

PODATKOVNI NIZ ZA PREPREČEVANJE GOZDNIH POŽAROV Z ZGODOVINSKIMI PODATKI O KRAŠKEM EKOSISTEMU

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, nizkoogljična 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:	KFW50-D212
Titolo del documento / Naslov dokumenta:	PODATKOVNI NIZ ZA PREPREČEVANJE GOZDNIH POŽAROV Z ZGODOVINSKIMI PODATKI O KRAŠKEM EKOSISTEMU
Work Package:	2
Attività / Aktivnost:	1.2
Partner responsabili (autori) / Odgovorni partnerji (avtorji):	Infodata Sistemi (Petelin, Marko; Zidaric, Samuel; Zuccato, Nicola) ZRC SAZU (Čonč, Špela; Breg Valjavec, Mateja; Ciglič, Rok)
Luogo e data di pubblicazione / Kraj in datum objave:	Trst, 25/03/2026

KAZALO

1 POVZETEK.....	7
2 CILJI IN NAMEN.....	8
2.1 GLAVNI CILJI.....	8
2.2 ŠTUDIJSKO OBMOČJE	9
2.3 ČASOVNO OBDOBJE.....	9
3 IZZIV ČEZMEJNE INTEGRACIJE	9
3.1 MOZAIK PODATKOV ZA REKONSTRUKCIJO.....	9
3.2 PROCES HARMONIZACIJE	10
3.3 OD RAZDROBLJENOSTI DO OPERATIVNE ODLIČNOSTI	11
3.4 STRUKTURA INTEGRIRANEGA NABORA PODATKOV	11
3.5 ŠTEVILKE, KI PRIPOVEDUJEJO ZGODBO STEVILKE.....	12
4 ZGODOVINSKI GEOPROSTORSKI PODATKI.....	12
4.1 RABA TAL IN POKROVNOST	12

4.2 DIGITALNI MODELI TERENA (DMT).....	13
4.3 CESTNO OMREŽJE IN DOSTOPNA INFRASTRUKTURA	13
4.4 VEGETACIJA IN GOZDNI EKOSISTEMI.....	14
4.5 DELOVNA MREŽA IN LOČLJIVOST	14
5 METEOROLOŠKI IN PODNEBNI PODATKI.....	15
5.1 MREŽA METEOROLOŠKIH POSTAJ.....	15
5.2 MERJENI METEOROLOŠKI PARAMETRI	15
5.3 ČASOVNA POKRITOST IN PARAMETRI PO POSTAJAH.....	17
5.4 IZVEDENI METEOROLOŠKI INDEKSI	20
5.5 ZGODOVINSKI PODNEBNI PODATKI.....	21
5.6 PODNEBNE PROJEKCIJE	22
6 ZGODOVINSKI SPOMIN POŽAROV: 30 LET DOKUMENTIRANIH DOGODKOV	22
6.1 DVA SISTEMA, ENA STRATEGIJA.....	22
6.2 PODATKOVNA BAZA, KI PRIPOVEDUJE 3958 ZGODB	23
6.3 VZORCI, KI IZHAJAJO IZ PODATKOV.....	25
6.4 EVROPSKA VALIDACIJA: ONKRAJ REGIONALNIH MEJA	26
6.5 KVANTITATIVNE ZNAČILNOSTI.....	27

7 NAPOVEDNI PODATKI, GENERIRANI Z UI	27
7.1 IMPLEMENTIRANI MODELI STROJNEGA UČENJA	27
7.2 OPTIMALNO ČASOVNO OKNO	28
7.3 POMEMBOST ZNAČILNOSTI	28
7.4 GENERIRANI NAPOVEDNI REZULTATI	29
7.5 VALIDACIJA IN UČINKOVITOST	29
8 TEHNIČNA STRUKTURA IN ORGANIZACIJA	30
8.1 ORGANIZACIJA DIREKTORIJEV	30
8.2 PODPRTI FORMATI PODATKOV	31
8.3 KOORDINATNI SISTEMI	32
8.4 KONVENCIJE POIMENOVANJA	32
kf50_weather_stations	33
8.5 POSODOBITVE	33
9 STANDARDI IN METAPODATKI	33
9.1 SKLADNOST Z EVROPSKIMI STANDARDI	33
9.2 STRUKTURA METAPODATKOV	35
9.3 KATALOG METAPODATKOV	35

9.4 DOKUMENTACIJA KAKOVOSTI	36
10 KONTROLE KAKOVOSTI IN VALIDACIJA	37
10.1 METODOLOGIJE KONTROLE KAKOVOSTI.....	37
10.2 REZULTATI KONTROL KAKOVOSTI	37
10.3 POSTOPKI VALIDACIJE.....	42
10.4 OMEJITVE IN NEGOTOVOSTI	43
11 ZAKLJUČKI	44
11.1 POVZETEK REZULTATOV.....	44
11.2 POMEMBNE INOVACIJE.....	44
11.3 PRIČAKOVANI VPLIVI	45
11.4 PRIHODNJI RAZVOJ	45

1 POVZETEK

Ko požar prečka mejo med Italijo in Slovenijo na kraškem območju, ne prepozna administrativnih ovir. Desetletja so meteorološki podatki, evidence požarov in teritorialne informacije ostajali razdrobljeni na obeh straneh meje, kar je omejevalo zmožnost razumevanja in napovedovanja teh uničujočih dogodkov, ki ogrožajo edinstven in ranljiv ekosistem.

Deliverable D.2.1.2 pripoveduje zgodbo o tem, kako je projekt Karst Firewall 5.0 to razdrobljenost spremenil v integrirano sredstvo evropskega pomena. S sodelovanjem med italijanskimi in slovenskimi inštituti smo uspeli ustvariti prvi celovit čezmejni niz podatkov za preprečevanje gozdnih požarov v kraškem ekosistemu, v katerega smo vključili več kot 5.229.216 zgodovinskih meteoroloških zapisov, 3.958 poročil o gozdnih požarih in več kot 50 visokoločljivih geoprostranskih plasti, ki pokrivajo obdobje od leta 1991 do 2024.

To ni zgolj arhiv zgodovinskih podatkov, temveč živ in operativen sistem. Podatki z 22 strateško razporejenih meteoroloških postaj na Krasu, ki se beležijo na 30-60 minut, napajajo algoritme umetne inteligence, ki dosegajo 97 % natančnost pri napovedovanju požarne ogroženosti. Podrobne evidence, ki jih zagotavljata Gozdna služba Devin-Nabrežina in Zavod za gozdove Slovenije (ZGS), so bile usklajene v relacijsko bazo podatkov, ki sledi vsakemu vidiku protipožarnih intervencij, od prve prijave do končnih stroškov obnove.

Pot do te integracije ni bila preprosta predvsem zaradi usklajevanja podatkov iz različnih sistemov kot so na primer: koordinate v Sloveniji v projekciji D96/TM in UTM 33N v Italiji, evidence požarov z različnimi nacionalnimi metodologijami, meteorološke časovne vrste z vrzelmi in diskontinuitetami. Vsak nabor podatkov je bil validiran, georeferenciran in standardiziran v skladu z evropskimi direktivami INSPIRE, kar prvič ustvarja čezmejno podatkovno bazo.

Najbolj inovativen vidik je operativna integracija z algoritmi umetne inteligence, razvitimi v rezultatu D.1.2.1. Modeli XGBoost in Random Forest, ki temeljijo na bogatih zgodovinskih podatkih. Te podatki ne služijo le za napovedovanje požarne ogroženosti z natančnostjo 97

%, temveč se nenehno napajajo iz realnih tokov meteorološke mreže, kar sistem spreminja v živ vir za upravljanje izrednih razmer.

Danes prek digitalne platforme Karst Firewall 5.0 ta nabor podatkov podpira znanstvene raziskave, prostorsko načrtovanje in sisteme zgodnjega opozarjanja, kar predstavlja ponovljiv model za druge čezmejne evropske regije. Struktura nabora podatkov je zasnovana za zagotavljanje zanesljive podatkovne osnove za strategije prilagajanja podnebnim spremembam in blažitev požarne ogroženosti, z vplivi, ki segajo precej onkraj regionalnih meja projekta.

2 CILJI IN NAMEN

2.1 GLAVNI CILJI

Nabor podatkov za preprečevanje gozdnih požarov z zgodovinskimi podatki kraškega ekosistema je bil razvit za doseganje naslednjih strateških ciljev:

Podpora znanstvenim raziskavam: Zagotoviti celovito in standardizirano podatkovno bazo za raziskave zgodovinskih vzorcev požarov, podnebne analize in okoljskih sprememb kraškega ekosistema.

Prostorsko načrtovanje in upravljanje ogroženosti: Omogočiti lokalnim in regionalnim oblastem identifikacijo območij z visoko ogroženostjo, načrtovanje preventivnih ukrepov in razvoj strategij prilagajanja podnebnim spremembam.

Operativni sistemi zgodnjega opozarjanja: Zagotoviti osnovne podatke za napajanje napovednih algoritmov in avtomatiziranih sistemov za odkrivanje in obveščanje o požarni ogroženosti.

Čezmejno sodelovanje: Olajšati izmenjavo informacij in koordinacijo preventivnih dejavnosti ter odziva med Italijo in Slovenijo na Krasu.

2.2 ŠTUDIJSKO OBMOČJE

Nabor podatkov pokriva čezmejno kraško regijo, ki se razteza med:

- Italijanska stran: Pokrajini Trst in Gorica (Dežela Furlanija Julijska krajina).
- Slovenska stran: Goriška in Obalno-kraška regija.

Študijsko območje zaznamuje edinstven kraški ekosistem z apnenčastimi kamninskimi formacijami, mediteransko in celinsko vegetacijo ter specifičnimi mikropodnebnimi razmerami, ki pomembno vplivajo na obnašanje in širjenje gozdnih požarov.

2.3 ČASOVNO OBDOBJE

Nabor podatkov integrira zgodovinske podatke, ki pokrivajo več kot 30 let:

- Meteorološki podatki: od 1991 do 2024 (s spremenljivo pokritostjo po postajah).
- Evidence požarov: od 1995 do 2023.
- Geoprostorski podatki: najnovejši razpoložljivi nabori podatkov (2020-2024).

3 IZZIV ČEZMEJNE INTEGRACIJE

3.1 MOZAIK PODATKOV ZA REKONSTRUKCIJO

Ko je projekt Karst Firewall 5.0 začel zbirati obstoječe podatke leta 2024, smo se soočili z razdrobljeno informacijsko pokrajino, ki odraža administrativne delitve namesto ekološke realnosti kraškega ekosistema.

Na italijanski strani je ARPA FVG zbrala natančne meteorološke podatke iz svojih obalnih in celinskih postaj, medtem ko je Gozdna služba Devin-Nabrežina vzdrževala podrobne evidence protipožarnih intervencij v papirni obliki in lokalnih bazah podatkov. Čez mejo je slovenski ARSO upravljal svojo mrežo postaj s primerljivimi tehničnimi standardi, vendar

različnimi koordinatnimi sistemi in protokoli pridobivanja, medtem ko Zavod za gozdove Slovenije dokumentira vsak gozdni požar prek svojega naprednega spletnega portala.

Rezultat je bil zaklad informacij - več kot 5 milijonov meteoroloških zapisov z 22 postaj, 3958 natančno dokumentiranih požarnih dogodkov - vendar izoliranih v nacionalnih silosih, ki so preprečevali integrirano razumevanje pojavov, ki ne priznavajo meja.

3.2 PROCES HARMONIZACIJE

Preobrazba tega mozaika v koherenten nabor podatkov je zahtevala metodičen pristop na več ravneh. Prva ovira je bila geometrijska: slovenski podatki so uporabljali koordinatni sistem Slovenija D96/TM (EPSG:3794), medtem ko so bili italijanski pretežno v UTM 33N (EPSG:32633). Vsae posamezne točke, linije in poligoni so morali biti projicirani v enoten sistem WGS84 (EPSG:4326), ob hkratnem ohranjanju možnosti vrnitve na originalne koordinatne sisteme za zagotavljanje sledljivosti.

Vendar so bili tehnični izzivi le površinski. Za vsakim naborom podatkov so se skrivale globlje metodološke razlike: italijanski gozdarji so klasificirali požare po kriterijih, ki poudarjajo operativni vidik intervencije, medtem ko so slovenski kolegi sledili evropskim standardom, ki dajejo prednost ekološki analizi po dogodku. Oba pristopa sta imela znanstveno vrednost, vendar ju je bilo treba uskladiti v skupno strukturo.

Proces harmonizacije je vključeval gozdarje, informatike in raziskovalce, ki so delali v čezmejnih delovnih skupinah, ki se periodično srečujejo za reševanje neskladnosti in standardizacijo terminologije. Vsaka metodološka odločitev je bila dokumentirana za zagotavljanje ponovljivosti in prihodnjega razumevanja sprejetih izbir.

3.3 OD RAZDROBLJENOSTI DO OPERATIVNE ODLIČNOSTI

Nastali nabor podatkov ni preprosto vsota svojih delov. Integracija je ustvarila nove analitične možnosti: prvič je mogoče slediti, kako lahko požar, ki se začne v goriških hribih, vpliva na meteorološke razmere, zabeležene na obalnih postajah v Trstu, ali kako ventilacijski vzorci doline Soče vplivajo na širjenje ognja čez mejo.

To bogastvo integriranih podatkov je omogočilo razvoj algoritmov umetne inteligence, opisanih v D.1.2.1, saj je zagotovilo raznolikost in celovitost, potrebno za učenje napovednih modelov z visoko natančnostjo. Brez te čezmejne integracije bi modeli trpeli zaradi geografskih pristranskosti in omejitev v reprezentativnosti ekstremnih dogodkov.

3.4 STRUKTURA INTEGRIRANEGA NABORA PODATKOV

Končni nabor podatkov se deli na štiri glavne kategorije, ki skupaj zagotavljajo celovito predstavitev kraškega ekosistema:

- Zgodovinski geoprostorski podatki: Geografija tveganja, od gozdnih cest do kritične infrastrukture.
- Meteorološki in podnebni podatki: Podnebni motor požarov, s 34 leti neprekinjenega opazovanja.
- Evidence gozdnih požarov: Zgodovinski spomin dogodkov, vsak požar dokumentiran od 1995 do 2023.
- Napovedni podatki UI: Umetna inteligenca, ki pretvarja zgodovinske podatke v operativne napovedi.

3.5 ŠTEVILKE, KI PRIPOVEDUJEJO ZGODBO STEVILKE

Številke za tem naborom podatkov pripovedujejo zgodbo o intenzivnosti opravljenega dela:

- 5.229.216 meteoroloških zapisov: Vzorčenje na vsakih 30-60 minut na 22 postajah več kot tri desetletja.
- 3958 požarnih dogodkov: Natančno dokumentirana vsaka prijava, intervencija in škoda.
- 50+ geoprostorskih slojev: Od topografije visoke ločljivosti do mrež kritične infrastrukture.
- Ločljivost do 3m × 3m: Natančnost, zadostna za operativno načrtovanje na terenu.
- Mešano vzorčenje 30-60 minut: Meteorološki podatki z visoko časovno frekvenco ARSO (30min) in ARPA FVG (60min), ki nenehno napajajo napovedne modele.
- Skupna pogorela površina (1995-2023): 53.074 ha.
- Asimetrična porazdelitev: veliki požari (>100 ha) so 0,86 % števila dogodkov, vendar pojasnijo 84,34 % pogorele površine.
- Povprečna površina na dogodek: 13,41 ha (mediana < 1 ha).

Ta gostota informacij - ena meteorološka postaja na vsakih 66 km², popolna višinska pokritost od morja do 420m visokega Škocjana, reprezentativnost vseh kraških ekosistemov - zagotavlja, da noben pomemben vidik ozemlja ni zanemarjen pri analizi požarnega tveganja.

4 ZGODOVINSKI GEOPROSTORSKI PODATKI

4.1 RABA TAL IN POKROVNOST

Slovenska stran:

- Nabor podatkov: Grafični podatki o rabi tal za Slovenijo (Grafični podatki RABA).
- Format: Shapefile (.shp).
- Koordinatni sistem: Slovenija D96/TM (pretvorjen v EPSG:4326).
- Podrobnost: Regionalno-nacionalna raven (ne panevropska).

- Vir: Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano.
- Posodobitev: Periodična glede na nacionalne arhive.

Italijanska stran:

- Nabor podatkov: Carta della Natura Regionale FVG.
- Format: Shapefile (.shp).
- Koordinatni sistem: EPSG:32633 (UTM 33N).
- Podrobnost: Klasifikacija po standardu CORINE Land Cover.
- Vir: Dežela Furlanija Julijska krajina.
- Posodobitev: Petletna.

4.2 DIGITALNI MODELI TERENA (DMT)

Visoka ločljivost:

- Ločljivost: 1m × 1m (razpoložljivo za izbrana območja).
- Format: XYZ, GeoTIFF.
- Višinska natančnost: ± 0,15m.
- Vir: Geodetska uprava RS, Dežela FJK.

4.3 CESTNO OMREŽJE IN DOSTOPNA INFRASTRUKTURA

Steze in poti:

- Tipologije: Pohodniške poti, gozdne poti, protipožarne preseke.
- Merilo: 1:100.000 - 1:250.000.
- Vir: Zavod za gozdove Slovenije, Dežela FJK.
- Atributi: Prehodnost, vzdrževanje, dostopnost v nujnih primerih.

Gozdne in protipožarne ceste:

- Klasifikacija: Gozdne ceste, protipožarne preseke, evakuacijske poti.
- Atributi: Širina, nosilnost težkih vozil, stanje vzdrževanja.
- Pomembnost: Ključno za načrtovanje preventivnih in operativnih ukrepov.

4.4 VEGETACIJA IN GOZDNI EKOSISTEMI

Gozdni sestoji:

- Klasifikacija: Prevladujoče vrste, starost, gostota, višina.
- Merilo: 1:50.000.
- Atributi: Vnetljivost, biomasa, fitosanitarno stanje.
- Vir: Zavod za gozdove Slovenije, Dežela FJK.

4.5 DELOVNA MREŽA IN LOČLJIVOST

Vsi sloji napovedovalcev so bili harmonizirani na skupno delovno mrežo 3 m × 3 m. Topografske spremenljivke (naklon, ekspozicija, TPI, TWI) so bile izračunane iz DMT z metrsko ločljivostjo in nato pretvorjene na ločljivost 3 m × 3 m. Podnebni rastrski podatki CHELSA z ločljivostjo 1 km × 1 km so bili pretvorjeni na 3 m z namenom prostorske sporavnave; njihova dejanska ločljivost ostaja ~1 km. Antropogeni sloji in sloji rabe/pokrovnosti tal, razpoložljivi v vektorskem formatu, so bili rasterizirani na 3 m. Razen če ni drugače navedeno, so bile vse prostorske analize izvedene na tej mreži.

5 METEOROLOŠKI IN PODNEBNI PODATKI

5.1 MREŽA METEOROLOŠKIH POSTAJ

Meteorološki nabor podatkov temelji na mreži 22 meteoroloških postaj, strateško razporejenih po čezmejnem kraškem območju:

Geografska porazdelitev:

- Slovenija: 12 postaj (ARSO - Agencija RS za okolje).
- Italija: 10 postaj (ARPA FVG - Agenzia Regionale Protezione Ambiente).

Višinske značilnosti:

- Najnižja kota: 0 m n.m. (obalne postaje).
- Najvišja kota: 420 m n.m. (Škocjan).
- Porazdelitev: Reprezentativna za vse višinske pasove Krasa.

Tehnične opombe: Časovni žigi so zabeleženi v lokalnem času; na platformi in v API-ju so podatki servirani v UTC (z avtomatskim odmikom).

5.2 MERJENI METEOROLOŠKI PARAMETRI

Vsaka postaja pridobiva podmnožico naslednjih parametrov z mešanim vzorčenjem 30-60 minut (ARSO pogosto na 30', ARPA FVG pogosto na 60'):

Temperatura:

- Parameter: Temperatura zraka na 2m.
- Enota: °C.
- Natančnost: $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.
- Pokritost: 17/22 postaj.

Relativna vlažnost:

- Parameter: Relativna vlažnost zraka.
- Enota: %.
- Natančnost: ± 2 %.
- Pokritost: 17/22 postaj.

Padavine:

- Parameter: Kumulativne urne padavine.
- Enota: mm.
- Natančnost: $\pm 0,1$ mm (< 10 mm), ± 1 % (> 10 mm).
- Pokritost: 15/22 postaj.

Veter:

- Parametri: Povprečna hitrost, maksimalni sunek, smer.
- Enote: m/s, stopinje.
- Natančnost: $\pm 0,1$ m/s, $\pm 5^\circ$.
- Pokritost: 17/22 postaj za povprečno hitrost, 19/22 za maksimalni sunek, 18/22 za smer.

Sončno sevanje:

- Parameter: Globalno sončno sevanje.
- Enota: W/m².
- Natančnost: ± 5 %.
- Pokritost: 11/22 postaj.

Atmosferski tlak:

- Parameter: Tlak na morski gladini.
- Enota: hPa.
- Natančnost: $\pm 0,1$ hPa.
- Pokritost: 6/22 postaj.

5.3 ČASOVNA POKRITOST IN PARAMETRI PO POSTAJAH

Tabela 1 - Meteorološke postaje čezmejne mreže Karst Firewall 5.0

Ime postaje	Država	Št. zapisov	Prvi zapis	Zadnji zapis	Leta	Razpoložljivi parametri
Ajdovščina Dolenje	SLO	559.824	1993-01-01	2024-12-31	32	T, H, P, WS, WD, WG
Bilje	SLO	572.880	1992-01-01	2024-12-31	33	T, H, P, WS, WD, WG, R, BP
Boja Zarja Tržaški zaliv	SLO	51.984	2022-01-01	2024-12-31	3	WG, WD
Boja Zora Debeli rtič	SLO	52.416	2022-01-01	2024-12-31	3	WG, WD
Godnje	SLO	155.712	2016-01-01	2024-12-31	9	T, H, P, WS, WD, WG, R
Koper Kapitanija	SLO	329.424	2006-01-01	2024-12-31	19	T, H, WS, WD, WG, R, BP

Koper Luka	SLO	561.792	1991-05-01	2024-12-31	33	T, H, P, WS, WD, WG
Nova Gorica	SLO	413.328	2001-01-08	2024-12-31	24	T, H, P, WS, WD, WG
Piran Boja	SLO	420.768	2001-01-01	2024-12-31	24	T, H, WS, WD, WG
Podnanos	SLO	157.824	2016-01-01	2024-12-31	9	T, H, P, WS, WD, WG
Škocjan Divača	SLO	350.640	2005-01-01	2024-12-31	20	T, H, P, WS, WD, WG, R, BP
Vedrijan	SLO	156.144	2016-01-01	2024-12-31	9	T, H, P, R
Gorizia Aeroporto	ITA	26.304	2022-01-01	2024-12-31	3	T, H, P, WS, WD, WG, R
Monfalcone Pluvio	ITA	78.912	2016-01-01	2024-12-31	9	T, H, P
Monfalcone New	ITA	78.888	2016-01-01	2024-12-31	9	T, H, WS, WD, WG, R

Monfalcone Old	ITA	140.256	2006-01-01	2021-12-31	16	T, H, P, WS, WD, WG, R, BP
Sgonico- Zgonik	ITA	289.296	1992-01-01	2024-12-31	33	T, H, P, WS, WD, WG, R, BP
Trieste Istituto Nautico	ITA	157.800	2007-01-01	2024-12-31	18	WS, WD, WG
Trieste molo Fratelli Bandiera	ITA	271.752	1994-01-01	2024-12-31	31	T, H, P, WS, WD, WG, R, BP
Muggia	ITA	166.560	2006-01-01	2024-12-31	19	WS, WD, WG
Muggia Pluvio	ITA	78.912	2016-01-01	2024-12-31	9	P
Trieste Cattinara	ITA	157.800	2007-01-01	2024-12-31	18	T, H, P, WS, WD, R

Legenda parametrov:

- T: Temperatura - H: Vlažnost - P: Padavine.
- WS: Hitrost vetra - WD: Smer vetra - WG: Maksimalni sunek.
- R: Sončno sevanje - BP: Atmosferski tlak.

Tipologije postaj:

- Morske boje: Boja Zarja in Boja Zora (samo veter, od 2022); Piran Boja (T, H, WS, WD, WG; od 2001).
- Samo padavine (ID 21): samo padavinske meritve.
- Letališka (ID 13): urno vzorčenje od 2022.
- Monfalcone Old/New (ID 15-16): prekrivajoča se obdobja, logična skupina postaje.

Statistika mreže:

- Skupno obdobje: 1991-2024 (34 let).
- Skupno zapisov: 5.229.216 meritev na 30-60 minut.
- Postaje z 20+ leti podatkov: 8 postaj.
- Vzorčenje: Mešano 30' (ARSO) in 60' (ARPA FVG).

5.4 IZVEDENI METEOROLOŠKI INDEKSI

Kanadski indeks požarne ogroženosti (FWI):

- Komponente: FPMC, DMC, DC, ISI, BUI.
- Frekvenca: Dnevna.
- Obdobje: 1992-2024.
- Izračun: Samo kjer so razpoložljive zahtevane spremenljivke; brez polnjenja z reanalizo v tej izdaji.
- Uporaba: Glavni vhod za napovedne modele UI.

Indeksi suše:

- Palmer Drought Severity Index (PDSI): Mesečni, izračunan za postaje s T in P.
- Standardizirani padavinski indeks (SPI): 1, 3, 6, 12 mesecev za padavinske postaje.
- Zaporedni suhi dnevi: Število zaporednih dni brez dežja (prag 0,1mm).

5.5 ZGODOVINSKI PODNEBNI PODATKI

Temperatura (1981-2010):

- Parameter: Povprečna letna temperatura.
- Format: Raster 1 km × 1 km.
- Vir: ARSO Atlas okolja.
- Trend: Povprečno povečanje 0,57°C na desetletje (1993-2023)*.

*Metodološka opomba: trend izračunan iz serij postaj; rastri 1981-2010 so samo za podnebno referenco.

Padavine (1981-2010):

- Parameter: Popravljen povprečne letne padavine.
- Format: Raster 1km × 1km (za namene integracije z drugimi napovedovalci so rastri CHELSA prevzorčeni na delovno mrežo 3 m (glej poglavje 4.7), brez vnašanja novih prostorskih podrobnosti).
- Vir: ARSO Atlas okolja.
- Razpon: 800-3000 mm/leto na študijskem območju.

5.6 PODNEBNE PROJEKCIJE

Scenariji RCP (CMIP5):

- Obdobja: 2040-2070, 2070-2100.
- Parametri: Temperatura, padavine.
- Ločljivost: Sezonska.
- Modeli: Ansambel regionalnih podnebnih modelov CMIP5.
- Uporaba: Ocene prihodnjega tveganja, načrtovanje prilagajanja.

Tehnična opomba: Projekcije RCP (CMIP5); migracija na SSP/CMIP6 načrtovana leta 2025 v skladu s trenutnimi standardi IPCC AR6.

6 ZGODOVINSKI SPOMIN POŽAROV: 30 LET DOKUMENTIRANIH DOGODKOV

6.1 DVA SISTEMA, ENA STRATEGIJA

Dokumentiranje gozdnih požarov na Krasu odraža dva nacionalna pristopa, ki sta se desetletja razvijala neodvisno. Na italijanski strani je Gozdna služba Dežele Furlanije Julijske krajine z operativno bazo v Devinu-Nabrežini razvila sistem, osredotočen na operativno upravljanje intervencij, ki skrbno dokumentira vsako fazo od prve prijave do končne sanacije. Njihova neposredna izkušnja na terenu - od obalnih borovcev do kraških gmajn v notranjosti - se kaže v zapisih, bogatih z operativnimi podrobnostmi: tip uporabljenih vozil, ure intervencije, strategije gašenja, nastali stroški.

Na drugi strani meje je Zavod za gozdove Slovenije (ZGS) implementiral bolj sistematizirani pristop prek spletnega portala <https://prostor.zgs.gov.si/pregledovalnik/>, ki sledi evropskim standardom, ki poudarjajo ekološko analizo in znanstveno klasifikacijo dogodkov. Slovenski

gozdarji natančno dokumentirajo značilnosti goriva, razvoj vedenja ognja in dolgoročni okoljski vpliv.

Oba pristopa zajemata bistvene vidike realnosti požarov, vendar je njuna integracija zahtevala izgradnjo skupnega ogrodja, sposobnega ohraniti informacijsko bogastvo obeh tradicij.

6.2 PODATKOVNA BAZA, KI PRIPOVEDUJE 3958 ZGODB

Integrirana baza podatkov o gozdnih požarih predstavlja najbolj popoln spomin, kdajkoli sestavljen za čezmejni kraški ekosistem. Vsak zapis od 3958 dogodkov od 1995 do 2023 je zgrajen okoli relacijske strukture sedmih medsebojno povezanih tabel, ki dokumentirajo:

Location (Lokacija) - Kje je nastal vsak požar: Ne samo geografske koordinate, ampak celoten teritorialni kontekst. Vsak dogodek je georeferenciran z natančnostjo od ± 10 do ± 100 metrov glede na vir, nato kontekstualiziran prek administrativnih delitev (država, regija, pokrajina, občina), upravljanja gozdov (pristojno območje in enota), fizičnih značilnosti lokacije (nakloni, orientacija, nadmorska višina, morfologija) in zgodovine ozemlja (območja, ki so jih prej prizadeli požari).

Incident (Dogodek požara) - Kronologija in narava vsakega dogodka: Vsak požar ima svojo edinstveno identiteto prek nacionalnih in čezmejnih kod. Časovna dokumentacija presega preprost datum začetka/konca, vključuje skupno trajanje, dan v tednu (za analize antropogenih vzorcev), klasifikacijo po tipu in intenzivnosti. Vzročnost se sistematično raziskuje: naravna (predvsem strela), antropogena (razločena na namerno, nenamerno, nedoločeno), s podrobnostmi o viru vžiga, ko je določljiv.

Intervention (Intervencija) - Operativni odziv: Vsaka minuta šteje v boju proti požarom. Baza podatkov sledi časom pripravljenosti (koliko časa je potrebno za aktivacijo ekip), začetku aktivne intervencije, začetku operacij gašenja in popolnemu koncu operacij vključno s sanacijo. Uporabljene tehnike so dokumentirane od začetnega pristopa do končnih strategij, vključno z uporabo protigolja in odstotno učinkovitostjo zatiranja s strani gozdnih služb.

Equipment (Oprema in sredstva) - Mobilizirani viri: Popoln inventar od gasilskih vozil tipa A in B do dronov za prepoznavanje. Baza podatkov razlikuje med kopenskimi vozili (terenska vozila, prikolice, protipožarni moduli), mobilno infrastrukturo (prenosne cisterne, gradbena mehanizacija), zračnimi viri (letala in helikopterji za gašenje, rekognosciranje, transport), naprednimi tehnologijami (droni, ki se vse bolj uporabljajo) in specializirane kemične izdelke (močila, zgoščevala, pene, zaviralci). Za vsako intervencijo je zabeležen vrh sočasne uporabe in datumi največje uporabe.

Personnel Involved (Vključeno osebje) - Ljudje vključeni v intervenciji: Za vsako operacijo stoji kompleksna človeška mreža. Baza podatkov dokumentira, kdo koordinira (pristojni organ ali oseba), koliko operaterjev je vključenih po kategoriji (gozdno osebje, prostovoljni in poklicni gasilci, organi pregona, oborožene sile, civilisti), skupne delovne ure, vrhunec zaposlitve. Ti podatki razkrivajo intenzivnost kolektivnega napora: v nekaterih primerih so mobilizirane stotine ljudi za več dni, tisoče delovnih ur za pomembne dogodke.

Damage (Škoda in vplivi) - Cena požarov: Ocena škode presega pogorelo površino. Baza podatkov kvantificira neposredne ekonomske stroške (ocena škode v evrih, dnevne stroške upravljanja izrednih razmer), razlikuje tipologije gorenja (odstotki podzemnega, talnega, krošnjaškega ognja), podrobno navaja površine po tipologiji gozda (iglavci, listavci, mešani, panjevc, grmišča), izračunava uničeno lesno maso v kubičnih metrih, razlikuje med javnimi in zasebnimi zemljišči, dokumentira vpliv na zavarovana območja in kvantificira družbene vplive (evakuirane osebe, ranjeni, žrtve, ogroženi vodni viri).

Incident Characteristics (Značilnosti dogodka) - Znanstvena analiza: Vsak požar je tudi študijski primer. Baza podatkov beleži tehnično-znanstvene podrobnosti: uro prve prijave, dan v letu odkritja (za sezonske analize), fazo razvoja ob intervenciji, podrobno gozdno sestavo, prevladujoče vrste (znanstveno in lokalno ime), vedenje ognja (maksimalna hitrost širjenja, model gorenja), orientacijo točke vžiga glede na pobočja in datume največje razširitve.

6.3 VZORCI, KI IZHAJAJO IZ PODATKOV

Ko analiziramo 3958 dogodkov, razporejenih čez 30 let, se pojavijo vzorci, ki razkrivajo tako naravno dinamiko kot človeško vedenje. Številke kažejo realnost, ki je bolj kompleksna od običajnih zaznav:

Geografija ognja: 70 % požarov je bilo zabeleženih pod 200 m nadmorske višine, na območjih stika urbanih in ruralnih površin, kjer širitev pozidave sreča naravno vegetacijo. To ni naključje: ta območja združujejo večjo človeško prisotnost (potencialni viri vžiga) z vegetacijo, ki je pogosto bolj suha in fragmentirana (lažje širjenje). Najbolj prizadeta območja dejansko sledijo geografiji naselij: goriški in tržaški Kras, kjer je desetletja širitve stanovanjskih območij ustvarilo kompleksno mrežo stikov med pozidanim in naravnim.

Koledar požarov: V juliju in avgustu je zabeleženih 45 % letnih dogodkov, vendar se aktivna sezona razširi od maja do septembra in zajame 85 % skupnega števila. Zima ni izvzeta - manj kot 5 % dogodkov, vendar pretežno antropogenega izvora, kar razkriva, kako lahko človeški element preskoči naravne sezonske omejitve. Dan v tednu pri antropogenih požarih kaže vrhunce ob koncih tedna, ko je rekreacijski pritisk na ozemlje največji.

Matematika škode: Analiza 3958 dogodkov (1995-2023) potrjuje močno asimetrično porazdelitev. Povprečna površina na požar je 13,41 ha (mediana < 1 ha). Veliki požari (>100 ha) predstavljajo le 0,86 % dogodkov, vendar ustvarijo 84,34 % skupne pogorele površine, kar je enako 53.074 ha v obravnavanem obdobju, z enim izjemnim dogodkom, ki je gorel 7 zaporednih dni (168 ur zabeleženih leta 2022).

Odzivni časi in učinkovitost: Majhni dogodki (<1 ha) se v povprečju nadzorujejo v 2-4 urah, srednji (1-10 ha) zahtevajo 6-12 ur, medtem ko se veliki požari lahko razširijo na 24-72 ur. Ti časi odražajo ne samo intenzivnost pojava, ampak učinkovitost sistema odzivanja, ki se je razvil skozi leta prek zbrane izkušnje.

6.4 EVROPSKA VALIDACIJA: ONKRAJ REGIONALNIH MEJA

Nabor podatkov ne deluje v izolaciji, ampak se aktivno integrira z glavnimi evropskimi informacijskimi sistemi za gozdne požare. Ta integracija služi tako za navzkrižno validacijo lokalnih podatkov kot za prispevek k znanju na celinski ravni.

EFFIS (Evropski informacijski sistem za gozdne požare) zagotavlja evropsko primerjalno osnovo:

- Obodi večjih požarov se samodejno primerjajo s podatki EFFIS Burnt Areas, ki se posodablajo skoraj dnevno.
- Lokalne zgodovinske serije prispevajo k nacionalnim statistikam, dostopnim prek kataloga data.europa.eu.
- Sezonske karte pogorele površine (Ocena škode) zagotavljajo širši kontekst za interpretacijo lokalnih trendov.

Storitve Copernicus nudijo satelitsko validacijo:

- Global Land Service s svojimi podatki Burnt Area pri 300 m ločljivosti zagotavlja neodvisno preverjanje lokalno izračunanih površin.
- CAMS GFAS (Global Fire Assimilation System) omogoča primerjavo emisij iz gorenja biomase, izračunanih iz lokalnih podatkov, z globalnimi ocenami.
- Fire Weather Index na osnovi ERA5 zagotavlja neodvisen meteorološki nadzor za validacijo razmer, zabeleženih na lokalnih postajah.

GWIS (Globalni informacijski sistem za divje požare) JRC predstavlja znanstveno središče:

- Reanalize zgodovinskega Fire Weather Indexa omogočajo validacijo lokalnih izračunov na razširjenih časovnih serijah.
- Uradne nacionalne statistike zagotavljajo kontekst za primerjave in primerjalno analizo.
- Current Situation Viewer nudi kontekst v realnem času za razumevanje trenutnih razmer.

Ta integracija ni le akademska. Lokalni nabor podatkov implementira avtomatske rutine, ki primerjajo geometrije, preverjajo časovno skladnost, validirajo meteorološke podatke in uporabljajo oznake kakovosti, ko neskladja presegajo vnaprej določene pragove. Rezultat je

nabor podatkov, ki ohranja bogastvo lokalnih podrobnosti, hkrati pa zagotavlja skladnost z evropskimi standardi.

6.5 KVANTITATIVNE ZNAČILNOSTI

Velikosti požarov:

- Povprečna površina: 13,41 ha na dogodek.
- Mediana: < 1 ha (močno asimetrična porazdelitev).
- Veliki požari (> 100 ha): 0,86 % skupnega števila, 84,34 % skupne površine.
- Skupna pogorela površina: 53.074 ha (1995-2023)

Povprečno trajanje:

- Majhni dogodki (< 1 ha): 2-4 ure.
- Srednji dogodki (1-10 ha): 6-12 ur.
- Veliki dogodki (> 100 ha): 24-72 ur.
- Rekord: 168 ur (7 dni) za izjemen požar 2022.

7 NAPOVEDNI PODATKI, GENERIRANI Z UI

7.1 IMPLEMENTIRANI MODELI STROJNEGA UČENJA

Kot je podrobno opisano v poročilu D.1.2.1, je bilo razvitih in validiranih več algoritmov umetne inteligence za napovedovanje tveganja gozdnih požarov:

XGBoost (glavni model):

- Natančnost: 97 %.
- Priklic: 83 %.
- Preciznost: 81 %.
- F1-rezultat: 82 %.

- Značilnosti: Optimalno upravljanje neuravnoteženih naborov podatkov, interoperabilnost.

Random Forest (primerjalni model):

- Učinkovitost: Primerljive, vendar nižje metrike od XGBoost.
- Značilnosti: Robustnost, manjše prekomerno prileganje.

Decision Tree (osnovna linija):

- Učinkovitost: Osnovna učinkovitost za primerjave.
- Značilnosti: Maksimalna interoperabilnost, hitrost.

7.2 OPTIMALNO ČASOVNO OKNO

Analiza je identificirala, da se najboljša napovedna učinkovitost doseže z uporabo:

- Obdobje opazovanja: 3 tedne pred dogodkom.
- Časovna ločljivost: Urni podatki, agregirani na dnevni osnovi.
- Vhodne spremenljivke: Vsi razpoložljivi meteorološki parametri.

7.3 POMEMBNOST ZNAČILNOSTI

Analiza pomembnosti značilnosti modela XGBoost je identificirala naslednje dejavnike kot najbolj vplivne:

- Temperatura: Maksimalna relativna teža.
- Relativna vlažnost: Negativna korelacija s tveganjem.
- Sončno sevanje: Indikator suhih razmer.
- Dnevi brez dežja: Trajanje suhega obdobja.

7.4 GENERIRANI NAPOVEDNI REZULTATI

Dnevne karte ogroženosti:

- Prostorska ločljivost: 100 m × 100 m (rezultati pri 100 m so pridobljeni z agregacijo (upscaling) iz delovne mreže 3 m (glej poglavje 4.7); za zvezne spremenljivke se uporablja povprečje, za kategorične večina).
- Pokritost: Celotno študijsko območje.
- Razredi ogroženosti: Zelo nizko, nizko, srednje, visoko, zelo visoko.
- Format: GeoTIFF, WMS/WMTS/WCS storitve.

Napovedne časovne serije:

- Napovedni horizont: 7 dni.
- Posodobitev: Dnevna.
- Parametri: Verjetnost požara na celici/območju.
- Padajoča natančnost: Maksimalna pri 24h, uporabna do 7 dni s progresivno degradacijo.

Karte nevarnosti in ranljivosti:

- Osnova: Analize MaxEnt in MCDA/AHP iz D.1.1.2.
- Izboljšava: Integracija napovedi v realnem času.
- Dejavniki: Gorivo, topografija, vreme, infrastruktura.

7.5 VALIDACIJA IN UČINKOVITOST

Nabor podatkov za učenje:

- Obdobje: 1995-2020.
- Dogodki: 3166 georeferenciranih požarov (80 % skupnega števila).
- Uporaba: Učenje in optimizacija hiperparametrov.

Nabor podatkov za validacijo:

- Obdobje: 2021-2023.
- Dogodki: 792 požarov za neodvisno validacijo (20 % skupnega števila).
- Metrike: Potrditev učinkovitosti na podatkih, ki jih model ni videl.

Navzkrižna validacija:

- Metoda: K-fold stratificiran (k=5).
- Rezultati: Stabilnost modela potrjena s konsistentnimi metrikami.
- Prekomerno prileganje: Specifične kontrole za časovne nabore podatkov.

8 TEHNIČNA STRUKTURA IN ORGANIZACIJA

8.1 ORGANIZACIJA DIREKTORIJEV

Nabor podatkov je organiziran v hierarhično strukturo, ki zagotavlja sledljivost in olajša dostop do podatkov:

`KarstFirewall_Dataset_v6.0/`

<code> — GeoData_final/</code>	<code># Končni standardiziran nabor podatkov</code>
<code> — GeoData_ITA/</code>	<code># Izvirni podatki Italija</code>
<code> — GeoData_SLO/</code>	<code># Izvirni podatki Slovenija</code>
<code> — GeoData_merged/</code>	<code># Harmonizirani čezmejni podatki</code>
<code> — Weather_Data/</code>	<code># Meteorološke časovne serije</code>
<code> — Fire_Records/</code>	<code># Baza podatkov gozdnih požarov</code>
<code> — AI_Predictions/</code>	<code># Rezultati napovednih modelov</code>

└─ Metadata/

Dokumentacija in metapodatki

└─ Documentation/
specifikacije

Uporabniški priročniki in tehnične

GeoData_final/: Vsebuje vse geoprostorske sloje v njihovi končni, standardizirani in za operativno uporabo pripravljeni verziji:

- Enoten koordinatni sistem (EPSG:4326).
- Standardne konvencije poimenovanja.
- Dokončane kontrole kakovosti.
- Več formatov (shapefile, geopackage, geotiff).

Podatki po državah: Ohranja originalne verzije za zagotavljanje sledljivosti in omogočanje specifičnih analiz po državah.

Združeni podatki: Harmonizirani čezmejni sloji za integrirane analize Italija-Slovenija.

8.2 PODPRTI FORMATI PODATKOV

Vektorski podatki:

- Shapefile (.shp): Standardni format za združljivost s starejšimi različicami.
- GeoPackage (.gpkg): OGC standard za zmogljivost in napredne funkcionalnosti.
- GeoJSON: Za spletne aplikacije in REST API.
- KML/KMZ: Za vizualizacijo v Google Earth.

Rastrski podatki:

- GeoTIFF: Glavni format za DMT, karte ogroženosti, izvedene produkte.
- NetCDF: Za podnebne in meteorološke časovne serije.
- PNG/JPEG: Za spletno vizualizacijo in slike.

Baze podatkov:

- MySQL: Evidence požarov in metapodatki.
- InfluxDB: Visokofrekvenčne meteorološke časovne serije.
- PostGIS: Geoprostorski podatki za podjetniške aplikacije.

8.3 KOORDINATNI SISTEMI

Glavni sistem:

- EPSG:4326: WGS84 Geographic (decimalne stopinje).
- Uporaba: Standard za vse končne nabore podatkov, API, spletne storitve.

Ohranjeni izvirni sistemi:

- EPSG:32633: UTM cona 33N za italijanske podatke.
- EPSG:3794: Slovenija D96/TM za slovenske podatke.
- Transformacije: Dokumentirani parametri pretvorbe.

8.4 KONVENCIJE POIMENOVANJA

Poimenovanje datotek:

`[CATEGORY]_[SUBCATEGORY]_[COUNTRY]_[DATE]_[VERSION].[ext]`

Primeri:

`LANDUSE_CORINE_ITA_2021_v1.shp`

`WEATHER_TEMPERATURE_SLO_19812010_v2.tif`

FIRES_RECORDS_MERGED_19952023_v6.gpkg

Poimenovanje slojev GIS:

kf50_[tipo]_[dettaglio]_[area]

Primeri:

kf50_roads_highway_karst

kf50_fire_risk_daily

kf50_weather_stations

8.5 POSODOBITVE

Posodobitev podatkov:

- Realni čas: Meteorološki podatki (mešano vzorčenje 30-60 minut).
- Dnevno: Napovedi UI, indeks požarne ogroženosti.
- Mesečno: Konsolidacija evidenc požarov.
- Letno: Posodobitev geoprostorskih slojev.

9 STANDARDI IN METAPODATKI

9.1 SKLADNOST Z EVROPSKIMI STANDARDI

Nabor podatkov je razvit v popolni skladnosti z evropskimi direktivami in standardi za zagotavljanje maksimalne interoperabilnosti v ekosistemu evropskih podatkov:

Direktiva INSPIRE:

- Priloga I: Koordinatni sistemi, administrativne enote, hidrografija.
- Priloga II: Raba tal, višine.
- Priloga III: Območja naravnih tveganj, atmosferske razmere.
- Storitve: Pregledovanje (WMS), Prenos (WFS), Odkrivanje (CSW).
- Metapodatki: ISO 19139 XML v skladu z INSPIRE Metadata Implementing Rules.

DCAT-AP v3.0 in GeoDCAT-AP:

- DCAT-AP: Application Profile za evropske kataloge odprtih podatkov.
- GeoDCAT-AP: Specifično mapiranje za geoprostorske podatke v RDF.
- Interoperable Europe Portal: Skladnost z zahtevami evropskega portala.
- Semantična interoperabilnost: Standardizirani kontrolirani slovarji.

Standardi ISO/TC 211:

- ISO 19115-1:2014: Osnovni metapodatki za geografske informacije.
- ISO 19139-1:2019: XML Schema implementacija za metapodatke.
- ISO 19119:2016: Storitve geografskih informacij.
- ISO 19110:2016: Katalog tipov značilnosti.

Evropski kontrolirani slovarji:

- GEMET: General Multilingual Environmental Thesaurus (EEA).
- INSPIRE Registry: Referenčni slovarji INSPIRE.
- EU Vocabularies: Uradni tezavri EU (Urad za publikacije).

Prostorski referenčni sistemi:

- EPSG:4326: WGS84 za globalno združljivost in spletne storitve.
- EPSG:3035: ETRS89-extended / LAEA Europe za panevropske analize.
- EPSG:32633: UTM 33N za podatke visoke natančnosti lokalnega območja.
- Transformacije: Certificirani parametri v skladu s smernicami EUREF.

9.2 STRUKTURA METAPODATKOV

Vsak nabor podatkov spremljajo popolni metapodatki, strukturirani v skladu z ISO 19115:

Identifikacija:

- Naslov, povzetek, ključne besede.
- Edinstveni trajni identifikatorji.
- Tematska kategorija ISO.
- Geografska in časovna razširjenost.

Kakovost podatkov:

- Popolnost, geometrijska in tematska natančnost.
- Logična in topološka konsistentnost.
- Linija izvora (izvor in zgodovina procesov).
- Rezultati kontrol kakovosti.

Distribucija:

- Razpoložljivi formati.
- Načini dostopa in omejitve.
- Odgovorni kontakti.
- Licence uporabe.

Referenčni sistem:

- Uporabljen koordinatni sistem.
- Datum in projekcija.
- Parametri transformacije.

9.3 KATALOG METAPODATKOV

Implementacija CSW:

- Programska oprema: GeoNetwork opensource.
- Standard: OGC CSW 2.0.2, INSPIRE CSW.
- Dostop: Spletni vmesnik in programski API.
- Pobiranje: Združljivo z nacionalnimi in evropskimi geoportali.

Profil INSPIRE:

- Metapodatki v skladu s Technical Guidelines v2.0.
- Avtomatska validacija skladnosti.
- Večjezičnost (italijanščina, slovenščina, angleščina).
- Povezave do geografskih storitev.

9.4 DOKUMENTACIJA KAKOVOSTI

Poročila o kakovosti: Za vsak glavni nabor podatkov je na voljo podrobno poročilo, ki vsebuje:

- Metodologije pridobivanja in procesiranja podatkov.
- Izvedene kontrole kakovosti in rezultati.
- Znane omejitve in predlogi uporabe.
- Ocenjene negotovosti in natančnosti

Popolna linija izvora:

- Izvirni viri in njihove značilnosti.
- Uporabljeni procesi transformacije.
- Uporabljena programska oprema in verzije.
- Datumi procesiranja in odgovorni.

10 KONTROLE KAKOVOSTI IN VALIDACIJA

10.1 METODOLOGIJE KONTROLE KAKOVOSTI

Geometrijske kontrole:

- Topološka veljavnost: Preverjanje zaprtih poligonov, odsotnost samopresekanja.
- Pozicijska natančnost: Primerjava z referenčnimi nabori podatkov (GPS, ortofoto).
- Geografska popolnost: Preverjanje popolne pokritosti študijskega območja.
- Konsistentnost merila: Kontrola primernosti podrobnosti za merilo uporabe.

Kontrole atributov:

- Popolnost: Preverjanje prisotnosti obveznih vrednosti.
- Konsistentnost: Kontrola skladnosti med povezanimi atributi.
- Veljavnost domen: Preverjanje skladnosti s predefiniranimi sezname vrednosti.
- Tematska natančnost: Validacija prek fotointerpretacije in terenskih preverjanj.

Časovne kontrole:

- Popolnost serij: Identifikacija vrzeli v časovnih serijah.
- Verjetnost vrednosti: Preverjanja razponov in odkrivanje osamelcev.
- Časovna konsistentnost: Kontrola kontinuitete in skladnosti trendov.
- Sinhronizacija: Preverjanje časovne poravnave med nabori podatkov.

10.2 REZULTATI KONTROL KAKOVOSTI

Geoprostorski podatki:

- Pozicijska natančnost: Validirana v skladu s projektnimi standardi.
- Tematska popolnost: >98 % obveznih atributov prisotnih.
- Topološka veljavnost: Sistematske kontrole dokončane.

- Konsistentnost: Skladna s poslovnimi pravili.

Meteorološke časovne serije:

- Popolnost: 94,2 % razpoložljivih podatkov (ob upoštevanju načrtovanega vzdrževanja).
- Verjetnost: 99,1 % vrednosti znotraj fizično realističnih razponov.
- Oznake kakovosti: Avtomatska klasifikacija zanesljivosti meritev.
- Analiza vrzeli: Dokumentacija in strategije zapolnjevanja vrzeli.

Baza podatkov požarov - Podrobna analiza kakovosti:

Tabela 2 - Popolnost podatkov po glavnih tabelah

Tabela	Število zapisov	Popolnost ključnih polj	Odstotki popolnosti
Incident Data	3958	fire_start: 100 %, area: 100 %, location: 100 %, cause: 100 %	Vsa kritična polja so popolna
Location Data	3958	coordinates: 100 %, country: 100 %, altitude: 100 %	Popolna georeferencija
Damage Data	3958	burned_area: 100 %, damage_cost: 47.2 %	Območje vedno prisotno, delni stroški
Intervention Data	3958	start: 99.6 %, end: 99.4 %	Časovnica skoraj popolna

Tabela 3 - Porazdelitev odzivnih časov

Kategorija časa odziva	Število dogodkov	Odstotek
0 ur (Takojšnji)	2,492	63,18 %
1-2 ur	783	19,85 %
3-6 ur	355	9,00 %
7-24 ur	221	5,60 %
>24 ur	93	2,36 %

Tabela 4 - Porazdelitev velikosti požarov

Kategorija velikosti	Število dogodkov	Povprečna površina (ha)	Odstotek

≤1 ha (Zelo majhni)	2972	0,24	75,09 %
1,1-10 ha (Majhni)	791	3,15	19,98 %
10,1-100 ha (Srednji)	161	31,73	4,07 %
100,1-1000 ha (Veliki)	27	240,45	0,68 %
1000-10.000 ha (Zelo veliki)	6	3464,80	0,15 %
10.000 ha (Ekstremni)	1	17.482,00	0,03 %

Tabela 5 - Sezonski vzorci

Letni čas	Število dogodkov	Povprečna površina (ha)	Odstotek
Pomlad (Mar-maj)	1616	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 6 - Geografska porazdelitev

Država	Število dogodkov	Povprečna površina (ha)	Odstotek
Slovenija	2751	15,87	69,50 %
Italija	1207	7,79	30,50 %

Indikatorji splošne kakovosti:

- Odlična (≥ 80 %): 3943 dogodkov (99,62 %).
- Dobra (60-79 %): 14 dogodkov (0,35 %).
- Zadovoljiva (40-59 %): 1 dogodek (0,03 %).
- Povprečna ocena kakovosti: 86,6/100.

Validacije časovnice:

- Neveljavni datumi konca požarov: 0 dogodkov.
- Negativni odzivni časi: 0 dogodkov.
- Napačno časovno razvrščanje: 0 dogodkov.

- Osiretel zapisi: 0 dogodkov.

Prioritete manjkajočih podatkov:

- Stroški škode: 52,8 % manjka (visoka prioriteta).
- Ura konca požara: 0,2 % manjka (visoka prioriteta).
- Vzroki požara: 0,0 % manjka.
- Koordinate: 0,0 % manjka.

10.3 POSTOPKI VALIDACIJE

Navzkrižna validacija:

- Analiza prekrivanja: Avtomatska primerjava med prekrivajočimi se nabori podatkov.
- Statistična korelacija: Analiza pričakovanih korelacij med spremenljivkami.
- Strokovna revizija: Ročna validacija s strani domenskih strokovnjakov.
- Terenska verifikacija: Vzorčne kontrole na terenu.

Validacijski nabor podatkov:

- Referenčni podatki: 2500 kontrolnih točk, georeferenciranih z GPS.
- Terenska resnica: Verificirana baza podatkov požarov 2020-2024.
- Neodvisni viri: Primerjava z zunanjimi nabori podatkov (Copernicus, ESA).

Stalno spremljanje:

- Kontrole v realnem času: Avtomatska validacija novih vhodnih podatkov.
- Mesečna poročila: Avtomatizirana mesečna poročila o kakovosti.

- Letna ocena: Popolna letna ocena kakovosti nabora podatkov.
- Integracija povratnih informacij: Nenehno izboljševanje na osnovi uporabe.

10.4 OMEJITVE IN NEGOTOVOSTI

Identificirane omejitve:

Meteorološki podatki:

- Omejena prostorska reprezentativnost v oddaljenih območjih.
- Možne višinske pristranskosti (premajhna zastopanost visokih nadmorskih višin).
- Manjkajoča obdobja med izrednim vzdrževanjem.

Evidence požarov:

- Možno premajhno poročanje o majhnih požarih ($<100 \text{ m}^2$).
- Spremenljivost natančnosti georeferenciranja ($\pm 10\text{-}100 \text{ m}$).
- Metodološke razlike med Italijo in Slovenijo.

Geoprostorski podatki:

- Neenaki datumi pridobivanja med sloji.
- Spremenljiva prostorska ločljivost (1 m-1 km).
- Možne napake avtomatske klasifikacije rabe tal.

Ocena negotovosti:

- Pozicijska: $\pm 5\text{-}15 \text{ m}$ za linearne značilnosti, $\pm 25 \text{ m}$ za poligonske.
- Časovna: $\pm 15 \text{ min}$ za meteorološke dogodke, $\pm 2 \text{ ur}$ za požare.
- Tematska: Natančnost 85-95 % glede na kategorijo podatkov.

11 ZAKLJUČKI

11.1 POVZETEK REZULTATOV

Rezultat D.2.1.2 je privedel do ustvarjanja celovitega in znanstveno robustnega nabora podatkov za preprečevanje gozdnih požarov v čezmejnem kraškem ekosistemu. Nabor podatkov predstavlja informacijsko bogastvo izjemne vrednosti, ki integrira:

- 5.229.216 meteoroloških zapisov iz 22 postaj s časovno pokritostjo do 34 let.
- 3958 georeferenciranih evidenc gozdnih požarov s podrobnimi atributi.
- 50+ visokoločljivostnih geoprostorskih slojev, ki pokrivajo vse pomembne teritorialne vidike.
- Napovedne modele UI s 97 % natančnostjo in operativnimi zmogljivostmi v realnem času.

Kakovost in popolnost nabora podatkov sta bili validirani prek sistematičnih kontrol, ki so potrdile visoke standarde geometrijske natančnosti, tematske popolnosti in časovne konsistentnosti. Integracija z digitalno platformo Karst Firewall 5.0 zagotavlja operativno dostopnost in uporabo v realnem času za upravljanje požarnega tveganja.

11.2 POMEMBNE INOVACIJE

Čezmejna integracija: Nabor podatkov predstavlja prvi primer popolne integracije meteoroloških, teritorialnih in zgodovinskih podatkov o požarih za kraško regijo Italija-Slovenija, ki presega tradicionalne nacionalne ovire pri upravljanju tveganj.

Večnivojski pristop: Kombinacija podatkov zelo visoke ločljivosti (1 m DMT) s tridesetletnimi zgodovinskimi serijami omogoča analize, ki segajo od strateškega načrtovanja do takojšnjega operativnega upravljanja.

Integracija UI: Naravna integracija napovednih modelov UI v nabor podatkov omogoča avtomatsko generiranje scenarijev ogroženosti in njihovo nenehno validacijo z zgodovinskimi podatki.

Zmogljivost v realnem času: Neposredna povezava z aktivnimi meteorološkimi postajami zagotavlja nenehno posodobitev in takojšnjo operativno uporabo za sisteme opozarjanja.

11.3 PRIČAKOVANI VPLIVI

Znanstveni vpliv: Nabor podatkov zagotavlja trdno osnovo za napredne raziskave o:

- Vzorci podnebnih sprememb na kraškem območju.
- Razvoju režima gozdnih požarov.
- Validaciji inovativnih pristopov upravljanja ozemlja.

Operativni vpliv:

- Pomembno izboljšanje napovednih zmogljivosti požarne ogroženosti.
- Optimizacija strategij preprečevanja in odzivanja na izredne razmere.
- Skrajšanje odzivnih časov prek zgodnjega opozarjanja.
- Učinkovitejša koordinacija čezmejnih virov.

Družbeni vpliv:

- Večja varnost prebivalcev na ogroženih območjih.
- Zmanjšanje ekonomske in okoljske škode zaradi požarov.
- Izboljšanje komuniciranja tveganja javnosti.
- Krepitev mednarodnega sodelovanja.

11.4 PRIHODNJI RAZVOJ

Širitev nabora podatkov:

- Integracija podatkov iz IoT senzorjev, "ki vohajo" (mreža Dryad).
- Dodajanje slojev biotske raznovrstnosti in ekosistemskih storitev.

Trajnost:

- Opredelitev modela ekonomske trajnosti po projektu.
- Prenos znanja lokalnim organom.
- Standardizacija pristopa za ponovljivost.

Nabor podatkov torej predstavlja ne le dokončanje projektnega cilja, ampak osnovo za novo generacijo digitalnih orodij za trajnostno in znanstveno utemeljeno upravljanje tveganja gozdnih požarov v evropski regiji.