Interreg Italia-Slovenija
Karst Firewall 5.0

Cofinanziato dall'Unione europea
Sofinancira Evropska unija

MAPPE DELLE AREE PILOTA IN TEMPO QUASI REALE

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

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

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-D232
Titolo del documento / Naslov dokumenta:	MAPPE DELLE AREE PILOTA IN TEMPO QUASI REALE
Work Package:	2
Attività / Aktivnost:	3.2
Partner responsabili (autori) / Odgovorni partnerji (avtorji):	ZRC SAZU (Breg Valjavec Mateja, Geršič Matjaž, Ciglič Rok, Štaut Lenart, Jakob Aljaž)
Luogo e data di pubblicazione / Kraj in datum objave:	Trieste, 26/03/2026

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

INDICE

1 INTRODUZIONE 4
2 TEORIA DELL'OSSERVAZIONE CON DRONI 4
2.1 RACCOLTA DEI DATI (LAVORO SUL CAMPO) 4
2.2 ELABORAZIONE DEI DATI (LAVORO D'UFFICIO) 7
3 IMPLEMENTAZIONE PRATICA DEL MONITORAGGIO DELLA CRESCITA SULL'ESEMPIO DI DUE AREE PILOTA (OMK) 8
3.1 DATI SULLE RILEVAZIONI 8
3.2 ATTREZZATURA UTILIZZATA 10
3.3 RISULTATI 11
3.4 ELABORAZIONE DEI DATI 12
4 LINEE GUIDA PER IL MONITORAGGIO E L'OSSERVAZIONE CON DRONI 18
4.1 ATTREZZATURA PER L'ACQUISIZIONE DEI DATI 18
4.2 PREPARATIVI PER IL VOLO E LE RIPRESE 18
4.3 PROCEDURA DI RILEVAMENTO 19
4.4 ELABORAZIONE DEI DATI 19
4.5 ALTRO 20
5 RIFERIMENTI 21
6 APPENDICI CARTOGRAFICHE 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 INTRODUZIONE

Una mappatura accurata delle aree danneggiate dall'incendio del 2022 fornirà mappe digitali per la gestione post-incendio, la valutazione dei danni ambientali, l'identificazione di strategie appropriate di pianificazione, adattamento e ripristino, e il monitoraggio del recupero della vegetazione nelle aree pilota.

2 TEORIA DELL'OSSERVAZIONE CON DRONI

2.1 RACCOLTA DEI DATI (LAVORO SUL CAMPO)

ATTREZZATURA DA CAMPO

Il telerilevamento può essere utilizzato per monitorare il paesaggio, più comunemente acquisendo immagini ad alta risoluzione da aeromobili o veicoli aerei senza pilota dotati di vari sensori. Le più comuni sono le fotocamere ottiche convenzionali che catturano immagini nello spettro visibile, ma anche le fotocamere multispettrali sono molto utili. Queste consentono di catturare immagini in singoli canali spettrali (ad esempio rosso e infrarosso). Tali immagini consentono l'analisi della superficie da diverse prospettive e permettono di vedere il paesaggio in un modo che non è possibile a occhio nudo (ad esempio, analizzando lo spettro rosso e infrarosso, possiamo valutare lo stato di salute della vegetazione). Naturalmente, è anche possibile utilizzare immagini satellitari, che di solito vengono acquisite in diversi canali spettrali. Di seguito ci concentreremo sull'acquisizione e l'elaborazione di immagini esclusivamente con veicoli aerei senza pilota, che era uno degli obiettivi del progetto.

I veicoli aerei senza pilota possono essere utilizzati per monitorare lo stato della vegetazione in aree più piccole che coprono diverse decine di ettari, mentre gli aerei sono più convenienti per aree che coprono diversi chilometri quadrati o più. È inoltre importante considerare la

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

risoluzione desiderata dei prodotti finali (ortofoto[1] , livelli di dati sullo stato di salute della vegetazione, ecc.). Ciò è influenzato dalla qualità della fotocamera e dall'altitudine di volo.
Per collocare le immagini nello spazio, abbiamo anche bisogno di informazioni sulla posizione dell'area. In questo modo, possiamo visualizzare i prodotti finali (nuvola di punti, ortofoto) alla scala appropriata nella posizione corretta sulla superficie nel programma di geoinformazione selezionato. Ciò può essere ottenuto in diversi modi utilizzando ricevitori GNSS in combinazione con il sistema RTK (quando è richiesta un'elevata precisione). Ecco due esempi:

1. utilizzando punti di riferimento (e di controllo),
2. utilizzando un velivolo dotato di ricevitori GNSS e RTK.

La prima opzione consiste nell'impostare punti di riferimento e di controllo sul campo. Questi ci aiutano a collocare le immagini e i modelli spaziali creati nel sistema di coordinate selezionato. I punti devono essere distribuiti su tutta l'area osservata. Misuriamo la posizione esatta dei punti stabiliti nel sistema di coordinate selezionato (in Slovenia si utilizza il sistema di coordinate nazionale D96/TM) con l'aiuto di un ricevitore GNSS, che deve essere collegato al sistema RTK. Con una visibilità sufficiente dei satelliti GNSS e una connessione dati, la posizione può essere determinata con una precisione di pochi centimetri.
Un'altra opzione è quella di utilizzare un drone come il DJI Mavic 3M, che dispone già della possibilità di utilizzare la calibrazione RTK durante il volo, in modo da registrare la posizione del velivolo con elevata precisione per ogni scatto, il che rende più facile allineare le foto per creare un modello fotogrammetrico (nuvola di punti), che costituisce la base per la creazione di un'ortofoto.
Se utilizziamo punti di controllo (la cui posizione viene misurata su un periodo di tempo più lungo e ha una precisione migliore rispetto al drone) nell'elaborazione fotogrammetrica delle foto per la creazione di ortofoto, possiamo posizionare con precisione il nostro modello fotogrammetrico nel sistema di coordinate e utilizzare i punti di controllo per verificarne l'accuratezza. Si raccomanda di posizionare dei marcatori permanenti in punti stabili all'interno dell'area oggetto di studio, poiché ciò consente di confrontare al meglio le differenze tra i voli e la misurazione della posizione deve essere eseguita una sola volta.

[1] Le normali fotografie aeree (non elaborate) non vengono visualizzate su un piano proiettato, poiché (ad esempio) quando si scatta in verticale, la distanza tra il sensore della fotocamera e la superficie situata direttamente sotto di esso è inferiore alla distanza dai punti della superficie che si trovano altrove e sono quindi più lontani. Di conseguenza, non è possibile dedurre le distanze o le superfici dell'area osservata osservando fotografie non elaborate fotogrammeticamente.

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

PREPARAZIONE PER IL CAMPO

Prima di far volare un drone, dobbiamo verificare che il velivolo sia adeguatamente preparato (ad esempio, riparare eventuali guasti, aggiornare il software), che disponiamo di tutta la documentazione necessaria (ad es. registrazione del velivolo, autorizzazione al volo da parte del gestore dell'area protetta), di un operatore di velivoli qualificato (pilota) e controllare eventuali caratteristiche particolari dello spazio aereo in cui voleremo. È necessario verificare i messaggi NOTAM (*notifiche agli aviatori*) attuali. Le informazioni sullo spazio aereo e sui messaggi attuali in Slovenia possono essere ottenute dall'Agenzia per l'aviazione civile della Repubblica di Slovenia (https://www.caa.si/).

LAVORO SUL CAMPO – SCATTARE FOTOGRAFIE

Sorvoliamo sistematicamente l'area con il drone, assicurandoci che l'intera superficie venga fotografata con più scatti. Possiamo avvalerci di un'app di controllo del drone, che utilizziamo per impostare il drone in modo che voli lungo un percorso prestabilito (di solito una serie di voli paralleli) e scatti fotografie in modo tale che le singole immagini si sovrappongano l'una all'altra. L'altitudine di volo e le prestazioni del sensore (fotocamera) determinano la risoluzione delle immagini scattate.

Anche le condizioni meteorologiche sono importanti quando si vola e si fotografa con un drone. Dobbiamo evitare la pioggia e i venti forti, poiché l'acqua può danneggiare il dispositivo e le forti raffiche di vento possono impedire lo svolgimento del volo. Quando si scattano le fotografie, dobbiamo prestare attenzione alla posizione del sole e all'ombreggiatura dell'area. In situazioni in cui alcune parti dell'area sono in ombra a causa di ostacoli del rilievo circostante o di vegetazione alta, mentre le parti rimanenti sono molto illuminate, possono esserci differenze significative tra le singole aree nell'ortofoto finale. In tali casi, è meglio evitare giornate molto soleggiate e cercare di volare durante il giorno o in condizioni meteorologiche (ad esempio, elevata copertura nuvolosa senza possibilità di temporali o precipitazioni) in cui non vi sia troppo contrasto tra le aree illuminate e quelle in ombra. Allo stesso tempo, è ovviamente importante che ci sia luce sufficiente, poiché le immagini potrebbero risultare meno nitide in caso di scarsa illuminazione.

Per quanto riguarda l'inclinazione della fotocamera, Giordan e colleghi (2015) raccomandano di utilizzare scatti verticali per pendenze con un gradiente fino a 40°.

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

2.2 ELABORAZIONE DEI DATI (LAVORO D'UFFICIO)

Le immagini raccolte vengono elaborate in un programma dedicato alla fotogrammetria, seguendo una procedura che è stata utilizzata anche in altri studi (ad es. Bevan et al. 2017; Ciglič et al. 2020). Innanzitutto, le immagini di qualità inadeguata vengono scartate. Successivamente, eseguiamo la calibrazione automatica della fotocamera (obiettivo) nel programma.

Se non disponiamo di un velivolo con sistema RTK e ne utilizziamo uno con posizionamento convenzionale esclusivamente con l'ausilio di un sistema GNSS, potremmo distribuire punti (bersagli, marcatori) nell'area, la cui posizione esatta misuriamo con l'ausilio di ricevitori GNSS portatili e una connessione RTK (vedi anche capitolo 1.1). In questo caso, posizioniamo le immagini nello spazio e determiniamo i punti chiave o una nuvola sparsa di punti, quindi inseriamo le coordinate (x, y, z) dei punti di riferimento e di controllo misurati e, infine, allineiamo ogni punto su ogni singola immagine in cui è visibile un punto di riferimento o di controllo al centro delle coordinate misurate. Se utilizziamo un velivolo con posizionamento preciso (RTK), le nostre immagini sono generalmente (a seconda dello scopo dell'analisi) già ben posizionate nello spazio e non abbiamo bisogno di punti sulla superficie.

Le immagini allineate e la nuvola di punti grezza vengono utilizzate nel metodo stereo multi-vista per preparare una nuvola di punti densa e successivamente per creare un modello digitale di superficie e un'immagine ortorettificata o ortofoto (Peternel et al. 2017; Cignetti et al. 2019).

Se utilizziamo telecamere multispettrali, possiamo ripetere l'intero processo per ogni spettro e ottenere così ortofoto in diversi spettri. Questo ci permette di calcolare vari indici (vedi, ad esempio, Campbell 1996; Oštir 2006; Warner e Campagna 2009).

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 IMPLEMENTAZIONE PRATICA DEL MONITORAGGIO DELLA CRESCITA SULL'ESEMPIO DI DUE AREE PILOTA (OMK)

3.1 DATI SULLE RILEVAZIONI

Nell'ambito del progetto, abbiamo monitorato la situazione in due località situate all'estremità occidentale del comune di Miren – Kostanjevica (Figure 1 e 2). La prima si trova a sud-est di Nova vas, mentre la seconda si trova lungo il confine di Stato a nord della collina di Kremenjak (236 m). Abbiamo raccolto i dati sul campo in diversi periodi dell'anno:

- 27 maggio 2025 (primavera),
- 16 luglio 2025 (estate),
- 7 novembre 2025 (autunno),
- 13 febbraio 2026 (inverno)



Figura 1 - Ubicazione delle aree pilota.

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



Figura 2 - Paesaggio intorno a Nova vas (a sinistra) e Kremenjak (a destra).

Abbiamo registrato l'area di Nova vas con un volo e l'area di Kremenjak con tre voli separati (Tabella 1).

Tabella 1 - Esempi di dati relativi ai possibili voli (impostazioni nell'applicazione di volo).

Area	Area di mappatura (ha)	GSD (cm/pixel	Lunghezza del volo (km)	Tempo		Numero di fotografie	Modalità di volo (altitudine)	Tracciamento del terreno	altezza dal suolo (m)	Velocità (m/s)	Direzione di volo (°)	Rapporto di sovrapposizione laterale (%)	Sovrapposizione longitudinale (%)	Area aggiuntiva al di fuori dell'area primaria (m)	Metodo fotografico
				min	s										
Nova vas	6,99	3,65	2,93	13	36	197	AGL	sì	79	3,5	91	70	80	0	Interv. temporale
Kremenjak 1	9,82	3,92	3,76	15	1	239	AGL	sì	85	4,1	36	70	80	0	Interv. temporale
Kremenjak 2	9,88	3,92	3,8	14	36	235	AGL	sì	85	4,3	347	70	80	0	Interv. temporale
Kremenjak 3	8,91	4,02	3,84	14	5	244	AGL	sì	87	4,5	334	70	80	0	Interv. temporale

*AGL – sopra il livello del suolo; l'altitudine di volo è misurata dal livello del suolo

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



Figura 3 - Impostazioni per i possibili voli per l'acquisizione di fotografie nell'area pilota: Nova vas (in alto a sinistra), Kremenjak 1 (in alto a destra), Kremenjak 2 (in basso a sinistra) e Kremenjak 3 (in basso a destra).

3.2 ATTREZZATURA UTILIZZATA

Per ogni evento di registrazione, abbiamo scattato fotografie utilizzando un DJI Mavic 3M, con il quale abbiamo scattato diverse centinaia di fotografie nell'area selezionata.
Gli scatti sono stati effettuati con le fotocamere che fanno parte del modello standard del drone, con un angolo di 90°. Il velivolo è dotato di una fotocamera ottica che opera nello spettro visibile (sensore RGB, CMOS 4/3, 20 MP, angolo visibile: 84°, lunghezza focale equivalente: 24 mm, apertura: da f/2,8 a f/11, messa a fuoco: da 1 m a ∞, ISO: 100-6400) e una fotocamera multispettrale composta da quattro sensori (Tabella 2). Ciascun sensore (sensori G, R, RE, NIR) presenta le seguenti caratteristiche: CMOS da 1/2,8 pollici, 5 MP, angolo di campo: 73,91°, lunghezza focale equivalente: 25 mm, apertura: f/2,0, messa a fuoco: fissa.

Tabella 2 - Elenco dei sensori della fotocamera multispettrale e delle lunghezze d'onda.

Sensore	Lunghezza d'onda (nm)
verde (G)	560 ± 16
rosso (R)	650 ± 16
red edge (RE)	730 ± 16
infrarosso vicino (NIR)	860 ± 26

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

Per migliorare la precisione del posizionamento delle immagini, il velivolo disponeva di una connessione RTK durante il volo, il che ci ha permesso di registrare le coordinate dei punti sul terreno con elevata precisione – dell'ordine di pochi centimetri (il produttore specifica una precisione orizzontale di 1 cm + 1 ppm e una precisione verticale di 1,5 cm + 1 ppm in condizioni di stazionamento).

3.3 RISULTATI

Per entrambe le località osservate, siamo riusciti a catturare l'area in modo tale che ogni punto all'interno dell'area osservata fosse ripreso in più di nove fotografie (Figura 4). I dettagli di ogni singola acquisizione sono riportati nelle relazioni tecniche in appendice.

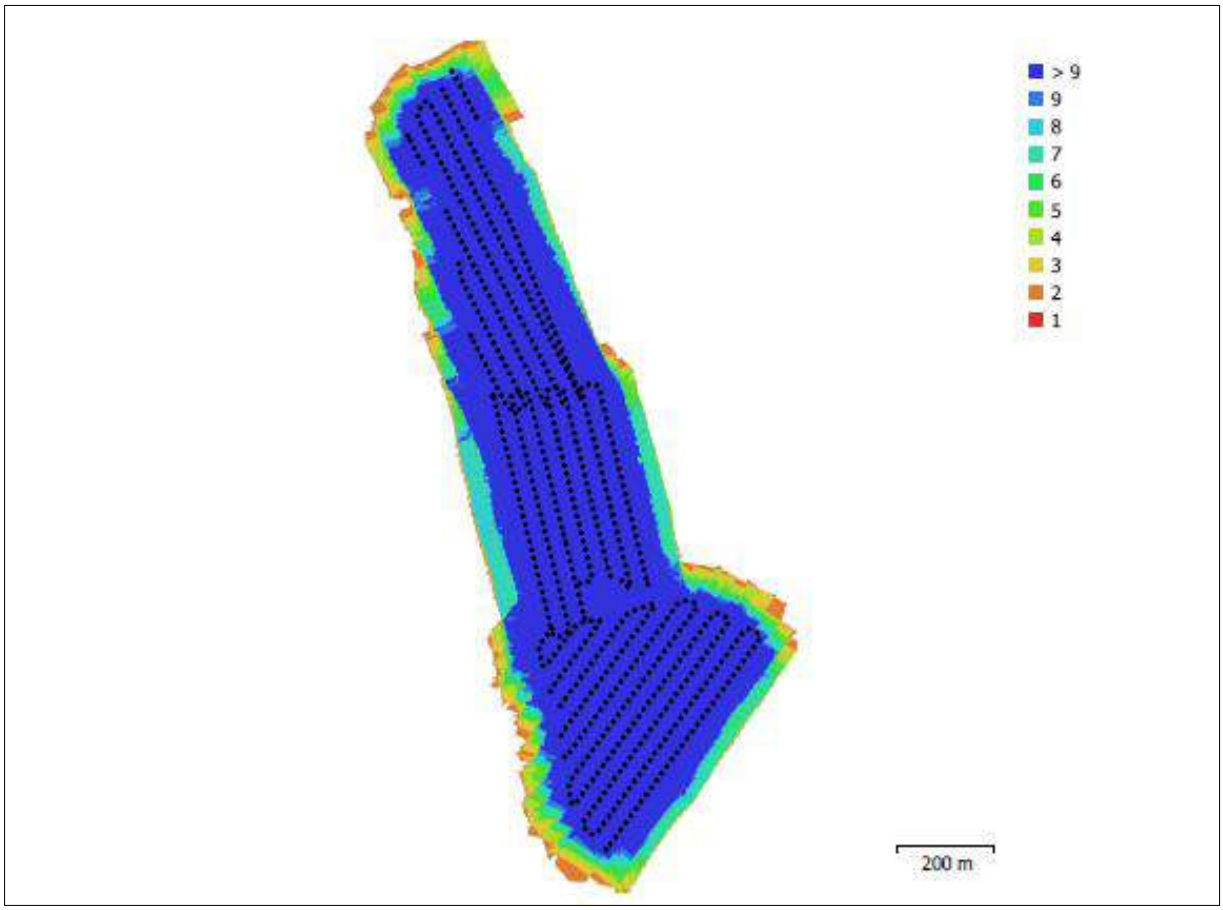


Figura 4 - Numero di immagini per cella. Esempio di registrazione con una fotocamera standard nella località di Kremenjak in estate.

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

3.4 ELABORAZIONE DEI DATI

Per elaborare le immagini, abbiamo utilizzato il software Agisoft Metashape Professional, che consente l'analisi fotogrammetrica, la generazione di nuvole di punti, la modellazione digitale delle superfici, la creazione di ortofoto e altro ancora.
Nell'ambito dell'elaborazione dei dati, abbiamo preparato quanto segue per le immagini scattate con una fotocamera ottica standard (che acquisisce dati nello spettro visibile) e per le immagini scattate con canali spettrali nel rosso e nell'infrarosso:

- nuvole di punti (vedi esempio in Figura 5),
- modelli digitali di superficie (livello raster), utilizzati per preparare le ortofoto (vedi esempio in Figura 6),
- ortofoto (livello raster) (vedi esempi nelle Figure 7–9).

I livelli di dati finali sono stati preparati nel sistema di coordinate D96. I prodotti sono stati esportati in formato geotif. Le nuvole di punti sono state preparate in formato .las secondo necessità.
Le ortofoto multispettrali sono molto utili perché consentono il calcolo di vari indici. Tra questi, l'indice di vegetazione differenziale normalizzato (NDVI) è molto importante per il monitoraggio della crescita della vegetazione (per maggiori dettagli, si veda, ad esempio, Oštir 2006; Warner e Campagna 2009), in quanto indica la presenza di vegetazione attraverso il rapporto tra i valori infrarossi e quelli rossi dell'immagine. Valori elevati dell'indice rappresentano aree con vegetazione verde, mentre valori vicini a 0 o inferiori indicano l'assenza di vegetazione.
Le ortofoto prodotte nello spettro del rosso e dell'infrarosso ci hanno permesso di visualizzare i valori NDVI (vedi esempio in Figura 10).

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

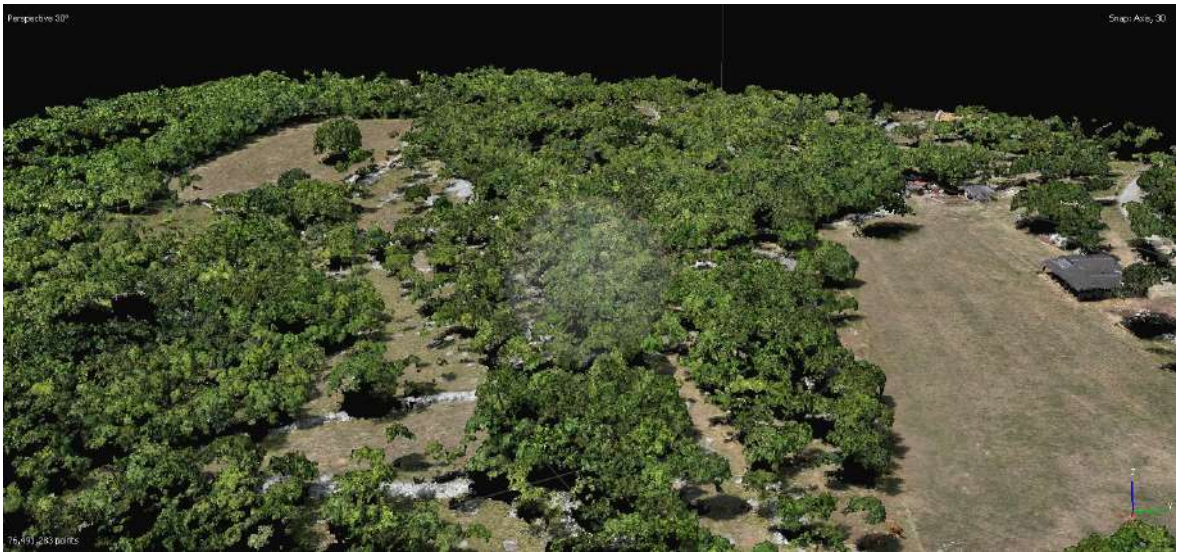


Figura 5 - Esempio di una nuvola di punti ricavata da immagini scattate con una fotocamera ottica standard per l'area di Nova vas in estate.

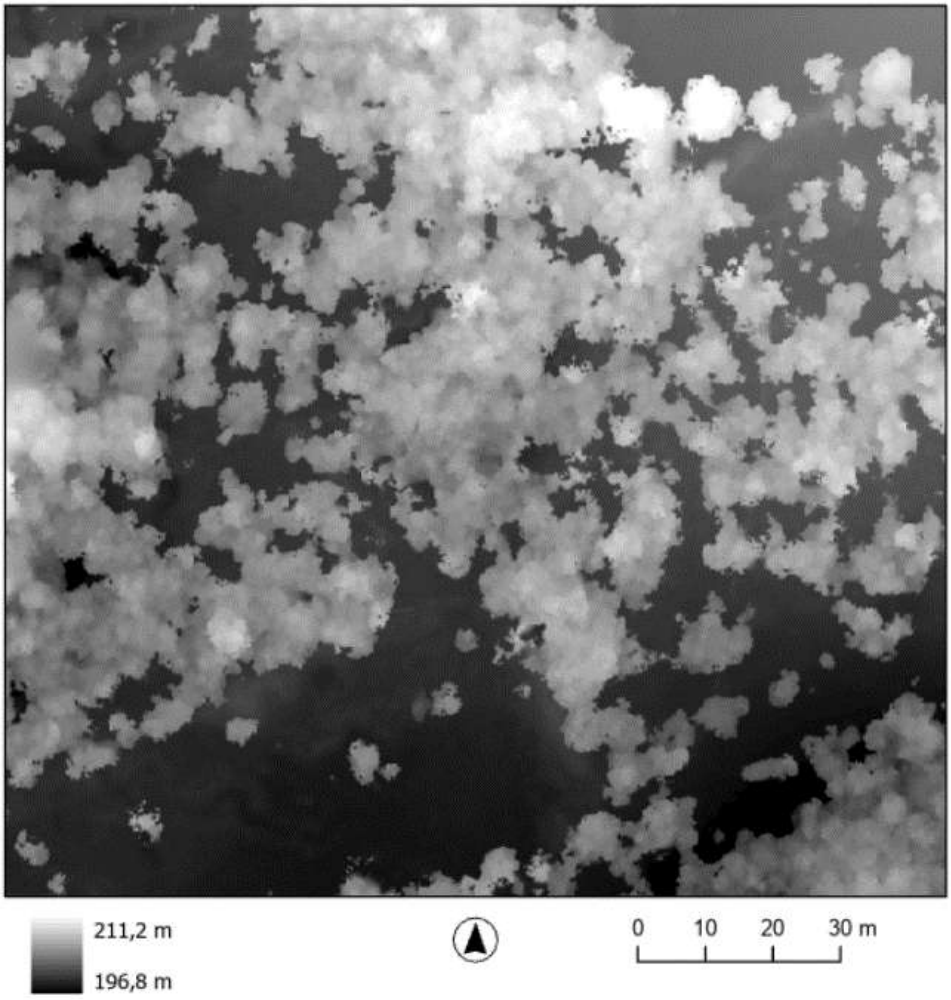


Figura 6 - Esempio di un modello digitale di superficie ricavato da immagini scattate con una fotocamera ottica standard per l'area di Nova vas in estate.

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

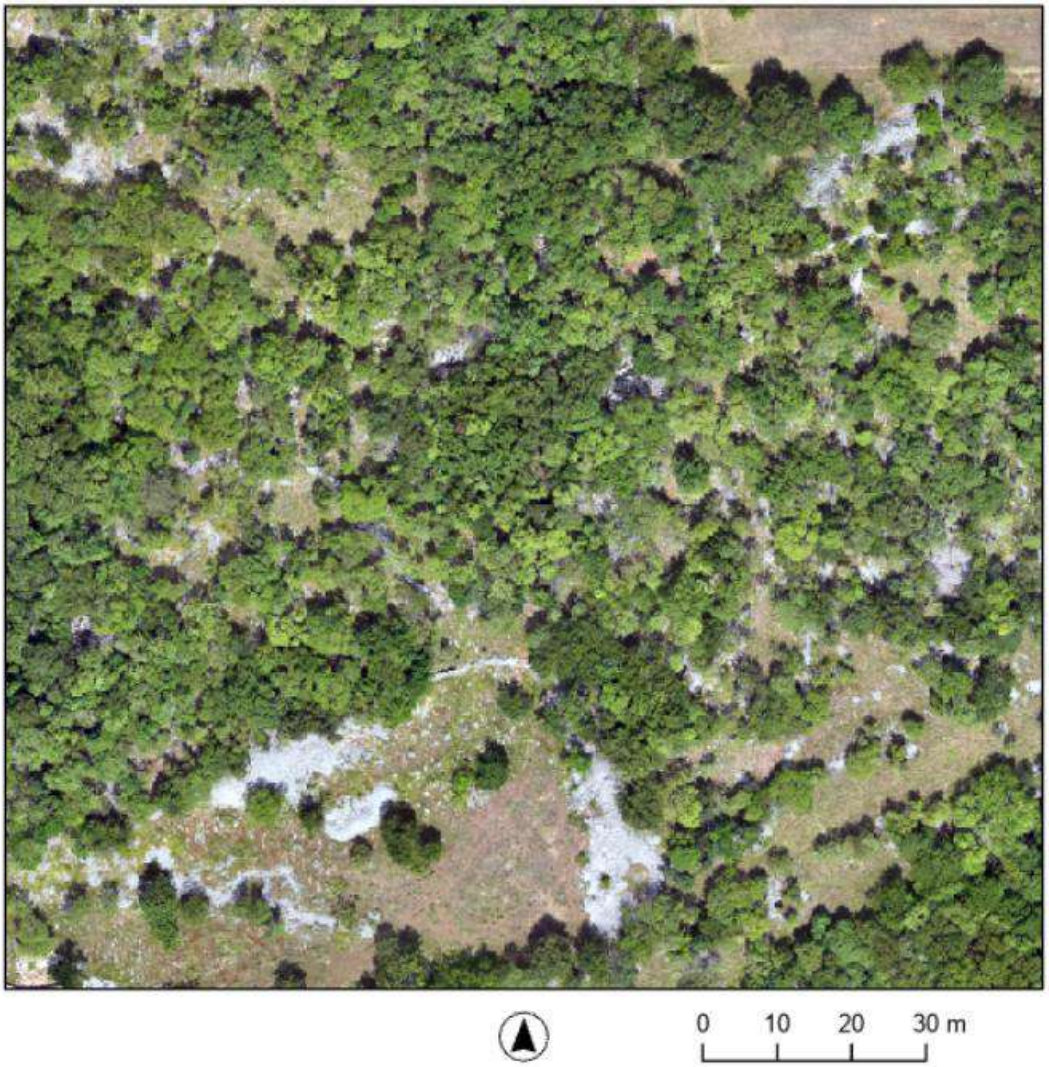


Figura 7 - Esempio di ortofoto ricavata da immagini scattate con una fotocamera ottica standard per l'area di Nova vas in estate.

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

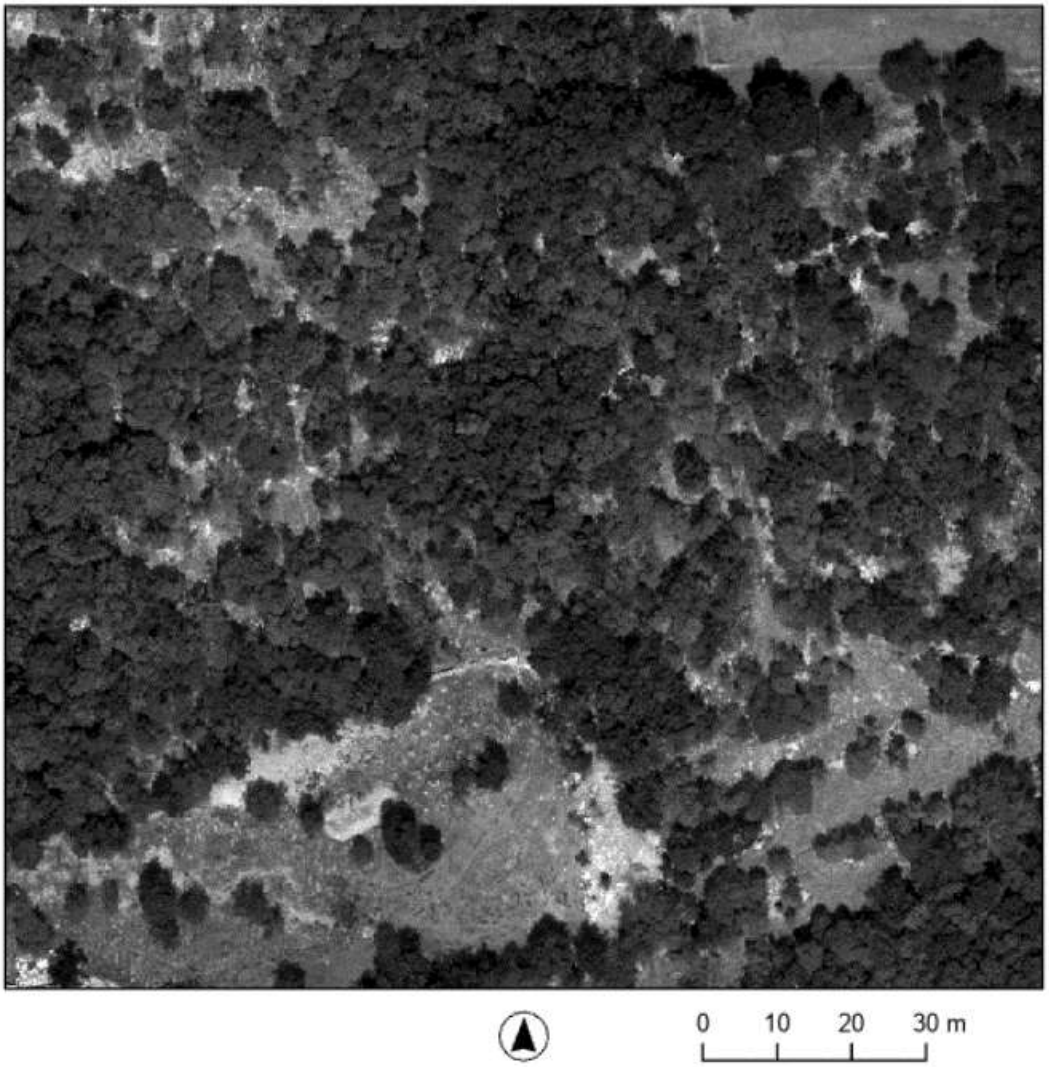


Figura 8 - Esempio di ortofoto ricavata da immagini scattate con una fotocamera nello spettro del rosso per l'area di Nova vas in estate.

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

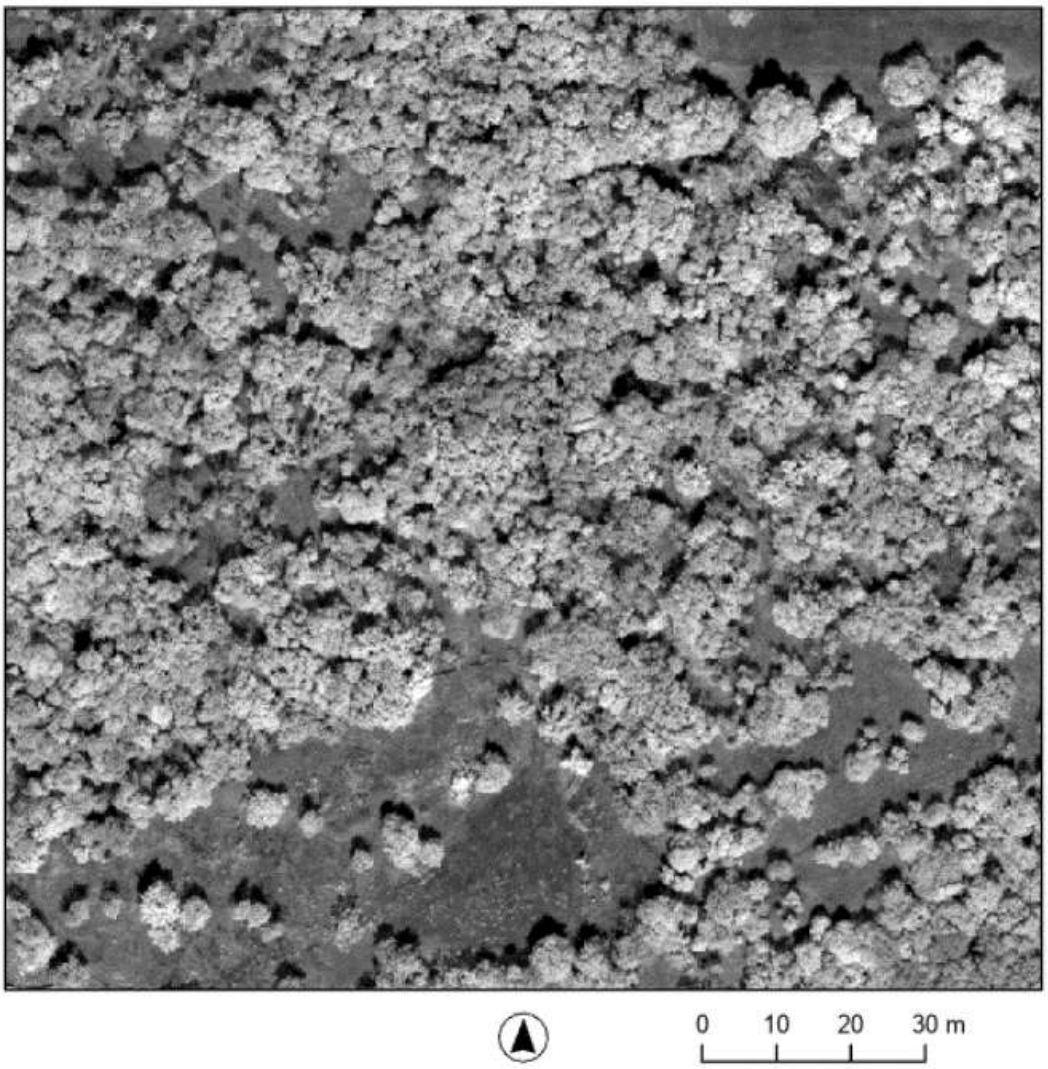


Figura 9 - Esempio di ortofoto ricavata da immagini di una fotocamera a infrarossi per l'area di Nova vas in estate.

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

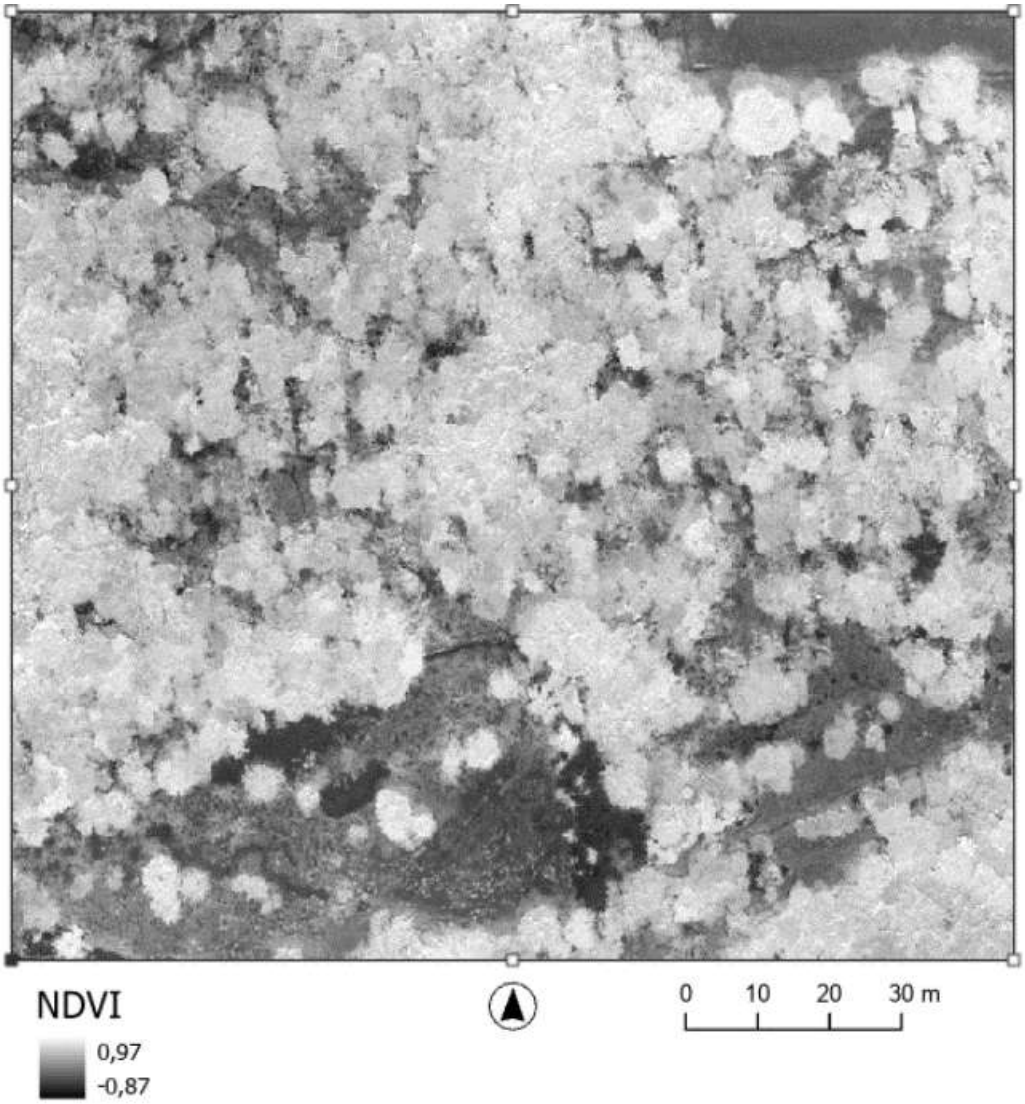


Figura 10 - Esempio di valori NDVI calcolati dallo spettro rosso e infrarosso per l'area di Nova vas in estate. I valori più alti (tonalità più chiare) rappresentano la vegetazione, mentre i valori più bassi (tonalità più scure) rappresentano altre superfici, come il terreno roccioso o i muri a secco (confronta con la Figura 7).

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 LINEE GUIDA PER IL MONITORAGGIO E L'OSSERVAZIONE CON DRONI

4.1 ATTREZZATURA PER L'ACQUISIZIONE DEI DATI

Per monitorare le condizioni della vegetazione, si raccomanda di utilizzare veicoli aerei senza pilota dotati di telecamere multispettrali oltre alle telecamere convenzionali (che acquisiscono immagini nello spettro visibile). Queste telecamere consentono l'acquisizione di immagini nello spettro infrarosso e rosso. Ciò rende possibile il calcolo dell'indice NDVI, che indica la quantità di clorofilla nelle foglie e la presenza di vegetazione.
Quando si effettua il monitoraggio con veicoli aerei senza pilota, è necessario tenere conto di alcune limitazioni:

- i droni hanno un tempo di volo limitato, che dipende dalle loro batterie. Questo problema può ovviamente essere risolto sostituendo le batterie, ma è necessario assicurarsi che ci sia sempre tempo sufficiente per tornare a un luogo di atterraggio sicuro quando si fotografa (sistematicamente) la superficie.
- in Slovenia (salvo altre restrizioni), l'altitudine massima di volo consentita dalla legislazione vigente è di 120 m sopra la superficie, il che comporta una limitazione della portata di una singola fotografia. Se si desidera fotografare la superficie con immagini ad alta risoluzione, è necessario volare più in basso, il che comporta un prolungamento della durata del volo. Un'opzione alternativa, se il velivolo lo consente, è quella di sostituire il sensore della fotocamera con uno che permetta di scattare foto ad alta risoluzione.
- In Italia, e in particolare nel comune di Devin-Nabrežina, che si trova nella zona di influenza dell'aeroporto di Trieste (Monfalcone), esistono numerose restrizioni che impediscono le riprese e il monitoraggio.

4.2 PREPARATIVI PER IL VOLO E LE RIPRESE

- Condizioni meteorologiche: dobbiamo far volare l'aeromobile in assenza di nebbia, nuvole basse, precipitazioni, venti forti o altre condizioni meteorologiche avverse che potrebbero compromettere la visibilità o interrompere il volo. Per questo motivo, è

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

necessario monitorare le previsioni meteorologiche prima di recarsi sul campo e, allo stesso tempo, prestare attenzione alle condizioni meteorologiche presenti sul campo stesso.

- Area *di decollo*: i siti di decollo e atterraggio e la postazione di controllo remoto del pilota devono essere protetti da fattori di disturbo quali traffico, escursionisti, animali, ecc., e devono garantire una buona visibilità dell'area circostante. Ciò ci consente di monitorare gli eventi sia in volo che a terra. Prima del volo, è necessario verificare l'esistenza di eventuali restrizioni, quali limitazioni geografiche (per ulteriori informazioni in Slovenia, è necessario consultare il sito web dell'Agenzia per l'Aviazione Civile) e messaggi NOTAM (*notifiche agli aviatori*), che contengono informazioni su varie restrizioni ed eventi (ad es. chiusura dello spazio aereo a causa di esercitazioni militari).

4.3 PROCEDURA DI RILEVAMENTO

Durante il volo stesso, si raccomanda che il drone voli lentamente mentre scatta fotografie (in ogni caso, più lentamente delle velocità massime offerte dalle applicazioni a seconda dell'altitudine di volo). Durante il volo, ci si assicura che la connessione RTK sia disponibile in ogni momento, poiché ciò garantirà che le registrazioni siano correttamente posizionate nello spazio. Se possibile, evitare contrasti eccessivi in natura, che possono verificarsi, ad esempio, in presenza di forte luce solare, poiché le aree in ombra rimangono oscurate.
Oltre al pilota, è di grande aiuto un assistente che possa aiutare a monitorare l'ambiente circostante.

4.4 ELABORAZIONE DEI DATI

Per l'elaborazione dei dati è possibile scegliere tra vari tipi di software. L'utente deve assicurarsi di utilizzare apparecchiature informatiche sufficientemente potenti, poiché l'analisi fotogrammetrica con diverse centinaia di immagini richiede una notevole potenza di elaborazione e una scheda grafica potente.
Prima di avviare l'elaborazione, è consigliabile verificare la qualità delle fotografie ed eliminare quelle che non sono sufficientemente nitide o che sono state scattate con un'angolazione significativamente diversa dalle altre immagini, poiché ciò può rendere difficile per il programma informatico allineare le immagini ed eseguire l'elaborazione fotogrammetrica. È inoltre importante valutare la distorsione delle immagini dovuta

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

all'obiettivo. Programmi potenti sono in grado di valutare autonomamente la qualità delle foto e la distorsione dell'obiettivo. La distorsione dell'obiettivo può essere valutata con precisione se le foto sono dotate di coordinate precise. Queste possono essere ottenute registrandole con una connessione RTK o utilizzando punti di controllo a terra sul campo, la cui posizione esatta è stata misurata con un ricevitore GNSS.

L'analisi fotogrammetrica e la preparazione dei prodotti (ad es. nuvola di punti, modello digitale di superficie, ortofoto) presentano numerose opzioni di impostazione. Ciò consente all'utente di provare diverse opzioni. Tuttavia, va notato che le impostazioni per risoluzioni più elevate richiedono anche più tempo.
Al termine del lavoro, è estremamente importante archiviare i risultati in modo appropriato ed effettuare copie di backup. Gli utenti devono tenere presente che le ortofoto con una risoluzione di pochi centimetri che coprono diversi ettari possono raggiungere rapidamente una dimensione di diversi GB. Se si utilizzano telecamere multispettrali (che di solito hanno una risoluzione leggermente inferiore), il solo materiale fotografico, una volta arrivato dal campo, costituisce già una grande quantità di dati. Se a questo si aggiungono i file di programma che memorizzano l'analisi fotogrammetrica, si possono archiviare fino a diverse centinaia di GB di dati per una singola area.

4.5 ALTRO

Se vogliamo confrontare le immagini dei droni con quelle satellitari, è importante acquisirle nello stesso giorno. Su siti web come:

https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/copernicus/sentinel-2/acquisition-plans

(dove è possibile scaricare un file *kml* e aprirlo nell'apposito programma di geoinformazione per ottenere informazioni) o https://app.spectator.earth/acquisition-plan, è possibile verificare in quale giorno verranno scattate le immagini satellitari di specifici satelliti. In questo modo, possiamo aiutarci e anche scattare le nostre immagini nello stesso giorno, consentendoci così di analizzare i valori delle diverse risoluzioni e trarre conclusioni su eventi al di fuori della nostra area di osservazione.

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 RIFERIMENTI

1 Bevan, D. J., Brook, M. S., Tunnicliffe, J., Richards, N. P., Prebble, W. M. 2017: Use of UAV mounted/Structure-from-Motion (SfM) data capture for engineering geological landslide mapping. 20th NZGSGeotechnical Symposium. Wellington.

2 Campbell, J. B. 1996: Introduction to Remote Sensing. Second Edition. London.

3 Ciglič, R., Ferk, M., Nagy, G. 2020: Observation of slope processes using unmanned aerial vehicles on the example of landslides in the Slovenske gorice hills. Landscape modelling. Ljubljana.

4 Cignetti, M., Godone, D., Wrzesniak, A., Giordan, D. 2019: Structure from motion multisource application for landslide characterisation and monitoring: The Champlas du Col case study, Sestriere, North-Western Italy. Sensors 19-10. DOI: https://doi.org/10.3390/s19102364

5 Giordan, D., Manconi, A., Tannant, D. D., Allasia, P. 2015: UAV: Low-cost remote sensing for high-resolution investigation of landslides. 2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). Milan.

6 Peternel, T., Kumelj, Š., Oštir, K., Komac, M. 2017: Monitoring the Potoška planina landslide (NW Slovenia) using UAV photogrammetry and tachymetric measurements. Landslides 14-1. DOI: https://doi.org/10.1007/s10346-016-0759-6

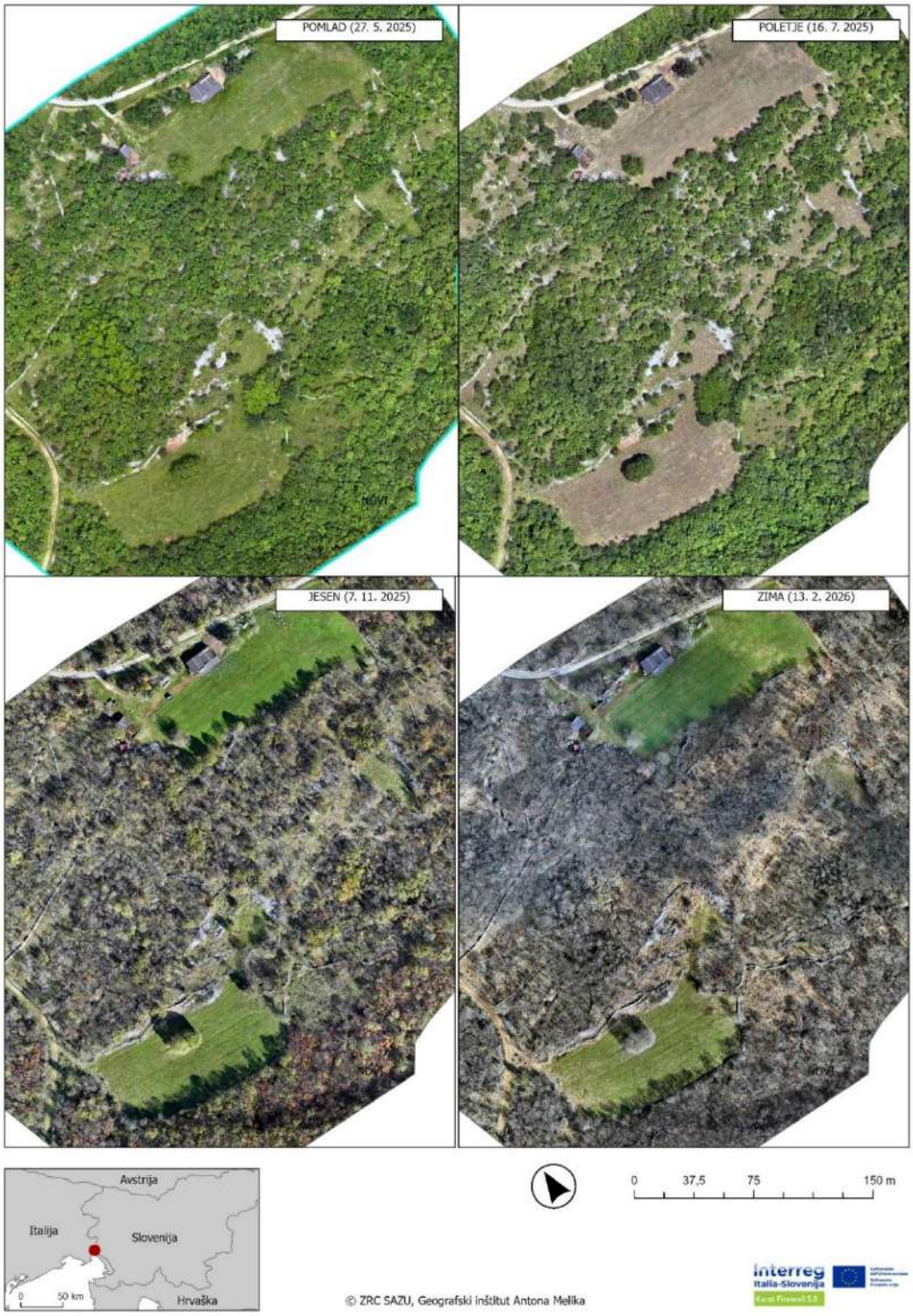
7 Oštir, K. 2006: Remote sensing. Institute for Anthropological and Spatial Studies, ZRC SAZU.

8 Warner, T., Campagna, D. J. 2009: Remote Sensing with IDRISI® Taiga. A Beginner's Guide. Hong Kong.

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

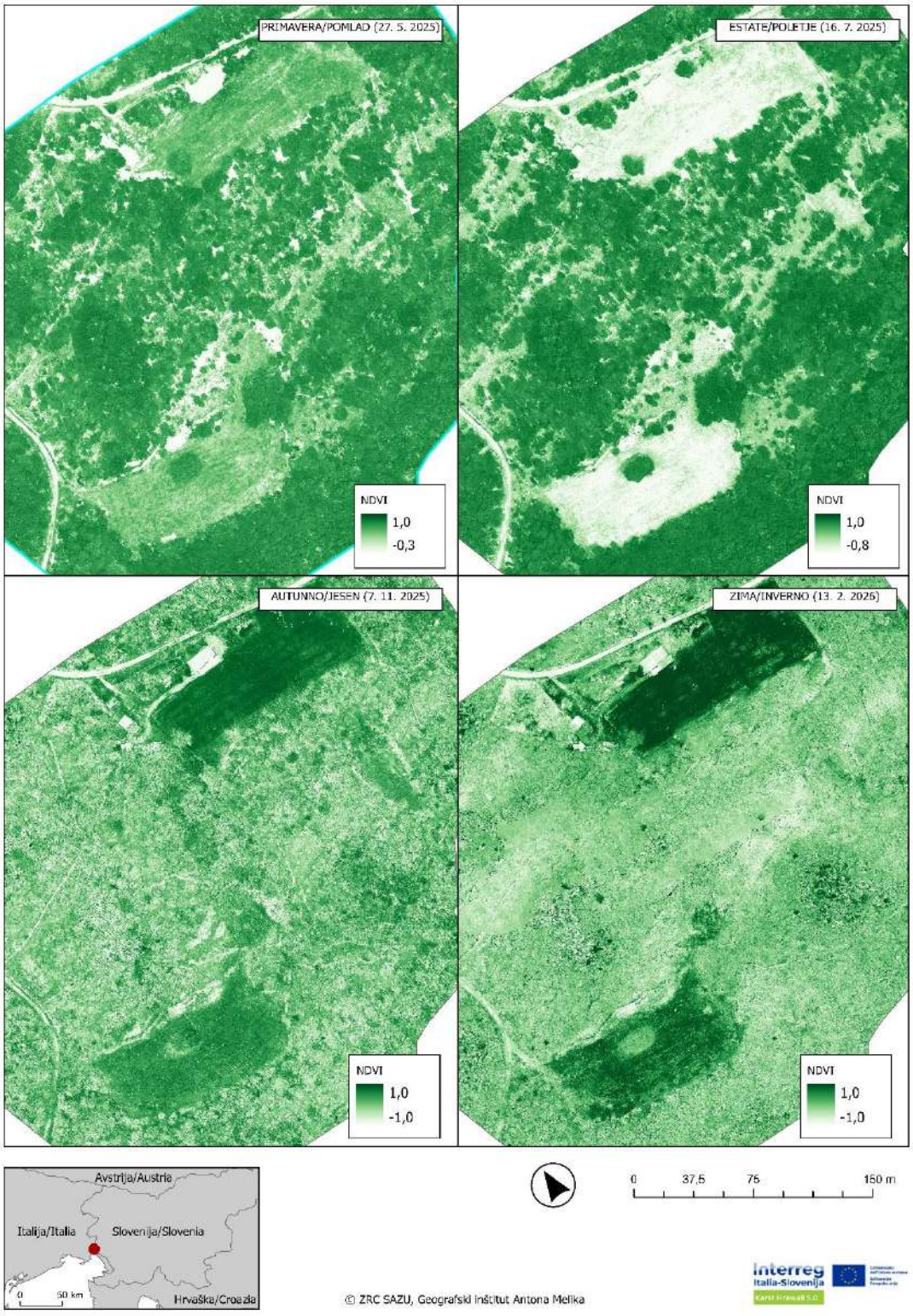
6 APPENDICI CARTOGRAFICHE

APPENDICE 1: Area pilota Nova vas fotografata con una fotocamera RGB nelle quattro stagioni.



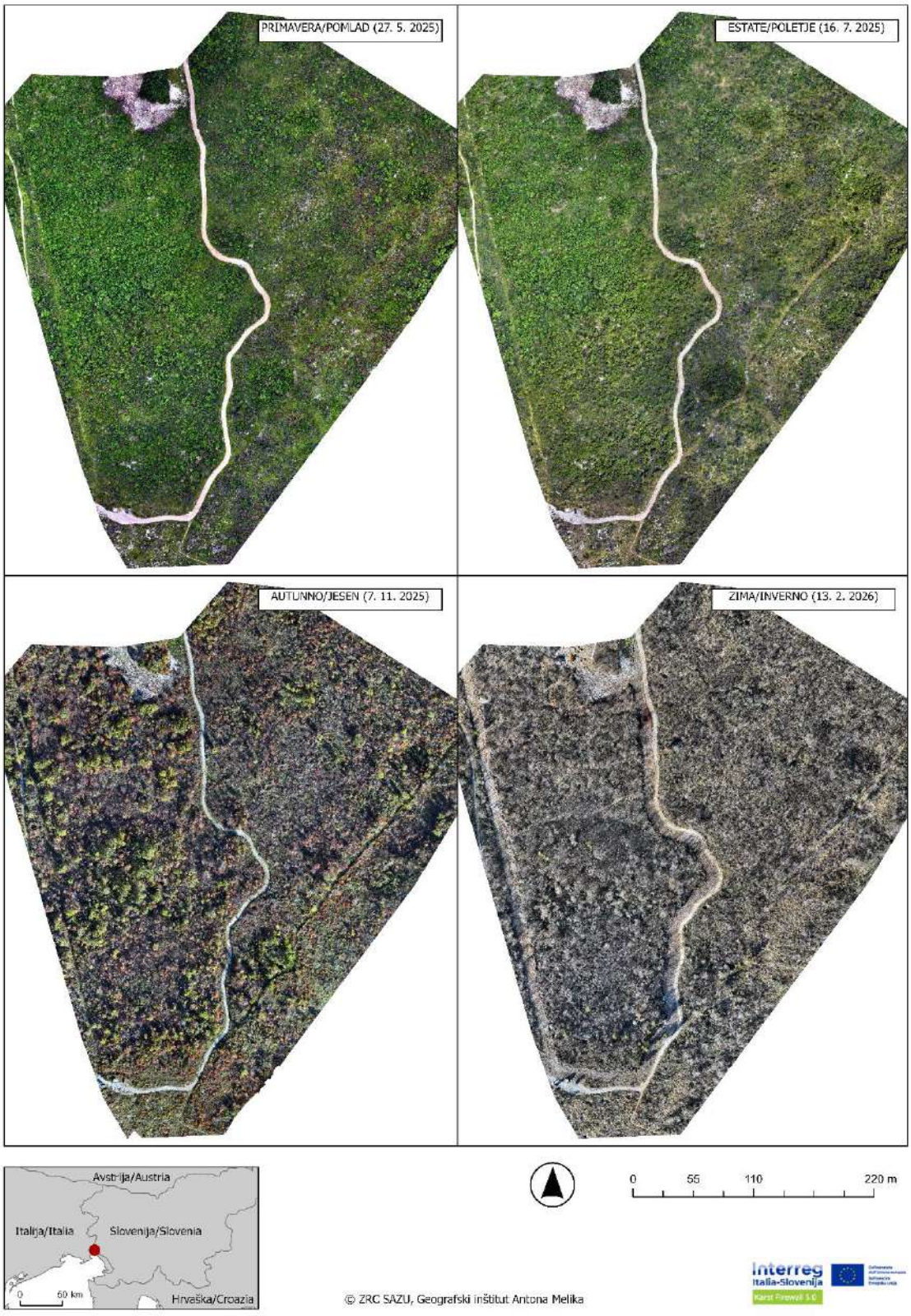
Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

APPENDICE 2: Area pilota Nova vas fotografata con una fotocamera multispettrale nelle quattro stagioni e NDVI calcolato.



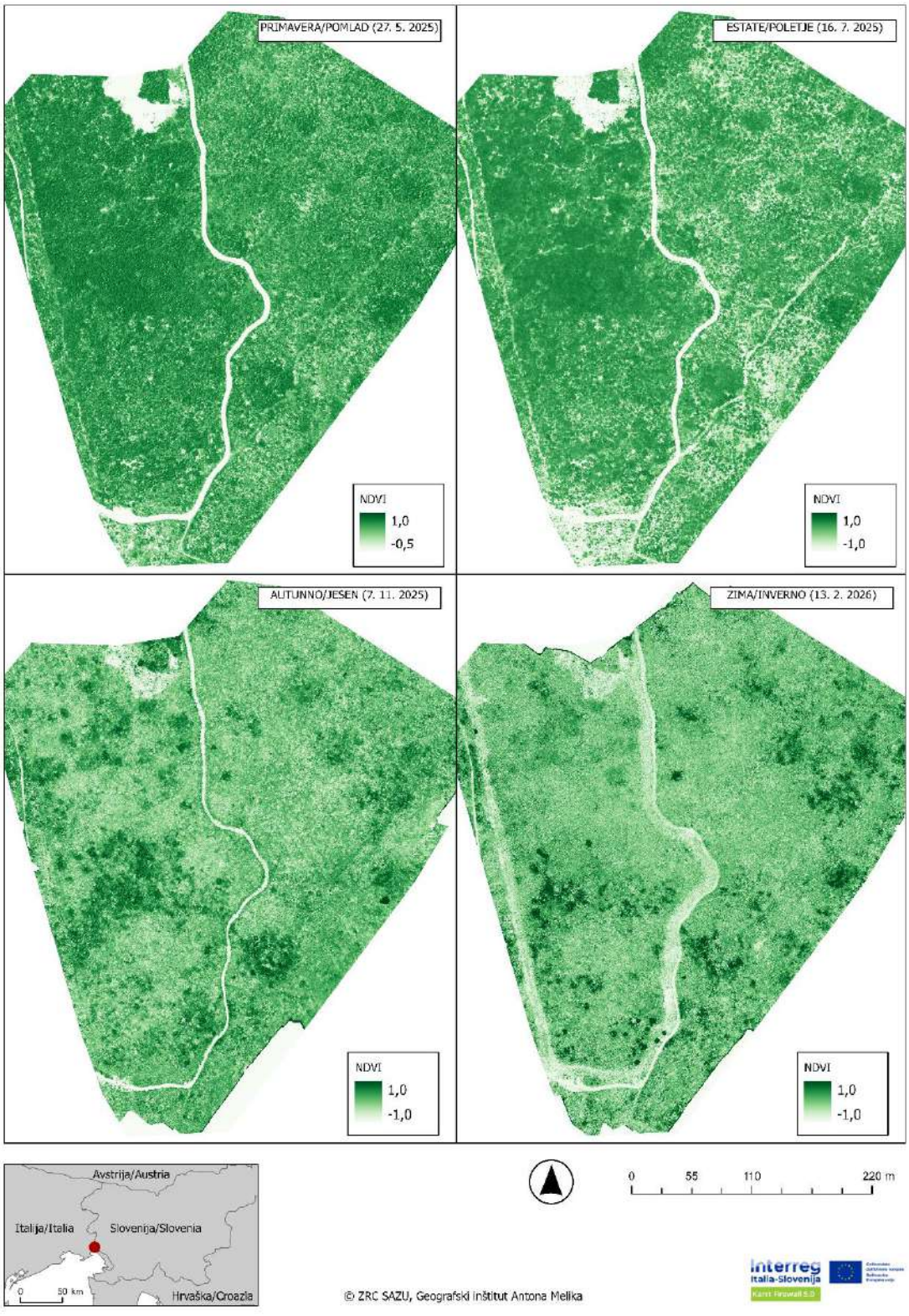
Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

APPENDICE 3: Area pilota di Kremenjak fotografata con una fotocamera RGB nelle quattro stagioni.



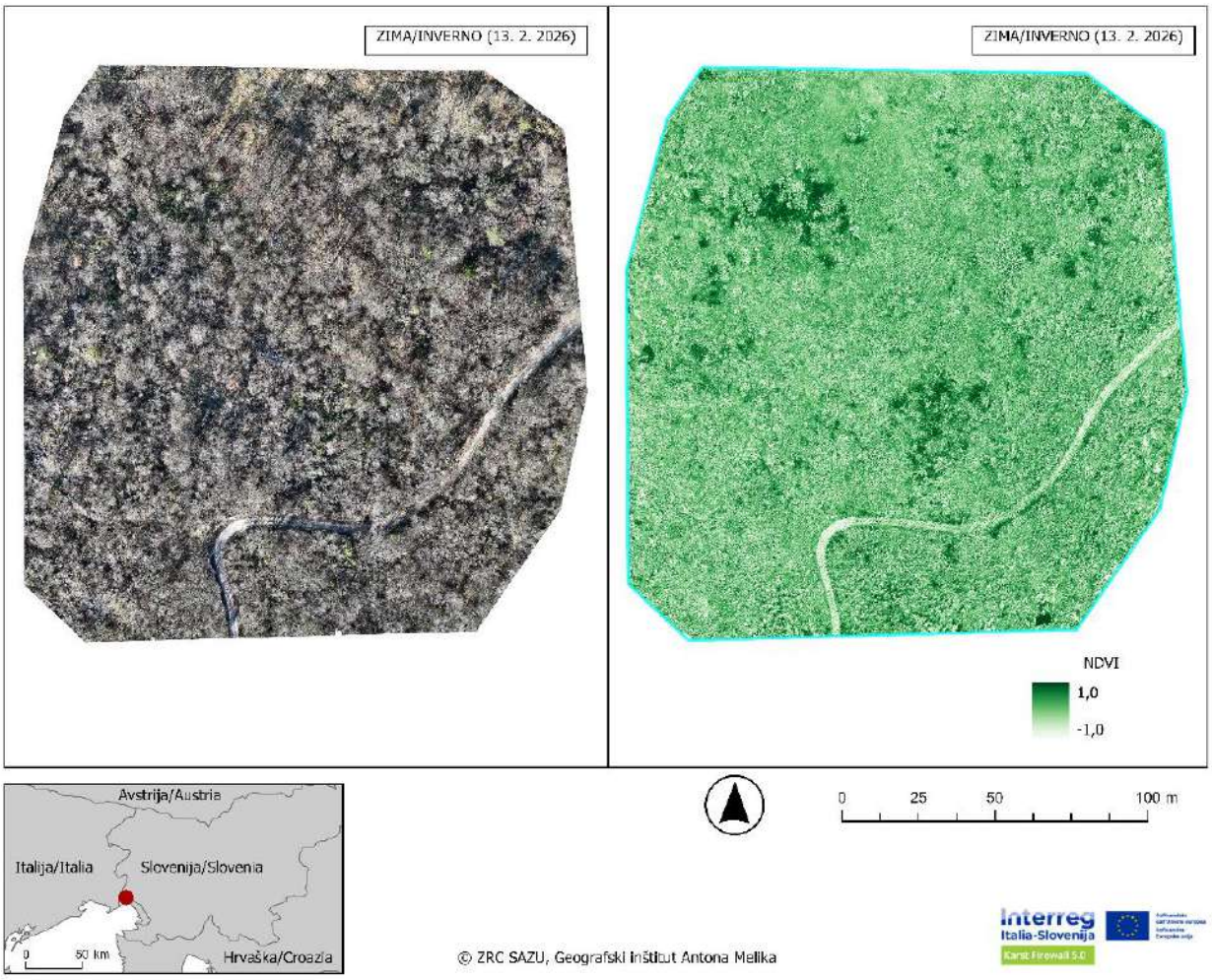
Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

APPENDICE 4: Area pilota di Kremenjak ripresa con una fotocamera multispettrale nelle quattro stagioni e NDVI calcolato



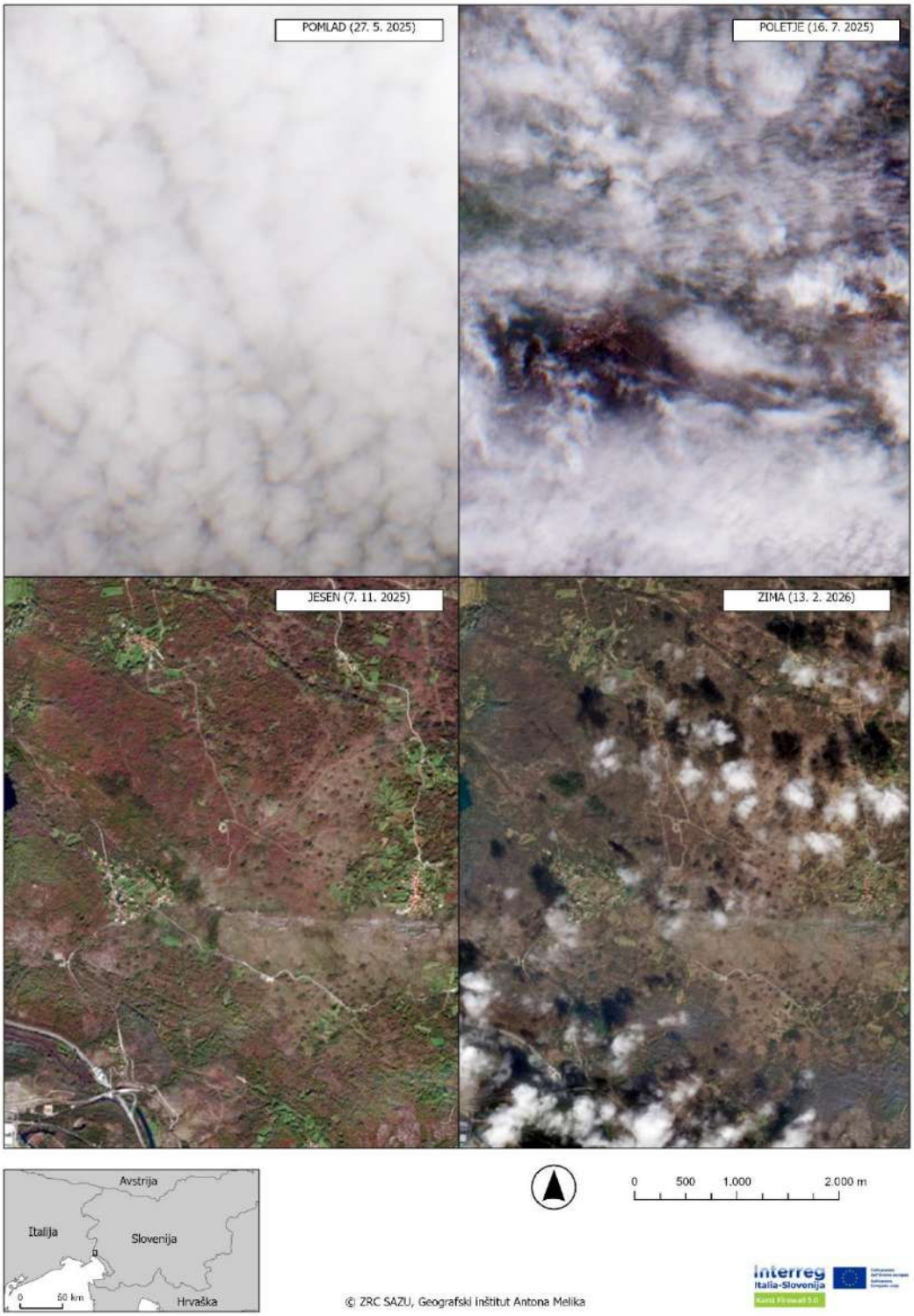
Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

APPENDICE 5: Area pilota di Medjavas fotografata con una fotocamera multispettrale in inverno e NDVI calcolato.



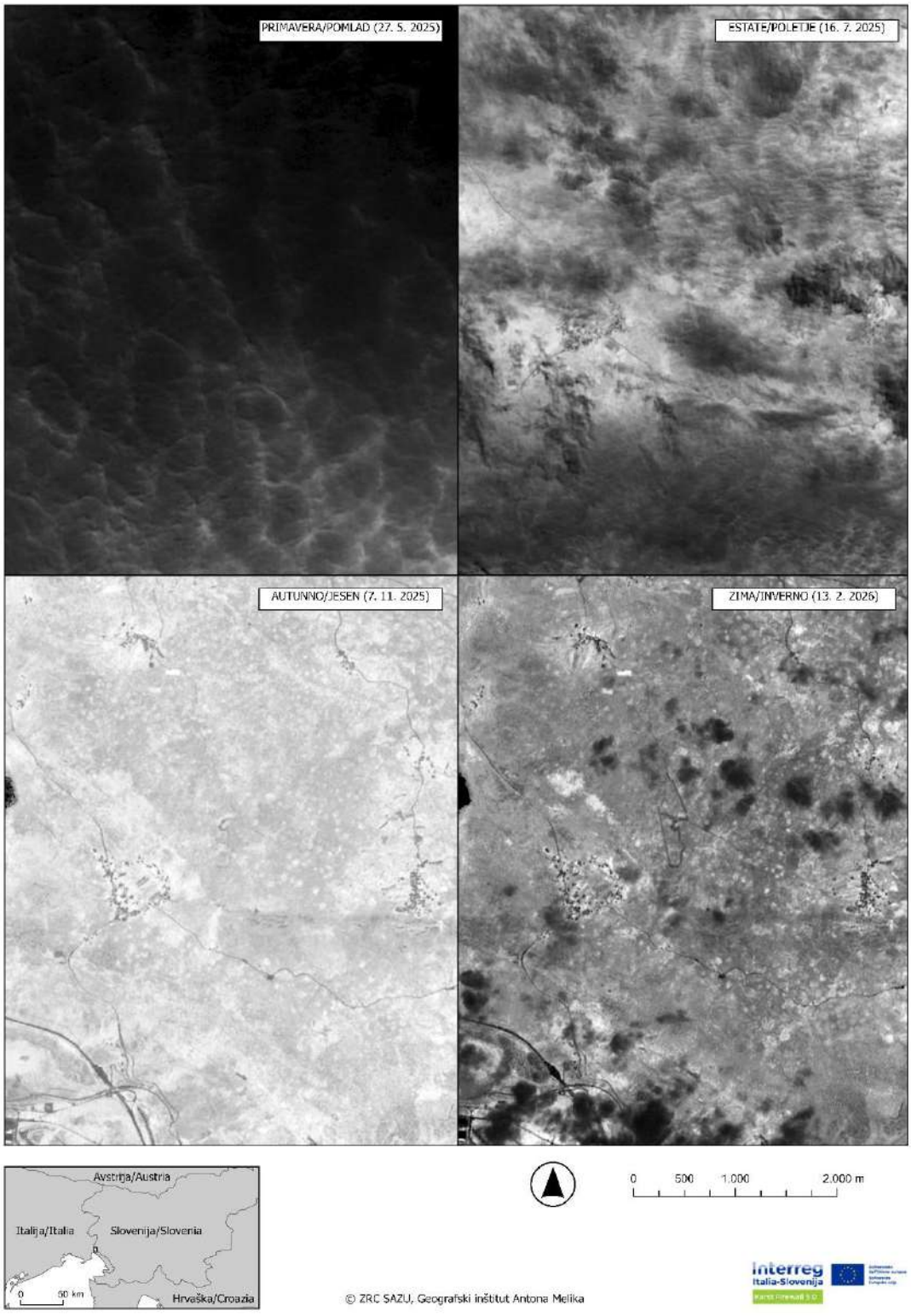
Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

APPENDICE 6: Area transfrontaliera più ampia che comprende tutte e tre le aree pilota, ripresa dal satellite Sentinel-2 nelle quattro stagioni.



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

APPENDICE 7: Area transfrontaliera più ampia comprendente tutte e tre le aree pilota, ripresa dal satellite Sentinel-2 nelle quattro stagioni e con NDVI calcolato.



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