

# 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

## 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<br><br>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<br><br>Bolj zelena, nizkoogljikna Evropa, ki prehaja na gospodarstvo z ničelno stopnjo neto emisij ogljika in je odporna                                                                                   |
| Obiettivo specifico del programma / Specifični cilj programa:  | SO4: Promuovere l'adattamento ai cambiamenti climatici, la prevenzione dei rischi di catastrofi e la resilienza, tenendo conto degli approcci ecosistemici.<br><br>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:   | <a href="http://www.ita-slo.eu/karst-firewall-50">www.ita-slo.eu/karst-firewall-50</a>                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

# 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 |

# 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

risoluzione desiderata dei prodotti finali (ortofoto<sup>1</sup>, 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.

---

<sup>1</sup> 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 fotogrammetricamente.

## 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°.

## 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).

## 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.*



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

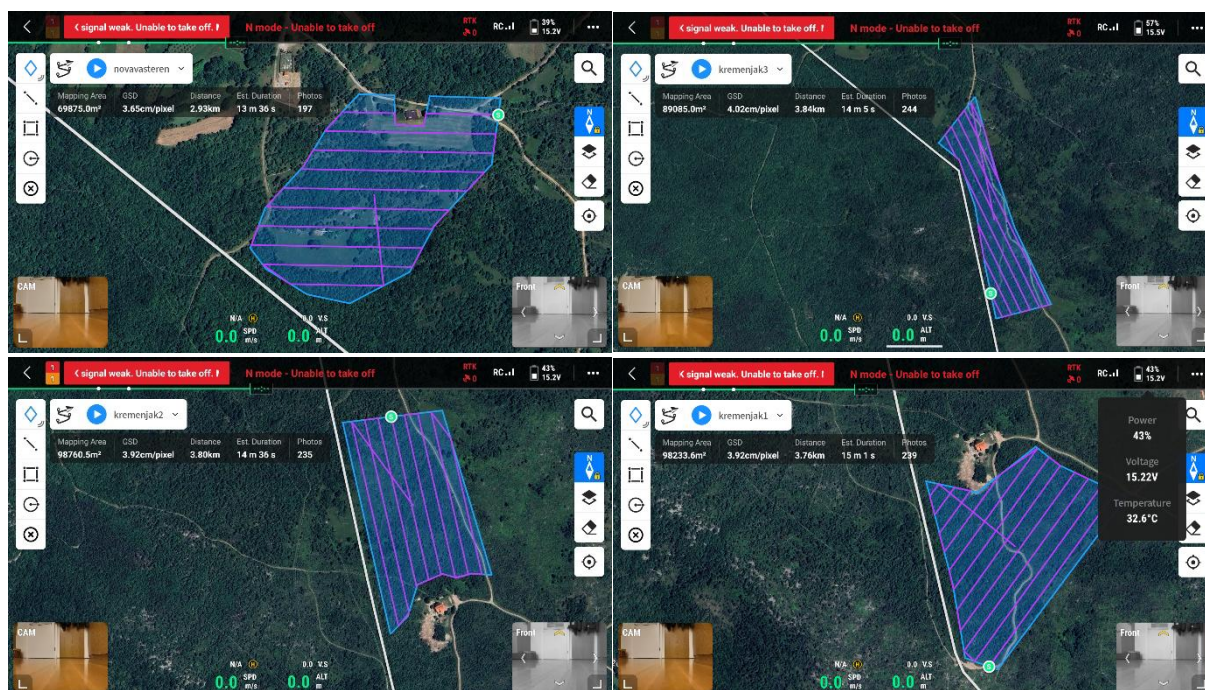


Figura 3 - Impostazioni per i possibili voli per l'acquisizione di fotografie nell'area pilota: Nova vas (in alto a sinistra), Kremenjak 1 (in alto a destra), Kremenjak 2 (in basso a sinistra) e Kremenjak 3 (in basso a destra).

## 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  $\infty$ , 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 $\pm$ 16          |
| rosso (R)               | 650 $\pm$ 16          |
| red edge (RE)           | 730 $\pm$ 16          |
| infrarosso vicino (NIR) | 860 $\pm$ 26          |

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.

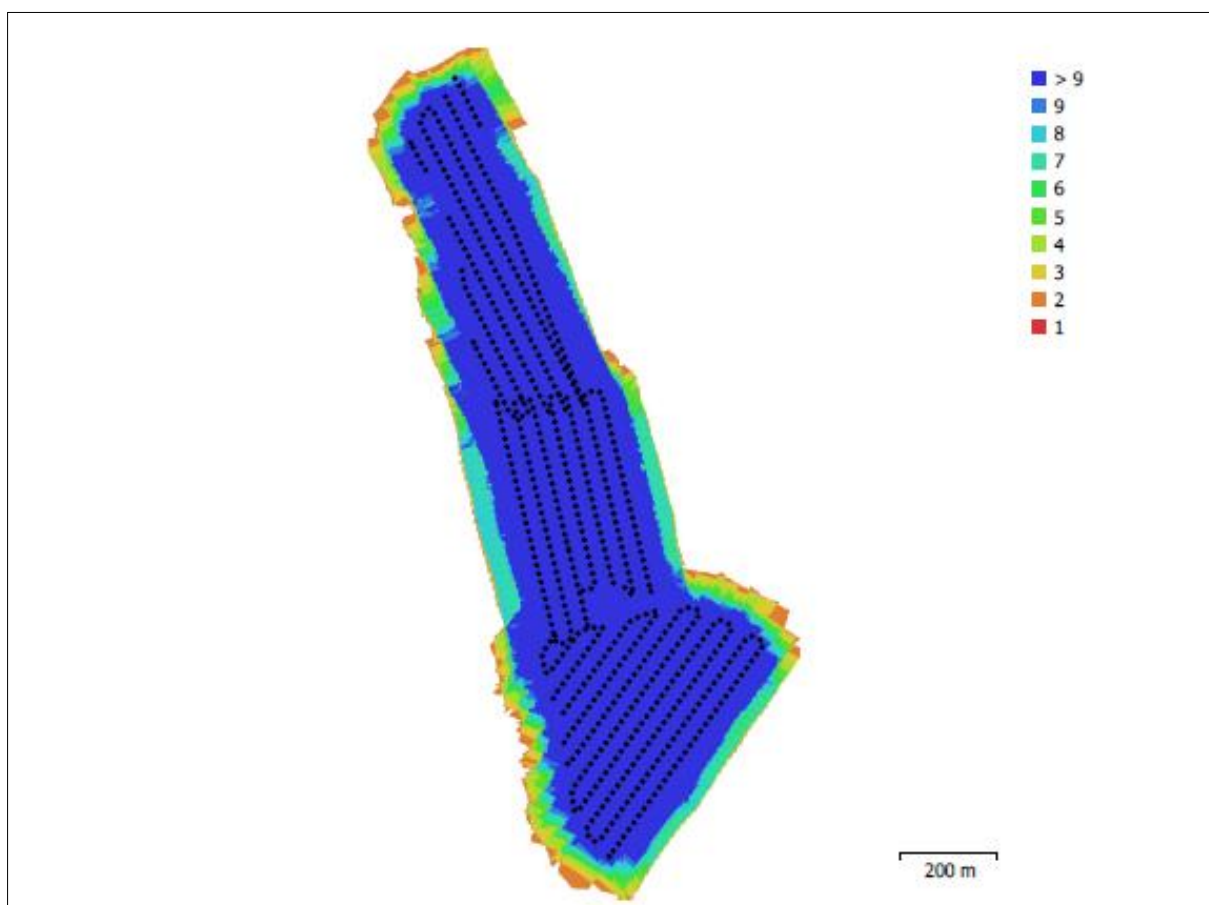


Figura 4 - Numero di immagini per cella. Esempio di registrazione con una fotocamera standard nella località di Kremerjak in estate.

## 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).

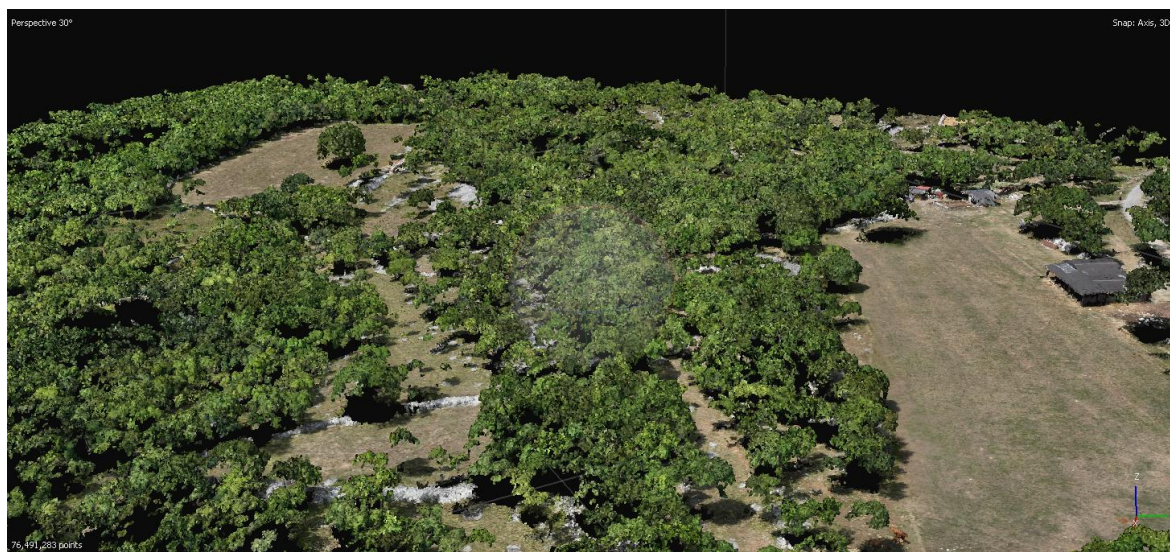


Figura 5 - Esempio di una nuvola di punti ricavata da immagini scattate con una fotocamera ottica standard per l'area di Nova vas in estate.

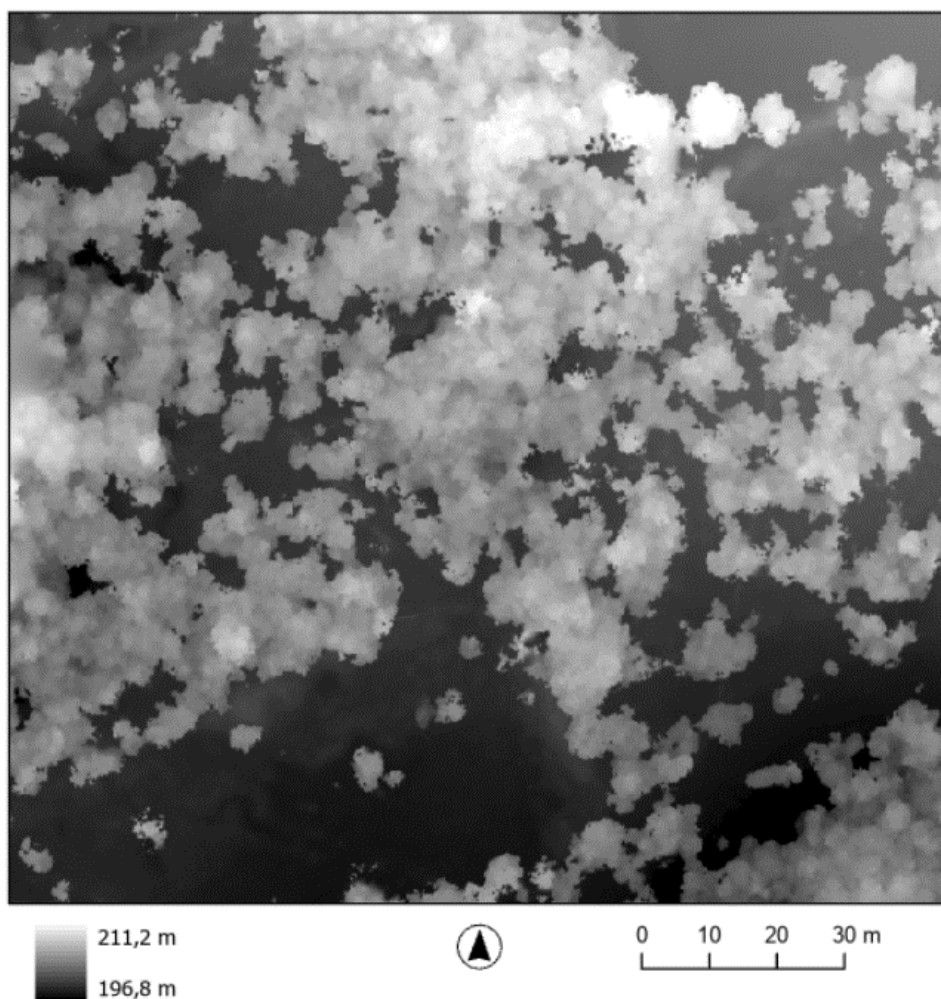
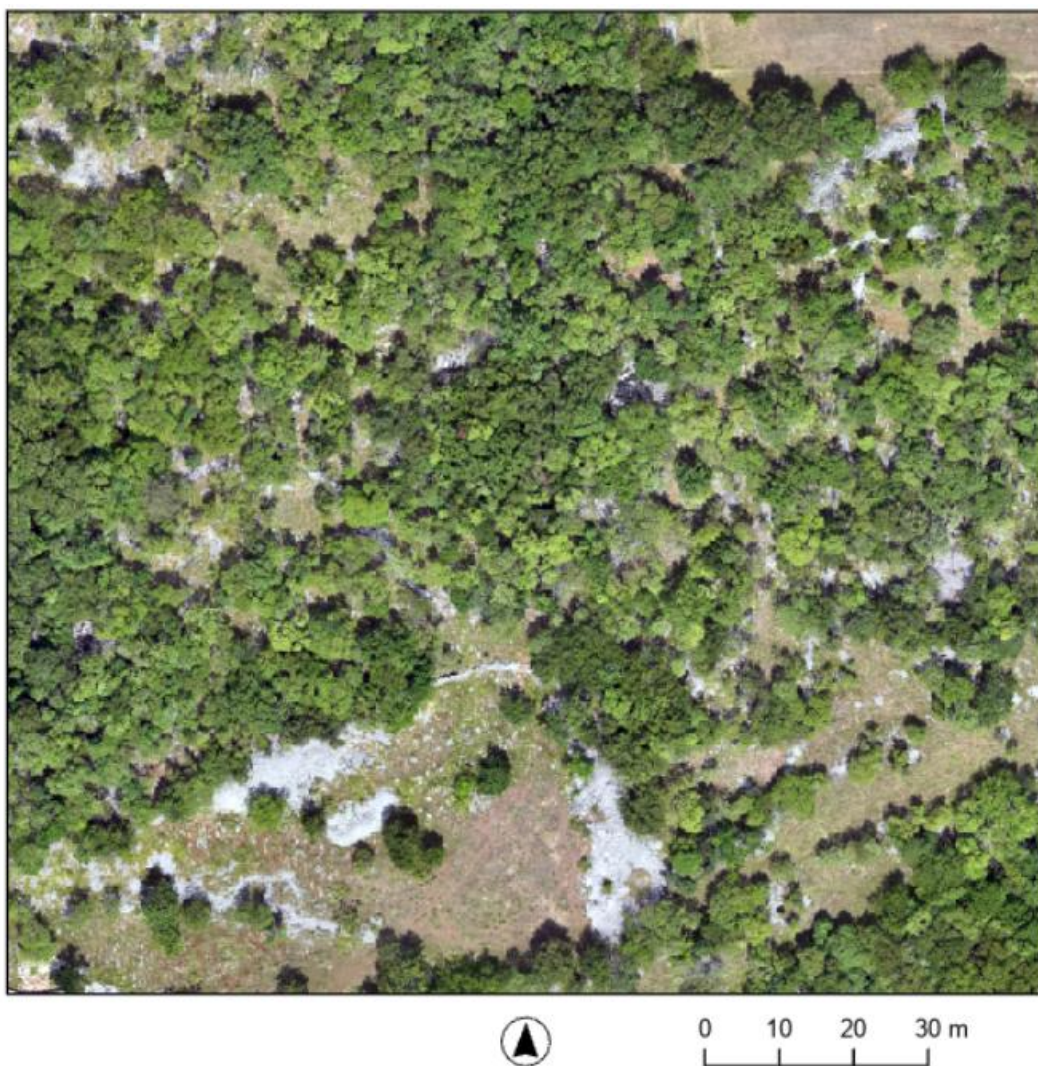
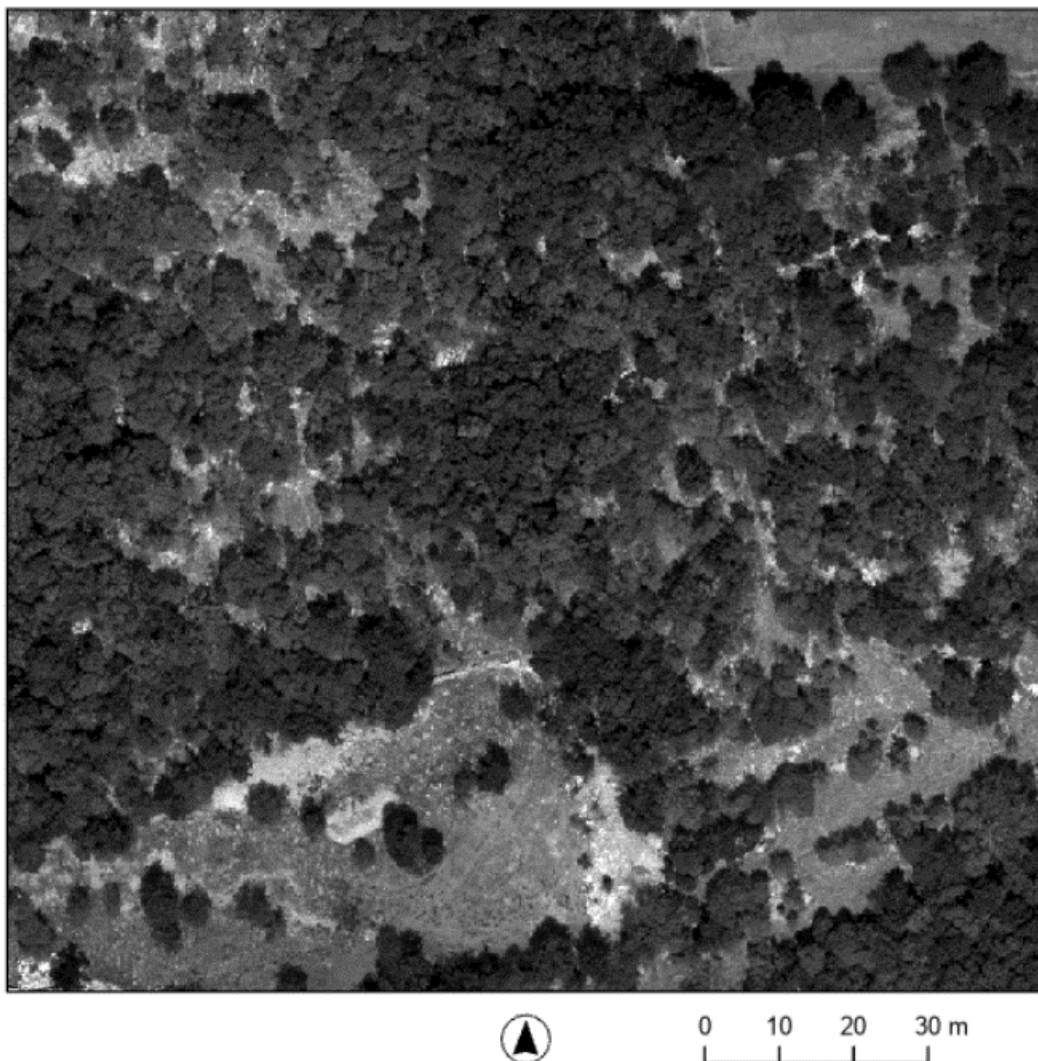


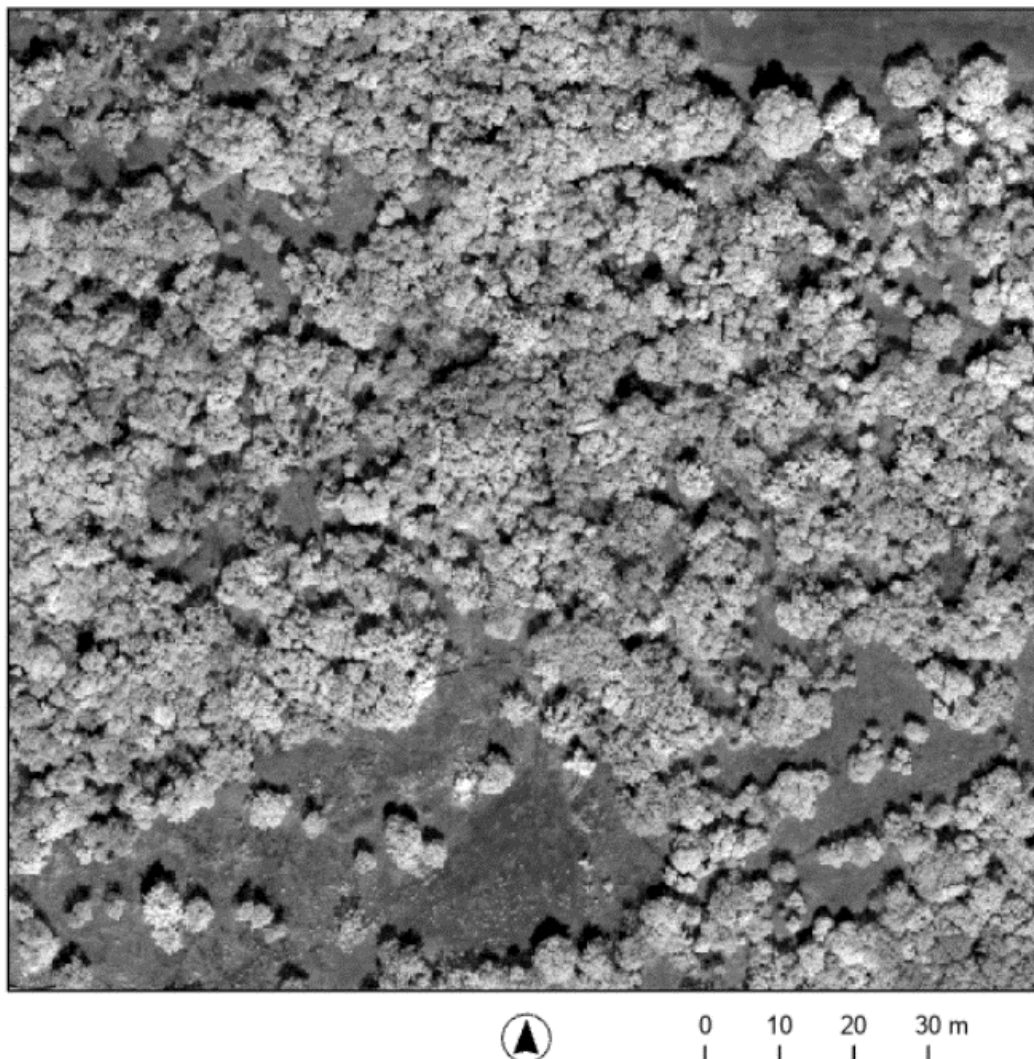
Figura 6 - Esempio di un modello digitale di superficie ricavato da immagini scattate con una fotocamera ottica standard per l'area di Nova vas in estate.



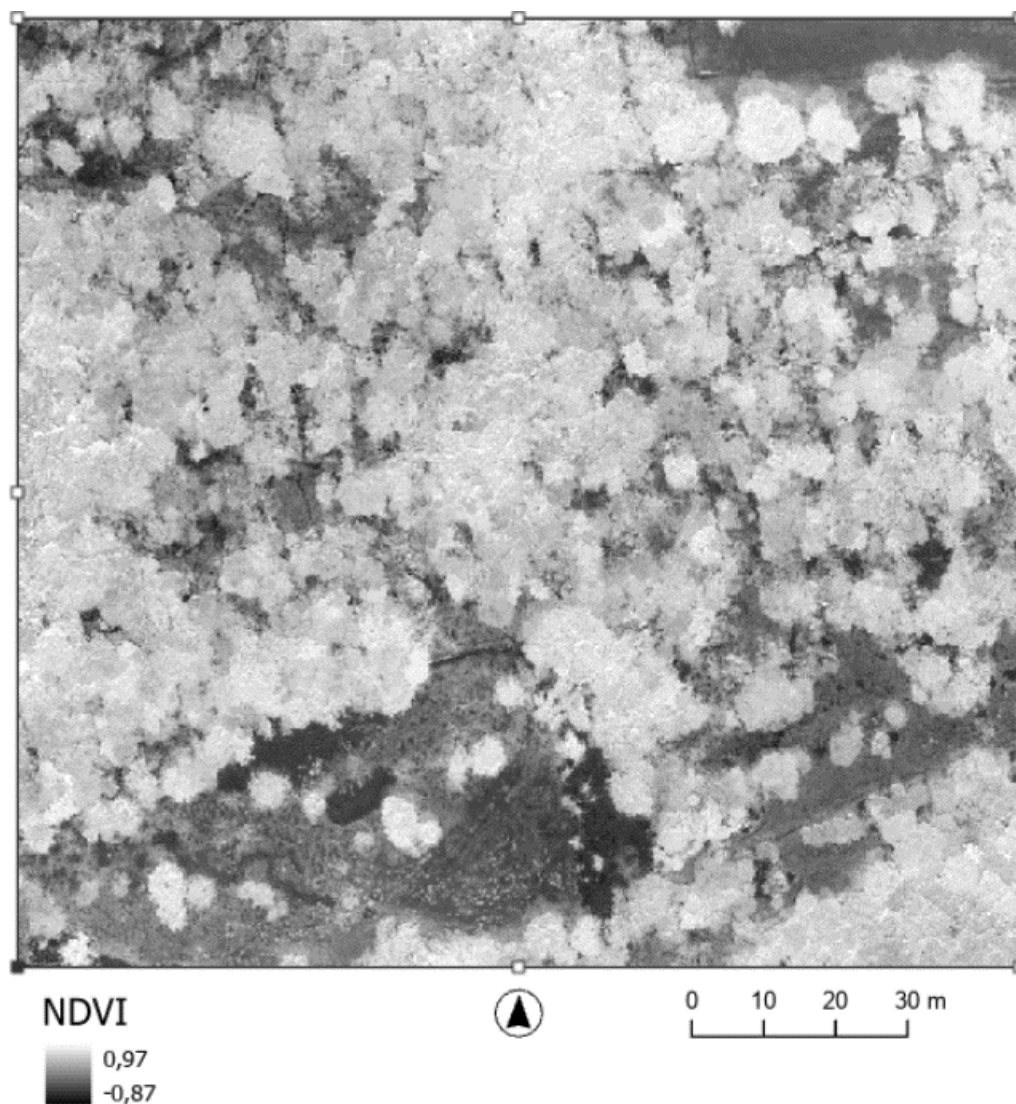
*Figura 7 - Esempio di ortofoto ricavata da immagini scattate con una fotocamera ottica standard per l'area di Nova vas in estate.*



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



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



*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).*

## 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

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

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>

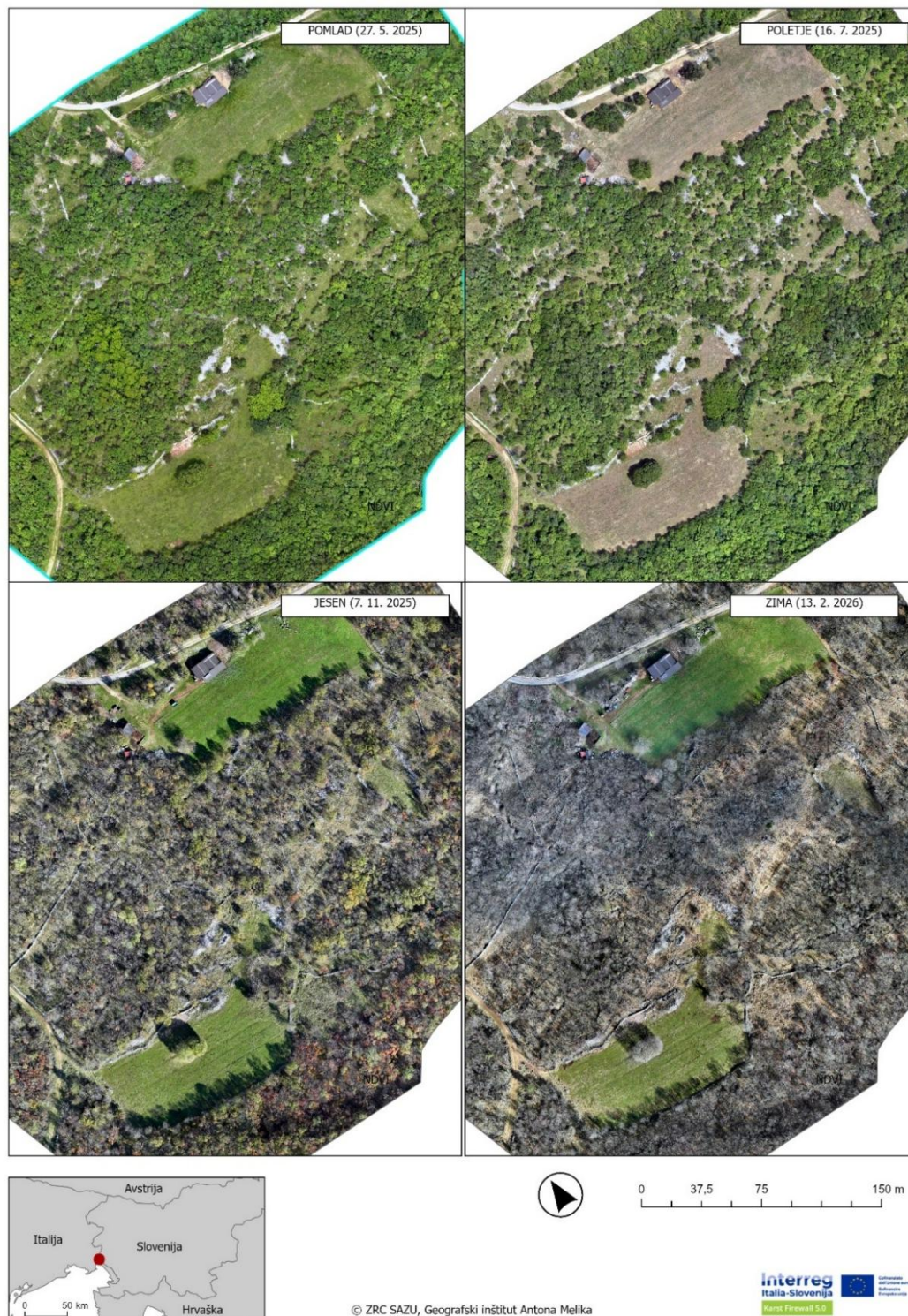
(dove è possibile scaricare un file *km*/e aprirlo nell'apposito programma di geoinformazione per ottenere informazioni) o <https://app.spectator.earth/acquisition-plan>, è possibile verificare in quale giorno verranno scattate le immagini satellitari di specifici satelliti. In questo modo, possiamo 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.

## 5 RIFERIMENTI

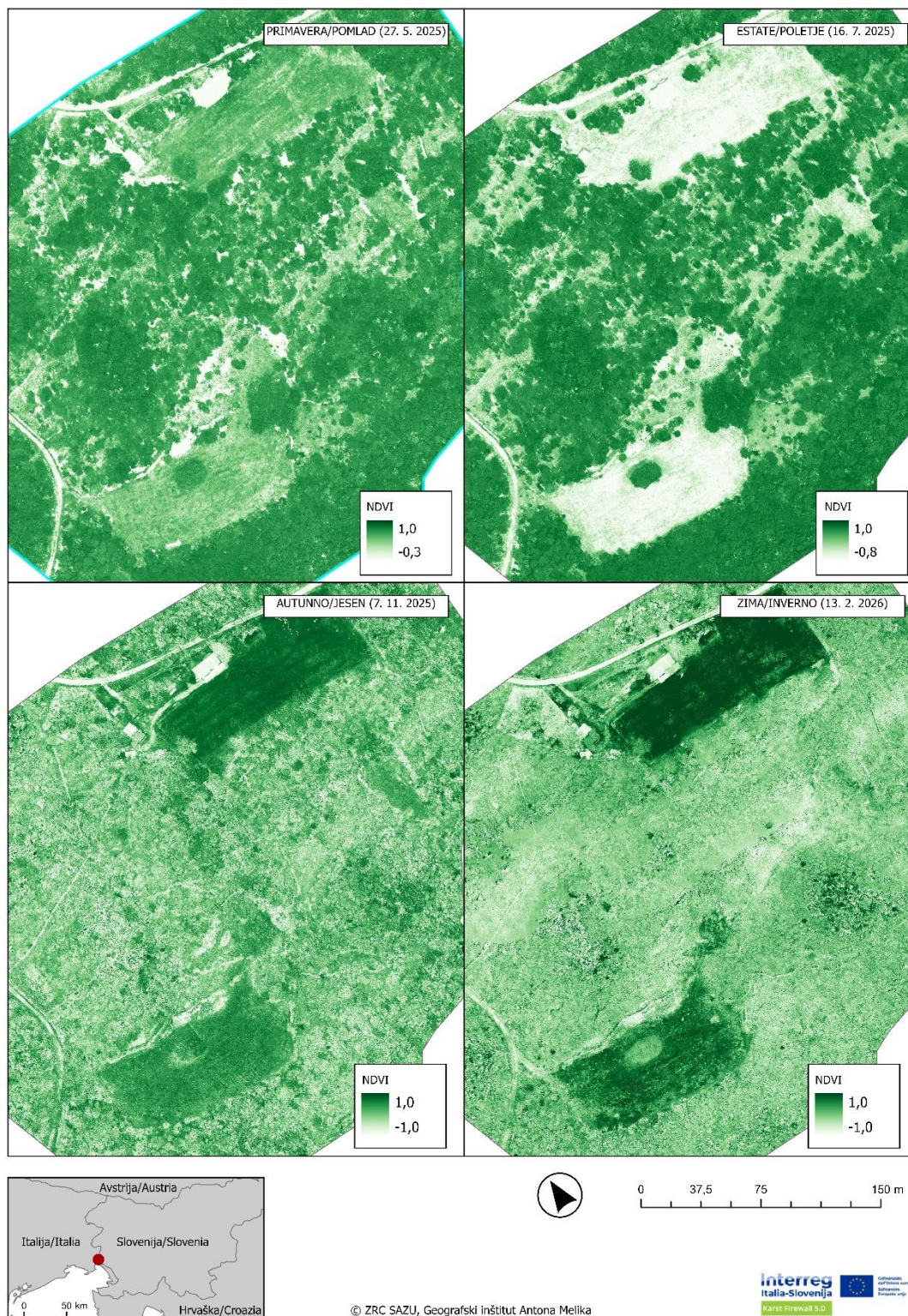
- 1 Bevan, D. J., Brook, M. S., Tunnicliffe, J., Richards, N. P., Prebble, W. M. 2017: Use of UAV mounted/Structure-from-Motion (SfM) data capture for engineering geological landslide mapping. 20th NZGSGeotechnical Symposium. Wellington.
- 2 Campbell, J. B. 1996: Introduction to Remote Sensing. Second 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.

## 6 APPENDICI CARTOGRAFICHE

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



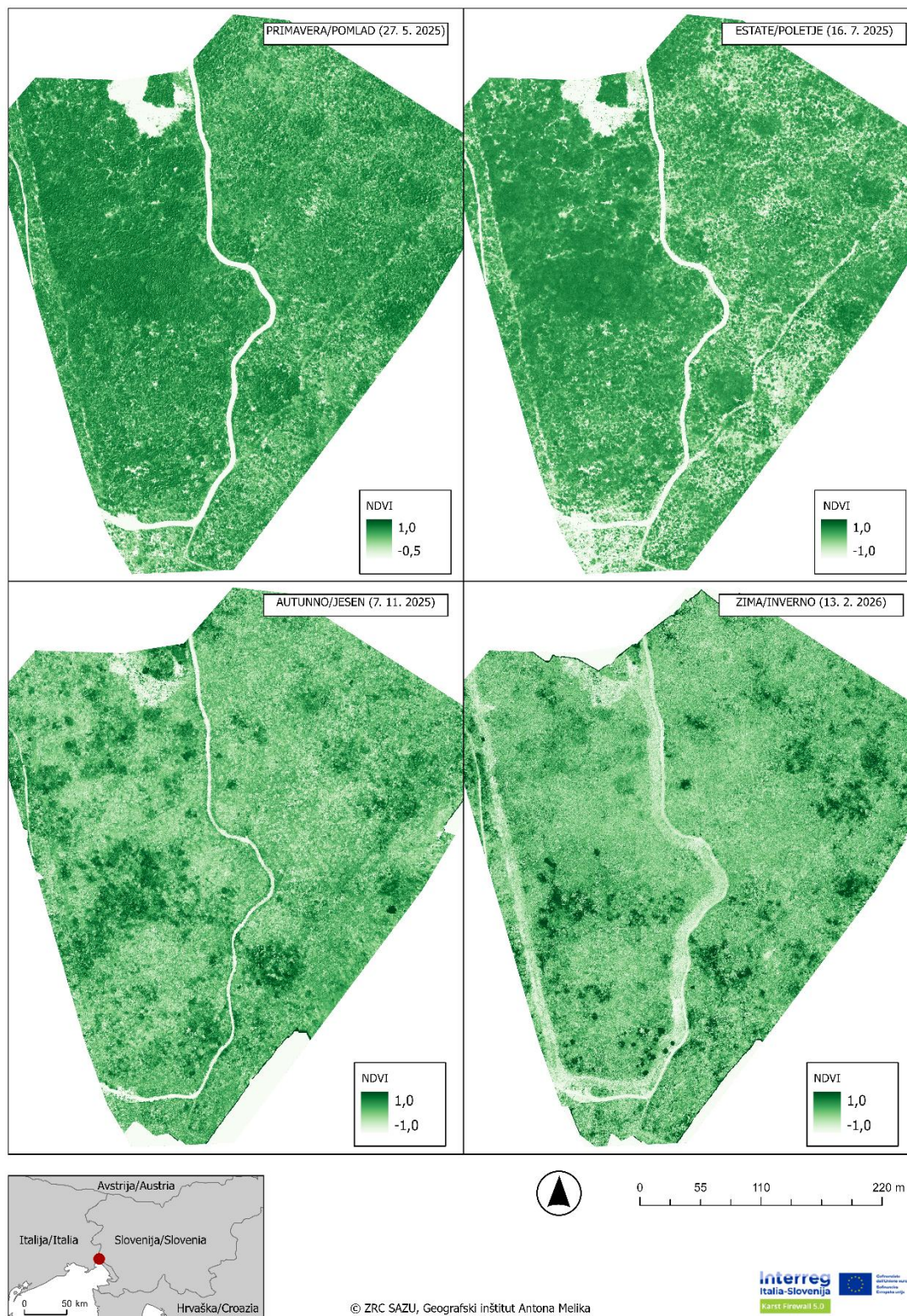
APPENDICE 2: Area pilota Nova vas fotografata con una fotocamera multispettrale nelle quattro stagioni e NDVI calcolato.



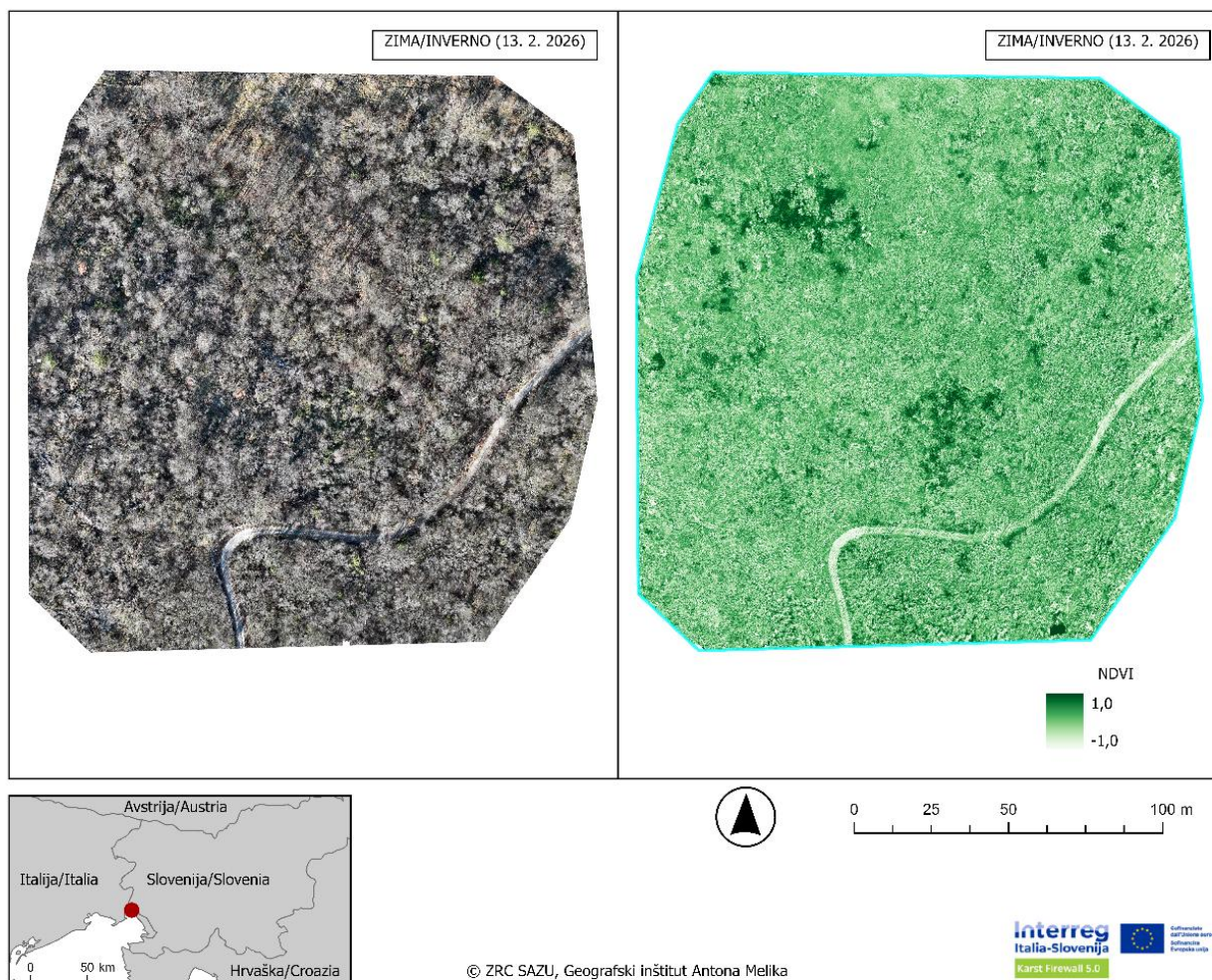
APPENDICE 3: Area pilota di Kremenjak fotografata con una fotocamera RGB nelle quattro stagioni.



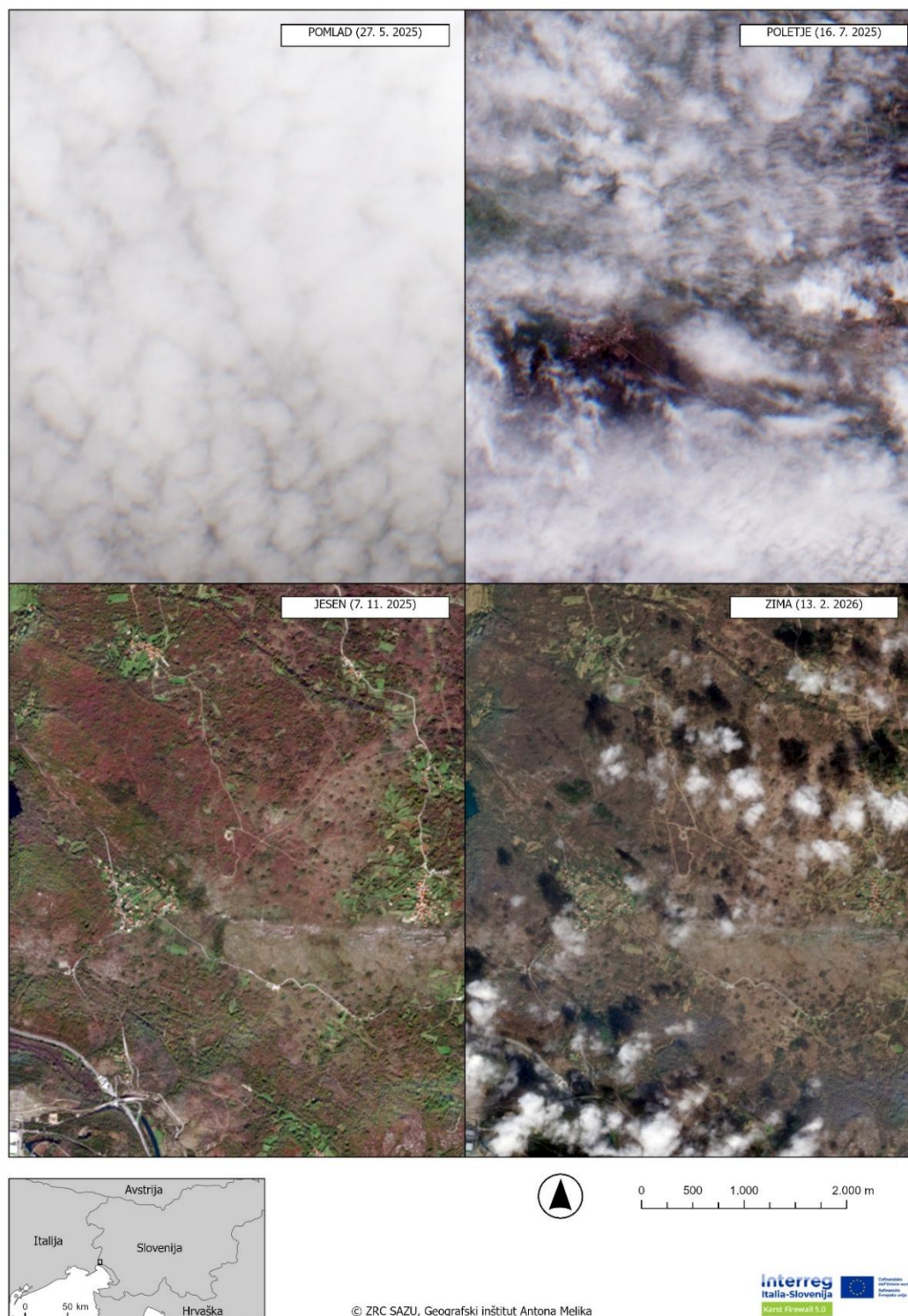
#### APPENDICE 4: Area pilota di Kremenjak ripresa con una fotocamera multispettrale nelle quattro stagioni e NDVI calcolato



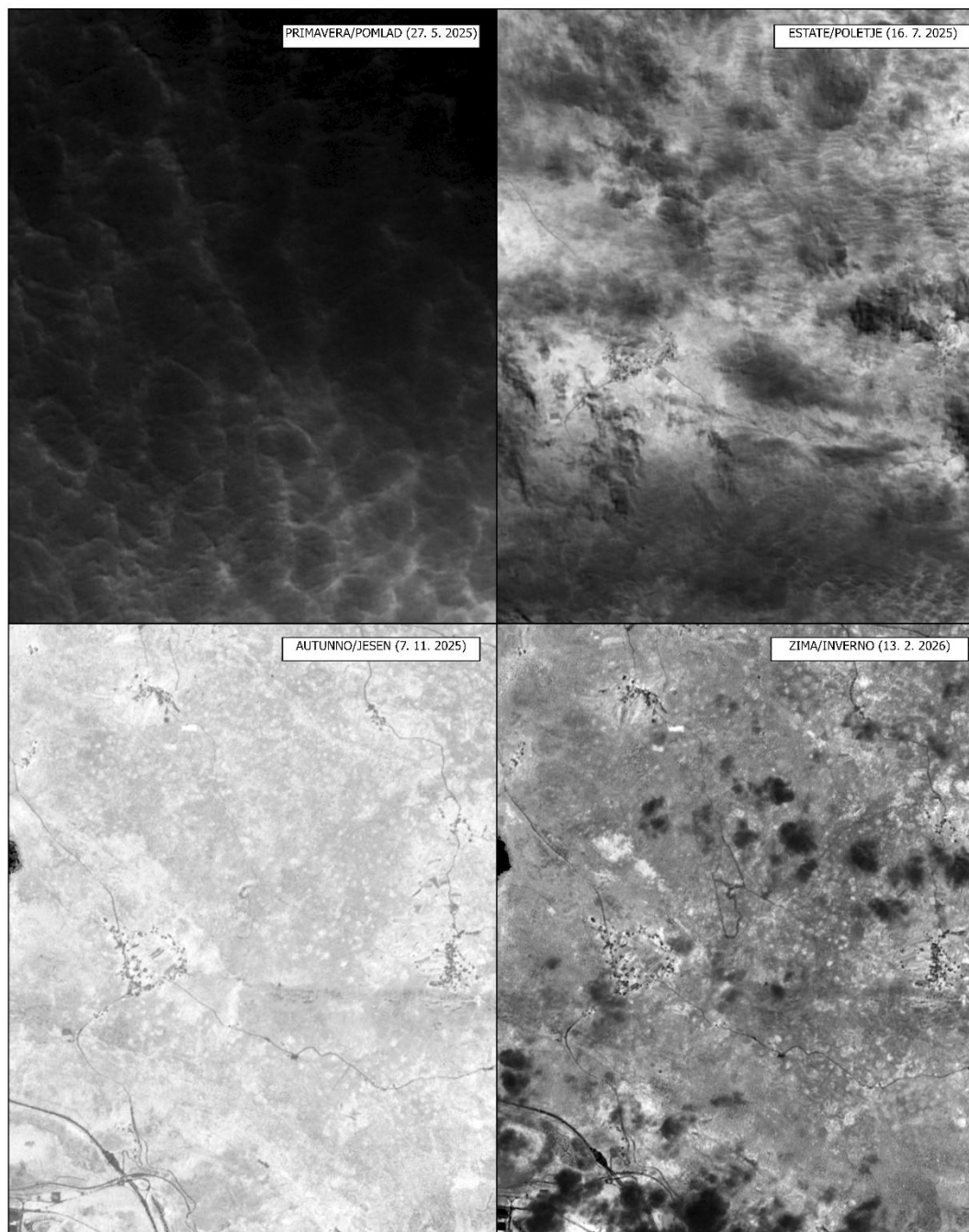
APPENDICE 5: Area pilota di Medjavas fotografata con una fotocamera multispettrale in inverno e NDVI calcolato.



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



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.



0 500 1.000 2.000 m

© ZRC SAZU, Geografski inštitut Antona Melika

## ZEMLJEVIDI PILOTNIH LOKACIJ V SKORAJ REALNEM ČASU

### 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, nizkoogljična 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:   | <a href="https://www.ita-slo.eu/sl/karst-firewall-50">https://www.ita-slo.eu/sl/karst-firewall-50</a>                                     |
| Številka dokumenta:            | KFW50-D232                                                                                                                                |
| Naslov dokumenta:              |                                                                                                                                           |
| Delovni paket:                 | 2                                                                                                                                         |
| Aktivnost:                     | 3.2                                                                                                                                       |
| Odgovorni partnerji (avtorji): | ZRC SAZU (Breg Valjavec Mateja, Geršič Matjaž, Ciglič Rok, Štut Lenart, Jakob Aljaž)                                                      |
| Citiranje:                     |                                                                                                                                           |
| Kraj in datum objave:          | 26. 3. 2026                                                                                                                               |

## KAZALO

|     |                                                                                    |    |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1   | <b>UVOD</b>                                                                        | 4  |
| 2   | <b>TEORIJA OPAZOVANJA Z DRONI</b>                                                  | 4  |
| 2.1 | ZBIRANJE PODATKOV (DELO NA TERENU)                                                 | 4  |
| 2.2 | OBDELAVA PODATKOV (DELO V PISARNI)                                                 | 6  |
| 3   | <b>PRAKTIČNA IZVEDBA SPREMLJANJA RASTJA NA PRIMERU DVEH PILOTNIH OBMOČIJ (OMK)</b> | 8  |
| 3.1 | PODATKI O SNEMANJIH                                                                | 8  |
| 3.2 | UPORABLJENA OPREMA                                                                 | 10 |
| 3.3 | REZULTATI                                                                          | 11 |
| 3.4 | OBDELAVA PODATKOV                                                                  | 12 |
| 4   | <b>SMERNICE ZA SPREMLJANJE IN OPAZOVANJE Z DRONI</b>                               | 18 |
| 4.1 | OPREMA ZA ZBIRANJE PODATKOV                                                        | 18 |
| 4.2 | PRIPRAVE NA LET IN SNEMANJE                                                        | 18 |
| 4.3 | POSTOPEK ZAZNAVANJA                                                                | 19 |
| 4.4 | OBDELAVA PODATKOV                                                                  | 19 |
| 4.5 | DRUGO                                                                              | 20 |
| 5   | <b>VIRI</b>                                                                        | 20 |
| 6   | <b>KARTOGRAFSKE PRILOGE</b>                                                        | 21 |

# 1 UVOD

Natančno kartiranje območij, ki jih je poškodoval požar leta 2022, bo zagotovilo digitalne karte za upravljanje po požaru, oceno okoljske škode, opredelitev ustreznih strategij načrtovanja, prilagajanja in obnove ter spremljanje obnove vegetacije na pilotnih območjih.

## 2 TEORIJA OPAZOVANJA Z DRONI

### 2.1 ZBIRANJE PODATKOV (DELO NA TERENU)

#### OPREMA ZA TEREN

Daljinsko zaznavanje se lahko uporablja za spremljanje pokrajine, najpogosteje z zajemanjem visoko-ločljivih slik iz letal ali brezpilotnih letalnikov, opremljenih z različnimi senzorji. Najpogostejše so konvencionalne optične kamere, ki zajemajo slike v vidnem spektru, vendar so zelo uporabne tudi multispektralne kamere. Te omogočajo zajemanje slik v posameznih spektralnih kanalih (na primer rdečem in infrardečem). Takšne slike omogočajo analizo površine iz različnih perspektiv in omogočajo ogled pokrajine na način, ki ni mogoč s prostim očesom (na primer, z analizo rdečega in infrardečega spektra lahko ocenimo zdravstveno stanje vegetacije). Seveda je mogoče uporabiti tudi satelitske slike, ki se običajno zajemajo v različnih spektralnih kanalih. V nadaljevanju se bomo osredotočili na zajem in obdelavo slik izključno z brezpilotnimi letalskimi sredstvi, kar je bil eden od ciljev projekta.

Brepilotna letala se lahko uporabljajo za spremljanje stanja vegetacije na manjših območjih, ki pokrivajo nekaj deset hektarjev, medtem ko so letala primernejša za območja, ki pokrivajo več kvadratnih kilometrov ali več. Pomembno je tudi upoštevati želeno ločljivost končnih izdelkov (ortofotografije<sup>1</sup>, ravni podatkov o zdravstvenem stanju vegetacije itd.). Na to vplivata kakovost kamere in višina leta.

---

<sup>1</sup> Običajne (neobdelane) letalske fotografije se ne prikazujejo na projicirani ravnini, saj je (na primer) pri navpičnem snemanju razdalja med senzorjem kamere in površino, ki se nahaja neposredno pod njim, manjša od razdalje do točk na površini, ki ležijo drugje in so zato bolj oddaljene. Zato ni mogoče iz neobdelanih fotografij fotogrametrično izpeljati razdalj ali površin opazovanega območja.

Za prostorsko umestitev slik potrebujemo tudi informacije o lokaciji območja. Na ta način lahko končne izdelke (točkovni oblak, ortofoto) v ustreznem merilu prikažemo na pravi lokaciji na površini v izbranem geoinformacijskem programu. To je mogoče doseči na različne načine z uporabo GNSS-sprejemnikov v kombinaciji s sistemom RTK (kadar je potrebna visoka natančnost). Tukaj sta dva primera:

1. z uporabo referenčnih (in kontrolnih) točk,
2. z uporabo letalnika, opremljenega s sprejemniki GNSS in RTK.

Prva možnost je postavitve referenčnih in kontrolnih točk na terenu. Te nam pomagajo umestiti posnete slike in ustvarjene prostorske modele v izbrani koordinatni sistem. Točke morajo biti razporejene po celotnem opazovanem območju. Natančno lego določenih točk v izbranem koordinatnem sistemu (v Sloveniji se uporablja nacionalni koordinatni sistem D96/TM) izmerimo s pomočjo GNSS-sprejemnika, ki mora biti povezan s sistemom RTK. Ob zadostni vidljivosti GNSS-satelitov in podatkovni povezavi je mogoče lego določiti z natančnostjo nekaj centimetrov.

Druga možnost je uporaba drona, kot je DJI Mavic 3M, ki že ima možnost uporabe RTK-kalibracije med letom, tako da se za vsak posnetek z visoko natančnostjo zabeleži položaj letala, kar olajša poravnavo fotografij za ustvarjanje fotogrametričnega modela (točkovnega oblaka), ki predstavlja osnovo za izdelavo ortofotografije.

Če pri fotogrametrični obdelavi fotografij za izdelavo ortofotografij uporabimo kontrolne točke (katerih položaj se meri v daljšem časovnem obdobju in ima večjo natančnost kot dron), lahko naš fotogrametrični model natančno umestimo v koordinatni sistem in uporabimo kontrolne točke za preverjanje njegove natančnosti. Priporočljivo je, da trajne označevalce namestimo na stabilnih točkah znotraj območja, ki ga preučujemo, saj to omogoča najboljšo primerjavo razlik med leti, merjenje položaja pa je treba opraviti le enkrat.

## PRIPRAVA NA TEREN

Preden poletimo z dronom, moramo preveriti, ali je letalo ustrezno pripravljeno (npr. popraviti morebitne okvare, posodobiti programsko opremo), ali imamo vso potrebno dokumentacijo (npr. registracijo letala, dovoljenje za let od upravljavca zavarovanega območja), usposobljenega operaterja letala (pilota) ter preveriti morebitne posebnosti zračnega prostora, v katerem bomo leteli. Preveriti je treba aktualna obvestila NOTAM

(*obvestila letalcem*). Informacije o zračnem prostoru in aktualnih obvestilih v Sloveniji so na voljo pri Upravi za civilno letalstvo Republike Slovenije (<https://www.caa.si/>).

## DELO NA TERENU – SNEMANJE FOTOGRAFIJ

Z dronom sistematično preletimo območje in poskrbimo, da je celotna površina posneta z več posnetki. Uporabimo lahko aplikacijo za upravljanje drona, s katero nastavimo drona tako, da leti po vnaprej določeni poti (običajno seriji vzporednih letov) in posname fotografije tako, da se posamezne slike prekrivajo. Višina leta in zmogljivost senzorja (kamere) določata ločljivost posnetih slik.

Tudi vremenske razmere so pomembne pri letenju in fotografiranju z dronom. Izogibati se moramo dežju in močnemu vetru, saj lahko voda poškoduje napravo, močni sunki vetra pa lahko preprečijo izvedbo leta. Pri fotografiranju moramo paziti na položaj sonca in senčenje območja. V primerih, ko so nekateri deli območja v senci zaradi ovir v okoliškem reliefu ali visoke vegetacije, medtem ko so preostali deli močno osvetljeni, lahko v končni ortofotografiji pride do znatnih razlik med posameznimi območji. V takih primerih je bolje izogibati se zelo sončnim dnevom in poskušati leteti podnevi ali v vremenskih razmerah (na primer obilna oblačnost brez nevarnosti nevihte ali padavin), v katerih ni prevelikega kontrasta med osvetljenimi in senčnimi območji. Hkrati je seveda pomembno, da je svetlobe dovolj, saj so slike pri slabi osvetljenosti lahko manj ostre.

Glede naklona kamere Giordan in sodelavci (2015) priporočajo uporabo navpičnih posnetkov za naklone z naklonom do 40°.

## 2.2 OBDELAVA PODATKOV (DELO V PISARNI)

Zbrane slike se obdelajo v programu, namenjenem fotogrametriji, po postopku, ki je bil uporabljen tudi v drugih študijah (npr. Bevan et al. 2017; Ciglič et al. 2020). Najprej se zavržejo slike nezadostne kakovosti. Nato v programu izvedemo avtomatsko kalibracijo kamere (objektiva).

Če nimamo letala s sistemom RTK in uporabljamo letalo s konvencionalnim pozicioniranjem izključno s pomočjo sistema GNSS, lahko po območju razporedimo točke (cilje, označevalce), katerih natančno lego izmerimo s pomočjo prenosnih sprejemnikov GNSS in povezave RTK (glej tudi poglavje 1.1). V tem primeru posnetke pozicioniramo v prostoru in določimo ključne točke ali razpršeno oblak točk, nato vnesemo koordinate (x, y, z) izmerjenih referenčnih in kontrolnih točk ter na koncu vsako točko na vsakem posameznem posnetku, na katerem je

vidna referenčna ali kontrolna točka, poravnamo s središčem izmerjenih koordinat. Če uporabljamo letalo z natančnim pozicioniranjem (RTK), so naše slike običajno (odvisno od namena analize) že dobro pozicionirane v prostoru in ne potrebujemo točk na površini.

Poravnane slike in surovi oblak točk se uporabijo v metodi stereo multi-view za pripravo gostega oblaka točk in nato za ustvarjanje digitalnega modela površine ter ortorektificirane slike ali ortofotografije (Peternel et al. 2017; Cignetti et al. 2019).

Če uporabljamo multispektralne kamere, lahko celoten postopek ponovimo za vsak spekter in tako pridobimo ortofotografije v različnih spektrih. To nam omogoča izračun različnih indeksov (glej na primer Campbell 1996; Oštir 2006; Warner in Campagna 2009).

## 3 PRAKTIČNA IZVEDBA SPREMLJANJA RASTJA NA PRIMERU DVEH PILOTNIH OBMOČIJ (OMK)

### 3.1 PODATKI O SNEMANJIH

V okviru projekta smo spremljali stanje na dveh lokacijah na zahodnem robu občine Miren – Kostanjevica (sliki 1 in 2). Prva se nahaja jugovzhodno od Nove vasi, druga pa ob državni meji severno od hriba Kremenjak (236 m). Podatke smo na terenu zbirali v različnih obdobjih leta:

- 27. maja 2025 (pomlad),
- 16. julij 2025 (poletje),
- 7. november 2025 (jesen),
- 13. februar 2026 (zima)



Slika 1 – Lokacija pilotnih območij.



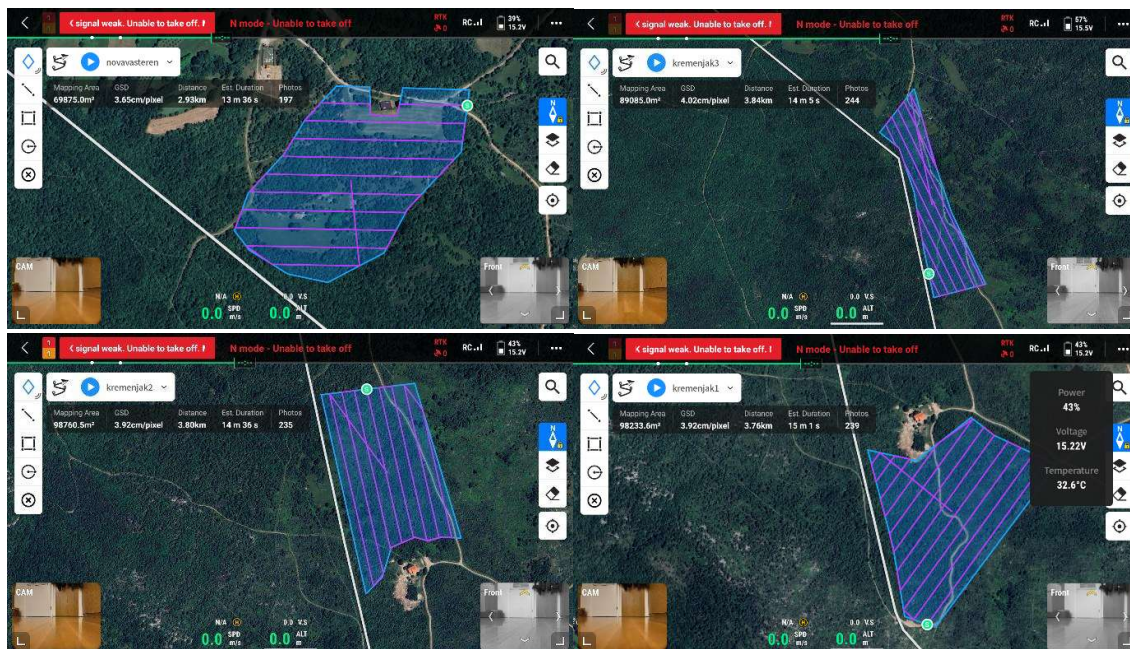
Slika 2 – Pokrajina okoli Nove vasi (levo) in Kremenjaka (desno).

Območje Nove vasi smo posneli z enim letom, območje Kremenjaka pa s tremi ločenimi leti (tabela 1).

Tabela 1 – Primeri podatkov o možnih letih (nastavitve v aplikaciji za letenje).

| Območje     | Območje kartiranja (ha) | GSD (cm/piksel) | Dolžina leta (km) | Čas |    | Število fotografij | Način letenja (višina) | Sledenje terenu | Višina nad tlemi (m) | Hitrost (m/s) | Smer leta (°) | Stopnja stranskega prekrivanja (%) | Vzdolžno prekrivanje (%) | Dodatna površina zunaj primarne površine (m) | Fotografska metoda |
|-------------|-------------------------|-----------------|-------------------|-----|----|--------------------|------------------------|-----------------|----------------------|---------------|---------------|------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------|--------------------|
|             |                         |                 |                   | min | s  |                    |                        |                 |                      |               |               |                                    |                          |                                              |                    |
| Nova vas    | 6,99                    | 3,65            | 2,93              | 13  | 36 | 197                | AGL                    | da              | 79                   | 3,5           | 91            | 70                                 | 80                       | 0                                            | Časovni interval   |
| Kremenjak 1 | 9,82                    | 3,92            | 3,76              | 15  | 1  | 239                | AGL                    | da              | 85                   | 4,1           | 36            | 70                                 | 80                       | 0                                            | Časovni interval   |
| Kremenjak 2 | 9,88                    | 3,92            | 3,8               | 14  | 36 | 235                | AGL                    | da              | 85                   | 4,3           | 347           | 70                                 | 80                       | 0                                            | Časovni interval   |
| Kremenjak 3 | 8,91                    | 4,02            | 3,84              | 14  | 5  | 244                | AGL                    | da              | 87                   | 4,5           | 334           | 70                                 | 80                       | 0                                            | Časovni interval   |

\*AGL – nad tlemi; višina leta se meri od tal



Slika 3 – Nastavitve za možne lete za zajem fotografij v pilotnem območju: Nova vas (zgoraj levo), Kremenjak 1 (zgoraj desno), Kremenjak 2 (spodaj levo) in Kremenjak 3 (spodaj desno).

## 3.2 UPORABLJENA OPREMA

Za vsak dogodek snemanja smo fotografirali z DJI Mavic 3M, s katerim smo v izbranem območju posneli več sto fotografij.

Posnetki so bili narejeni s kamerami, ki so del standardne opreme drona, pod kotom 90°. Letalo je opremljeno z optično kamero, ki deluje v vidnem spektru (RGB-senzor, CMOS 4/3, 20 MP, vidni kot: 84°, ekvivalentna goriščna razdalja: 24 mm, zaslonka: od f/2,8 do f/11, ostrenje: od 1 m do ∞, ISO: 100–6400) ter multispektralno kamero, sestavljeno iz štirih senzorjev (tabela 2). Vsak senzor (senzorji G, R, RE, NIR) ima naslednje značilnosti: CMOS 1/2,8 palca, 5 MP, zorni kot: 73,91°, ekvivalentna goriščna razdalja: 25 mm, zaslonka: f/2,0, ostrenje: fiksno.

Tabela 2 – Seznam senzorjev multispektralne kamere in valovnih dolžin.

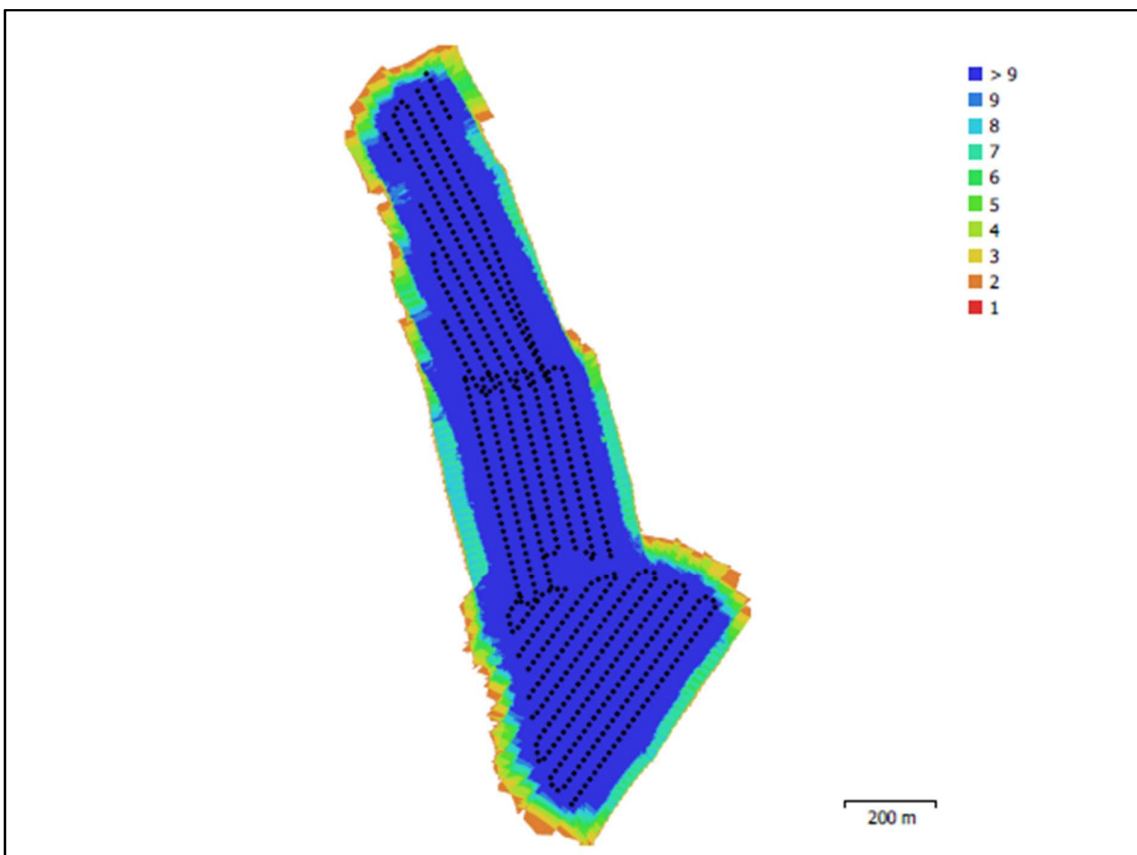
| Senzor                   | Valovna dolžina (nm) |
|--------------------------|----------------------|
| zelena (G)               | 560 ± 16             |
| rdeča (R)                | 650 ± 16             |
| rdeči rob (RE)           | 730 ± 16             |
| bližnji infrardeči (NIR) | 860 ± 26             |

Za izboljšanje natančnosti pozicioniranja slik je imelo letalo med letom na voljo RTK povezavo, kar nam je omogočilo, da smo koordinate točk na terenu zabeležili z visoko natančnostjo – v

obsegu nekaj centimetrov (proizvajalec navaja horizontalno natančnost 1 cm + 1 ppm in vertikalno natančnost 1,5 cm + 1 ppm v mirovanju).

### 3.3 REZULTATI

Za obe opazovani lokaciji nam je uspelo zajeti območje tako, da je bila vsaka točka znotraj opazovanega območja posneta na več kot devetih fotografijah (slika 4). Podrobnosti o vsakem posameznem zajemu so navedene v tehničnih poročilih v prilogi.



Slika 4 – Število slik na celico. Primer snemanja s standardnim fotoaparatom na lokaciji Kremenjak poleti.

## 3.4 OBDELAVA PODATKOV

Za obdelavo slik smo uporabili programsko opremo Agisoft Metashape Professional, ki omogoča fotogrametrično analizo, generiranje oblakov točk, digitalno modeliranje površin, ustvarjanje ortofotografij in še več.

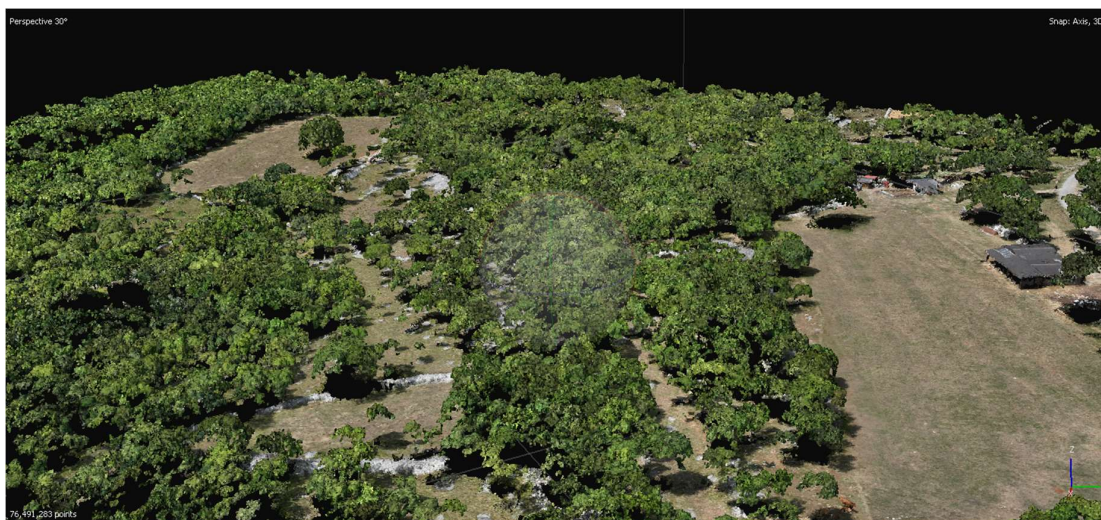
V okviru obdelave podatkov smo za slike, posnete s standardnim optičnim fotoaparatom (ki zajema podatke v vidnem spektru), in za slike, posnete s spektralnimi kanali v rdečem in infrardečem spektru, pripravili naslednje:

- točkovne oblake (glej primer na sliki 5),
- digitalne modele površin (rasterna raven), ki se uporabljajo za pripravo ortofotografij (glej primer na sliki 6),
- ortofotografije (rastrska raven) (glej primere na slikah 7–9).

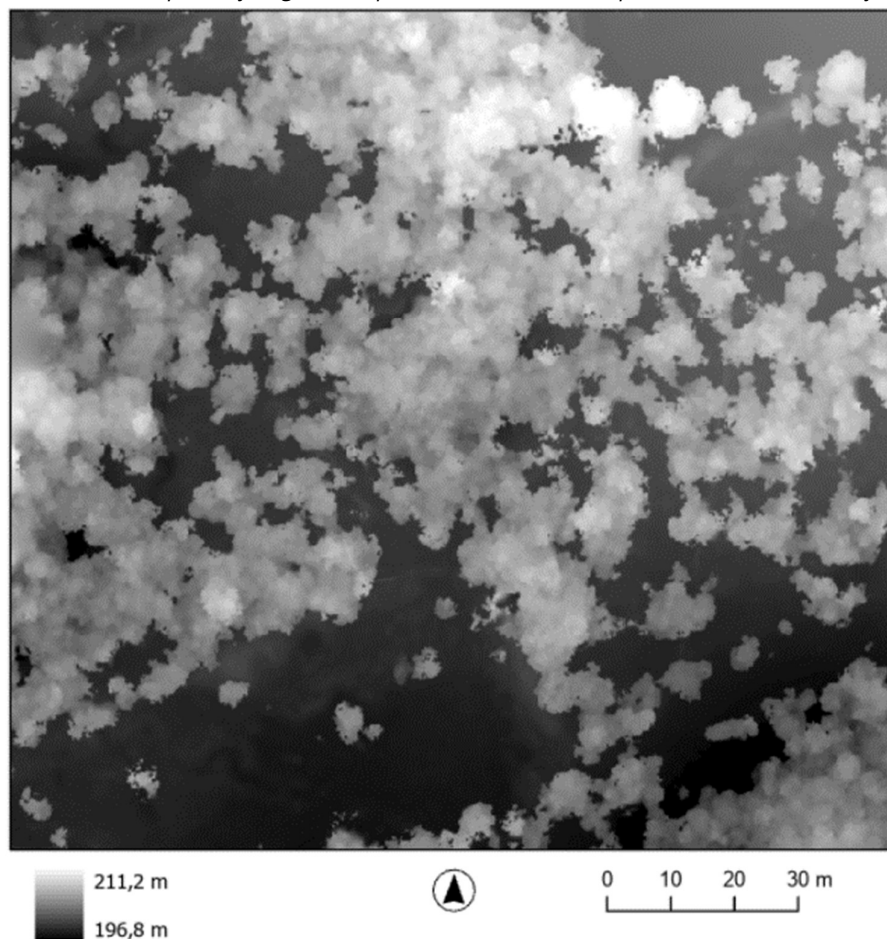
Končne ravni podatkov so bile pripravljene v koordinatnem sistemu D96. Izdelki so bili izvoženi v formatu geotif. Oblaki točk so bili po potrebi pripravljene v formatu .las.

Multispektralne ortofotografije so zelo koristne, ker omogočajo izračun različnih indeksov. Med njimi je indeks normalizirane diferencialne vegetacije (NDVI) zelo pomemben za spremljanje rasti vegetacije (za več podrobnosti glej na primer Oštir 2006; Warner in Campagna 2009), saj kaže na prisotnost vegetacije prek razmerja med infrardečimi in rdečimi vrednostmi slike. Visoke vrednosti indeksa predstavljajo območja z zeleno vegetacijo, medtem ko vrednosti blizu 0 ali nižje kažejo na odsotnost vegetacije.

Ortofotografije, izdelane v rdečem in infrardečem spektru, so nam omogočile vizualizacijo vrednosti NDVI (glej primer na sliki 10).



Slika 5 – Primer oblaka točk, pridobljenega iz slik, posnetih s standardno optično kamero za območje Nove Vasi poleti.

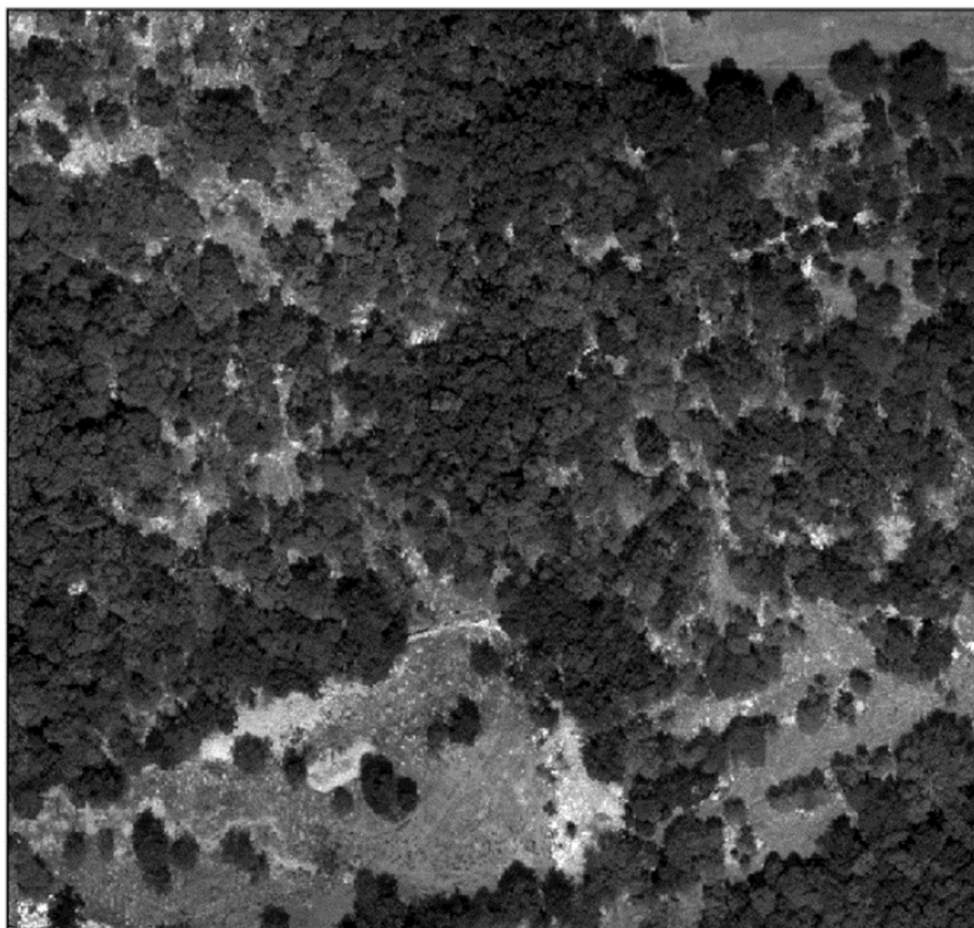


Slika 6 – Primer digitalnega modela površine, pridobljenega iz slik, posnetih s standardnim optičnim fotoaparatom za območje Nove vasi poleti.



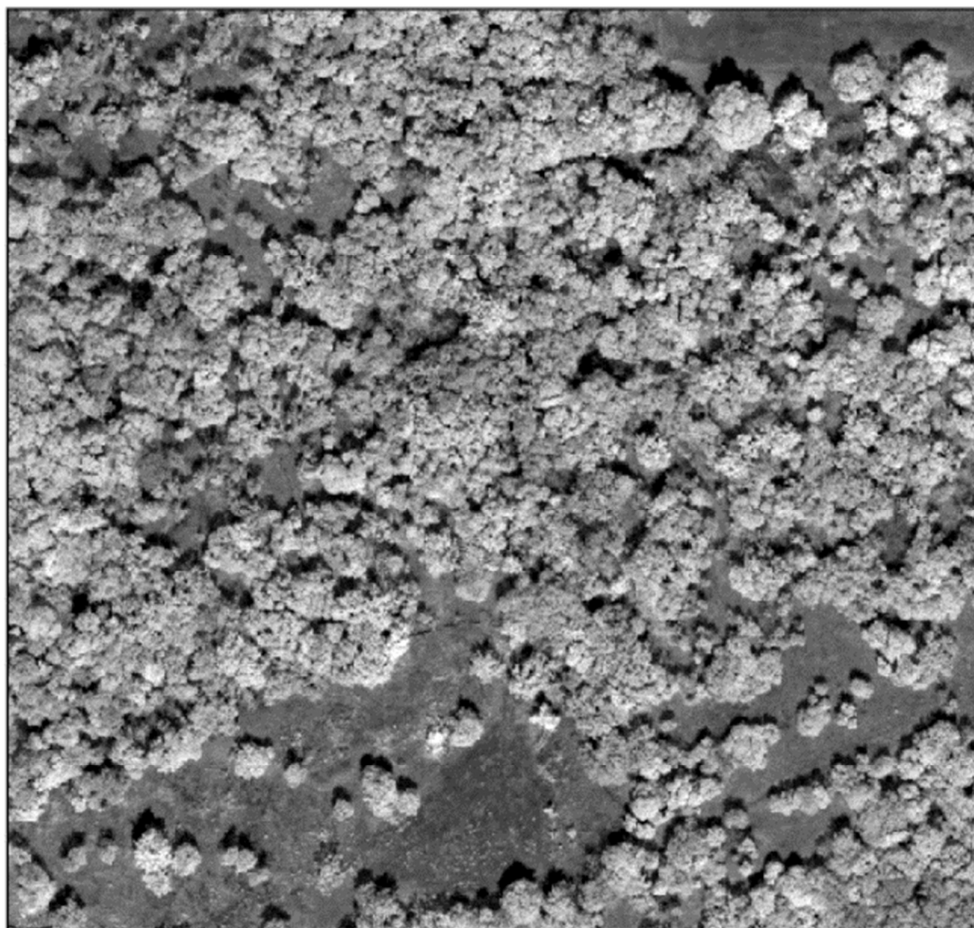
0 10 20 30 m

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



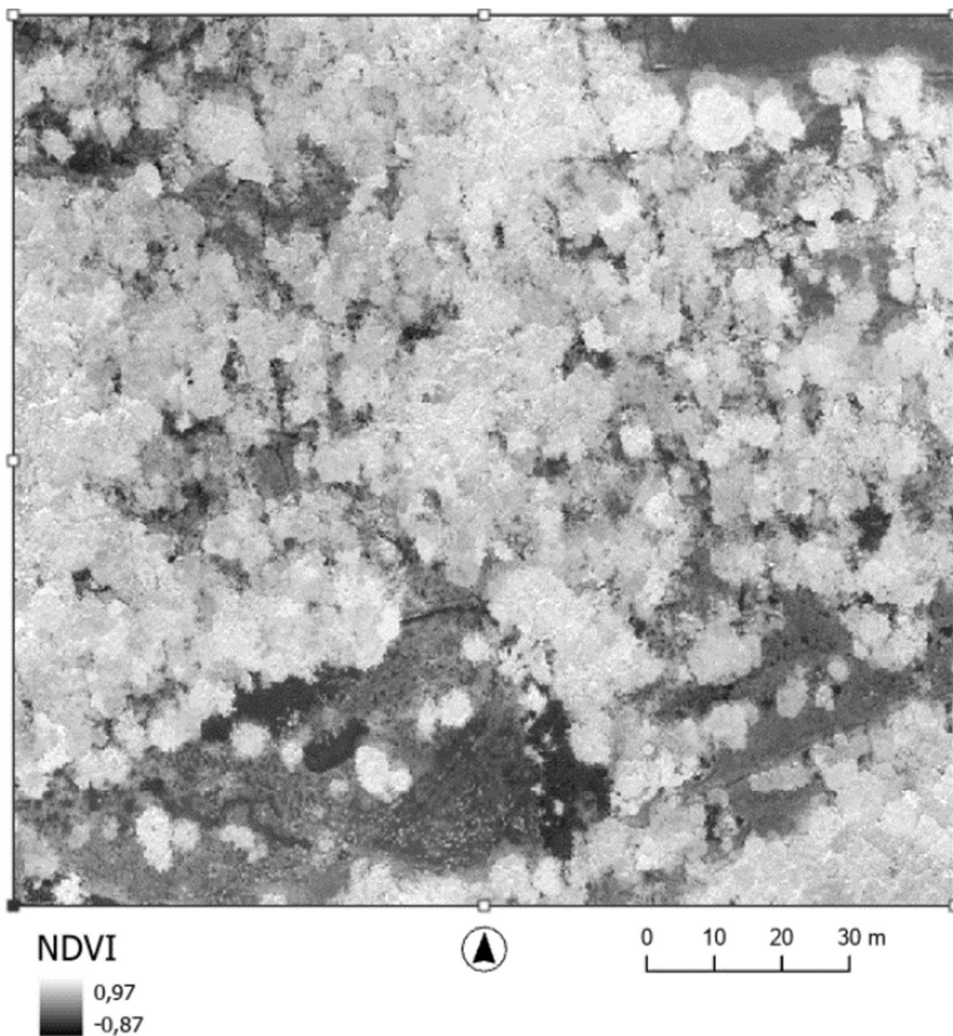
0 10 20 30 m

*Slika 8 – Primer ortofotografije, pridobljene iz posnetkov, posnetih z rdečo kamero za območje Nove vasi poleti.*



0 10 20 30 m

*Slika 9 – Primer ortofotografije, pridobljene iz slik infrardečega fotoaparata 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 (primerjaj s sliko 7).*

## 4 SMERNICE ZA SPREMLJANJE IN OPAZOVANJE Z DRONI

### 4.1 OPREMA ZA ZBIRANJE PODATKOV

Za spremljanje stanja vegetacije se priporoča uporaba brezpilotnih letal, opremljenih z multispektralnimi kamerami poleg konvencionalnih kamer (ki zajemajo slike v vidnem spektru). Te kamere omogočajo zajem slike v infrardečem in rdečem spektru. To omogoča izračun indeksa NDVI, ki kaže količino klorofila v listih in prisotnost vegetacije.

Pri spremljanju z brezpilotnimi letalskimi sredstvi je treba upoštevati nekatere omejitve:

- droni imajo omejen čas letenja, ki je odvisen od njihovih baterij. To težavo je seveda mogoče rešiti z zamenjavo baterij, vendar je treba poskrbeti, da je vedno na voljo dovolj časa za vrnitev na varno pristajališče, kadar (sistematično) fotografirate površino.
- v Sloveniji (razen drugih omejitev) je najvišja višina leta, ki jo dovoljuje veljavna zakonodaja, 120 m nad površino, kar pomeni omejitev obsega posamezne fotografije. Če želite fotografirati površino z visokoločljivimi slikami, morate leteti nižje, kar pomeni podaljšanje trajanja leta. Alternativna možnost, če to omogoča letalo, je zamenjava senzorja kamere s takšnim, ki omogoča snemanje visokoločljivih fotografij.
- V Italiji, zlasti v občini Devin-Nabrežina, ki leži v območju vpliva letališča Trst (Monfalcone), velja številne omejitve, ki preprečujejo snemanje in spremljanje.

### 4.2 PRIPRAVE NA LET IN SNEMANJE

- Vremenske razmere: letalo moramo leteti brez megle, nizkih oblakov, padavin, močnega vetra ali drugih neugodnih vremenskih razmer, ki bi lahko ogrozile vidljivost ali prekinile let. Zato je treba pred odhodom na teren spremljati vremenske napovedi in hkrati paziti na vremenske razmere na samem terenu.
- Območje *vzleta*: mesta za vzlet in pristanek ter postaja za daljinsko upravljanje pilota morajo biti zaščiteni pred motnjami, kot so promet, pohodniki, živali itd., ter morajo zagotavljati dober pregled nad okolico. To nam omogoča spremljanje dogajanja tako v zraku kot na tleh. Pred letom je treba preveriti morebitne omejitve, kot so geografske omejitve (za dodatne informacije v Sloveniji je treba obiskati spletno stran Uprave za civilno letalstvo) in sporočila NOTAM (*obvestila letalcem*), ki vsebujejo informacije o različnih omejitvah in dogodkih (npr. zaprtje zračnega prostora zaradi vojaških vaj).

## 4.3 POSTOPEK ZAZNAVANJA

Med samim letom se priporoča, da dron med fotografiranjem leti počasi (v vsakem primeru počasneje od največjih hitrosti, ki jih ponujajo aplikacije glede na višino leta). Med letom je treba poskrbeti, da je povezava RTK ves čas na voljo, saj bo to zagotovilo, da bodo posnetki pravilno umeščeni v prostoru. Če je mogoče, se izogibajte prevelikim kontrastom v naravi, ki se lahko pojavijo na primer ob močni sončni svetlobi, saj ostanejo senčne površine zatemnjene.

Poleg pilota je v veliko pomoč tudi pomočnik, ki lahko pomaga pri spremljanju okolice.

## 4.4 OBDELAVA PODATKOV

Za obdelavo podatkov lahko izbirate med različnimi vrstami programske opreme. Uporabnik mora poskrbeti za dovolj zmogljivo računalniško opremo, saj fotogrametrična analiza več sto slik zahteva precejšnjo računalniško moč in zmogljivo grafično kartico.

Pred začetkom obdelave je priporočljivo preveriti kakovost fotografij in izločiti tiste, ki niso dovolj ostre ali so bile posnete pod kotom, ki se znatno razlikuje od drugih slik, saj to lahko oteži računalniškemu programu poravnavo slik in izvedbo fotogrametrične obdelave. Prav tako je pomembno oceniti popačenje slik, ki ga povzroča objektiv. Zmogljivi programi so sposobni samostojno oceniti kakovost fotografij in popačenje objektiva. Popačenje objektiva se lahko natančno oceni, če imajo fotografije natančne koordinate. Te se lahko pridobijo z zajemanjem prek povezave RTK ali z uporabo kontrolnih točk na terenu, katerih natančna lega je bila izmerjena z GNSS-sprejemnikom.

Fotogrametrična analiza in priprava izdelkov (npr. oblak točk, digitalni model površine, ortofoto) ponujata številne možnosti nastavitvev. To uporabniku omogoča, da preizkusi različne možnosti. Vendar je treba opozoriti, da nastavitve za višje ločljivosti zahtevajo tudi več časa. Po končanem delu je izredno pomembno, da rezultate ustrezno arhivirate in naredite varnostne kopije. Uporabniki morajo upoštevati, da lahko ortofotografije z ločljivostjo nekaj centimetrov, ki pokrivajo več hektarjev, hitro dosežejo velikost več GB. Če uporabljate multispektralne kamere (ki imajo običajno nekoliko nižjo ločljivost), že samo fotografski material, ko pride s terena, predstavlja veliko količino podatkov. Če k temu dodate še programsko datoteko, ki shranjuje fotogrametrično analizo, lahko za eno samo območje arhivirate do več sto GB podatkov.

## 4.5 DRUGO

Če želimo primerjati slike z dronov s satelitskimi, je pomembno, da jih posnamemo istega dne. Na spletnih straneh, kot je

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

kjer je mogoče prenesti datoteko *kml* in jo odpreti v ustreznem GIS programu, da pridobimo informacije ali na spletni strani

<https://app.spectator.earth/acquisition-plan>

kjer se preveri, na kateri dan bodo posnete satelitske slike določenih satelitov. Na ta način lahko posnamemo tudi svoje slike istega dne, kar nam omogoča, da analiziramo vrednosti različnih ločljivosti in sklepamo o dogodkih izven našega območja opazovanja.

## 5 VIRI

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.

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

Ciglič, R., Ferk, M., Nagy, G. 2020: Opazovanje pobočnih procesov z brezpilotnim letalnikom na primeru plazov v Slovenskih goricah. Modeliranje pokrajine. Ljubljana.

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

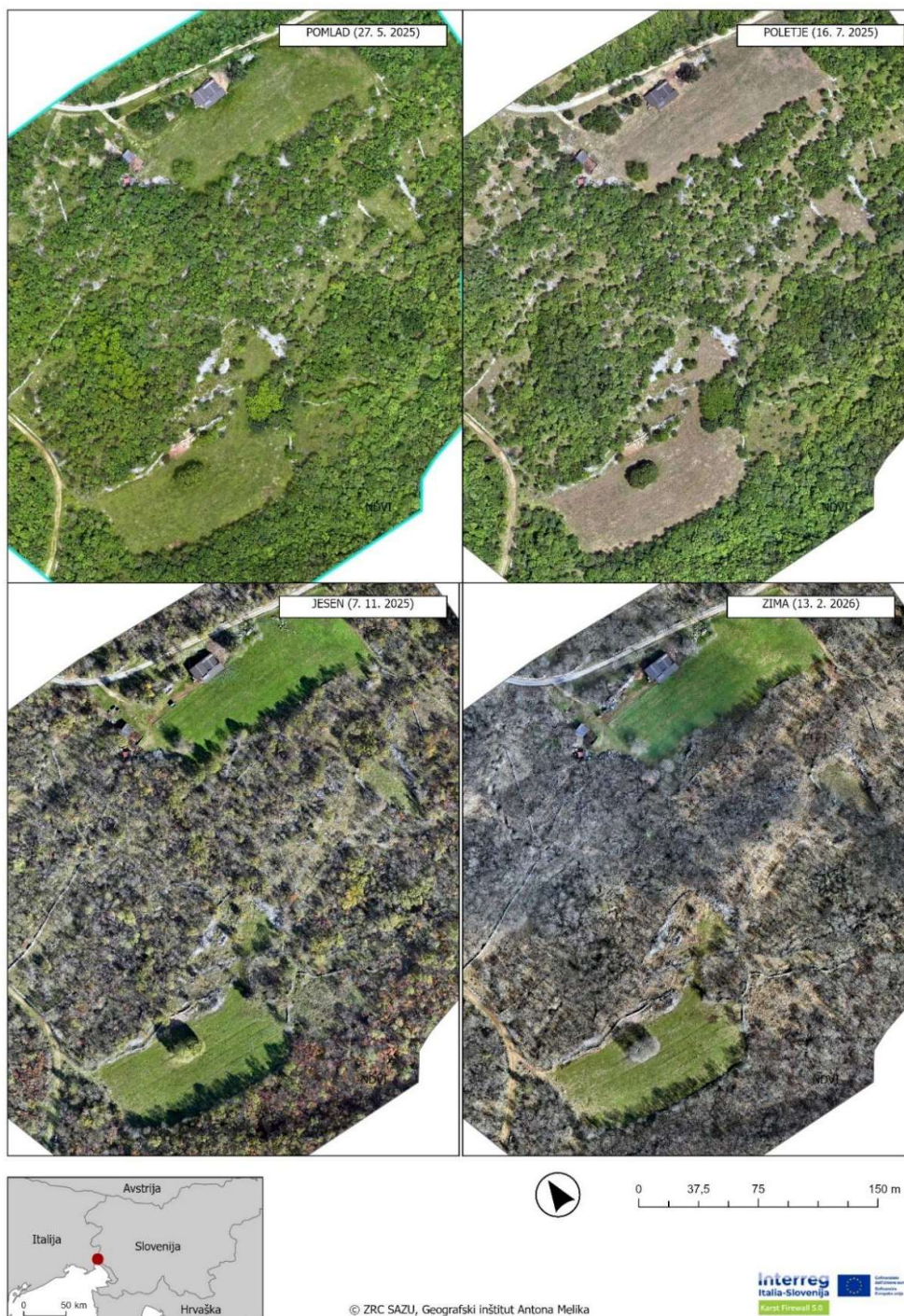
Giordan, D., Manconi, A., Tannant, D. D., Allasia, P. 2015: UAV: Low-cost remote sensing for high-resolution investigation of landslides. 2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). Milano.

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>

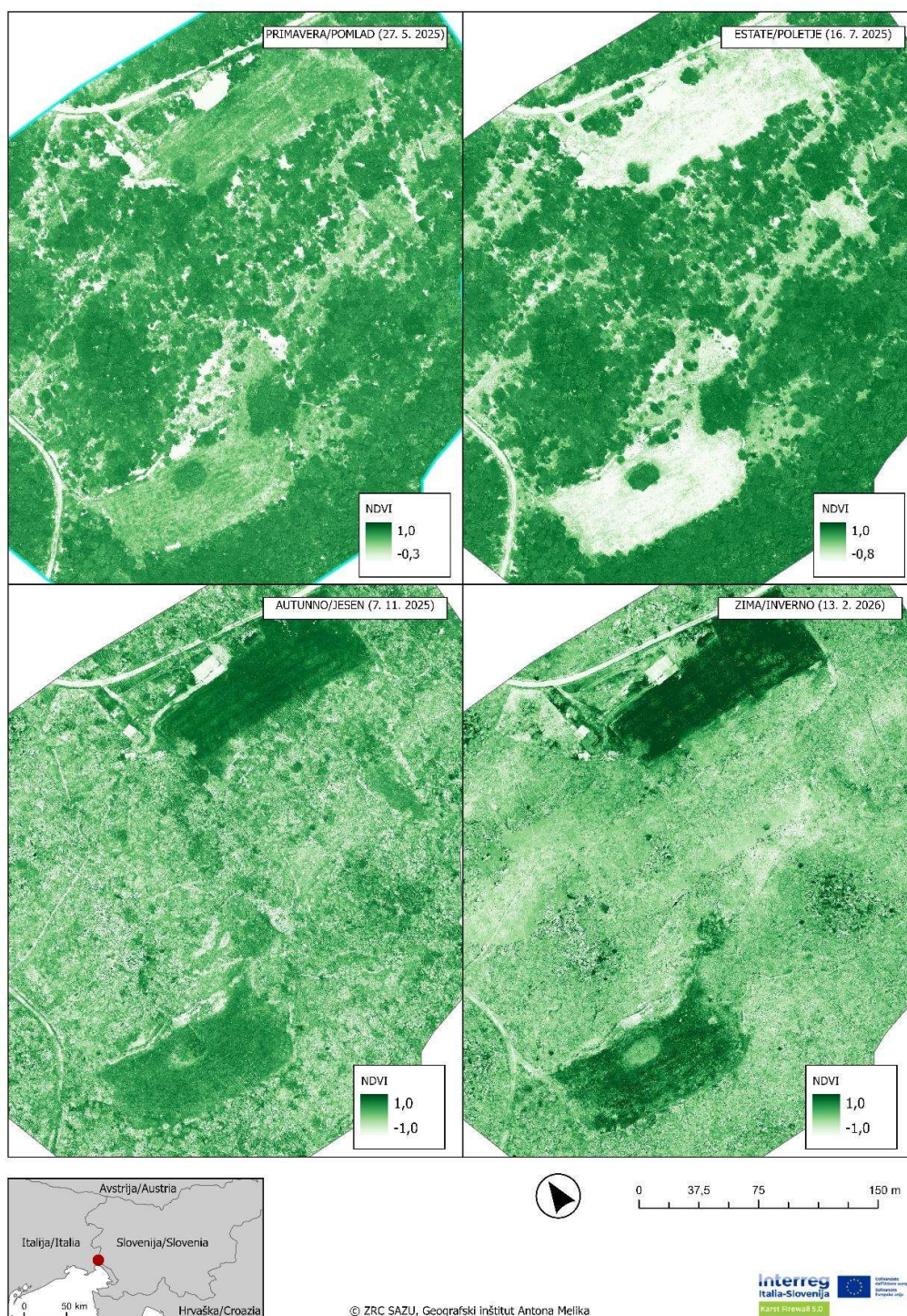
Oštir, K. 2006: Daljinsko zaznavanje. Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU.

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

## 6 KARTOGRAFSKE PRILOGE



PRILOGA 1: Pilotno območje Nova vas, posneto z RGB-kamero v vseh štirih letnih časih.



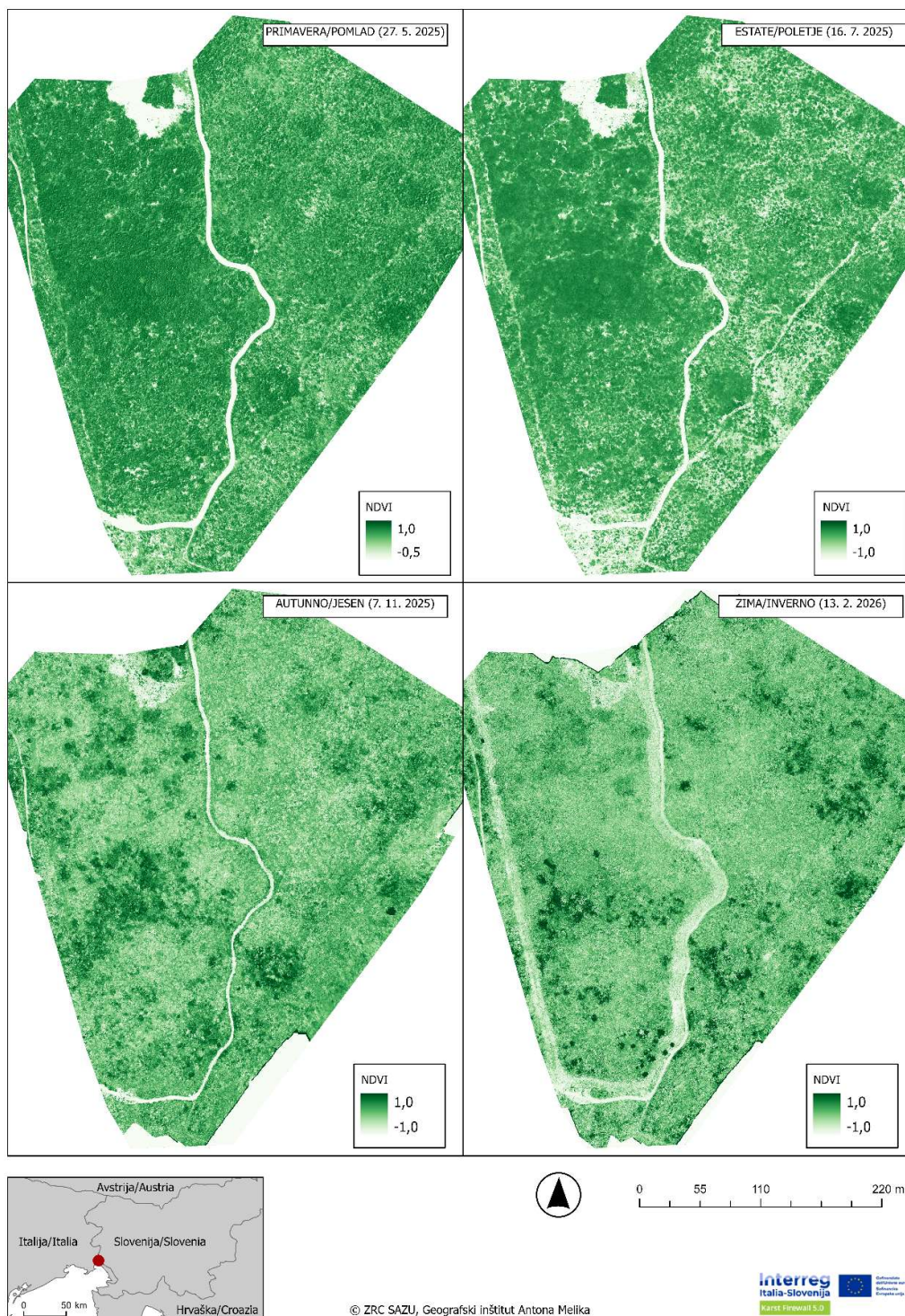
**PRILOGA 2: Pilotno območje Nova vas, posneto z multispektralno kamero v vseh štirih letnih časih in izračunan NDVI.**



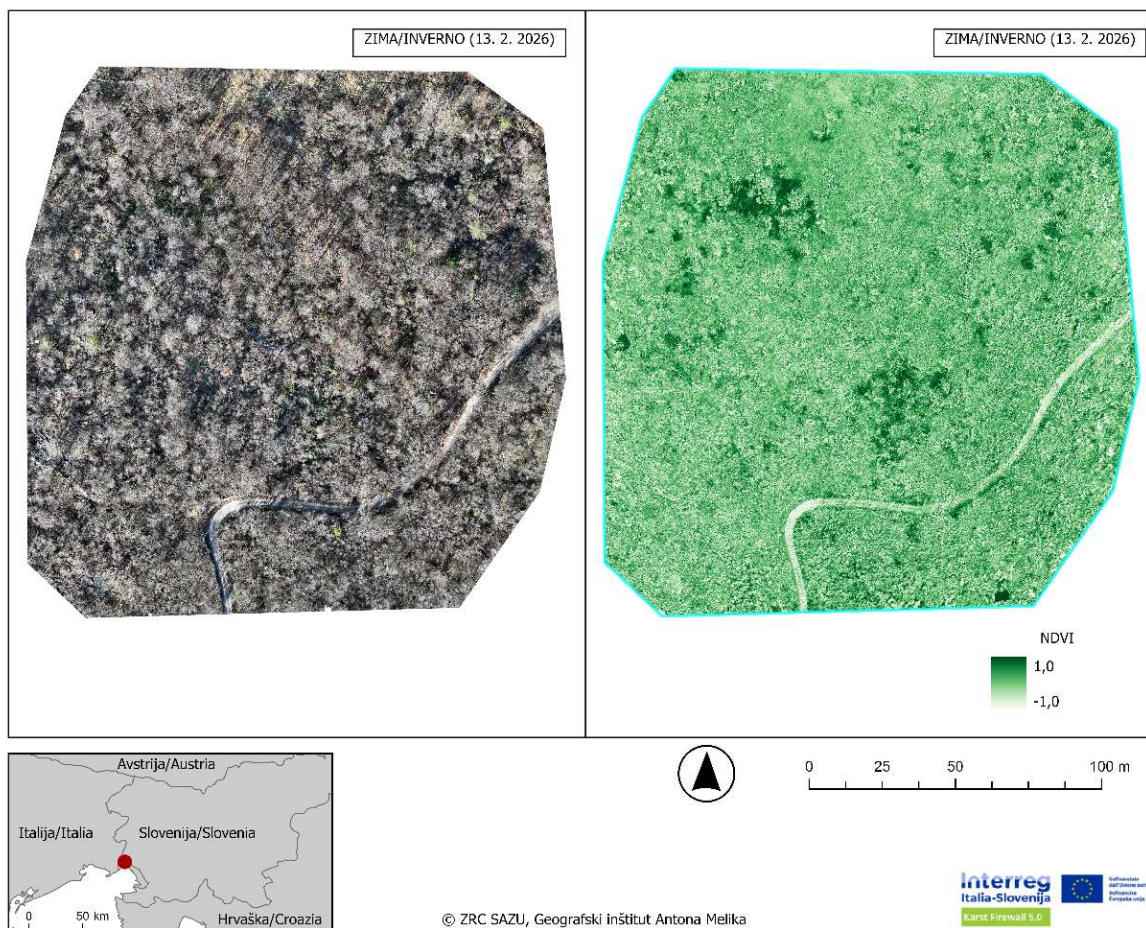
0 55 110 220 m

© ZRC SAZU, Geografski inštitut Antona Melika

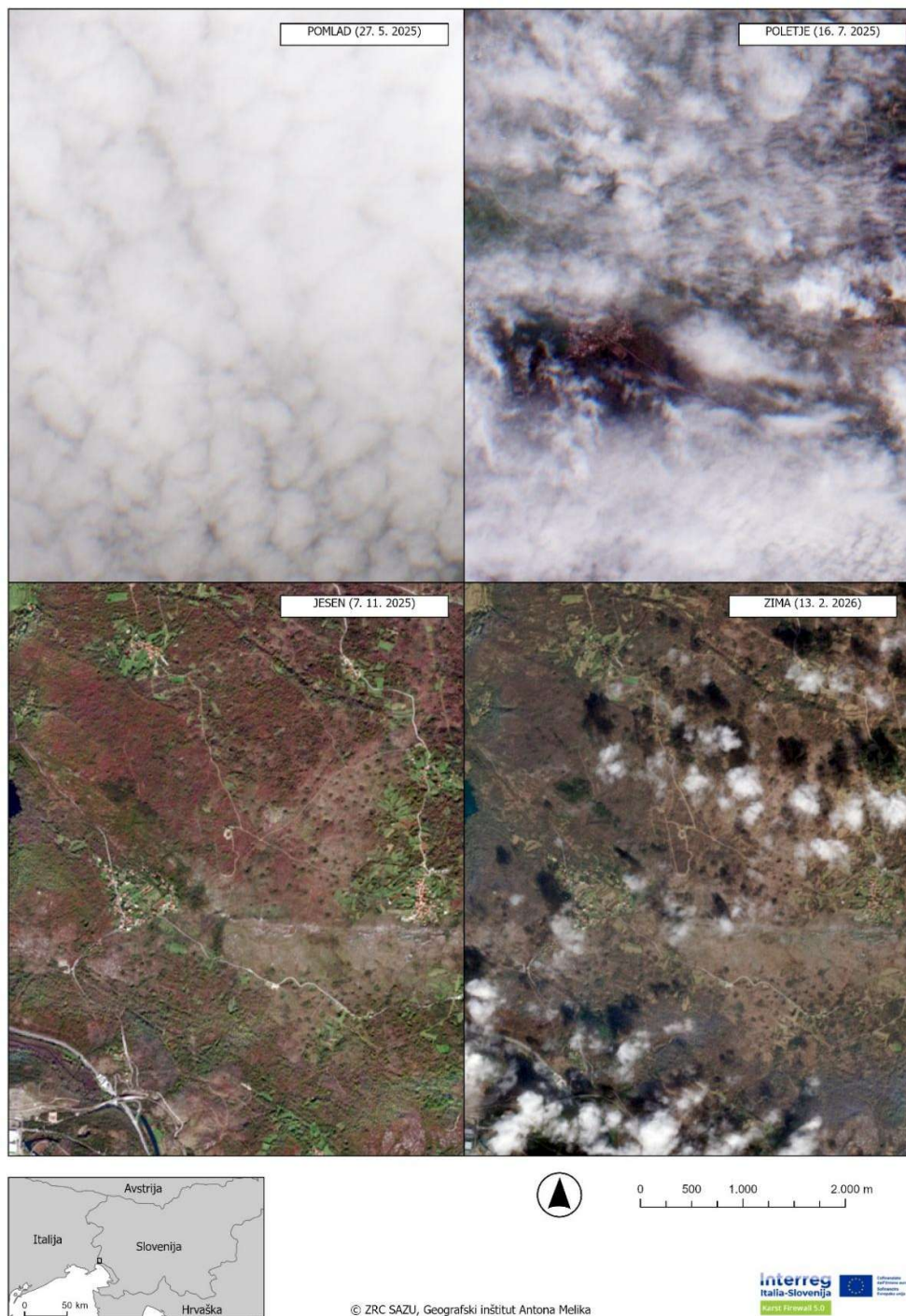
PRILOGA 3: Pilotno območje Kremenjak, posneto z RGB-kamero v vseh štirih letnih časih.



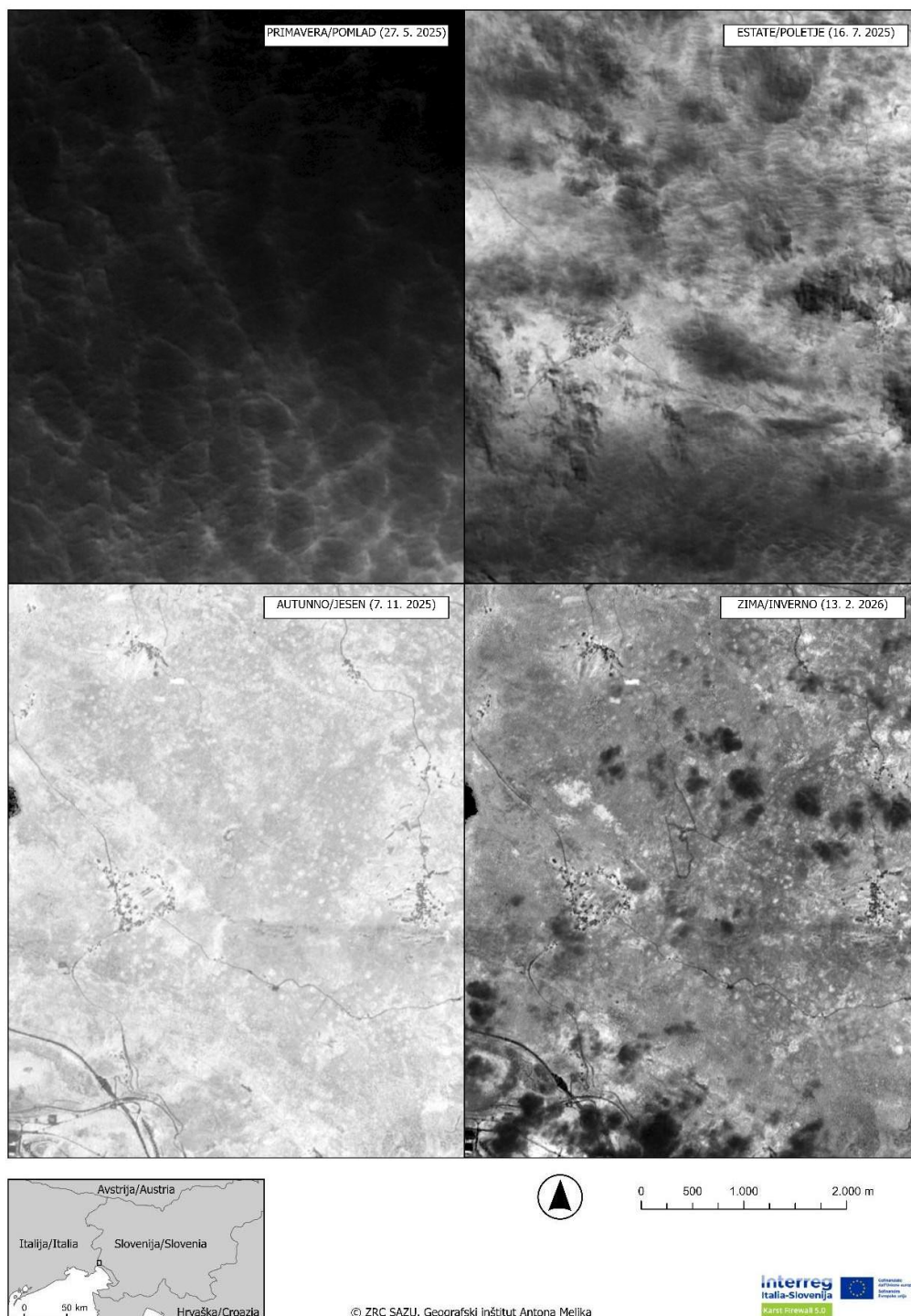
PRILOGA 4: Pilotno območje Kremenjak, posneto z multispektralno kamero v vseh štirih letnih časih in izračunan NDVI.



PRILOGA 5: Pilotno območje Medjvas, posneto z multispektralno kamero pozimi in izračunanim NDVI.



PRILOGA 6: Širše čezmejno območje, ki vključuje vsa tri pilotna območja, posneto s satelitom Sentinel-2 v vseh štirih letnih časih.



PRILOGA 7: Širše čezmejno območje, ki vključuje vsa tri pilotna območja, posneto s satelitom Sentinel-2 v vseh štirih letnih časih in z izračunanim NDVI.