Interreg Italia-Slovenija
Karst Firewall 5.0

Cofinanziato dall'Unione europea
Sofinancira Evropska unija

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

Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

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, nizkoogljična 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)

Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

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).

Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

KRATICE

Kratica	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: FFMC, 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

Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

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

Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

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

Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

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 zaznano operativno uporabnost (7 od 7 slovenskih operaterjev).

Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

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:

Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

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.

Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

3.2 Varnost, vloge in večjezičnost

- RBAC: nadzor dostopa na podlagi vlog za operaterje, administratorje, občinske upravljavce, 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), uskladitev 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.

Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

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

Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

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 značilk in uglaševanje) 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.

Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

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).

Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

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 postavitev: 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

Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

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 zaščite 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,

Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

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 → 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.

Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

- 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 zaščitenega 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 tristopenjska 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
Povratne informacije	Kanal za zbiranje uporabniških sporočil
3D-karta	Javna različica tridimenzionalnega prikaza

Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

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

Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

Entiteta	Št.
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

Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

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 namestitev v Občini Devin-Nabrežina poleti 2026, načrtovana z optimizatorjem postavitev (§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.

Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

- 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 NADALJNJI 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.

Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

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.

Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50