

Soluzione innovativa per la prevenzione e l'allarme precoce degli incendi carsici (O.2.1)

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 SUL PROGETTO / INFORMACIJE

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 dell'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, la prevenzione dei rischi 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/karst-firewall-50
Numero del documento / Številka dokumenta:	OUTPUT 2.1
Titolo del documento / Naslov dokumenta:	Soluzione innovativa per la prevenzione e l'allarme precoce degli incendi carsici Inovativna rešitev za preprečevanje kraških požarov in zgodnje opozarjanje
Work Package:	2
Attività / Aktivnost:	Output 2.1 — Indicatore 2.1.1; Periodo 4, mesi 19–24
Partner responsabili (autori) / Odgovorni partnerji (avtorji):	PP2 — Infordata Sistemi Srl; con il contributo di IUAV (LP), ZRC SAZU, Comune di Duino-Aurisina, Občina Miren-Kostanjevica e KID PiNA
Luogo e data di pubblicazione / Kraj in datum objave:	Luglio 2026 — versione 0.1 (bozza)

SCHEDA DELL' OUTPUT

Campo	Valore
Numero dell'output	2.1
Titolo output	Soluzione innovativa per la prevenzione e l'allarme precoce degli incendi carsici
Indicatore output programma	2.1.1 — Azioni pilota sviluppate congiuntamente e implementate dai progetti
Unità di misura	azioni pilota
Valore obiettivo output	2,00
Periodo di consegna	Periodo 4, mesi 19–24

Descrizione dell'output (da Application Form). La soluzione innovativa per la prevenzione e l'allerta precoce degli incendi carsici comprende un sistema completo che integra tecnologie avanzate, analisi dei dati e strategie di comunicazione efficienti per rilevare, prevenire e gestire efficacemente gli incendi nella landa carsica. Le caratteristiche principali sono: piattaforma digitale integrata, sistemi di monitoraggio in tempo reale, algoritmi di apprendimento automatico, sistemi di allarme precoce e analisi e visualizzazione dei dati.

Perimetro del documento. Il presente output descrive la soluzione digitale sviluppata nell'ambito delle attività di progetto Karst Firewall 5.0. Il simulatore di propagazione PyroWISE, sviluppato come attività extra rispetto al perimetro progettuale, non è oggetto del presente documento. È invece incluso il sistema informativo pubblico della piattaforma (indice K-FWI, allerte MeteoAlarm e altri dati pubblici del portale <https://kf50.infordata.it/portal>).

ABBREVIAZIONI

Sigla	Significato
ARPA FVG	Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Friuli Venezia Giulia (IT)
ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje (SLO)
AOI	Area of Interest — area operativa di riferimento
EFFIS	European Forest Fire Information System
FWI	Fire Weather Index (sistema canadese: FFMC, DMC, DC, ISI, BUI)
K-FWI	Karst Fire Weather Index — indice FWI calibrato per il Carso, arricchito con modello ML di ignizione
GDPR	Regolamento Generale sulla Protezione dei Dati (UE 2016/679)
INSPIRE	Direttiva 2007/2/CE per l'infrastruttura per l'informazione territoriale in Europa
IoT	Internet of Things
LoRa	Long Range — protocollo radio a lungo raggio e bassa potenza
MeteoAlarm	Rete europea di allertamento meteo (EUMETNET)
ML	Machine Learning
RBAC	Role-Based Access Control
URSZR	Uprava RS za zaščito in reševanje (SLO)
XGBoost	eXtreme Gradient Boosting
ZGS	Zavod za gozdove Slovenije
ZRC SAZU	Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti

SCHEDA DELL' OUTPUT	3
ABBREVIAZIONI	4
1 ABSTRACT	7
2 OBIETTIVI E CONTESTO	8
2.1 Il problema	8
2.2 Obiettivi della soluzione	8
2.3 Le due azioni pilota	9
3 ARCHITETTURA DELLA SOLUZIONE	9
3.1 Visione d'insieme	9
3.2 Sicurezza, ruoli e multilinguismo	10
4 LA BASE DATI TRANSFRONTALIERA (da D2.1.2)	10
4.1 I numeri del dataset	10
4.2 Cosa raccontano i dati	11
5 ALGORITMI DI APPRENDIMENTO AUTOMATICO E K-FWI	12
5.1 Dal FWI generico al modello locale (D1.2.1)	12
5.2 Il Karst Fire Weather Index (K-FWI)	13
5.3 Conformità etica e AI Act	13
6 SISTEMI DI MONITORAGGIO IN TEMPO REALE	14
6.1 Rete meteorologica	14
6.2 Rete sensoristica IoT — i "nasi elettronici"	14
6.3 Osservazione satellitare e fonti esterne	15
7 SISTEMA DI ALLARME PRECOCE	15
7.1 Matrice di allerta e notifiche	15
7.2 MeteoAlarm transfrontaliero	15
7.3 Livelli di risposta raccomandati (D1.2.2)	16
8 ANALISI E VISUALIZZAZIONE DEI DATI	16
8.1 Strumenti operativi	16
8.2 Statistiche e analisi	17
9 IL SISTEMA INFORMATIVO PUBBLICO — https://kf50.infordata.it/portal	17
10 RISULTATI PRELIMINARI DELLA MESSA IN OPERA	18
10.1 Adozione da parte degli enti	18
10.2 Registro operativo transfrontaliero	18

10.3 Utilizzo del portale pubblico	19
10.4 Validazione con gli stakeholder (D.2.3.3)	19
10.5 Dispiegamenti sul campo	19
11 LINEE GUIDA E GOVERNANCE (da D1.2.2)	20
12 CONCLUSIONI E SVILUPPI	20
RIFERIMENTI	21

1 ABSTRACT

L'Output 2.1 presenta la **soluzione innovativa per la prevenzione e l'allarme precoce degli incendi carsici** sviluppata dal progetto Karst Firewall 5.0: una piattaforma digitale transfrontaliera che integra in un unico sistema operativo la prima base dati storica congiunta Italia–Slovenia sugli incendi del Carso, una rete di monitoraggio meteorologico e sensoristico in tempo reale, algoritmi predittivi di apprendimento automatico calibrati sul territorio carsico, un sistema strutturato di allarme precoce multicanale e strumenti di analisi e visualizzazione dei dati (mappe 2D/3D, statistiche, cruscotti operativi).

La soluzione risponde a un problema concreto emerso con drammaticità negli incendi dell'estate 2022: il fuoco sul Carso non riconosce i confini amministrativi, mentre i dati, gli strumenti e le procedure dei due Paesi sono rimasti per decenni separati. La piattaforma unifica oltre **5,2 milioni di record meteorologici** (1991–2024, 22 stazioni), **3.958 registrazioni di incendi boschivi** (1995–2023) e oltre **50 layer geospaziali** in un sistema che ogni giorno calcola e pubblica il rischio incendi sull'intera area transfrontaliera.

Il cuore predittivo della soluzione è il **Karst Fire Weather Index (K-FWI)**: un indice di pericolo che unisce la severità meteorologica FWI, ricalibrata sulle soglie reali del Carso, a un modello di ignizione ML addestrato sulla storia degli incendi locali. L'analisi condotta dal progetto ha infatti dimostrato che il **97,3% degli incendi carsici si sviluppa al di sotto delle soglie generiche europee di pericolo "alto"**: la calibrazione locale non è un'ottimizzazione, ma una necessità operativa. Il sistema combinato rileva il **77,5% degli incendi**, contro il **29%** di un approccio basato sul solo FWI meteorologico.

La messa in opera è avviata: la piattaforma operativa e il portale pubblico sono online in quattro lingue (IT/SL/EN/DE), **33 organizzazioni ed enti** dispongono di utenze approvate, il registro operativo censisce **423 sedi e 410 squadre** antincendio dei due Paesi, la rete IoT conta **77 sensori** registrati e il portale pubblico ha servito **3.537 visualizzazioni da 768 visitatori unici** negli ultimi 30 giorni. La validazione con gli stakeholder (deliverable D.2.3.3) ha confermato la coerenza territoriale dello strumento (71% "largamente coerente") e la sua utilità operativa percepita (7/7 tra gli operatori sloveni).

2 OBIETTIVI E CONTESTO

2.1 Il problema

L'altopiano carsico (~1.000 km², 30% in Italia e 70% in Slovenia) è un ecosistema unico e ad alto rischio: substrato calcareo che drena rapidamente le precipitazioni, vegetazione con forte presenza di conifere infiammabili ereditata dai rimboschimenti ottocenteschi, bora che accelera la propagazione, e una fitta interfaccia urbano-forestale. Il cambiamento climatico aggrava il quadro: le analisi del progetto documentano un **riscaldamento di +0,57 °C per decennio (1993–2023)**, con i record storici di temperatura del 2024 su entrambi i versanti, e un incremento della radiazione solare media.

A fronte di un rischio che ignora il confine, la capacità informativa era frammentata: coordinate in sistemi diversi (UTM 33N in Italia, D96/TM in Slovenia), classificazioni degli incendi non allineate, serie meteorologiche con frequenze e protocolli differenti, nessuno strumento condiviso di previsione o allarme.

2.2 Obiettivi della soluzione

1. **Unificare la conoscenza:** costruire la prima base dati transfrontaliera armonizzata su incendi, meteo e territorio del Carso (deliverable D2.1.2).
2. **Prevedere il rischio:** sviluppare algoritmi predittivi calibrati sul territorio (deliverable D1.2.1) e portarli a livello operativo con il K-FWI.
3. **Monitorare in tempo reale:** collegare stazioni meteorologiche, sensori IoT e fonti satellitari in un unico flusso informativo.
4. **Allertare precocemente:** instradare automaticamente gli allarmi verso gli operatori competenti nei due Paesi, con tracciabilità completa.
5. **Rendere accessibile l'informazione:** pubblicare il rischio e i dati ambientali su un portale pubblico multilingue per cittadini, ricercatori e amministrazioni.
6. **Guidare l'allocazione delle risorse:** tradurre le previsioni in linee guida operative e raccomandazioni di policy (deliverable D1.2.2).

2.3 Le due azioni pilota

L'output si concretizza nelle **due azioni pilota congiunte** previste dall'indicatore 2.1.1, sviluppate e implementate congiuntamente dai partner dei due Paesi:

Azione pilota	Contenuto	Territori
1 — Sistema digitale di gestione del rischio	Piattaforma integrata (base dati transfrontaliera, K-FWI, allarme precoce, portale pubblico)	Intera area transfrontaliera del Carso
2 — Rete di monitoraggio sul campo	Stazioni meteo integrate, rete sensori IoT ("nasi elettronici"), registro operativo condiviso	Siti pilota nei Comuni di Duino-Aurisina e Miren-Kostanjevica

Tabella 1 - Descrizione delle due azioni pilota del progetto e dei relativi territori di applicazione.

3 ARCHITETTURA DELLA SOLUZIONE

3.1 Visione d'insieme

La soluzione è organizzata in cinque componenti che condividono la stessa area operativa transfrontaliera (AOI "Carso Italia-Slovenia") e gli stessi contratti dati:

Componente	Funzione	Capitolo
Base dati transfrontaliera	Memoria storica armonizzata: incendi, meteo, territorio	§4
Modelli predittivi / K-FWI	Calcolo giornaliero del rischio per cella sull'intera AOI	§5
Monitoraggio in tempo reale	Stazioni meteo, sensori IoT, fonti satellitari, MeteoAlarm	§6
Sistema di allarme precoce	Matrice di allerta, notifiche multicanale, creazione incidenti	§7
Analisi e visualizzazione	Mappe 2D/3D, statistiche, cruscotti, portale pubblico	§8–9

Tabella 2 - Visione d'insieme dei componenti principali dell'architettura della soluzione e delle loro funzioni.

L'architettura software separa i servizi per responsabilità: l'applicazione principale (cockpit operativo, RBAC, GIS) dialoga via HTTP con il servizio di ingestione meteo (fonti ARSO, ARPA FVG, ARPA Veneto e altre), con il servizio K-FWI e con il gateway della sensoristica IoT/LoRa. I dati sono persistiti su un'architettura a doppio database — **MySQL** per registri strutturati (incendi, organizzazioni, asset) e **InfluxDB** per le serie

temporali meteorologiche ad alta frequenza — scelta che unisce profondità analitica e prestazioni in tempo reale.

3.2 Sicurezza, ruoli e multilinguismo

- **RBAC**: controllo degli accessi basato sui ruoli per operatori, amministratori, gestori comunali, ricercatori e visualizzatori; le organizzazioni partner definiscono politiche granulari di accesso alle risorse.
- **Privacy by design**: i layer cartografici pubblici sono privi di contatti personali; i dati di contatto operativi restano riservati alle viste autenticate, in conformità GDPR.
- **Multilinguismo**: interfaccia operativa e portale pubblico in **italiano, sloveno, inglese e tedesco**, con selettore di lingua persistente; la parità delle traduzioni IT/SL è verificata automaticamente in fase di build.
- **Osservabilità**: endpoint di health-check con verifica dei flussi critici (es. heartbeat del canale MeteoAlarm), per far emergere eventuali interruzioni entro pochi minuti.

4 LA BASE DATI TRANSFRONTALIERA (da D2.1.2)

4.1 I numeri del dataset

Indicatore	Valore
Record meteorologici storici	5.229.216 (campionamento misto 30–60 min)
Stazioni meteorologiche della rete storica	22 (12 ARSO, 10 ARPA FVG)
Copertura temporale meteo	1991–2024 (34 anni; 8 stazioni con 20+ anni)
Registrazioni incendi boschivi	3.958 (1995–2023), georeferenziazione 100%
Superficie totale bruciata (1995–2023)	53.074 ha
Layer geospaziali	50+ (uso suolo, DTM, viabilità, infrastrutture, vegetazione)
Griglia di lavoro	3 m × 3 m (DTM fino a 1 m; output rischio aggregati a 100 m)
Completezza serie meteo	94,2% (99,1% dei valori entro range fisici)

Tabella 3 - Numeri e indicatori principali del dataset

L'armonizzazione ha richiesto la riproiezione di tutti i dati nel sistema unificato WGS84 (EPSG:4326) preservando i sistemi originali (UTM 33N italiano, D96/TM sloveno), il riallineamento delle classificazioni nazionali degli incendi e la normalizzazione delle frequenze di campionamento. Il dataset è conforme agli standard **INSPIRE**, **ISO 19115/19139** e **DCAT-AP**, con metadati multilingue e catalogo CSW, e si integra con i sistemi europei EFFIS, Copernicus e GWIS per la validazione incrociata.

4.2 Cosa raccontano i dati

Distribuzione dimensionale degli incendi (1995–2023):

Categoria	N. eventi	Area media (ha)	% eventi
≤ 1 ha (piccolissimi)	2.972	0,24	75,09%
1,1–10 ha (piccoli)	791	3,15	19,98%
10,1–100 ha (medi)	161	31,73	4,07%
100,1–1.000 ha (grandi)	27	240,45	0,68%
1.000–10.000 ha (molto grandi)	6	3.464,80	0,15%
> 10.000 ha (estremi)	1	17.482,00	0,03%

Tabella 4 - Distribuzione dimensionale degli incendi storici registrati nel periodo 1995-2023.

La distribuzione è fortemente asimmetrica: gli incendi grandi (>100 ha) sono lo **0,86% degli eventi ma l'84,34% dell'area bruciata**. L'evento estremo del 2022 ha bruciato per 7 giorni consecutivi.

Stagionalità:

Stagione	N. eventi	Area media (ha)	%
Primavera (mar–mag)	1.616	8,55	40,83%
Estate (giu–ago)	1.388	26,74	35,07%
Inverno (dic–feb)	695	2,25	17,56%
Autunno (set–nov)	259	2,19	6,54%

Tabella 5 - Distribuzione stagionale degli incendi storici sul territorio.

Distribuzione geografica: Slovenia 2.751 eventi (69,5%, area media 15,87 ha); Italia 1.207 eventi (30,5%, area media 7,79 ha). Gli incendi più estremi si sono sviluppati sul lato sloveno in due terzi dei casi.

Tempi di risposta: il 63,2% degli interventi è attivato immediatamente e l'83% entro 2 ore — un dato che conferma l'efficacia della macchina operativa e sposta il valore aggiunto della soluzione sulla **previsione** e sull'**anticipo dell'allarme**.

Cause: circa il **75% degli eventi ha matrice antropica** (infrastrutture viarie e ferroviarie, dolo, pratiche agricole); il 67,4% degli incendi storici si è sviluppato entro 50 m da una strada. Ciò che è prevedibile è prevenibile: la prossimità alle infrastrutture è uno dei predittori più forti usati dai modelli.

5 ALGORITMI DI APPRENDIMENTO AUTOMATICO E K-FWI

5.1 Dal FWI generico al modello locale (D1.2.1)

Il progetto è partito dal Fire Weather Index canadese — lo standard europeo di valutazione del pericolo — e ne ha misurato i limiti sul Carso: le condizioni locali (bora, suoli carsici a rapido drenaggio, combustibili fini) producono incendi anche con FWI formalmente moderato. Sono state quindi testate diverse classi di algoritmi ML (modelli lineari, probabilistici, K-Nearest Neighbors, modelli ad albero) su dataset costruiti con finestre temporali crescenti di dati meteorologici pre-evento.

Risultati della sperimentazione (D1.2.1):

Modello	Metrica	1 giorno	1 settimana	1 mese
Albero decisionale	Precisione	0,68	0,66	0,65
Albero decisionale	Richiamo	0,59	0,52	0,47
Random Forest	Precisione	0,73	0,70	0,67
Random Forest	Richiamo	0,65	0,58	0,53
XGBoost	Precisione	0,75	0,70	0,68
XGBoost	Richiamo	0,69	0,65	0,61

Tabella 6 - Risultati della sperimentazione e metriche di prestazione dei modelli predittivi di apprendimento automatico.

Dopo ottimizzazione (bilanciamento delle classi, feature engineering, tuning), la configurazione migliore — **XGBoost su finestra meteorologica di 3 settimane** — ha raggiunto **accuratezza 90% e richiamo 81%** (D1.2.1); l'iterazione successiva del modello, addestrata sul dataset consolidato, riporta **accuratezza 97%, richiamo 83%, precisione 81%, F1 82%** (D2.1.2, XGBoost su split temporale 1995–2020 training / 2021–2023 validazione, k-fold stratificato k=5). Le variabili più influenti risultano temperatura, velocità del vento, umidità e radiazione solare — in linea con la comprensione meteorologica del fenomeno.

5.2 Il Karst Fire Weather Index (K-FWI)

Il livello operativo della previsione è il **K-FWI**, che combina:

- la **severità meteorologica FWI** ricalibrata sulle soglie effettive del Carso;
- un **modello spazio-temporale di ignizione** (Random Forest) con feature di densità storica degli hotspot e distanza dalle infrastrutture, con campionamento stagionale corretto;
- le **previsioni FWI Copernicus** per l'orizzonte a breve termine.

Prestazioni documentate del layer K-FWI:

Indicatore	Valore
Rilevamento incendi (modello combinato)	77,5%
Baseline solo-FWI	29%
AUC modello di ignizione (cross-validation spaziale a blocchi)	0,89
AUC su incendi sloveni out-of-domain	0,94
Incendi sotto le soglie generiche europee "High"	97,3%

Tabella 7 - Indicatori e prestazioni documentate dell'indice predittivo Karst Fire Weather Index (K-FWI).

Quest'ultimo dato è la giustificazione scientifica dell'intero approccio: senza calibrazione locale, quasi tutti gli incendi carsici avvengono in giornate che i sistemi europei generici non classificano come pericolose.

Ogni mattina il sistema suddivide l'AOI in celle, calcola per ciascuna la probabilità di incendio del giorno e pubblica la **mappa del rischio a tre livelli (rosso/giallo/verde)** sulla mappa operativa e sul portale pubblico. Le mappe di rischio giornaliere sono prodotte a risoluzione 100 m (aggregazione dalla griglia di lavoro a 3 m) con orizzonte previsionale fino a 7 giorni.

5.3 Conformità etica e AI Act

L'uso dell'IA aderisce ai principi dell'**EU AI Act**: trasparenza (metodologie e limiti documentati), supervisione umana (le previsioni sono supporto decisionale, non sostituzione dell'esperto), responsabilità (tracciabilità delle decisioni). I modelli evolvono con validazioni periodiche e i limiti noti — in particolare i falsi negativi — sono gestiti con protocolli operativi dedicati (cfr. §10 e D1.2.2).

6 SISTEMI DI MONITORAGGIO IN TEMPO REALE

6.1 Rete meteorologica

Il servizio di ingestione meteo alimenta la piattaforma con i dati di stazioni **ARSO, ARPA FVG, ARPA Veneto e fonti aggiuntive**; il catalogo stazioni gestito in piattaforma conta oggi **753 stazioni** censite, delle quali 22 costituiscono la rete storica di riferimento dell'area carsica. I dati (temperatura, umidità, pressione, vento, pioggia, radiazione) confluiscono in InfluxDB e sono esposti con serie storiche per stazione, statistiche per Paese, tendenze mensili, giorni secchi, rosa dei venti e calcolo FWI per stazione.

6.2 Rete sensoristica IoT — i "nasi elettronici"

La componente di campo comprende gateway e sensori **LoRa** a energia solare, capaci di operare per mesi in zone remote prive di connettività: rilevano temperatura, umidità, pressione e concentrazioni di gas, "annusando" l'impronta chimica della fase iniziale di un incendio e trasmettendo l'allerta via radio alla piattaforma.

Stato attuale della rete (dashboard, luglio 2026):

Stato sensori	N.
Live (in trasmissione regolare)	56
Idle	4
Offline	11
Mai attivati	6
Totale registrati	77

Tabella 8 - Stato di attività della rete sensoristica IoT (i "nasi elettronici") aggiornato a luglio 2026.

Intervallo medio di trasmissione: **172 secondi**. La rete è governata da un layer dedicato con stato dei nodi derivato server-side (healthy/degraded/alert/offline/maintenance), triage degli allarmi con timeline delle evidenze, monitoraggio di affidabilità (disponibilità 24h/7g/30g, diagnostica di cadenza e gap, rilevamento anomalie) e notifiche edge-triggered.

Il dispiegamento è supportato da un **pianificatore di posizionamento**: un ottimizzatore che suggerisce le posizioni ottimali dei sensori sull'AOI in base a rischio, copertura radio, esposizione solare e manutenibilità, con esportazione Excel per le squadre di campo e tracciamento del ciclo di vita di ogni sito (pianificato → approvato → installato → attivo). Un'API REST dedicata supporta le app mobili di campo per installazione e manutenzione (foto di installazione, lookup via QR, test di connessione post-installazione).

6.3 Osservazione satellitare e fonti esterne

- **Copernicus/Sentinel**: aggiornamento periodico di vegetazione e suolo; previsioni FWI per il K-FWI; mappatura delle aree bruciate e della rigenerazione vegetale (attività ZRC SAZU con droni e piattaforme GIS, con approfondimenti sui Comuni di Miren-Kostanjevica, Komen e Duino-Aurisina).
- **Rilevamenti satellitari attivi (FIRMS/VIIRS)**: le detezioni di fuochi attivi proposte arrivano in un widget di triage operatore nel cruscotto, per conferma o scarto.
- **Telecamere pubbliche Protezione Civile FVG**: catalogo di telecamere di monitoraggio (con cache delle miniature e calibrazione ROI/privacy), a supporto della verifica visuale.
- **MeteoAlarm**: cfr. §7.2.

7 SISTEMA DI ALLARME PRECOCE

7.1 Matrice di allerta e notifiche

Il flusso di allarme è configurato tramite la **Matrice di Allerta**: per ogni condizione di trigger (rilevamento da modello IA, sensore, telecamera, soglia meteo) si definiscono frequenza, località incluse/escluse, destinatari o ruoli e canali di comunicazione. Al superamento della soglia:

1. il sistema genera l'allarme (natura della minaccia, momento del rilevamento, gravità);
2. lo instrada automaticamente agli stakeholder competenti (email automatiche; bozze multilingue IT/SL/EN/DE per i livelli medi+);
3. registra ogni notifica nei **log** (ID allarme, destinatario, canale, timestamp, stato di consegna) garantendo piena tracciabilità;
4. per gli allarmi critici crea automaticamente un **Incidente** con intervento, personale coinvolto e attrezzature — l'inizio di un processo di risposta strutturato e auditabile.

7.2 MeteoAlarm transfrontaliero

La piattaforma integra le allerte pubbliche **MeteoAlarm di Italia e Slovenia** attraverso due canali complementari: un sottoscrittore MQTT sempre attivo per l'aggiornamento in tempo quasi reale (sub-minuto) e una riconciliazione oraria via API REST/EDR che recupera eventuali messaggi persi e **disattiva le allerte superate o cancellate a monte**. Le allerte arancioni/rosse rilevanti per il rischio incendi (vento, caldo, siccità, temporali, incendi boschivi) sono **escalate automaticamente ad allarme di sistema** attraverso la stessa pipeline di notifica degli altri allarmi operatore. La sintesi delle allerte in corso per i

due Paesi è pubblicata anche sulla home del portale pubblico, deduplicata per (paese, regione, fenomeno).

7.3 Livelli di risposta raccomandati (D1.2.2)

Le linee guida di progetto traducono le probabilità dei modelli in protocolli operativi a livelli:

Livello	Probabilità prevista	Azione raccomandata
1	50–70%	Unità di ricognizione
2	70–85%	Squadre di intervento rapido in standby
3	> 85%	Pre-posizionamento della capacità di risposta completa

Tabella 9 - Livelli di risposta operativa raccomandati in base alle probabilità di incendio previste.

Con ulteriori soglie tecniche (es. FPMC > 90 + DMC > 60 → risorse aeree in standby) e l'indicazione di mantenere capacità minime ovunque per gestire l'incertezza residua del modello.

8 ANALISI E VISUALIZZAZIONE DEI DATI

8.1 Strumenti operativi

- **Mappa 2D operativa** — griglia K-FWI e palette giornaliera del rischio, popup per stazione (FWI, temperatura, umidità, vento, pioggia), squadre vicine, rosa dei venti, contesto ML (evidenza storica, esposizione infrastrutturale, zone vulnerabili).
- **Mappa 3D** — terreno Cesium su ortofoto FVG e slovene, layer commutabili (stazioni live, K-FWI, incidenti, MeteoAlarm, sedi operative, sensori, strade, fasce tagliafuoco, ferrovie, muretti a secco), filtri temporali sugli incendi storici, esportazioni PNG/PDF.
- **Cruscotto operativo** — KPI, incidenti attivi, squadre in servizio, salute sensori, triage rilevazioni satellitari, stato fasce tagliafuoco; striscia meteo localizzata in 4 lingue.
- **Registro incidenti** — anagrafica completa degli incendi attivi e storici (localizzazione, tempi, cause, vegetazione, meteo, danni e risposta), statistiche di superficie bruciata per mese/Paese/anno e confronto dell'anno corrente con le medie storiche.
- **Pianificazione interventi** — layer delle sedi operative dei due Paesi, ranking ETA per capacità/distanza/viabilità, selettore di percorso con attenzione alla viabilità forestale e alle dimensioni dei mezzi, punto di raduno raccomandato.
- **Registro operativo** — cfr. §10.2.

8.2 Statistiche e analisi

La piattaforma espone statistiche meteorologiche flessibili (per stazione o Paese; periodi 3–30 giorni o anno corrente), FWI degli ultimi 7 giorni, statistiche annuali (giorni secchi, precipitazioni cumulative, rosa dei venti), statistiche incendi (per dimensione, stagione, causa, Paese) e le tendenze climatiche di lungo periodo documentate in D1.2.1.

9 IL SISTEMA INFORMATIVO PUBBLICO — <https://kf50.infordata.it/portal>

Accanto al cockpit operativo riservato, la soluzione comprende un **portale pubblico multilingue (IT/SL/EN/DE)** che rende accessibili a cittadini, amministrazioni e comunità scientifica i dati e gli strumenti principali del progetto:

Sezione	Contenuto
Mappa del rischio (K-FWI)	Mappa giornaliera del pericolo incendi a tre livelli sull'intera area carsica
Allerte MeteoAlarm	Striscia di sintesi delle allerte meteo pubbliche IT+SI in corso, aggiornata in tempo quasi reale
Stazioni meteo	Dati e serie delle stazioni della rete transfrontaliera
Qualità dell'aria	Dati delle stazioni AirQino di Duino-Aurisina (SMART321/322/323) con layer termico interpolato
Storia degli incendi	Database storico consultabile degli incendi del Carso
Statistiche	Statistiche meteorologiche e sugli incendi
Early warning / Prevenzione / Guida	Contenuti informativi ed educativi sul rischio e sui comportamenti
Earth observation / Scienza / Ricerca	Divulgazione delle basi scientifiche del progetto
Glossario / Riferimenti	Terminologia e fonti
API (Swagger)	Documentazione OpenAPI degli endpoint pubblici — i dati sono riutilizzabili da terzi
Feedback	Canale di raccolta segnalazioni degli utenti
Mappa 3D	Versione pubblica della visualizzazione tridimensionale

Tabella 10 - Struttura delle sezioni e dei contenuti dal portale del sistema informativo pubblico.

Il portale espone inoltre **endpoint GeoJSON pubblici** (privi di dati di contatto) per l'interoperabilità con sistemi esterni e QGIS.

10 RISULTATI PRELIMINARI DELLA MESSA IN OPERA

10.1 Adozione da parte degli enti

Alla data di redazione, il sistema conta **33 utenze approvate**, con una presenza significativa degli enti operativi del territorio:

Organizzazione (estratto)	Ruoli assegnati
CFR — Corpo Forestale Regionale	municipality-manager, operator, simulator, viewer
Protezione Civile FVG	operator
Protezione Civile Duino-Aurisina	agency-manager, crew-lead, field, operator, ...
PGD Breg (vigili del fuoco volontari SLO)	agency-viewer, operator, volunteer
GAL Carso – LAS Kras	agency-manager, municipality-manager, researcher, ...
Corpo Pompieri Volontari Muggia	operator
Protezione Civile Ronchi dei Legionari	municipality-manager, operator
CMCC (ricerca)	municipality-manager, operator

Tabella 11 - Estratto delle organizzazioni e degli enti che hanno adottato la piattaforma con i relativi ruoli di sistema.

10.2 Registro operativo transfrontaliero

Il registro delle risorse operative dei due Paesi — base della pianificazione degli interventi — è popolato con:

Entità	N.
Sedi operative	423
Strutture operative	379
Squadre	410
Mezzi e attrezzature (censimento in corso)	19
Contatti operativi	48
Fonti dati	44
Segnalazioni qualità dati gestite	385

Tabella 12 - Entità e numeri censiti all'interno del registro operativo transfrontaliero.

Il workflow di audit della qualità dei dati (coordinate mancanti, specifiche dei mezzi, loghi) con 385 segnalazioni gestite testimonia un processo attivo di consolidamento del registro.

10.3 Utilizzo del portale pubblico

rilevazione anonima e senza cookie, da):

Indicatore	Valore
Visualizzazioni di pagina	3.537
Visitatori unici	768
Media giornaliera	118 visualizzazioni
Giorno di picco	19 luglio 2026 — 405 visualizzazioni

Tabella 13 - Statistiche di traffico e di utilizzo del portale pubblico riferite agli ultimi 30 giorni - dal 25 giugno al 25 luglio (rilevazione anonima e senza cookie).

Pagine più visitate: home (27,6%), **mappa del rischio (17,2%)**, guida (7,4%), statistiche (4,3%), storia degli incendi (3,8%), mappa 3D (3,2%). Il primato della mappa del rischio tra le pagine funzionali conferma il dato emerso dalla validazione con gli stakeholder, che l'avevano indicata come la funzione più utile (4,7/5).

10.4 Validazione con gli stakeholder (D.2.3.3)

La soluzione è stata verificata con gli operatori nei due workshop del deliverable D.2.3.3:

- **Aurisina, 17/3/2026** (34 presenze — vigili del fuoco, protezione civile, corpo forestale, Comunelle): il **71%** dei partecipanti ha giudicato la piattaforma "largamente coerente" con le zone critiche identificate; principale beneficio atteso l'individuazione preventiva delle aree a rischio (71%); principale criticità il coordinamento inter-istituzionale (53%) — organizzativa, non tecnologica.
- **Koper, 24/4/2026** (23 presenze — vigili del fuoco professionisti e volontari, URSZR): **7/7** operatori ritengono la piattaforma utile alla gestione degli incendi; esperienza d'uso 4,3 (navigazione), 4,1 (chiarezza), 3,9 (velocità); funzione più utile la **mappa del rischio (4,7/5)**.

Gli esiti hanno guidato la messa a punto in corso: ottimizzazione della velocità di risposta sugli archivi estesi, sviluppo dell'app mobile e potenziamento dell'interoperabilità con i sistemi in uso presso le istituzioni.

10.5 Dispiegamenti sul campo

- **Sensori "naso elettronico"**: installazione sperimentale nel Comune di Duino-Aurisina nell'estate 2026, pianificata con l'ottimizzatore di posizionamento (§6.2); rete attuale di 77 nodi registrati, 56 live.
- **Stazioni e qualità dell'aria**: stazioni AirQino SMART321/322/323 attive su Duino-Aurisina con dati pubblicati sul portale.
- **Termocamere e droni**: acquisizioni dei Comuni (termocamera con software di monitoraggio per Miren-Kostanjevica; drone con termocamera per ciascun Comune) censite nel registro asset di campo, con gestione del ciclo di manutenzione.

11 LINEE GUIDA E GOVERNANCE (da D1.2.2)

La soluzione tecnologica è accompagnata da **linee guida per l'allocazione ottimizzata delle risorse** e raccomandazioni di policy destinate a dipartimenti forestali, servizi antincendio e amministrazioni:

- **Prevenzione data-driven**: concentrare il 60–70% delle risorse di gestione dei combustibili nelle aree a vulnerabilità estremamente alta; priorità alle fasce entro 50 m da strade e ferrovie (67,4% delle ignizioni storiche) e alle pinete su versanti sud/sud-ovest.
- **Risposta a livelli** guidata dalle probabilità del modello (§7.3), con squadre posizionate in modo che le aree a probabilità >80% abbiano tempi di risposta sotto i 15 minuti.
- **Adozione graduale dell'IA**: percorso a fasi (parallelo → supporto decisionale → integrazione nelle procedure standard) con comitato tecnico congiunto, formazione a livelli e meccanismi di feedback dal campo.
- **Cooperazione transfrontaliera**: scambio dati in tempo reale, pool congiunto di risorse, esercitazioni annuali comuni, livelli di allerta standardizzati tra i due Paesi.
- **Conformità**: allineamento a EU AI Act e GDPR; supervisione umana come principio non negoziabile.

12 CONCLUSIONI E SVILUPPI

L'Output 2.1 consegna una soluzione **congiunta, operativa e già in uso**: la prima piattaforma transfrontaliera di prevenzione e allarme precoce per gli incendi del Carso, costruita su una base dati storica unificata, un indice di rischio calibrato localmente (K-FWI) che triplica la capacità di rilevamento rispetto all'approccio meteorologico generico, una rete di monitoraggio a terra in espansione e un sistema di allerta tracciabile end-to-end — il tutto reso accessibile al pubblico in quattro lingue.

I risultati preliminari della messa in opera — 33 enti con utenze attive, 423 sedi e 410 squadre nel registro operativo condiviso, 768 visitatori unici del portale in 30 giorni, validazione positiva degli stakeholder — indicano che la soluzione sta già transitando dalla fase di sviluppo a quella di adozione.

Sviluppi in corso verso la fine del progetto:

1. completamento dell'installazione dei nasi elettronici a Duino-Aurisina (estate 2026) e collegamento dei nodi alla pipeline di allerta;
2. ottimizzazione delle prestazioni sugli archivi storici estesi (priorità n.1 emersa dai workshop);
3. app mobile di campo e interoperabilità con i sistemi delle istituzioni di soccorso;
4. affinamento continuo dei modelli con i nuovi dati stagionali;
5. messa a regime della piattaforma sull'intero Carso nell'estate 2026 e definizione del modello di sostenibilità post-progetto.

RIFERIMENTI

1. Karst Firewall 5.0, **D1.2.1** — *Modelli di algoritmi predittivi*, Infordata Sistemi, 2025.
2. Karst Firewall 5.0, **D1.2.2** — *Allocazione ottimizzata delle risorse: linee guida e raccomandazioni politiche per l'utilizzo di modelli predittivi*, Infordata Sistemi.
3. Karst Firewall 5.0, **D2.1.1** — *Sistema Digitale di Gestione del Rischio Incendi*, Infordata Sistemi.
4. Karst Firewall 5.0, **D2.1.2** — *Dataset per la prevenzione degli incendi boschivi con dati storici dell'ecosistema carsico*, v6.0, Infordata Sistemi.
5. Karst Firewall 5.0, **D1.1.2** — *Valutazione del rischio e della vulnerabilità degli incendi boschivi in relazione ai cambiamenti climatici nella regione carsica*.
6. Karst Firewall 5.0, **D.2.3.3** — *Verifica e messa a punto della tecnologia digitale 5.0 con i principali stakeholder* (workshop Aurisina 17/3/2026 e Koper 24/4/2026).
7. Repository tecnico della piattaforma (kf50-php) e documentazione K-FWI (kf50-kfwi-api), Infordata Sistemi.
8. Portale pubblico: <https://kf50.infordata.it/portal> — Piattaforma operativa: karst.way.to.it.
9. Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia, scheda progetto ITA-SI0600146 Karst Firewall 5.0.

Inovativna rešitev za preprečevanje kraških požarov in zgodnje opozarjanje (O.2.1)

KARST FIREWALL 5.0

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



INFORMACIJE / INFORMAZIONI SUL PROGETTO

Akronim projekta / Acronimo del progetto:	KARST FIREWALL 5.0
Naslov projekta / Titolo del progetto:	Inovativno ekosistemsko zasnovano prilagajanje podnebnim spremembam na Krasu. Spodbujanje požarno odporne gmajne s podporo industrije 5.0 Adattamento innovativo al cambiamento climatico basato sugli ecosistemi nella regione del Carso. Promuovere una silvicoltura resistente agli incendi con il supporto dell'Industria 5.0
Prednostno področje / Area prioritaria:	Bolj zelena, nizkoogljikna Evropa, ki prehaja na gospodarstvo z ničelno stopnjo neto emisij ogljika in je odporna Un'Europa più verde e a basse emissioni di carbonio, che si muove verso un'economia a zero emissioni di carbonio e resiliente
Specifični cilj programa / Obiettivo specifico del programma:	SO4: Spodbujanje prilagajanja podnebnim spremembam in preprečevanja tveganja nesreč ter odpornosti ob upoštevanju ekosistemskih pristopov SO4: Promuovere l'adattamento ai cambiamenti climatici, la prevenzione dei rischi di catastrofi e la resilienza, tenendo conto degli approcci ecosistemici.
URL spletne strani projekta / URL del sito web del progetto:	www.ita-slo.eu/karst-firewall-50
Številka dokumenta / Numero del documento:	OUTPUT 2.1
Naslov dokumenta / Titolo del documento:	Inovativna rešitev za preprečevanje kraških požarov in zgodnje opozarjanje Soluzione innovativa per la prevenzione e l'allarme precoce degli incendi carsici
Delovni sklop / Work Package:	2
Aktivnost / Attività:	Učinek 2.1 — kazalnik 2.1.1; obdobje 4, meseci 19–24
Odgovorni partnerji (avtorji) / Partner responsabili (autori):	PP2 — Infordata Sistemi Srl; s prispevki IUAV (LP), ZRC SAZU, Občine Devin-Nabrežina, Občine Miren-Kostanjevica in KID PiNA
Kraj in datum objave / Luogo e data di pubblicazione:	Julij 2026 — različica 0.1 (osnutek)

PODATKI O UČINKU

Polje	Vrednost
Številka učinka	2.1
Naslov učinka	Inovativna rešitev za preprečevanje kraških požarov in zgodnje opozarjanje
Kazalnik učinka programa	2.1.1 — Pilotni ukrepi, ki so jih projekti skupaj razvili in izvedli
Merska enota	pilotni ukrepi
Ciljna vrednost učinka	2,00
Obdobje oddaje	Obdobje 4, meseci 19–24

Opis učinka (iz prijavnice). Inovativna rešitev za preprečevanje kraških požarov in zgodnje opozarjanje obsega celovit sistem, ki združuje napredne tehnologije, analizo podatkov in učinkovite komunikacijske strategije za uspešno zaznavanje, preprečevanje in obvladovanje požarov v kraški krajini. Glavne značilnosti so: integrirana digitalna platforma, sistemi spremljanja v realnem času, algoritmi strojnega učenja, sistemi zgodnjega opozarjanja ter analiza in vizualizacija podatkov.

Obseg dokumenta. Ta učinek opisuje digitalno rešitev, razvito v okviru projektnih dejavnosti Karst Firewall 5.0. Simulator širjenja PyroWISE, ki je bil razvit kot dodatna dejavnost zunaj projektnega obsega, ni predmet tega dokumenta. Vključen pa je javni informacijski sistem platforme (indeks K-FWI, opozorila MeteoAlarm in drugi javni podatki portala <https://kf50.infordata.it/portal>).

KRATICE

Kratika	Pomen
ARPA FVG	Deželna agencija za varstvo okolja Furlanije - Julijske krajine (IT)
ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje (SLO)
AOI	Area of Interest — referenčno operativno območje
EFFIS	European Forest Fire Information System
FWI	Fire Weather Index (kanadski sistem: FPMC, DMC, DC, ISI, BUI)
K-FWI	Karst Fire Weather Index — indeks FWI, umerjen za Kras in dopolnjen z modelom vžiga ML
GDPR	Splošna uredba o varstvu podatkov (EU 2016/679)
INSPIRE	Direktiva 2007/2/ES o infrastrukturi za prostorske informacije v Evropi
IoT	Internet of Things — internet stvari
LoRa	Long Range — radijski protokol dolgega dosega in nizke porabe energije
MeteoAlarm	Evropsko omrežje meteorološkega opozarjanja (EUMETNET)
ML	Machine Learning — strojno učenje
RBAC	Role-Based Access Control — nadzor dostopa na podlagi vlog
URSZR	Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje (SLO)
XGBoost	eXtreme Gradient Boosting
ZGS	Zavod za gozdove Slovenije
ZRC SAZU	Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti

PODATKI O UČINKU	3
KRATICE	4
1 POVZETEK	7
2 CILJI IN KONTEKST	8
2.1 Izhodiščni problem	8
2.2 Cilji rešitve	8
2.3 Dva pilotna ukrepa	8
3 ARHITEKTURA REŠITVE	9
3.1 Pregled	9
3.2 Varnost, vloge in večjezičnost	10
4 ČEZMEJNA PODATKOVNA ZBIRKA (iz D2.1.2)	10
4.1 Ključni podatki podatkovnega niza	10
4.2 Kaj kažejo podatki	11
5 ALGORITMI STROJNEGA UČENJA IN K-FWI	12
5.1 Od splošnega FWI do lokalnega modela (D1.2.1)	12
5.2 Karst Fire Weather Index (K-FWI)	13
5.3 Etična skladnost in Akt o umetni inteligenci	13
6 SISTEMI SPREMLJANJA V REALNEM ČASU	14
6.1 Meteorološko omrežje	14
6.2 Senzorsko omrežje IoT — »elektronski nosovi«	14
6.3 Satelitsko opazovanje in zunanji viri	15
7 SISTEM ZGODNJEGA OPOZARJANJA	15
7.1 Matrika opozarjanja in obvestila	15
7.2 Čezmejni MeteoAlarm	15
7.3 Priporočene ravni odziva (D1.2.2)	16
8 ANALIZA IN VIZUALIZACIJA PODATKOV	16
8.1 Operativna orodja	16
8.2 Statistika in analize	17
9 JAVNI INFORMACIJSKI SISTEM — https://kf50.infordata.it/portal	17
10 PREDHODNI REZULTATI UVAJANJA	18
10.1 Sprejetje med institucijami	18
10.2 Čezmejni operativni register	19
10.3 Uporaba javnega portala	19
10.4 Validacija z deležniki (D.2.3.3)	20
10.5 Terenske namestitve	20

11 SMERNICE IN UPRAVLJANJE (iz D1.2.2)	21
12 SKLEPI IN NADALJNI RAZVOJ	21
VIRI IN LITERATURA	22

1 POVZETEK

Učinek 2.1 predstavlja inovativno rešitev za preprečevanje kraških požarov in zgodnje opozarjanje, razvito v okviru projekta Karst Firewall 5.0: čezmejno digitalno platformo, ki v enoten operativni sistem povezuje prvo skupno zgodovinsko podatkovno zbirko Italije in Slovenije o požarih na Krasu, omrežje za meteorološko in senzorsko spremljanje v realnem času, napovedne algoritme strojnega učenja, prilagojene kraškemu območju, strukturiran večkanalni sistem zgodnjega opozarjanja ter orodja za analizo in vizualizacijo podatkov (2D/3D-karte, statistike in operativne nadzorne plošče).

Rešitev odgovarja na konkreten problem, ki se je dramatično pokazal med požari poleti 2022: ogenj na Krasu ne pozna upravnih meja, medtem ko so podatki, orodja in postopki obeh držav desetletja ostajali ločeni. Platforma združuje več kot 5,2 milijona meteoroloških zapisov (1991–2024, 22 postaj), 3.958 zapisov o gozdnih požarih (1995–2023) in več kot 50 geoprostorskih slojev v sistemu, ki vsak dan izračuna in objavi požarno tveganje za celotno čezmejno območje.

Napovedno jedro rešitve je Karst Fire Weather Index (K-FWI): indeks nevarnosti, ki združuje meteorološko resnost FWI, ponovno umerjeno glede na dejanske kraške pragove, z modelom vžiga na podlagi strojnega učenja, naučenim iz zgodovine lokalnih požarov. Projektna analiza je pokazala, da 97,3 % kraških požarov nastane pod splošnimi evropskimi pragovi za »visoko« nevarnost: lokalno umerjanje zato ni optimizacija, temveč operativna nujnost. Kombinirani sistem zazna 77,5 % požarov, v primerjavi z 29 % pri pristopu, ki temelji samo na meteorološkem FWI.

Uvajanje je že v teku: operativna platforma in javni portal sta na voljo v štirih jezikih (IT/SL/EN/DE), 33 organizacij in institucij ima odobrene uporabniške račune, operativni register vsebuje 423 lokacij in 410 gasilskih ekip iz obeh držav, omrežje IoT vključuje 77 registriranih senzorjev, javni portal pa je v zadnjih 30 dneh zabeležil 3.537 ogledov 768 edinstvenih obiskovalcev. Validacija z deležniki (dosežek D.2.3.3) je potrdila prostorsko skladnost orodja (71 % »v veliki meri skladno«) in zaznalo operativno uporabnost (7 od 7 slovenskih operaterjev).

2 CILJI IN KONTEKST

2.1 Izhodiščni problem

Kraška planota (~1.000 km², 30 % v Italiji in 70 % v Sloveniji) je edinstven ekosistem z visokim tveganjem: apnenčasta podlaga hitro odvaja padavine, vegetacija vsebuje velik delež vnetljivih iglavcev, podedovanih iz pogozdovanj v 19. stoletju, burja pospešuje širjenje ognja, stik med naselji in gozdom pa je zelo razvejan. Podnebne spremembe razmere še poslabšujejo: projektne analize kažejo segrevanje za +0,57 °C na desetletje (1993–2023), rekordne temperature leta 2024 na obeh straneh meje in povečanje povprečnega sončnega obsevanja.

Čeprav tveganje ne upošteva meje, je bila informacijska zmogljivost razdrobljena: koordinate v različnih sistemih (UTM 33N v Italiji, D96/TM v Sloveniji), neusklajene klasifikacije požarov, meteorološke časovne vrste z različnimi frekvencami in protokoli ter odsotnost skupnega orodja za napovedovanje ali opozarjanje.

2.2 Cilji rešitve

1. Poenotiti znanje: vzpostaviti prvo usklajeno čezmejno podatkovno zbirko o požarih, vremenu in kraškem prostoru (dosežek D2.1.2).
2. Napovedovati tveganje: razviti napovedne algoritme, prilagojene območju (dosežek D1.2.1), in jih s K-FWI prenesti na operativno raven.
3. Spremljati v realnem času: povezati meteorološke postaje, senzorje IoT in satelitske vire v enoten informacijski tok.
4. Zgodaj opozarjati: samodejno usmerjati opozorila pristojnim operaterjem v obeh državah in zagotavljati popolno sledljivost.
5. Omogočiti dostop do informacij: objavljati tveganje in okoljske podatke na večjezičnem javnem portalu za prebivalce, raziskovalce in uprave.
6. Usmerjati razporejanje virov: napovedi pretvoriti v operativne smernice in priporočila politik (dosežek D1.2.2).

2.3 Dva pilotna ukrepa

Učinek se uresničuje v dveh skupnih pilotnih ukrepih, predvidenih s kazalnikom 2.1.1, ki so ju skupaj razvili in izvedli partnerji iz obeh držav:

Pilotni ukrep	Vsebina	Območja
1 — Digitalni sistem za obvladovanje tveganja	Integrirana platforma (čezmejna podatkovna zbirka, K-FWI, zgodnje opozarjanje, javni portal)	Celotno čezmejno območje Krasa
2 — Terensko nadzorno omrežje	Integrirane meteorološke postaje, omrežje senzorjev IoT (»elektronski nosovi«), skupni operativni register	Pilotna območja v občinah Devin-Nabrežina in Miren-Kostanjevica

Tabela 1 - Opis dveh pilotnih akcij projekta in njunih območij izvajanja.

3 ARHITEKTURA REŠITVE

3.1 Pregled

Rešitev je organizirana v pet komponent, ki uporabljajo isto čezmejno operativno območje (AOI »Kras Italija–Slovenija«) in iste podatkovne pogodbe:

Komponenta	Funkcija	Poglavje
Čezmejna podatkovna zbirka	Usklajen zgodovinski spomin: požari, vreme, prostor	§4
Napovedni modeli / K-FWI	Dnevni izračun tveganja po celicah na celotnem AOI	§5
Spremljanje v realnem času	Meteorološke postaje, senzorji IoT, satelitski viri, MeteoAlarm	§6
Sistem zgodnjega opozarjanja	Matrika opozarjanja, večkanalna obvestila, ustvarjanje incidentov	§7
Analiza in vizualizacija	2D/3D-karte, statistike, nadzorne plošče, javni portal	§8–9

Tabela 2 - Pregled glavnih komponent arhitekture rešitve in njihovih funkcij.

Programska arhitektura ločuje storitve glede na njihove odgovornosti: glavna aplikacija (operativni kokpit, RBAC, GIS) prek HTTP komunicira s storitvijo za zajem meteoroloških podatkov (viri ARSO, ARPA FVG, ARPA Veneto in drugi), storitvijo K-FWI ter prehodom senzorskega omrežja IoT/LoRa. Podatki se hranijo v arhitekturi z dvema podatkovnima bazama — MySQL za strukturirane registre (požari, organizacije, sredstva) in InfluxDB za visokofrekvenčne meteorološke časovne vrste — kar združuje analitično globino in zmogljivost v realnem času.

3.2 Varnost, vloge in večjezičnost

- RBAC: nadzor dostopa na podlagi vlog za operaterje, administratorje, občinske upravitelje, raziskovalce in pregledovalce; partnerske organizacije določajo podrobne politike dostopa do virov.
- Vgrajena zasebnost: javni kartografski sloji ne vsebujejo osebnih kontaktnih podatkov; operativni kontaktni podatki so v skladu z GDPR omejeni na avtenticirane poglede.
- Večjezičnost: operativni vmesnik in javni portal so na voljo v italijanščini, slovenščini, angleščini in nemščini, s trajnim izbirnikom jezika; enakovrednost prevodov IT/SL se samodejno preverja med gradnjo programske opreme.
- Opazljivost: končna točka za preverjanje stanja nadzoruje kritične tokove (npr. signal delovanja kanala MeteoAlarm), tako da se morebitne prekinitve zaznajo v nekaj minutah.

4 ČEZMEJNA PODATKOVNA ZBIRKA (iz D2.1.2)

4.1 Ključni podatki podatkovnega niza

Kazalnik	Vrednost
Zgodovinski meteorološki zapisi	5.229.216 (mešano vzorčenje 30–60 min)
Meteorološke postaje zgodovinskega omrežja	22 (12 ARSO, 10 ARPA FVG)
Časovna pokritost meteoroloških podatkov	1991–2024 (34 let; 8 postaj z več kot 20 leti podatkov)
Zapisi o gozdnih požarih	3.958 (1995–2023), 100-odstotna georeferenciranost
Skupna pogorela površina (1995–2023)	53.074 ha
Geoprostorski sloji	50+ (raba tal, DTM, prometno omrežje, infrastruktura, vegetacija)
Delovna mreža	3 m × 3 m (DTM do 1 m; rezultati tveganja agregirani na 100 m)
Popolnost meteoroloških časovnih vrst	94,2 % (99,1 % vrednosti znotraj fizikalnih razponov)

Tabela 3 - Glavne številke in kazalniki podatkovne zbirke.

Usklajevanje je zahtevalo reprojekcijo vseh podatkov v enotni sistem WGS84 (EPSG:4326) ob ohranitvi izvornih sistemov (italijanski UTM 33N in slovenski D96/TM), usklajevanje nacionalnih klasifikacij požarov ter normalizacijo frekvenc vzorčenja. Podatkovni niz je skladen s standardi INSPIRE, ISO 19115/19139 in DCAT-AP, vsebuje večjezične metapodatke in katalog CSW ter se za navzkrižno preverjanje povezuje z evropskimi sistemi EFFIS, Copernicus in GWIS.

4.2 Kaj kažejo podatki

Porazdelitev požarov po velikosti (1995–2023):

Kategorija	Št. dogodkov	Povprečna površina (ha)	% dogodkov
≤ 1 ha (zelo majhni)	2.972	0,24	75,09 %
1,1–10 ha (majhni)	791	3,15	19,98 %
10,1–100 ha (srednji)	161	31,73	4,07 %
100,1–1.000 ha (veliki)	27	240,45	0,68 %
1.000–10.000 ha (zelo veliki)	6	3.464,80	0,15 %
> 10.000 ha (izjemni)	1	17.482,00	0,03 %

Tabela 4 - Porazdelitev zabeleženih zgodovinskih požarov po velikosti v obdobju 1995–2023.

Porazdelitev je izrazito asimetrična: veliki požari (>100 ha) predstavljajo 0,86 % dogodkov, vendar 84,34 % pogorele površine. Izjemni dogodek leta 2022 je trajal sedem zaporednih dni.

Sezonska porazdelitev:

Letni čas	Št. dogodkov	Povprečna površina (ha)	%
Pomlad (mar.–maj)	1.616	8,55	40,83 %
Poletje (jun.–avg.)	1.388	26,74	35,07 %
Zima (dec.–feb.)	695	2,25	17,56 %
Jesen (sep.–nov.)	259	2,19	6,54 %

Tabela 5 - Sezonska porazdelitev zgodovinskih požarov na območju.

Geografska porazdelitev: Slovenija 2.751 dogodkov (69,5 %, povprečna površina 15,87 ha); Italija 1.207 dogodkov (30,5 %, povprečna površina 7,79 ha). Dve tretjini najobsežnejših požarov se je razvilo na slovenski strani.

Odzivni časi: 63,2 % intervencij se aktivira takoj, 83 % pa v dveh urah — podatek potrjuje učinkovitost operativnega sistema ter premika dodano vrednost rešitve k napovedovanju in zgodnejšemu opozarjanju.

Vzroki: približno 75 % dogodkov je antropogenega izvora (cestna in železniška infrastruktura, namerni požigi, kmetijske prakse); 67,4 % zgodovinskih požarov je nastalo

v oddaljenosti do 50 m od ceste. Kar je mogoče napovedati, je mogoče preprečiti: bližina infrastrukture je eden najmočnejših napovednikov, ki jih uporabljajo modeli.

5 ALGORITMI STROJNEGA UČENJA IN K-FWI

5.1 Od splošnega FWI do lokalnega modela (D1.2.1)

Projekt je izhajal iz kanadskega indeksa Fire Weather Index — evropskega standarda za ocenjevanje nevarnosti — in preveril njegove omejitve na Krasu: lokalne razmere (burja, hitro odcedna kraška tla in drobno gorivo) povzročajo požare tudi pri formalno zmernem FWI. Zato so bile na podatkovnih nizih z vedno daljšimi časovnimi okni meteoroloških podatkov pred dogodkom preizkušene različne skupine algoritmov strojnega učenja (linearni in verjetnostni modeli, K-Nearest Neighbors ter drevesni modeli).

Rezultati preizkušanja (D1.2.1):

Model	Metrika	1 dan	1 teden	1 mesec
Odločitveno drevo	Preciznost	0,68	0,66	0,65
Odločitveno drevo	Priklic	0,59	0,52	0,47
Random Forest	Preciznost	0,73	0,70	0,67
Random Forest	Priklic	0,65	0,58	0,53
XGBoost	Preciznost	0,75	0,70	0,68
XGBoost	Priklic	0,69	0,65	0,61

Tabela 6 - Rezultati testiranja in metrike uspešnosti napovednih modelov strojnega učenja.

Po optimizaciji (uravnoteženje razredov, oblikovanje značilik in uglasčevanje) je najboljša konfiguracija — XGBoost s tritedenskim meteorološkim oknom — dosegla 90-odstotno točnost in 81-odstotni priklic (D1.2.1); naslednja različica modela, naučena na konsolidiranem podatkovnem nizu, pa poroča o 97-odstotni točnosti, 83-odstotnem priklicu, 81-odstotni preciznosti in F1 82 % (D2.1.2, XGBoost s časovno delitvijo: učenje 1995–2020 / validacija 2021–2023, stratificirani k-kratni preizkus, k=5). Najvplivnejše spremenljivke so temperatura, hitrost vetra, vlažnost in sončno obsevanje, kar je skladno z meteorološkim razumevanjem pojava.

5.2 Karst Fire Weather Index (K-FWI)

Operativna raven napovedovanja je K-FWI, ki združuje:

- meteorološko resnost FWI, ponovno umerjeno glede na dejanske kraške pragove;
- prostorsko-časovni model vžiga (Random Forest) z značilkami zgodovinske gostote žarišč in oddaljenosti od infrastrukture ter s popravljenim sezonskim vzorčenjem;
- napovedi FWI programa Copernicus za kratkoročno obdobje.

Dokumentirana učinkovitost sloja K-FWI:

Kazalnik	Vrednost
Zaznavanje požarov (kombinirani model)	77,5 %
Izhodiščni model samo FWI	29 %
AUC modela vžiga (prostorska navzkrižna validacija po blokih)	0,89
AUC na slovenskih požarih zunaj učne domene	0,94
Požari pod splošnimi evropskimi pragovi »High«	97,3 %

Tabela 7 - Kazalniki in dokumentirana uspešnost napovednega indeksa Karst Fire Weather Index (K-FWI).

Zadnji podatek predstavlja znanstveno utemeljitev celotnega pristopa: brez lokalnega umerjanja se skoraj vsi kraški požari pojavijo v dneh, ki jih splošni evropski sistemi ne razvrščajo kot nevarne.

Sistem vsako jutro razdeli AOI na celice, za vsako izračuna verjetnost požara za tekoči dan ter na operativni karti in javnem portalu objavi karto tveganja s tremi stopnjami (rdeča/rumena/zelena). Dnevne karte tveganja se izdelujejo z ločljivostjo 100 m (agregacija iz delovne mreže 3 m) in napovednim obdobjem do sedem dni.

5.3 Etična skladnost in Akt o umetni inteligenci

Uporaba umetne inteligence sledi načelom Akta EU o umetni inteligenci: preglednost (dokumentirane metodologije in omejitve), človeški nadzor (napovedi podpirajo odločanje in ne nadomeščajo strokovnjaka) ter odgovornost (sledljivost odločitev). Modeli se razvijajo s periodičnimi validacijami, znane omejitve — zlasti lažno negativni rezultati — pa se obravnavajo z namenskimi operativnimi protokoli (glej §10 in D1.2.2).

6 SISTEMI SPREMLJANJA V REALNEM ČASU

6.1 Meteorološko omrežje

Storitev za zajem meteoroloških podatkov platformo oskrbuje s podatki postaj ARSO, ARPA FVG, ARPA Veneto in dodatnih virov; katalog postaj v platformi trenutno vsebuje 753 evidentiranih postaj, od katerih 22 sestavlja zgodovinsko referenčno omrežje kraškega območja. Podatki (temperatura, vlažnost, tlak, veter, padavine in obsevanje) se shranjujejo v InfluxDB ter so prikazani kot časovne vrste po postajah, statistike po državah, mesečni trendi, sušni dnevi, vetrovne rože in izračun FWI za posamezno postajo.

6.2 Senzorsko omrežje IoT — »elektronski nosovi«

Terenska komponenta vključuje prehode in sončno napajane senzorje LoRa, ki lahko več mesecev delujejo na oddaljenih območjih brez povezljivosti: merijo temperaturo, vlažnost, tlak in koncentracije plinov, »zaznavajo« kemični podpis začetne faze požara ter opozorilo po radijski zvezi pošljejo platformi.

Trenutno stanje omrežja (nadzorna plošča, julij 2026):

Stanje senzorjev	Št.
Aktivni (redno oddajanje)	56
Nedejavni	4
Brez povezave	11
Nikoli aktivirani	6
Skupaj registrirani	77

Tabela 8 - Stanje delovanja senzorskega omrežja IoT (»elektronski nosovi«), posodobljeno julija 2026.

Povprečni interval oddajanja: 172 sekund. Omrežje upravlja namenski sloj, ki na strežniški strani določa stanje vozlišč (healthy/degraded/alert/offline/maintenance), omogoča triažo opozoril s časovnico dokazov, spremlja zanesljivost (razpoložljivost 24 h/7 dni/30 dni, diagnostiko ritma in vrzeli ter zaznavanje nepravilnosti) in sproža obvestila ob spremembi stanja.

Namestitev podpira načrtovalnik postavitvev: optimizator, ki glede na tveganje, radijsko pokritost, izpostavljenost soncu in vzdrževalnost predlaga optimalne lokacije senzorjev na AOI, omogoča izvoz v Excel za terenske ekipe ter spremlja življenjski cikel posamezne

lokacije (načrtovana → odobrena → nameščena → aktivna). Namenski REST API podpira mobilne terenske aplikacije za namestitev in vzdrževanje (fotografije namestitve, iskanje s kodo QR in preskus povezave po namestitvi).

6.3 Satelitsko opazovanje in zunanji viri

- Copernicus/Sentinel: periodično posodabljanje podatkov o vegetaciji in tleh; napovedi FWI za K-FWI; kartiranje pogorelih območij in obnove vegetacije (dejavnost ZRC SAZU z droni in platformami GIS, s podrobnejšo obravnavo občin Miren-Kostanjevica, Komen in Devin-Nabrežina).
- Aktivne satelitske zaznave (FIRMS/VIIRS): predlagane zaznave aktivnih požarov se prikažejo v pripomočku za triažo operaterja na nadzorni plošči, kjer jih je mogoče potrditi ali zavrniti.
- Javne kamere Civilne zaštite FJK: katalog nadzornih kamer (s predpomnilnikom sličic in umerjanjem ROI/zasebnosti) podpira vizualno preverjanje.
- MeteoAlarm: glej §7.2.

7 SISTEM ZGODNJEGA OPOZARJANJA

7.1 Matrika opozarjanja in obvestila

Tok opozarjanja se nastavi z Matrikami opozarjanja: za vsak sprožilni pogoj (zaznava modela UI, senzor, kamera ali meteorološki prag) se določijo pogostost, vključene/izključene lokacije, prejemniki ali vloge ter komunikacijski kanali. Ob preseganju praga:

1. sistem ustvari opozorilo (vrsta grožnje, čas zaznave, stopnja resnosti);
2. ga samodejno usmeri pristojnim deležnikom (samodejna e-pošta; večjezični osnutki IT/SL/EN/DE za srednje in višje stopnje);
3. vsako obvestilo zabeleži v dnevnikih (ID opozorila, prejemnik, kanal, časovni žig, stanje dostave) in s tem zagotovi popolno sledljivost;
4. pri kritičnih opozorilih samodejno ustvari incident z intervencijo, vključenim osebjem in opremo — začetek strukturiranega in revizijsko sledljivega odzivnega procesa.

7.2 Čezmejni MeteoAlarm

Platforma javna opozorila MeteoAlarm za Italijo in Slovenijo vključuje prek dveh dopolnjujočih se kanalov: stalno aktivnega naročnika MQTT za skoraj sprotno posodabljanje (manj kot minuta) ter urnega usklajevanja prek API REST/EDR, ki pridobi morebitna izgubljena sporočila in deaktivira opozorila, ki so potekla ali bila preklicana pri viru. Oranžna/rdeča opozorila, pomembna za požarno tveganje (veter, vročina, suša,

nevihte, gozdni požari), se po isti obvestilni poti kot druga operaterska opozorila samodejno stopnjujejo v sistemsko opozorilo. Povzetek aktualnih opozoril za obe državi je objavljen tudi na domači strani javnega portala in združen po ključu (država, regija, pojav).

7.3 Priporočene ravni odziva (D1.2.2)

Projektne smernice verjetnosti modelov pretvarjajo v večstopenjske operativne protokole:

Raven	Napovedana verjetnost	Priporočeni ukrep
1	50–70 %	Izvidniška enota
2	70–85 %	Ekipe za hitro posredovanje v pripravljenosti
3	> 85 %	Predhodna razporeditev vseh odzivnih zmogljivosti

Tabela 9 - Priporočene ravni operativnega odziva glede na predvidene verjetnosti požara.

Določeni so tudi dodatni tehnični pragovi (npr. $FFMC > 90 + DMC > 60 \rightarrow$ zračne zmogljivosti v pripravljenosti) ter zahteva po ohranjanju minimalnih zmogljivosti povsod, da se obvladuje preostala negotovost modela.

8 ANALIZA IN VIZUALIZACIJA PODATKOV

8.1 Operativna orodja

- Operativna 2D-karta — mreža K-FWI in dnevna barvna lestvica tveganja, pojavna okna za postaje (FWI, temperatura, vlažnost, veter, padavine), bližnje ekipe, vetrovna roža in kontekst ML (zgodovinski podatki, izpostavljenost infrastrukturi, ranljiva območja).
- 3D-karta — teren Cesium na ortofotih FJK in Slovenije, preklopni sloji (postaje v živo, K-FWI, incidenti, MeteoAlarm, operativne lokacije, senzorji, ceste, protipožarni pasovi, železnice, suhi zidovi), časovni filtri za zgodovinske požare ter izvoz PNG/PDF.
- Operativna nadzorna plošča — KPI, aktivni incidenti, ekipe v službi, stanje senzorjev, triaža satelitskih zaznav in stanje protipožarnih pasov; lokaliziran meteorološki trak v štirih jezikih.
- Register incidentov — popolna evidenca aktivnih in zgodovinskih požarov (lokacija, čas, vzroki, vegetacija, vreme, škoda in odziv), statistika pogorele površine po mesecu/državi/letu ter primerjava tekočega leta z zgodovinskimi povprečji.

- Načrtovanje intervencij — sloj operativnih lokacij obeh držav, razvrstitev ETA glede na zmogljivost/razdaljo/cestno omrežje, izbira poti ob upoštevanju gozdnih cest in velikosti vozil ter priporočena zbirna točka.
- Operativni register — glej §10.2.

8.2 Statistika in analize

Platforma prikazuje prilagodljive meteorološke statistike (po postaji ali državi; obdobja 3–30 dni ali tekoče leto), FWI za zadnjih sedem dni, letne statistike (sušni dnevi, kumulativne padavine, vetrovna roža), statistike požarov (po velikosti, sezoni, vzroku in državi) ter dolgoročne podnebne trende, dokumentirane v D1.2.1.

9 JAVNI INFORMACIJSKI SISTEM — <https://kf50.infordata.it/portal>

Poleg zaščenega operativnega kokpita rešitev vključuje večjezični javni portal (IT/SL/EN/DE), ki prebivalcem, upravam in znanstveni skupnosti omogoča dostop do glavnih projektnih podatkov in orodij:

Razdelek	Vsebina
Karta tveganja (K-FWI)	Dnevna trisopenjska karta požarne nevarnosti za celotno kraško območje
Opozorila MeteoAlarm	Povzetek aktualnih javnih meteoroloških opozoril IT+SI, posodobljen skoraj v realnem času
Meteorološke postaje	Podatki in časovne vrste postaj čezmejnega omrežja
Kakovost zraka	Podatki postaj AirQino v Občini Devin-Nabrežina (SMART321/322/323) z interpoliranim toplotnim slojem
Zgodovina požarov	Iskalna zgodovinska podatkovna zbirka požarov na Krasu
Statistika	Meteorološke in požarne statistike
Zgodnje opozarjanje / Preprečevanje / Vodnik	Informativne in izobraževalne vsebine o tveganju ter ustreznem ravnanju
Opazovanje Zemlje / Znanost / Raziskave	Predstavitev znanstvenih temeljev projekta
Glosar / Viri	Terminologija in viri
API (Swagger)	Dokumentacija OpenAPI javnih končnih točk — podatke lahko ponovno uporabijo tretje osebe

Razdelek	Vsebina
Povratne informacije	Kanal za zbiranje uporabniških sporočil
3D-karta	Javna različica tridimenzionalnega prikaza

Tabela 10 - Struktura razdelkov in vsebin portala javnega informacijskega sistema.

Portal objavlja tudi javne končne točke GeoJSON (brez kontaktnih podatkov) za interoperabilnost z zunanjimi sistemi in QGIS.

10 PREDHODNI REZULTATI UVAJANJA

10.1 Sprejetje med institucijami

Na dan priprave dokumenta ima sistem 33 odobrenih uporabniških računov, pri čemer so pomembno zastopane operativne institucije območja:

Organizacija (izbor)	Dodeljene vloge
CFR — Deželni gozdarski korpus	municipality-manager, operator, simulator, viewer
Civilna zaščita FJK	operator
Civilna zaščita Devin-Nabrežina	agency-manager, crew-lead, field, operator, ...
PGD Breg (prostovoljni gasilci SLO)	agency-viewer, operator, volunteer
GAL Carso – LAS Kras	agency-manager, municipality-manager, researcher, ...
Prostovoljni gasilski korpus Milje	operator
Civilna zaščita Ronke	municipality-manager, operator
CMCC (raziskave)	municipality-manager, operator

Tabela 11 - Izvleček organizacij in organov, ki so prevzeli platformo, z njihovimi ustreznimi sistemskimi vlogami.

10.2 Čezmejni operativni register

Register operativnih virov obeh držav — osnova za načrtovanje intervencij — vsebuje:

Entiteta	Št.
Operativne lokacije	423
Operativne strukture	379
Ekipe	410
Vozila in oprema (popis v teku)	19
Operativni kontakti	48
Podatkovni viri	44
Obravnavana opozorila o kakovosti podatkov	385

Tabela 12 - Subjekti in številke, zabeležene v čezmejnem operativnem registru.

Delovni tok preverjanja kakovosti podatkov (manjkajoče koordinate, specifikacije vozil, logotipi) s 385 obravnavanimi opozorili dokazuje aktiven proces konsolidacije registra.

10.3 Uporaba javnega portala

Statistika obiska v zadnjih 30 dneh (anonimno merjenje brez piškotkov):

Kazalnik	Vrednost
Ogledi strani	3.537
Edinstveni obiskovalci	768
Dnevno povprečje	118 ogledov
Najbolj obiskan dan	19. julij 2026 — 405 ogledov

Tabela 13 - Statistika prometa in uporabe javnega portala za zadnjih 30 dni - od 25. junija do 25. julija (anonimno zbiranje podatkov in brez piškotkov).

Najbolj obiskane strani: domača stran (27,6 %), karta tveganja (17,2 %), vodnik (7,4 %), statistika (4,3 %), zgodovina požarov (3,8 %) in 3D-karta (3,2 %). Vodilni položaj karte tveganja med funkcionalnimi stranmi potrjuje rezultat validacije z deležniki, ki so jo ocenili kot najuporabnejšo funkcijo (4,7/5).

10.4 Validacija z deležniki (D.2.3.3)

Rešitev je bila preverjena z operaterji na dveh delavnicah v okviru dosežka D.2.3.3:

- Aurisina/Nabrežina, 17. 3. 2026 (34 prisotnih — gasilci, civilna zaščita, gozdarska služba, vaške skupnosti): 71 % udeležencev je platformo ocenilo kot »v veliki meri skladno« z opredeljenimi kritičnimi območji; glavna pričakovana korist je preventivno prepoznavanje ogroženih območij (71 %), glavna omejitev pa medinstitucionalno usklajevanje (53 %) — organizacijska, ne tehnološka.
- Koper, 24. 4. 2026 (23 prisotnih — poklicni in prostovoljni gasilci, URSZR): 7 od 7 operaterjev meni, da je platforma uporabna pri obvladovanju požarov; uporabniška izkušnja je bila ocenjena s 4,3 (navigacija), 4,1 (jasnost) in 3,9 (hitrost); najuporabnejša funkcija je karta tveganja (4,7/5).

Rezultati so usmerili trenutno dodelavo: optimizacijo odzivnega časa pri obsežnih arhivih, razvoj mobilne aplikacije in krepitev interoperabilnosti s sistemi, ki jih uporabljajo institucije.

10.5 Terenske namestitve

- Senzorji »elektronski nos«: poskusna namestitve v Občini Devin-Nabrežina poleti 2026, načrtovana z optimizatorjem postavitve (§6.2); trenutno omrežje obsega 77 registriranih vozlišč, od katerih jih je 56 aktivnih.
- Postaje in kakovost zraka: postaje AirQino SMART321/322/323 v Občini Devin-Nabrežina so aktivne, podatki pa so objavljeni na portalu.
- Termokamere in droni: občinske pridobitve (termokamera s programsko opremo za spremljanje za Miren-Kostanjevico; po en dron s termokamero za vsako občino) so evidentirane v registru terenskih sredstev, vključno z upravljanjem vzdrževalnega cikla.

11 SMERNICE IN UPRAVLJANJE (iz D1.2.2)

Tehnološko rešitev spremljajo smernice za optimizirano razporejanje virov in priporočila politik, namenjena gozdarskim službam, gasilskim službam in upravam:

- Preprečevanje na podlagi podatkov: 60–70 % virov za upravljanje goriva usmeriti na območja z izjemno visoko ranljivostjo; prednost imajo pasovi do 50 m od cest in železnic (67,4 % zgodovinskih vžigov) ter borovi gozdovi na južnih in jugozahodnih pobočjih.
- Večstopenjski odziv, ki ga usmerjajo verjetnosti modela (§7.3), z ekipami, razporejenimi tako, da imajo območja z verjetnostjo >80 % odzivni čas krajši od 15 minut.
- Postopno uvajanje UI: fazni pristop (vzporedno delovanje → podpora odločanju → vključitev v standardne postopke) s skupnim tehničnim odborom, večstopenjskim usposabljanjem in mehanizmi povratnih informacij s terena.
- Čezmejno sodelovanje: izmenjava podatkov v realnem času, skupen nabor virov, skupne letne vaje in standardizirane ravni opozarjanja v obeh državah.
- Skladnost: usklajenost z Aktom EU o umetni inteligenci in GDPR; človeški nadzor kot načelo, o katerem se ni mogoče pogajati.

12 SKLEPI IN NADALJNI RAZVOJ

Učinek 2.1 zagotavlja skupno, operativno in že uporabljano rešitev: prvo čezmejno platformo za preprečevanje požarov na Krasu in zgodnje opozarjanje, zgrajeno na poenoteni zgodovinski podatkovni zbirki, lokalno umerjenem indeksu tveganja (K-FWI), ki v primerjavi s splošnim meteorološkim pristopom potroji sposobnost zaznavanja, rastočem terenskem nadzornem omrežju ter popolnoma sledljivem sistemu opozarjanja — vse to je javnosti dostopno v štirih jezikih.

Predhodni rezultati uvajanja — 33 institucij z aktivnimi uporabniškimi računi, 423 lokacij in 410 ekip v skupnem operativnem registru, 768 edinstvenih obiskovalcev portala v 30 dneh ter pozitivna validacija deležnikov — kažejo, da rešitev že prehaja iz razvojne faze v fazo uporabe.

Razvojne dejavnosti do zaključka projekta:

1. dokončanje namestitve elektronskih nosov v Občini Devin-Nabrežina (poletje 2026) in povezava vozlišč z opozorilno podatkovno potjo;
2. optimizacija zmogljivosti pri obsežnih zgodovinskih arhivih (prednostna naloga št. 1 z delavnic);
3. terenska mobilna aplikacija in interoperabilnost s sistemi reševalnih služb;
4. stalno izboljševanje modelov z novimi sezonskimi podatki;
5. polno operativno delovanje platforme na celotnem Krasu poleti 2026 in opredelitev modela trajnosti po koncu projekta.

VIRI IN LITERATURA

1. Karst Firewall 5.0, D1.2.1 — Modeli napovednih algoritmov, Infordata Sistemi, 2025.
2. Karst Firewall 5.0, D1.2.2 — Optimizirana razporeditev virov: smernice in politična priporočila za uporabo napovednih modelov, Infordata Sistemi.
3. Karst Firewall 5.0, D2.1.1 — Digitalni sistem za obvladovanje tveganja požarov, Infordata Sistemi.
4. Karst Firewall 5.0, D2.1.2 — Podatkovni niz za preprečevanje gozdnih požarov z zgodovinskimi podatki o kraškem ekosistemu, v6.0, Infordata Sistemi.
5. Karst Firewall 5.0, D1.1.2 — Ocena tveganja in ranljivosti zaradi gozdnih požarov v povezavi s podnebnimi spremembami v kraški regiji.
6. Karst Firewall 5.0, D.2.3.3 — Preverjanje in dodelava digitalne tehnologije 5.0 z glavnimi deležniki (delavnici Aurisina/Nabrežina, 17. 3. 2026, in Koper, 24. 4. 2026).
7. Tehnični repozitorij platforme (kf50-php) in dokumentacija K-FWI (kf50-kfwi-api), Infordata Sistemi.
8. Javni portal: <https://kf50.infordata.it/portal> — operativna platforma: karst.way.to.it.
9. Program Interreg VI-A Italija–Slovenija, projektni obrazec ITA-SI0600146 Karst Firewall 5.0.