

PODATKOVNA ZBIRKA PODATKOV DALJINSKEGA ZAZNAVANJA

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

INFORMACIJE O PROJEKTU	
Akronim projekta:	KARST FIREWALL 5.0
Naslov projekta:	Inovativno ekosistemsko-zasnovano prilagajanje podnebnim spremembam na Krasu. Spodbujanje požarno odporne gmajne s podporo industrije 5.0
Prednostno področje:	Bolj zelena, nizko-ogljikna Evropa, ki prehaja na gospodarstvo z ničelno stopnjo neto emisij ogljika in je odporna
Specifični cilj programa:	SO4: Spodbujanje prilagajanja podnebnim spremembam in preprečevanja tveganja nesreč ter odpornosti ob upoštevanju ekosistemskih pristopov
URL spletne strani projekta:	https://www.ita-slo.eu/sl/karst-firewall-50
Številka dokumenta:	KFW50-D231
Naslov dokumenta:	Podatkovna zbirka podatkov daljinskega zaznavanja
Delovni paket:	2
Dejavnost:	2.3
Odgovorni partnerji (avtorji):	ZRC SAZU (Breg Valjavec, Mateja; Ciglič, Rok; Štaut, Lenart; Geršič, Matjaž; Jakob, Aljaž) Infordata Sistemi (Petelin, Marko; Zidaric, Samuel; Zuccato, Nicola)
Citiranje:	
Kraj in datum objave:	26. 3. 2026

KAZALO

1	UVOD	4
2	PODATKOVNA ZBIRKA SATELITSKIH PODATKOV	4
2.1	SEZNAM SATELITSKIH POSNETKOV	4
2.2	ANALIZA SATELITSKIH SLIK Z GOOGLE EARTH ENGINE	6
2.2.1	IZRAČUN INDEKSOV	7
2.2.2	IZBIRA SATELITSKIH SLIK	8
2.2.3	DOLOČANJE POVRŠINE POŽARA	8
2.3	ZBIRKA PODATKOV IN ZEMLJEVID PRETEKLIH POŽAROV	9
3	ZBIRKA MULTISPEKTRALNIH SLIK IZ DRONOV IN 3D OBLAKOV TOČK	11
3.1	MULTISPEKTRALNE SLIKE Z DRONI	11
3.2	ARHIVIRANJE BAZE PODATKOV ZAPISOV Z DRONI	12
4	ZBIRKA PODATKOV TELEDETEKCIJE NA PLATFORMI KARST FIREWALL	18
4.1	PREGLED PLATFORME	18
4.2	INTEGRACIJA PODATKOV DALJINSKEGA ZAZNAVANJA	18
4.3	INTERAKTIVNI 2D ZEMLJEVID IN PRIKAZ PODATKOV	21
4.4	RAVEN NAPOVEDI NEVARNOSTI POŽARA	22
4.5	INTEGRACIJA Z MODELOM NAPOVEDI TVEGANJA POŽARA	24
4.5.1	PREGLED MODELA	24
4.5.2	POSTOPEK	25
4.6	DOSTOPNOST IN INTEROPERABILNOST PODATKOV	26
5	VIRI IN LITERATURA	26

1 UVOD

Baza podatkov daljinskega zaznavanja vključuje satelitske posnetke, RGB in multispektralne letalske fotografije ter 3D-točkovne oblake. Nekateri podatki bodo predstavljeni na portalu Karst Firewall (A2.1.1), drugi pa bodo shranjeni v bazi podatkov. Sistem bo podpiral skupne čezmejne sisteme za zgodnje odkrivanje požarov v kraškem okolju in obvladovanje njihovega širjenja ter za spremljanje obnove naravne vegetacije po požaru. Daljše podatkovne serije bodo koristne tudi za analizo in pridobivanje novih informacij, na primer na pilotnih območjih.

2 PODATKOVNA ZBIRKA SATELITSKIH PODATKOV

Satelitski podatki so bili zbrani in uporabljeni v merilu celotnega požganega območja (požar 2022), medtem ko so posnetki iz drona pridobljeni (posneti) le za pilotna območja znotraj občin (za podrobnejšo predstavitev glej dosežek D.2.3.2).

Sistem satelitskih posnetkov temelji na satelitskih podatkih Sentinel iz programa Copernicus Evropske vesoljske agencije. Uporabili smo časovno vrsto spektralnih pasov Sentinel-2, ki nam omogočajo zaznavanje požganih območij s prostorsko ločljivostjo do 20 m za velika območja. Za pridobivanje in obdelavo satelitskih podatkov Sentinel-2 smo uporabili Google Earth Engine, odprtokodno platformo v oblaku za obdelavo in analizo geoprostorskih podatkov. Za starejše požare smo uporabili posnetke satelita Landsat..

2.1 SEZNAM SATELITSKIH POSNETKOV

V prvi fazi dejavnosti smo se osredotočili na sestavo seznama relevantnih satelitskih slik, ki pokrivajo čezmejno območje Krasa, tj. slovenski del občine Miren-Kostanjevica in del občine Komen ter italijanski del občine Devin-Nabrežina. Satelitske slike, ki smo jih izbrali, izpolnjujejo naslednja merila:

- satelitske slike, posnete pred požarom
- satelitske slike, posnete po požaru (prve, ki so na voljo)

- za obdobje, ki ga pokrivajo posnetki Sentinel, so izbrani slednji, za predhodna obdobja pa se uporabljajo ustrezni razpoložljivi satelitski posnetki (npr. Landsat), ki omogočajo kartiranje požarov

Prejeli smo dva niza podatkov o požarih: enega za Kras v Sloveniji in enega za Furlanijo-Juljsko krajino. Oba niza sta bila filtrirana tako, da so bili ohranjeni le požari, ki so zadevali ustrezne občine, in sicer Miren-Kostanjevica, Komen in Devin-Nabrežina.

Podatki Sentinel-2 imajo prostorsko ločljivost 10 m (100 m² na piksel), medtem ko imajo podatki Landsat ločljivost 30 m (900 m² na piksel). Ker mora požar v celoti pokrivati vsaj nekaj sosednjih pikslov, smo za nadaljnjo obdelavo izbrali le tiste požare, ki so bili že ocenjeni na več kot 0,5 ha (5000 m²). Za nadaljnjo obdelavo smo izvozili tabelo z datumi začetka in konca požara, lokacijskimi podatki, edinstvenimi identifikatorji (ID) in identifikatorji izvora požarov. Satelitske slike so na voljo na portalu Google Earth Engine in jih je po potrebi mogoče prenesti tudi na lokalni (zunanji) nosilec podatkov. Seznam je v obliki Excelove tabele, priložene temu poročilu kot PRILOGA 1 (PRILOGA1.xls).

Seznam_satelitski_posnetki_požari_KarstFirewall5.0 - Excel

Country	FID	id_orig	ID	after_scene_name	after_timestamp	before_scene_name	before_timestamp	idpozar
ITA	31	15725	ITA15725	L5_L2SP_191028_19900813_02_T1	13.08.1990 09:12	L5_L2SP_191028_19900728_02_T1	28.07.1990 09:12	15725
ITA	34	15728	ITA15728	L5_L2SP_191028_19900813_02_T1	13.08.1990 09:12	L5_L2SP_191028_19900728_02_T1	28.07.1990 09:12	15728
ITA	35	15547	ITA15547	L5_L2SP_191028_19900829_02_T1	29.08.1990 09:12	L5_L2SP_191028_19900712_02_T1	12.07.1990 09:12	15547
ITA	37	15550	ITA15550	L5_L2SP_191028_19900829_02_T1	29.08.1990 09:12	L5_L2SP_191028_19900813_02_T1	13.08.1990 09:12	15550
ITA	38	15549	ITA15549	L5_L2SP_191028_19900914_02_T1	14.09.1990 09:12	L5_L2SP_191028_19900712_02_T1	12.07.1990 09:12	15549
ITA	40	13990	ITA13990	L5_L2SP_191028_19910205_02_T1	5.02.1991 09:12	L5_L2SP_191028_19900829_02_T1	29.08.1990 09:12	13990
ITA	39	15551	ITA15551	L5_L2SP_191028_19910205_02_T1	5.02.1991 09:12	L5_L2SP_191028_19900829_02_T1	29.08.1990 09:12	15551
ITA	32	16488	ITA16488	L5_L2SP_191028_19930821_02_T1	21.08.1993 09:14	L5_L2SP_191028_19930805_02_T1	5.08.1993 09:14	16488
ITA	31	16487	ITA16487	L5_L2SP_191028_19930821_02_T1	21.08.1993 09:14	L5_L2SP_191028_19930805_02_T1	5.08.1993 09:14	16487
ITA	32	19868	ITA19868	L7_L2SP_191028_20120817_02_T1	17.08.2012 09:47	L7_L2SP_191028_20120801_02_T1	1.08.2012 09:47	19868
ITA	35	19871	ITA19871	L7_L2SP_191028_20120817_02_T1	17.08.2012 09:47	L7_L2SP_191028_20120801_02_T1	1.08.2012 09:47	19871
ITA	34	19881	ITA19881	L7_L2SP_191028_20120817_02_T1	17.08.2012 09:47	L7_L2SP_191028_20120801_02_T1	1.08.2012 09:47	19881
ITA	37	19873	ITA19873			L7_L2SP_191028_20120817_02_T1	17.08.2012 09:47	19873
ITA	38	19874	ITA19874			L7_L2SP_191028_20120817_02_T1	17.08.2012 09:47	19874
ITA	40	19875	ITA19875			L7_L2SP_191028_20120817_02_T1	17.08.2012 09:47	19875
ITA	41	19876	ITA19876			L7_L2SP_191028_20120817_02_T1	17.08.2012 09:47	19876
ITA	42	19877	ITA19877			L7_L2SP_191028_20120817_02_T1	17.08.2012 09:47	19877
ITA	43	19878	ITA19878	L7_L2SP_191028_20121121_02_T1	21.11.2012 09:48	L7_L2SP_191028_20120817_02_T1	17.08.2012 09:47	19878
ITA	39	19962	ITA19962	L7_L2SP_191028_20121121_02_T1	21.11.2012 09:48	L7_L2SP_191028_20120817_02_T1	17.08.2012 09:47	19962
ITA	45	20041	ITA20041	L7_L2SP_191028_20121121_02_T1	21.11.2012 09:48	L7_L2SP_191028_20120817_02_T1	17.08.2012 09:47	20041
ITA	1	15999	ITA15999	L5_L2SP_191028_19900218_02_T1	18.02.1990 09:13	L5_L2SP_191028_19891130_02_T1	30.11.1989 09:16	15999
ITA	1	13991	ITA13991	L5_L2SP_191028_19910205_02_T1	5.02.1991 09:12			13991
ITA	1	15479	ITA15479	L5_L2SP_191028_19920412_02_T1	12.04.1992 09:16			15479
ITA	1	15522	ITA15522	L5_L2SP_191028_19930210_02_T1	10.02.1993 09:14	L5_L2SP_191028_19921224_02_T1	24.12.1992 09:13	15522
ITA	1	16490	ITA16490	L5_L2SP_191028_19940504_02_T1	4.05.1994 09:11			16490
ITA	1	14745	ITA14745	L5_L2SP_191028_19950131_02_T1	31.01.1995 09:04	L5_L2SP_190028_19950108_02_T1	8.01.1995 08:58	14745
ITA	1	16615	ITA16615	L5_L2SP_190028_19950430_02_T1	30.04.1995 08:54	L5_L2SP_191028_19950405_02_T1	5.04.1995 09:01	16615
ITA	1	14562	ITA14562	L5_L2SP_191028_19960407_02_T1	7.04.1996 09:01	L5_L2SP_191028_19951115_02_T1	15.11.1995 08:51	14562
ITA	1	16018	ITA16018	L5_L2SP_191028_19970410_02_T1	10.04.1997 09:19	L5_L2SP_191028_19970221_02_T1	21.02.1997 09:17	16018
ITA	1	15815	ITA15815	L5_L2SP_191028_19980328_02_T1	28.03.1998 09:28	L5_L2SP_191028_19971120_02_T1	20.11.1997 09:26	15815
ITA	1	14111	ITA14111	L5_L2SP_191028_19990227_02_T1	27.02.1999 09:31	L5_L2SP_191028_19981107_02_T1	7.11.1998 09:31	14111
ITA	1	15673	ITA15673	L7_L2SP_191028_20000121_02_T1	21.01.2000 09:44	L7_L2SP_191028_20000105_02_T1	5.01.2000 09:45	15673
ITA	1	15679	ITA15679	L7_L2SP_191028_20010413_02_T1	13.04.2001 09:42	L7_L2SP_191028_20001222_02_T1	22.12.2000 09:42	15679

Slika 1 – Pregled baze podatkov satelitskih posnetkov.

2.2 ANALIZA SATELITSKIH SLIK Z GOOGLE EARTH ENGINE

Glavni cilj analize satelitskih posnetkov je bil določiti natančno lokacijo požara in oceniti stanje vegetacije po požaru. Na podlagi seznama satelitskih posnetkov smo ustvarili vektorske plasti (poligone) območja vsakega požarišča in tabelo atributov, v kateri so vsakemu poligonu dodeljeni naslednji atributi: datum požara, datum posnetka, ocena stanja vegetacije, površina požarišča. Identifikatorji poligonov so usklajeni s tistimi v bazi podatkov ZGS za slovenski del obravnavanega območja.

2.2.1 IZRAČUN INDEKSOV

Za identifikacijo pogorelih površin in sprememb v vegetaciji smo uporabili tri indekse: BAIS2, BAI in NDVI. BAIS2 in BAI sta indeksa, ki se uporabljata za zaznavanje površinskega gorenja in sta občutljiva na stopnjo ožganosti pogorelih površin.

BAI pomeni *Burned Area Index* (indeks pogorelih območij). Njegova formula je (Chuvieco et. al. 2002):

$$BAI = \frac{1}{(0,1 + RED)^2 + (0,06 + NIR)^2}$$

RED in NIR sta imeni pasov na senzorjih Landsat. Pas RED zazna rdečo svetlobo v območju 640–670 nm, medtem ko pas NIR zazna svetlobo v bližnjem infrardečem območju 850–880 nm.

BAIS2 pomeni *Burned Area Index for Sentinel-2 (S2)*. Njegova formula je (Filipponi 2018):

$$BAIS2 = \left(1 - \sqrt{\frac{B06 \cdot B07 \cdot B8A}{B4}} \right) \cdot \left(\frac{B12 - B8A}{\sqrt{B12 + B81}} + 1 \right)$$

Spremenljivke so vrednosti pasov senzorja Sentinel 2. B06, B07, B8A so del bližnjega infrardečega spektra, z zaznavanjem okoli 740 nm, 783 nm oziroma 865 nm, B04 je rdeč, z zaznavanjem pri 665 nm, B12 pa je SWIR (kratkovalovni infrardeči) pri 2190 nm. BAIS2 uporablja spektralne pasove (zlasti je del spektra NIR razdeljen na več pasov), ki so specifični za senzorje Sentinel-2, zato ni primeren za slike Landsat. Okrajšava NDVI pomeni *normalizirani indeks vegetacije*. Gre za preprost indeks, ki je postal standard za ocenjevanje stanja vegetacije. Temelji na absorpciji klorofila rdečih valovnih dolžin in visoki odbojnosti v bližnjem infrardečem delu spektra (Tucker 1979).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

2.2.2 IZBIRA SATELITSKIH SLIK

Prednost smo dali slikam **Sentinel-2 (S2)**, kadar so bile na voljo. Sentinel-2 je začel zajemati slike marca 2015, vendar je postal v celoti operativen šele v začetku leta 2017. Za požare v obdobju 2015–2017 smo zato pogosto uporabili slike Landsat 8 ali Landsat 9. Slike Landsat 5 so na voljo od 80. let.

Za vsak požar smo pripravili **zbirko slik za obdobje 150 dni pred in 150 dni po** požaru. Slike smo filtrirali glede na oblačnost in praviloma izključili tiste, kjer je bila oblačnost večja od 30 %. Iz preostalih slik smo odstranili piksele z oblaki.

Za oceno pogorelih površin smo izbrali prve tri slike, ki so bile na voljo pred in po požaru, da bi zmanjšali vpliv naključnih dejavnikov, težav s senzorji in napak zaradi odstranjevanja oblakov. Izbrane slike smo združili tako, da smo izračunali mediano v eni sami sceni »pred požarom« in »po požaru«. Če ta izbira ni prinesla zadovoljivih rezultatov, smo poskušali ugotoviti vzrok težave:

- Pogosto je ena od združenih prizorov vsebovala preveč šuma. V tem primeru smo povečali število slik, uporabljenih za izračun mediane, in/ali preverili, ali je problem povzročila ena sama slika s prekomernim šumom, ki smo jo nato odstranili.
- Če je bil signal požara zelo šibak, smo uporabili le prvo sliko pred ali po požaru. To je zagotovilo največjo možno primerljivost prizorov, medtem ko je bil signal požara izrazitejši na prvi sliki po dogodku.
- Če so slike pred in po požaru pripadale jasno različnim fenološkim fazam vegetacije, smo poskušali najti slike izpred požara iz prejšnjega leta v isti fenološki fazi kot slike po požaru.

Za mnoge požare smo združili vse tri popravke, dokler nismo dobili zadovoljivega rezultata. Za požare po letu 2017 smo na splošno uporabili le prvo primerno sliko pred in po dogodku. Višja prostorska ločljivost in boljša kakovost slike sta v veliki meri odpravili potrebo po združevanju več slik v eno.

2.2.3 DOLOČANJE POVRŠINE POŽARA

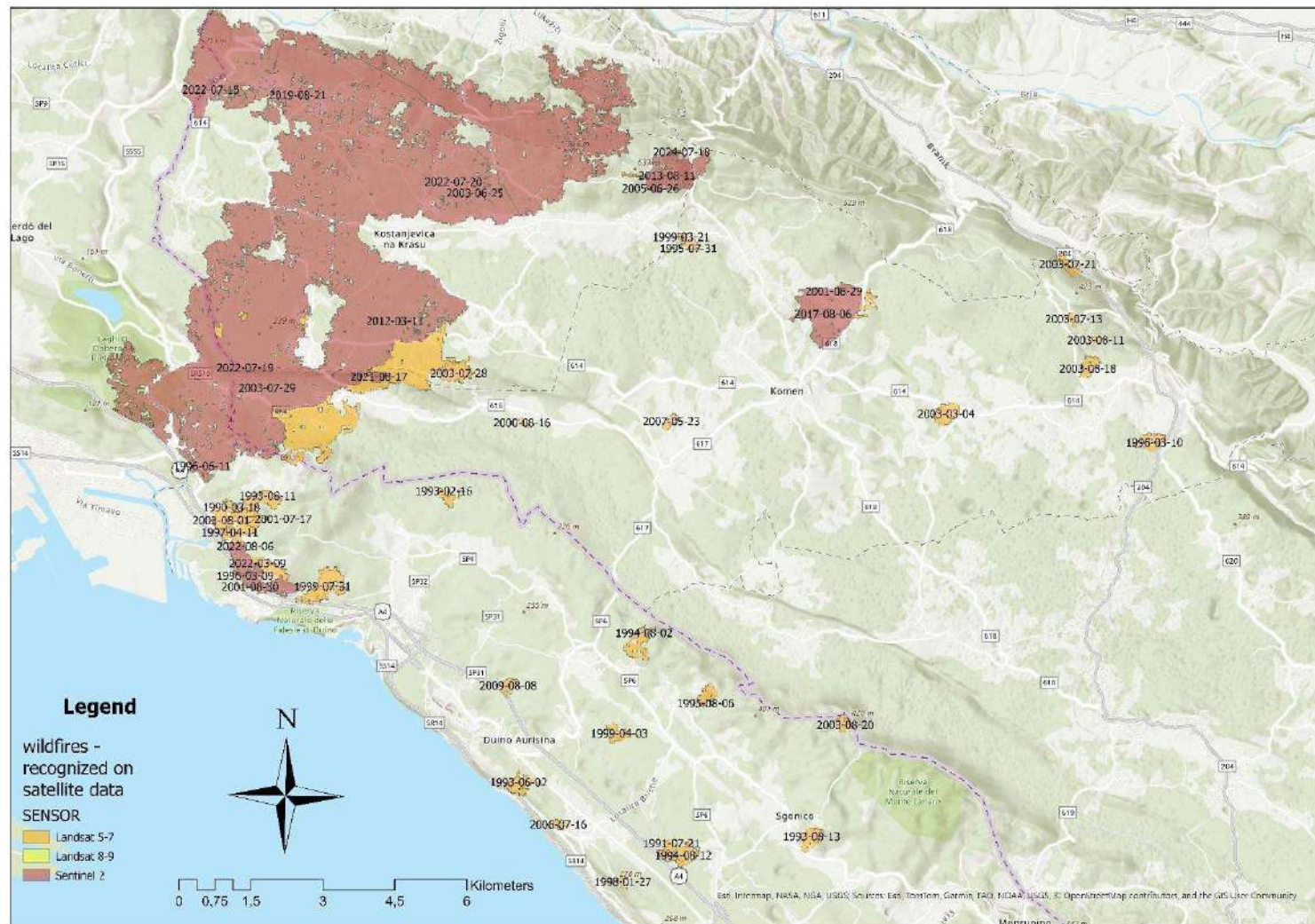
Za stanje pred in po požaru smo najprej izračunali indeksa BAIS2 in BAI, nato pa še njuno razliko (dBAIS2 in dBAI). Nastali raster z vrednostmi razlike smo vektorializirali z določitvijo praga. Iz dobljenih poligonov smo obdržali le tiste, ki so vsebovali izvorni točki požara (za Slovenijo) ali težišče poligona, ki ga določajo vhodni podatki (za Italijo). Tako smo dobili en

sam končni poligon za vsak požar. Prag smo določili individualno za vsak požar, saj sta se zbiranje in izbira slik razlikovala od primera do primera. Običajno je bila okoli 0,2 za dBAIS2 in med 20 in 30 za dBAI. Končne poligone smo izvozili in nato združili v en sam shapefile v ArcGIS Pro (PRILOGA2.zip).

2.3 ZBIRKA PODATKOV IN ZEMLJEVID PRETEKLIH POŽAROV

Prejeli smo niz podatkov o 288 požarih iz občin Miren-Kostanjevica in Komen ter o 394 požarih iz občine Devin-Nabrežina. Po filtriranju podatkov glede na obseg požarov je ostalo 118 oziroma 120 požarov, skupaj torej 238 požarov, primernih za analizo. Uspelo nam je določiti poligone pogorelih površin za 171 požarov. Za preostale požare to z uporabljenimi metodami ni bilo mogoče. Za nekatere so bile slike sicer na voljo, vendar so bile slabe kakovosti, kar je povzročilo preveč šuma v rezultatih, zaradi česar ni bilo mogoče zanesljivo določiti pogorelih površin, ali pa slike niso vsebovale razpoznavnih sledov požara. To je bilo še posebej pogosto pri požarih pred letom 2017, ki so se zgodili na začetku ali koncu zime. Manjša pogostost preletov satelitov Landsat in zimsko oblačnost sta pogosto oteževala pridobivanje posnetkov pred in po požaru v isti fenološki fazi, saj spomladanska rast in jesenske spremembe vegetacije zakrivajo signal požara. Pri zimskih požarih je bilo včasih težko oceniti površino pogorelega gozda, saj so spremembe med golim gozdom in pogorelim gozdom veliko manj izrazite kot med zelenim gozdom in pogorelim gozdom. Težave so se pogosto pojavljale tudi pri požarih v letih 2011 in 2012. Te je zaznal satelit Landsat 7, ki je od leta 2003 imel tehnične težave, ki so se v letih 2011 in 2012 tako poslabšale, da je bilo težko najti uporabne slike za ta obdobja. Po izstrelitvi satelita Landsat 8 leta 2013 je bilo mogoče ponovno izračunati indekse.

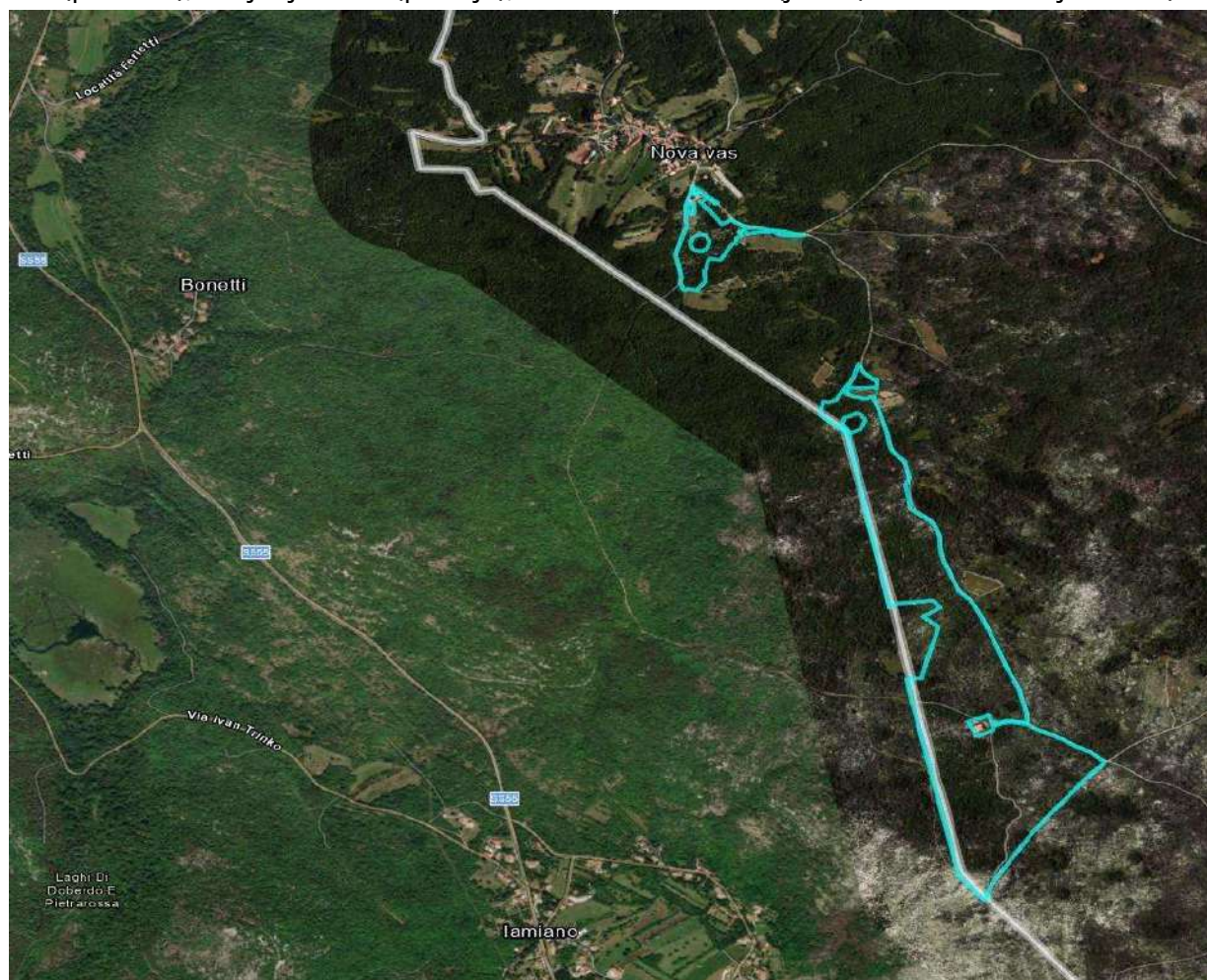
Slika 2 – Zemljevid območij, prizadetih v požarih, zaznanih na satelitskih slikah.



3 ZBIRKA MULTISPEKTRALNIH SLIK IZ DRONOV IN 3D OBLAKOV TOČK

3.1 MULTISPEKTRALNE SLIKE Z DRONI

V okviru projekta smo spremljali razmere na dveh lokacijah na zahodnem robu občine Miren-Kostanjevica. Prva se nahaja jugovzhodno od Nove vasi, druga pa ob državni meji severno od hriba Kremenjak (236 m). Podatke smo zbrali na terenu v različnih letnih obdobjih: 27. maja 2025 (pomlad), 16. julija 2025 (poletje), 7. novembra 2025 (jesen) in 13. februarja 2026 (zima).



Slika 3 – Pilotna območja za sezonsko spremljanje z droni v občini Miren-Kostanjevica.

Poleg tega smo izvedli pilotno snemanje na daljavo z droni v občini Devin-Nabrežina, natančneje v Medjevasi, blizu italijansko-slovenske meje. Doslej smo izvedli le eno snemanje, saj občina Devin-Nabrežina pred tem še ni določila pilotnega območja.



Slika 4 – Pilotno območje za snemanje z droni v bližini Medjevasov v občini Devin-Nabrežina.

3.2 ARHIVIRANJE BAZE PODATKOV ZAPISOV Z DRONI

Dostop do zbirke posnetkov, posnetih z droni:

<https://oblak.zrc-sazu.si/index.php/s/Wx8LWpPTEam8ZHt>

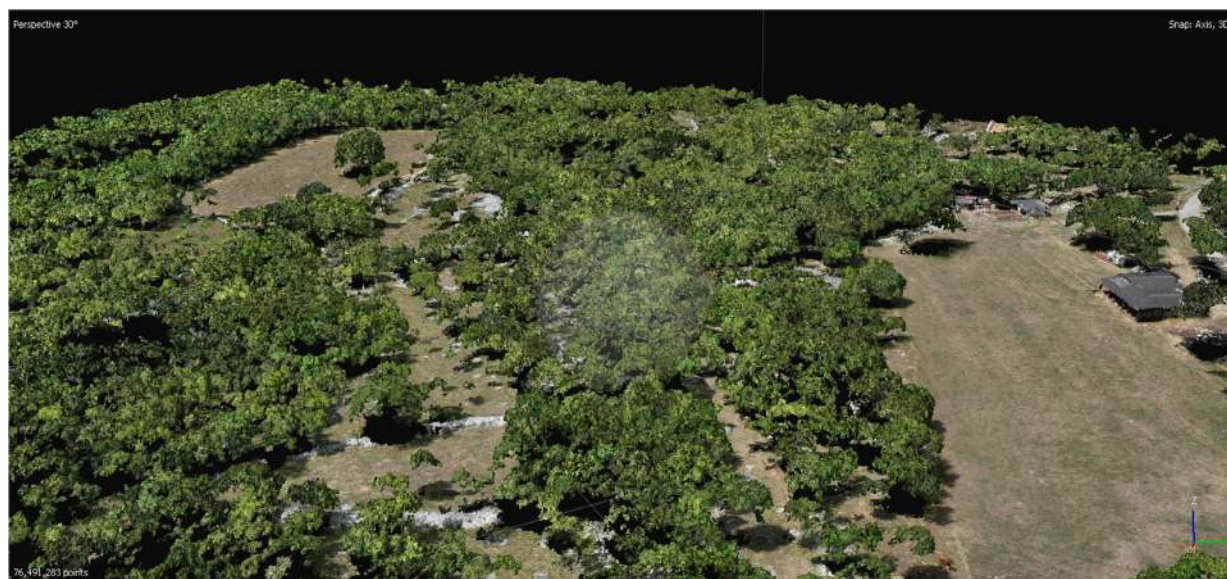
KARSTFW Prejmi

☞ Javna objava

Vrsta **Spremenjeno**

☐	Ime	File type	Vel...	Spreme...
☐	kremenjak_20250527_navadna_d96_popravljen.tif	... TIFF image	3,7 GB	11. januar
☐	novava_20250527_oblak_tock.tif	... Unknown file type	2,8 GB	pred 2 tednoma
☐	novavas_20250527_infrardeca_d96_popravljen.tif	... TIFF image	271,8 MB	10. januar
☐	novavas_20250527_infrardeca_d96_popravljen.tif.aux.xml	... XML document	4 KB	pred 2 tednoma
☐	novavas_20250527_navadna_d96_popravljen.tif	... TIFF image	1,2 GB	12. januar
☐	novavas_20250527_navadna_d96_popravljen.tif.aux.xml	... XML document	10 KB	pred 2 tednoma
☐	novavas_20250527_NDVI_d96.tifw	... Unknown file type	< 1 KB	pred 2 tednoma
☐	novavas_20250527_NDVI_d96.tif	... TIFF image	1,6 GB	pred 2 tednoma
☐	novavas_20250527_NDVI_d96.tif.ovr	... Unknown file type	180,6 MB	pred 2 tednoma
☐	novavas_20250527_NDVI_d96.tif.aux.xml	... XML document	4 KB	pred 2 tednoma
☐	novavas_20250527_rdeca_d96_popravljen.tif	... TIFF image	268,1 MB	10. januar
☐	novavas_20250527_rdeca_d96_popravljen.tif.aux.xml	... XML document	4 KB	pred 2 tednoma

Slika 5 – Posnetek zaslona spletnega arhiva za zbirko podatkov daljinskega zaznavanja.

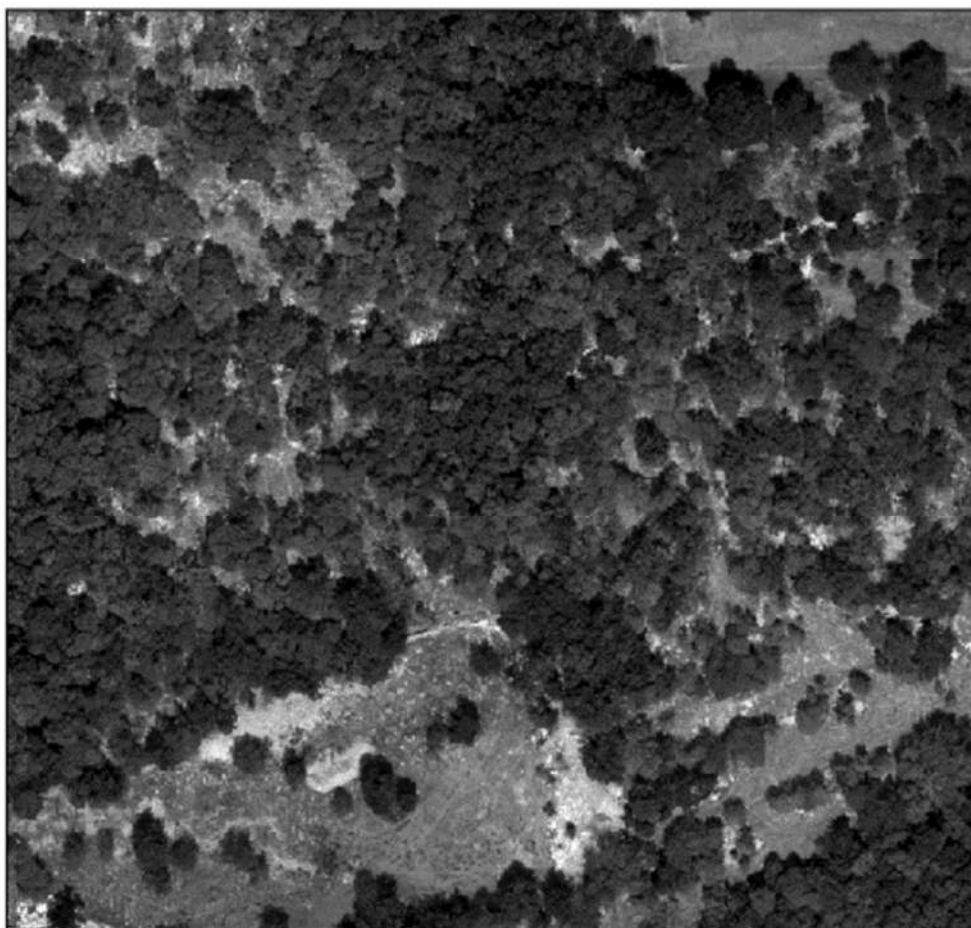


Slika 6 – Primer oblaka točk, pridobljenega iz slik, posnetih z optično kamero in fotogrametrično obdelanih za območje Nove vasi (poletno obdobje).



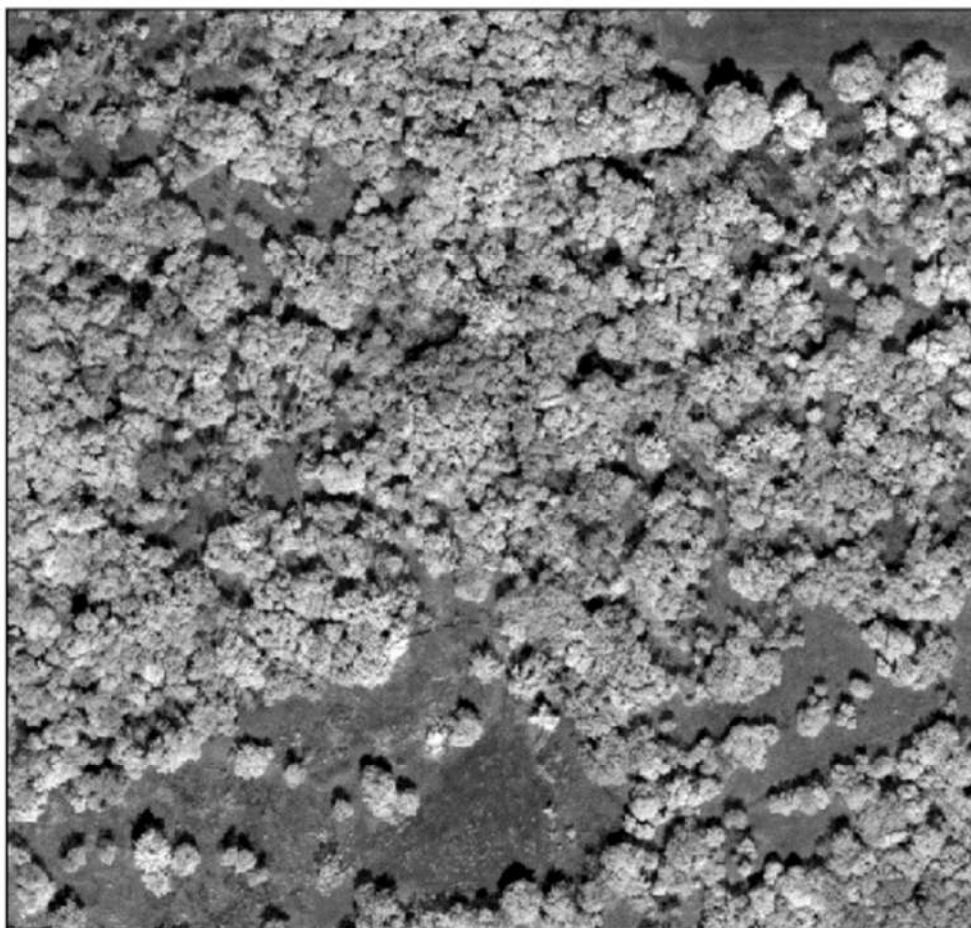
0 10 20 30 m

Slika 7 – Primer ortofotografije, pridobljene iz slik, posnetih s standardno optično kamero za območje Nove vasi poleti.



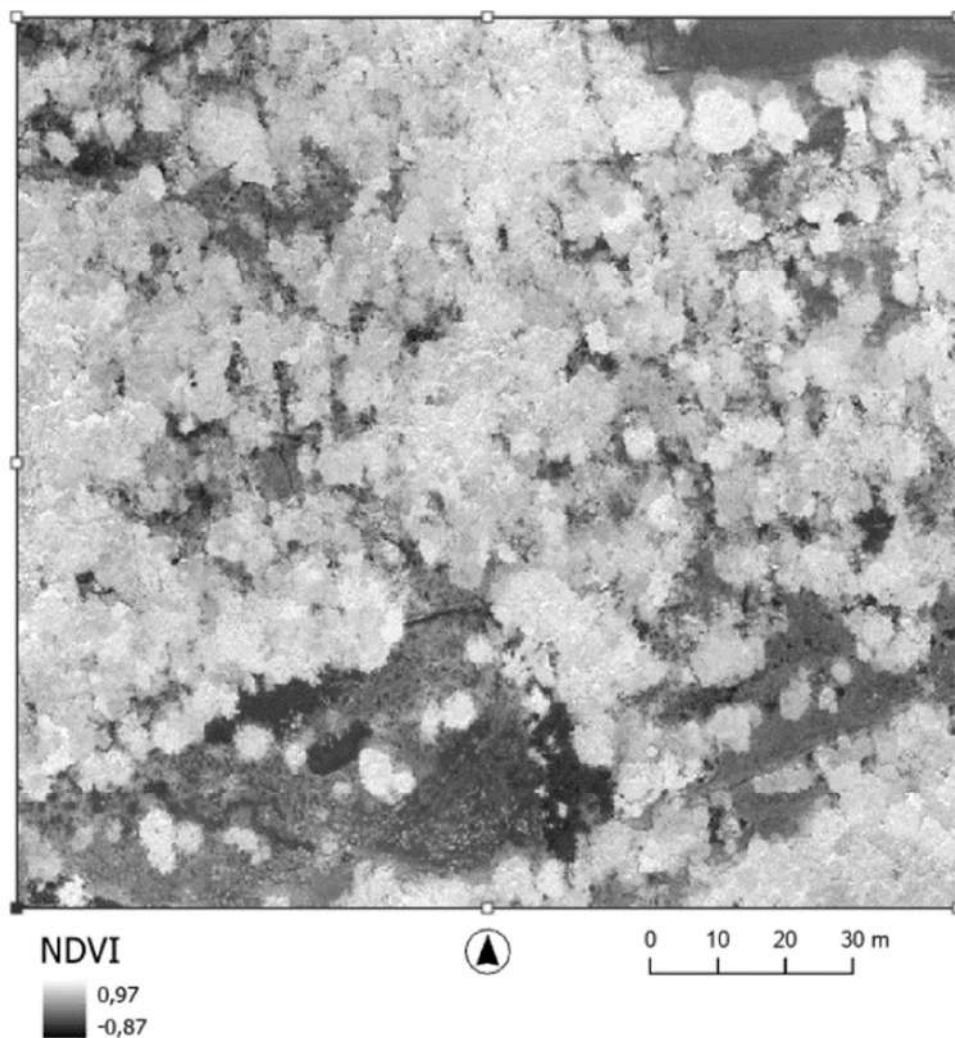
0 10 20 30 m

Slika 8 – Primer ortofotografije, pridobljene iz slik rdečega spektra kamere za območje Nove vasi poleti.



0 10 20 30 m

Slika 9 – Primer ortofotografije, pridobljene iz slik infrardeče kamere za območje Nove vasi poleti.



Slika 10 – Primer vrednosti NDVI, izračunanih iz rdečega in infrardečega spektra za območje Nove vasi poleti. Višje vrednosti (svetlejši odtenki) predstavljajo vegetacijo, medtem ko nižje vrednosti (temnejši odtenki) predstavljajo druge površine, kot so skalnata tla ali suhozidi.

Ta baza podatkov je podpora za izdelavo D.2.3.2., nekateri podatki pa so delno na voljo na spletni platformi projekta.

4 ZBIRKA PODATKOV TELEDETEKCIJE NA PLATFORMI KARST FIREWALL

4.1 PREGLED PLATFORME

Spletna platforma Karst Firewall je spletni portal, ki ga je razvilo podjetje *Infordata Sistemi* v okviru projekta Karst Firewall 5.0 (izdelek D.2.1.1). Deluje kot osrednje vozlišče za dostop do podatkov, vizualizacijo in operativno odločanje v celotni čezmejni regiji Krasa. Platforma je dostopna na naslovu <https://karst.way.to.it> in ponuja celoten nabor orodij za spremljanje okolja, oceno tveganja gozdnih požarov in upravljanje naravnih nesreč.

Portal združuje podatke iz različnih virov, vključno z zemeljskimi meteorološkimi postajami (shranjene v časovni podatkovni bazi InfluxDB), satelitskimi slikami iz sistema Copernicus Dataspace, izdelki daljinskega zaznavanja, pridobljenimi z droni, in rezultati modela za napovedovanje tveganja požarov, ki temelji na avtomatskem učenju. Celoten opis arhitekture platforme, upravljanja uporabnikov (RBAC), zbiranja meteoroloških podatkov, sistema sprožanja obvestil, 3D-zemljevida in sheme baze podatkov je na voljo v D.2.1.1. Ta poglavje se osredotoča zlasti na to, kako so podatki daljinskega zaznavanja, opisani v poglavjih 2 in 3 tega dokumenta, na voljo prek platforme.

4.2 INTEGRACIJA PODATKOV DALJINSKEGA ZAZNAVANJA

Zbirka podatkov daljinskega zaznavanja, ki jo je pripravil ZRC-SAZU in vključuje poligone pogorelih območij, pridobljene iz satelitov, multispektralne ortofotografije, posnete z droni, stopnje NDVI in 3D-točkovne oblake, je integrirana v platformo Karst Firewall prek niza namenskih ravni podatkov. Do teh plasti je mogoče dostopati prek interaktivnega 2D kartografskega vmesnika platforme (Dashboard), ki temelji **na sistemu Copernicus Dataspace** in podpira tako standardno spletno kartografijo (Leaflet/OpenStreetMap) kot tudi neposredno integracijo s storitvami podatkov Sentinel Evropske vesoljske agencije.

Platforma organizira podatke daljinskega zaznavanja v naslednje tematske plasti, od katerih lahko uporabnik vsako vklopi ali izklopi prek nadzorne plošče plasti na desni strani kartografskega vmesnika.

Tabela 1 – Opis ravni (slojev) daljinskega zaznavanja, integriranih v platformo Karst Firewall.

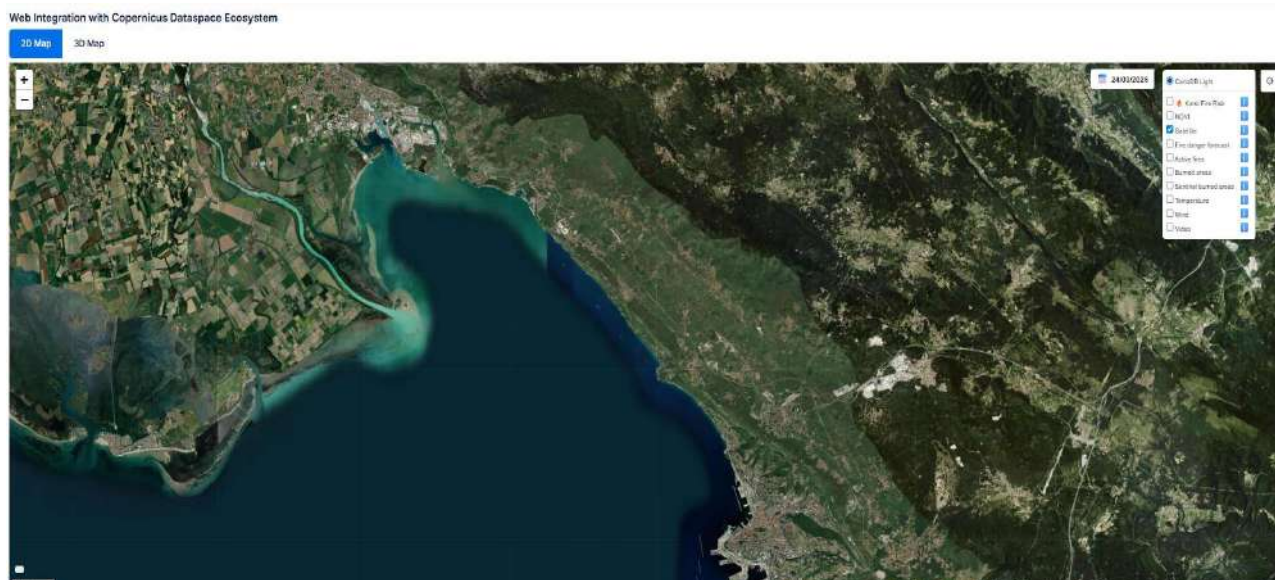
Ime plasti	Opis
Satelit	Okvirji satelitskih slik Sentinel-2 iz programa Copernicus, ki zagotavljajo vizualno referenco ozemlja s prostorsko ločljivostjo do 10 m. Redno se posodablja preko API ekosistema Copernicus Dataspace.
NDVI	Raven normaliziranega indeksa vegetacije (NDVI), izpeljana iz spektralnih pasov Sentinel-2 (rdeči in bližnji infrardeči). Zagotavlja sinoptičen pregled zdravstvenega stanja vegetacije na območju študije, pri čemer dopolnjuje visokoločljive izdelke NDVI na podlagi dronov, opisane v poglavju 3.
Pogorela območja	Zgodovinski obsegi požarov, pridobljeni z analizo satelitskih posnetkov, opisano v poglavju 2.2, vključno s 171 poligoni požarov, ustvarjenimi z uporabo indeksov dBAIS2 in dBAI. Ti poligoni so prikazani kot vektorske prekrivne plasti na zemljevidu.
Ožgana območja Sentinel	Produkti v zvezi z pogorelimi območji, ki izhajajo neposredno iz storitve Copernicus za upravljanje izrednih razmer ali iz obdelave podatkov Sentinel-2 v skoraj realnem času, ki zagotavljajo neodvisen referenčni niz podatkov za validacijo in primerjavo s kartiranjem pogorelih območij, specifičnim za projekt.
Aktivni požari	Zaznave aktivnih požarov v skoraj realnem času iz satelitskih storitev za zaznavanje toplotnih anomalij (npr. FIRMS/MODIS, VIIRS), prikazane kot točkovni elementi na zemljevidu.
Videoposnetki	Vključitev video posnetkov iz nadzornih kamer, nameščenih na območju študije, za podporo vizualnemu spremljanju območij, ogroženih s požari.

Poleg zgoraj navedenih ravni daljinskega zaznavanja platforma vključuje različne meteorološke ravni in ravni požarne nevarnosti, ki zagotavljajo okoljski kontekst za interpretacijo podatkov daljinskega zaznavanja.

Tabela 2 – Informacijske plasti v zvezi z meteorološkim kontekstom in napovedjo tveganja za požar.

Ime ravni	Opis
Napoved nevarnosti požara	Raven napovedi meteorološkega indeksa požarne nevarnosti (FWI), ki prikazuje prostorsko porazdelitev nevarnosti požara na območju študije z uporabo barvne klasifikacije. FWI se izračuna iz meteoroloških podatkov po metodologiji kanadskega meteorološkega indeksa požarne nevarnosti.
Nevarnost kraških požarov	Dnevni zemljevid tveganja za nastanek gozdnih požarov, ki ga je pripravil model napovedi na podlagi strojnega učenja (glej poglavje 4.5). Ta raven prikazuje predvideno verjetnost nastanka požarov na mreži s približno 40.000 točkami, ki pokriva območje študije.
Temperatura	Prostorska interpolacija temperaturnih meritev iz mreže meteoroloških postaj, ki zagotavlja toplotni kontekst v realnem času.
Veter	Podatki o hitrosti in smeri vetra iz meteoroloških postaj, ki so ključni za oceno potenciala širjenja požarov v regiji Kras, kjer redno piha bora.

Vse plasti podpirajo izbiro datuma prek izbirnika datumov, kar uporabnikom omogoča ogled zgodovinskih podatkov za kateri koli razpoložljivi datum. Vmesnik zemljevida ponuja tudi izbirnik osnovnih plasti (npr. CartoDBLight, OpenStreetMap) in standardne navigacijske nadzorne elemente (povečava, premikanje).



Slika 11 – Posnetek zaslona nadzorne plošče platforme Karst Firewall, ki prikazuje osnovno satelitsko plast iz ekosistema Copernicus Dataspace, s ploščo za nadzor plasti in izbirnikom datumov, vidnima na desni strani vmesnika.

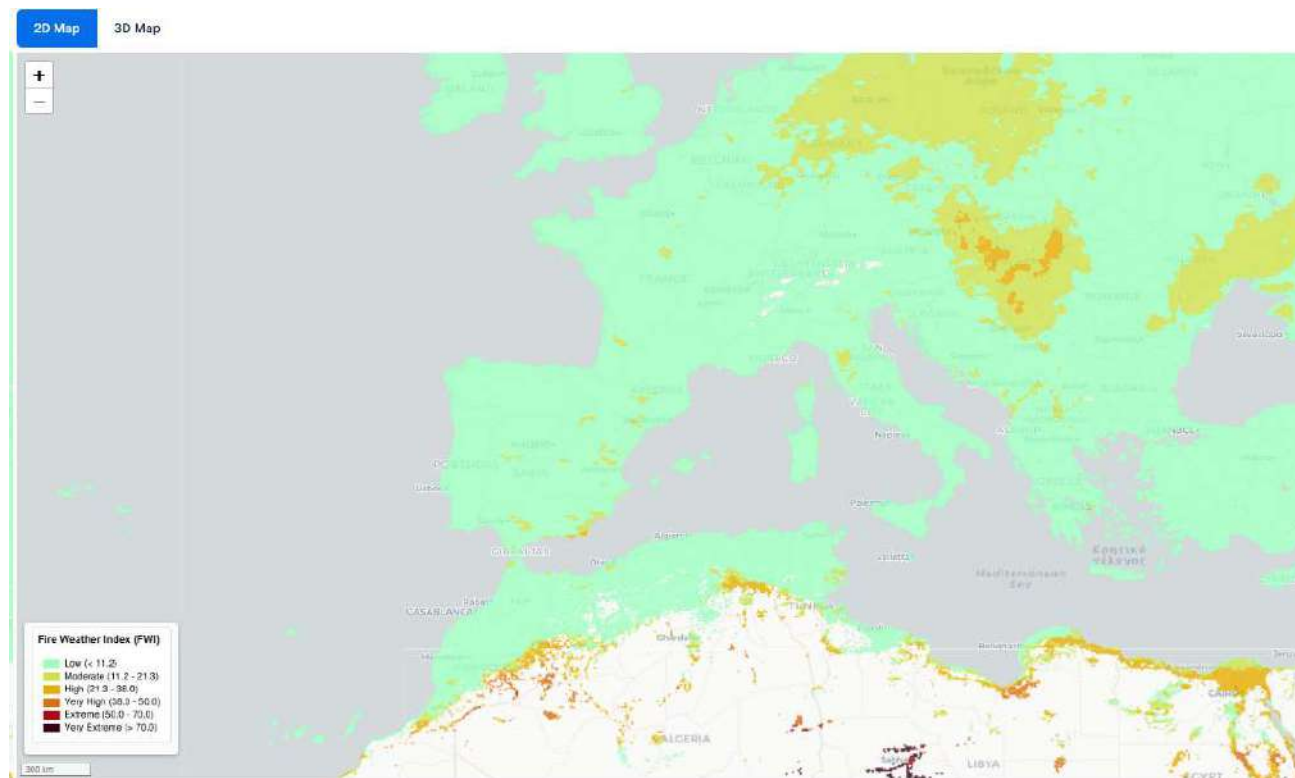
4.3 INTERAKTIVNI 2D ZEMLJEVID IN PRIKAZ PODATKOV

Glavni vmesnik za dostop do baze podatkov daljinskega zaznavanja je stran **Nadzorna** plošča platforme, ki prikazuje interaktivni zemljevid v polnem zaslonu. Zemljevid ponuja dva načina prikazovanja:

- **2D zemljevid:** standardni spletni kartografski prikaz, ki uporablja Leaflet.js in ploščice OpenStreetMap/CartoDB ter podpira vse tematske plasti, opisane v poglavju 4.2. To je privzeti prikaz za vsakodnevno operativno uporabo.
- **3D zemljevid:** tridimenzionalni pogled na zemljo, ki temelji na Cesiumu in omogoča prikaz požarov, meteoroloških postaj in požarnih območij, prilagojen terenom. Ta način podpira napredno filtriranje po datumu, časovnem obdobju in ID dogodka ter neposredno interakcijo s podatki o dogodkih in postajah.

Ko se aktivira raven daljinskega zaznavanja (npr. raven napovedi nevarnosti požara), se ustrezni podatki prikažejo kot barvno kodirana prekrivna plast na zemljevidu. V levem spodnjem kotu zemljevida se samodejno prikaže legenda, ki prikazuje pragove razvrščanja

in barvno lestvico za aktivno raven. Uporabniki lahko kliknejo na posamezne elemente na zemljevidu (vremenske postaje, požari, mrežne celice), da v pojavnih oknih dostopajo do podrobnih informacij. Za vremenske postaje to vključuje najnovejše razpoložljive vremenske parametre (temperatura, vlažnost, hitrost vetra, padavine). Za požare vključuje lokacijske koordinate, datume začetka in konca ter ocenjeno pogorelo površino.



Slika 12 – Napovedna raven meteorološkega indeksa požarne nevarnosti (FWI), prikazana na platformi Karst Firewall, ki prikazuje prostorsko porazdelitev požarne nevarnosti v Evropi in sredozemski regiji. Legenda v spodnjem levem kotu prikazuje šest razredov nevarnosti od nizke (< 11,2) do zelo ekstremne (> 70,0).

4.4 RAVEN NAPOVEDI NEVARNOSTI POŽARA

Raven napovedi nevarnosti požara zagotavlja prostorsko predstavitev meteorološkega indeksa požara (FWI) na območju študije. FWI se izračuna dnevno z uporabo meteoroloških podatkov, zbranih iz mreže meteoroloških postaj, integriranih v platformo (glej D.2.1.1, oddelek 4.3). Izračun sledi metodologiji kanadskega meteorološkega indeksa požarne nevarnosti, ki združuje temperaturo, relativno vlažnost, hitrost vetra in padavine v enoten

številčni indeks, ki predstavlja meteorološko nevarnost požara. Vrednosti FWI so razvrščene v šest stopenj nevarnosti, od katerih je vsaka na zemljevidu označena z določeno barvo.

Tabela 3 – Razredi nevarnosti v primerjavi z ustreznimi razponi FWI

Razred nevarnosti	Razpon FWI	Barva na zemljevidu
Nizka	< 11,2	Svetlo zelena
Zmerno	11,2 – 21,3	Rumena
Visoko	21,3 – 38,0	Oranžna
Zelo visoko	38,0 – 50,0	Rdeča
Ekstremno	50,0 – 70,0	Temno rdeča
Zelo ekstremno	> 70,0	Temno rjava/rdečkasto rjava

Ta razvrstitev omogoča operativnim uporabnikom, da hitro ocenijo trenutno nevarnost požara v celotni regiji Krasa. Stopnja FWI se posodablja dnevno in jo je mogoče prikazati za kateri koli pretekli datum prek izbirnika datumov. V kombinaciji s stopnjo požarne nevarnosti na Krasu in stopnjo pogorelih površin zagotavlja celovito sliko tako trenutnih vremenskih razmer, ki spodbujajo požare, kot tudi

zgodovinski modeli požarov. Podatki daljinskega zaznavanja, vgrajeni v platformo, neposredno podpirajo skupne čezmejne sisteme zgodnjega odkrivanja in obvladovanja eskalacije, predvidene v projektu. Območja, na katerih so v preteklosti izbruhnili požari, služijo kot podatki za usposabljanje modela za strojno učenje. Ko so presežene mejne vrednosti nevarnosti požara, sistem za sprožanje obvestil platforme (podrobno opisan v D.2.1.1) samodejno generira alarme, ki se posredujejo zainteresiranim stranem – vključno z

vladnimi agencijami in ekipami za hitro posredovanje tako na italijanski kot na slovenski strani – prek konfigurativnih komunikacijskih kanalov (e-pošta, SMS, WhatsApp). Ta integracija podatkov daljinskega zaznavanja, prediktivnega modeliranja in avtomatiziranega opozarjanja zagotavlja neprekinjeno verigo od spremljanja okolja do operativnega odziva v celotni čezmejni kraški regiji.

4.5 INTEGRACIJA Z MODELOM NAPOVEDI TVEGANJA POŽARA

Poleg napovedi nevarnosti požara, ki temeljijo na indeksu FWI, platforma vključuje **model napovedovanja tveganja požara, ki temelji na avtomatskem učenju** in je bil razvit v okviru projekta Karst Firewall 5.0. Ta model, dostopen prek plasti **Karst Fire Risk** na 2D zemljevidu, zagotavlja dopolnilno in podrobnejšo oceno verjetnosti izbruha gozdnih požarov na območju študije.

4.5.1 PREGLED MODELA

Sistem napovedovanja uporablja dvofazni pristop. Prva faza uporablja klasifikator Random Forest, usposobljen na podlagi zgodovinskih podatkov o požarih od leta 1995 do 2024 (dogodki tako na italijanski kot na slovenski strani Krasa). Za vsako točko mreže s približno 40.000 točkami, ki pokriva območje študije, model napoveduje verjetnost nastanka požara na podlagi prostorskih značilnosti (bližina cest, železnic, električnih vodov in zgodovinskih žarišč požarov) ter časovnih značilnosti (mesec, dan v tednu, letni čas). Model doseže površino pod krivuljo ROC (AUC) 0,854 na testnih podatkih, ki so bili izključeni, kar kaže na močno razlikovalno zmogljivost.

V drugi fazi se uporabi **popravek resnosti** na podlagi meteorološkega indeksa požara (FWI). Dnevna vrednost FWI, izračunana na podlagi dejanskih meteoroloških podatkov iz mreže meteoroloških postaj, modulira osnovno verjetnost vžiga, da se ustvari končna sestavljena ocena tveganja za vsako točko mreže. Ta ocena se nato razvrsti v stopnje opozoril (RDEČA – visoka prioriteta, RUMENA – zmerno tveganje, ki zahteva spremljanje, ZELENA – nizko tveganje).



Slika 13 – Raven »Karst Fire Risk« na platformi, ki prikazuje dnevni zemljevid verjetnosti izbruha gozdnih požarov, ki ga je ustvaril model strojnega učenja na mreži s približno 40.000 točkami. Kazalniki meteoroloških postaj (modre točke) prikazujejo meteorološke podatke v realnem času v pojavnih oknih, vključno z FWI, temperaturo, vlažnostjo, hitrostjo vetra in padavinami.

4.5.2 POSTOPEK

Postopek za napovedovanje tveganja požara se izvaja samodejno vsak dan. Sistem pridobi najnovejša meteorološka opazovanja iz API-ja Open-Meteo za vse meteorološke postaje v omrežju, izračuna komponente FWI, izvede model Random Forest na celotni mreži 40.000 točk in ustvari dve izhodni datoteki: kratek povzetek v formatu JSON, ki vsebuje regionalno stopnjo opozorila, vrednosti FWI in število območij, ter popolno datoteko GeoJSON, ki vsebuje oceno tveganja za vsako točko mreže.

Postopek uporablja Docker in je voden prek Docker Compose, kar zagotavlja ponovljivo in dosledno izvajanje v vseh okoljih. Sistem je razporejen na namenskem strežniku z mehanizmom proti mirovanju, da se zagotovi neprekinjeno vsakodnevno delovanje.

4.6 DOSTOPNOST IN INTEROPERABILNOST PODATKOV

Vsi podatki daljinskega zaznavanja in rezultati v zvezi s tveganjem požara, integrirani v platformo Karst Firewall, so zasnovani za interoperabilnost z zunanjimi sistemi. Platforma sledi standardnim HTTP-konvencijam in vrača podatke v široko podprtih formatih (JSON, GeoJSON), kar omogoča integracijo s GIS-orodji tretjih oseb, sistemi zgodnjega opozarjanja in platformami za podporo odločanju, ki jih uporabljajo agencije za civilno zaščito na obeh straneh meje.

Proizvodi daljinskega zaznavanja, pridobljeni z droni (multispektralne ortofotografije, ravni NDVI, oblaki točk), ki jih proizvaja ZRC-SAZU, so shranjeni v oblačnem repozitoriju ZRC-SAZU (<https://oblak.zrc-sazu.si/index.php/s/Wx8LWpTEam8ZHt>) v standardnih geoprostorskih formatih (GeoTIFF za rastrske sloje, LAS za oblake točk). Nekateri izbrani izdelki so objavljeni tudi na spletni platformi Karst Firewall za neposredno vizualizacijo, kar zagotavlja podporo tako za podrobno analizo (prek prenosa) kot za operativni pregled (prek spletnega portala).

Poligoni pogorelih območij, pridobljeni iz satelitskih podatkov (PRILOGA2.zip, glej poglavje 2.3), so na voljo kot shapefile in se na kartografskem vmesniku platforme prikazujejo kot vektorske prekrivne plasti. Zbirka podatkov satelitskih posnetkov (PRILOGA1.xls, glej poglavje 2.1) vsebuje popoln seznam vseh posnetkov Sentinel-2 in Landsat, uporabljenih v analizi, s neposrednimi sklici na arhiv Google Earth Engine za popoln dostop do posnetkov

5 VIRI IN LITERATURA

Chuvieco, E., Martín, M. P., & Palacios, A. (2002). Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination. *International Journal of Remote Sensing*, 23(23), 5103–5110. <https://doi.org/10.1080/01431160210153129>

Filipponi, F. (2018, March 18). BAIS2: Burned Area Index for Sentinel-2 †. 2nd International Electronic Conference on Remote Sensing. <https://doi.org/10.3390/ecrs-2-05177>

Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127–150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)