilar, L., Gómez, I., Martínez-Vega, J., Echavarría, P., Riaño, D., & Martín, M. P. (2016). Multitemporal Modelling of Socio-Economic Wildfire Drivers in Central Spain between the 1980s and the 2000s: Comparing Generalized Linear Models to Machine Learning Algorithms. *PLOS ONE*, 11(8), e0161344. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161344>
- Yang, X., Jin, X., & Zhou, Y. (2021). Wildfire Risk Assessment and Zoning by Integrating Maxent and GIS in Hunan Province, China. *Forests*, 12(10), 1299. <https://doi.org/10.3390/f12101299>