© 2003-2004

LiSALab

by ellegi srl

... a step ahead in monitoring structures and natural hazards

REPORT

IV PERIODICAL CHECK

Rilievo con tecnologia GBInSAR LiSALab per il monitoraggio delle pareti rocciose del Monte Avedèe nel Comune di Novate Mezzola (SO)

9 – 13 GIUGNO 2023

Cliente: Comunità Montana Valchiavenna

Località: Novate Mezzola (SO)

Contract #: 180204cvc

CUP: B11B21004540002

CIG: 91968611CA

STRICTLY CONFIDENTIAL DOCUMENT

9					
8					
7					
6					
5					
4					
3					
2					
1	14 Luglio 2023	Revisione	SC	CR	DL
0	14 Giugno 2023	Emissione	SC	CR	DL
Rev.	**Data:**	**Note:**	**Scritto da:**	**Controllato da:**	**Approvato da:**

INDICE

INDICE 2

GLOSSARIO 4

Convenzioni 6

Sistema di riferimento 6

Unità di misura del tempo 6

Introduzione 7

La tecnica SAR interferometrica 10

Specifiche del servizio 10

Punto d'installazione del sistema GBInSAR LiSALab 10

Descrizione del servizio 12

Parametri di misura e caratteristiche dell'immagine SAR 19

Elaborazione dei risultati della campagna di misura di Giugno 2023 23

Mappe di potenza 23

Mappe di spostamento 30

Analisi degli spostamenti a breve termine: 9 – 13 Giugno 2023 30

Analisi degli spostamenti a lungo termine 37

Postazione Ovest Near 39

Analisi per il periodo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023 39

Analisi per il periodo 22 Maggio 2022 – 11 Giugno 2023 48

Postazione Ovest Far 54

Analisi per il periodo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023 54

Analisi per il periodo 22 Maggio 2022 – 11 Giugno 2023 61

Postazione Est Near 66

Analisi per il periodo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023 66

Analisi per il periodo 22 Maggio 2022 – 11 Giugno 2023 74

Postazione Est Far 82

Analisi per il periodo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023 82

Analisi per il periodo 22 Maggio 2022 – 11 Giugno 2023 89

Analisi puntuale 93

Analisi riassuntiva 97

Conclusioni 104

Allegati 106

Note, Avvertenze e Limitazioni di Responsabilità 107

GLOSSARIO

Ampiezza radiometrica Livello d'intensità di energia raggiante.

Azimut Direzione parallela al binario.

CCR Centro di Ricerca della Comunità Europea.

Range Direzione perpendicolare al binario. Le distanze lungo questa direzione sono calcolate sfruttando l'informazione di "tempo di volo" e tenendo in considerazione il fatto che le onde elettromagnetiche si propagano con velocità pari a quella della luce (3E8 m/s ca.).

Frequenza Numero di volte in cui un fenomeno periodico si ripete nell'unità di tempo

Immagine in potenza, Immagine in fase Ogni pixel di un'immagine complessa rappresenta una quota parte della regione (cella o pixel) nella quale si sono focalizzati i dati grezzi. Ad esso è associata un'informazione relativa al segnale retrodiffuso da tutto ciò che è contenuto nella cella; si hanno quindi a disposizione due tipi di rappresentazione per la stessa immagine, in potenza e in fase. La prima fornisce un'indicazione sulla quantità di segnale retrodiffuso mentre la seconda sulla fase dello stesso.

Interferogramma Immagine complessa risultante dal prodotto coniugato tra due immagini complesse. Rappresentata in fase essa fornisce l'informazione relativa ai cambiamenti avvenuti nell'arco temporale trascorso tra l'acquisizione della prima immagine e la seconda.

Linea di vista (LOS) Congiungente immaginaria tra il sensore GBInSAR LiSALab ed un punto sito nella zona d'interesse.

LiSA Linear Synthetic Aperture radar. Sensore radar interferometrico con piattaforma basata a terra (GBInSAR) studiato e sviluppato inizialmente al Centro di Ricerca della Comunità Europea di Ispra in grado di fornire mappe dettagliate di movimenti e deformazioni.

LiSALab (tecnologia) Tecnologia esclusiva sviluppata dalla Ellegi srl e derivata dalla originaria tecnologia LiSA e dal sensore GBInSAR LiSA appartiene esclusivamente alla Ellegi srl.

LiSAmobile	5° generazione del sensore GBInSAR che implementa la tecnologia LiSALab sviluppato e prodotto dalla Ellegi srl. Tale sensore appartiene esclusivamente alla Ellegi srl.
Mappe di spostamento	Rappresentazione del corrispondente interferogramma ma con le differenze di fase trasformate in differenza di distanze e misurate in mm.
Microonde	Onde elettromagnetiche di lunghezza compresa fra 1mm e 300 mm.
Rapporto segnale rumore	Nelle specifiche delle apparecchiature elettroniche il termine è spesso abbreviato in 'S/N ratio'. Si tratta del rapporto fra il segnale utile e il rumore di fondo.
Retrodiffusione	Fenomeno per cui un'onda elettromagnetica, battendo su una superficie scabra non assorbente né trasparente o attraversando un mezzo eterogeneo, viene rinviata nella direzione di provenienza
Riflettività	Proprietà caratteristica adimensionale di un materiale di riflettere tutta l'energia incidente non assorbita. Si parla di riflettività spettrale quando ci si riferisce ad un particolare intervallo di lunghezza d'onda dell'energia incidente
Risoluzione spaziale	Nel caso specifico dei radar rappresenta la dimensione minima della cella discriminabile. Due oggetti di dimensioni ridotte rispetto a quelle della cella discriminabile devono perciò appartenere a celle differenti per essere distinguibili.
SAR	Synthetic Aperture Radar. Particolare configurazione dei sistemi radar in cui la dimensione dell'antenna viene "simulata" molto maggiore di quella fisica attraverso il campionamento dei segnali dell'antenna mentre questa è in movimento. Questa tecnica serve ad ottenere una risoluzione maggiore.
Scatterometro	Lo scatterometro è un radar in grado di misurare le capacità che hanno gli oggetti di re-diffondere all'indietro (back-scattering) l'energia elettromagnetica che incide su di essi.

Convenzioni

Sistema di riferimento

SE NON DIVERSAMENTE SPECIFICATO, IL SISTEMA DI RIFERIMENTO UTILIZZATO PER I RISULTATI PRESENTATI IN QUESTO REPORT È UN SISTEMA DI ASSI CARTESIANO CHIAMATO SISTEMA DI COORDINATE LOCALI LiSALab (Figura 1).

Il sistema di coordinate locali LiSALab è centrato sulla mezzeria del binario del sistema GBInSAR LiSALab (0,0,0) i cui assi sono l'uno perpendicolare (asse Y) e l'altro parallelo (asse X) all'asse del binario stesso.

Il terzo asse (asse Z) è normale al piano formato dai due assi precedenti: il piano XY è un piano orizzontale (piano di Figura 1) ed ha coordinate z pari a 0. H è la distanza tra la mezzeria della congiungente il centro delle antenne (punto 0,0,H) e la mezzeria del binario del sistema (0,0,0).

I versi positivi sono individuati prendendo come riferimento un osservatore posto al centro del sistema cartesiano (0,0,0) e con lo sguardo rivolto verso la regione osservata (punto P). L'asse perpendicolare al binario (asse Y) ha verso positivo se dall'osservatore si va verso il punto P; l'asse longitudinale (asse X) al binario è positivo se dall'osservatore si va verso la sua destra, mentre la direzione positiva dell'asse normale (asse Z) è data dalla regola della mano destra considerando prima l'asse longitudinale (asse X) e poi l'asse traversale (asse Y). La direzione individuata dall'asse longitudinale (asse X) viene anche convenzionalmente indicata come direzione "azimutale", mentre quella dell'asse perpendicolare (asse Y) come direzione "range".

"r" è la linea di vista (o LOS) ed è la linea immaginaria che unisce il centro del sistema ad uno specifico punto osservato P localizzato nell'area osservata.

L'angolo θ è l'angolo di elevazione definito nel piano YZ ed è formato dalla linea di osservazione r ed il piano orizzontale XY. L'angolo ψ è l'angolo azimutale definito nel piano XY ed è formato dalla proiezione sul piano XY della linea di vista r e dal piano YZ.

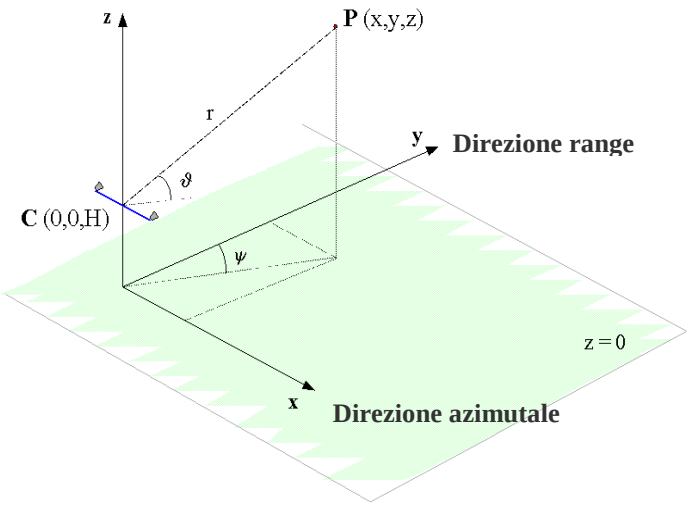


Figura 1: Sistema di riferimento utilizzato

Unità di misura del tempo

Nel presente report l'unità di tempo utilizzata è l'ora UTC, viene riportata nella notazione Anno/Mese/giorno ora:minuti (AAAA/MM/gg HH:mm). Nel mese di Giugno 2023, per ottenere l'ora locale aggiungere + 02:00.

Introduzione

Con contratto LL.PP. n. 03 del 14 Giugno 2021 la Ellegi Srl è stata incaricata dalla Comunità Montana della Valchiavenna di eseguire nel biennio 2022-2024 un monitoraggio del versante meridionale del Monte Avedèe, nell'area della Cava di Foppa già soggetta ad attività estrattive nei decenni scorsi, finalizzato all'identificazione e alla mappatura di eventuali porzioni instabili delle pareti rocciose.

Dal punto di vista geologico, l'area in esame fa parte del lembo occidentale del Plutone Intrusivo Terziario del Masino-Bregaglia. Nella fattispecie, la zona di Novate Mezzola è celebre per il suo granito chiaro, intrusosi nelle rocce granodioritiche e quarzodioritiche del Masino-Bregaglia.

Il servizio di monitoraggio si compone di svariate campagne di misura effettuate in diversi periodi dell'anno (ogni quattro mesi circa) da due postazioni differenti, identificate come postazione *Est* e postazione *Ovest*. Vista l'estensione della parete da monitorare, per il monitoraggio si è scelto di utilizzare una doppia postazione di misura che permette di avere una visione completa sull'area di interesse. In particolare, la postazione *Ovest* si trova in prossimità del Lago di Novate mentre la postazione *Est* si trova nei pressi del piede della parete rocciosa della Cava di Foppa (Figura 2).

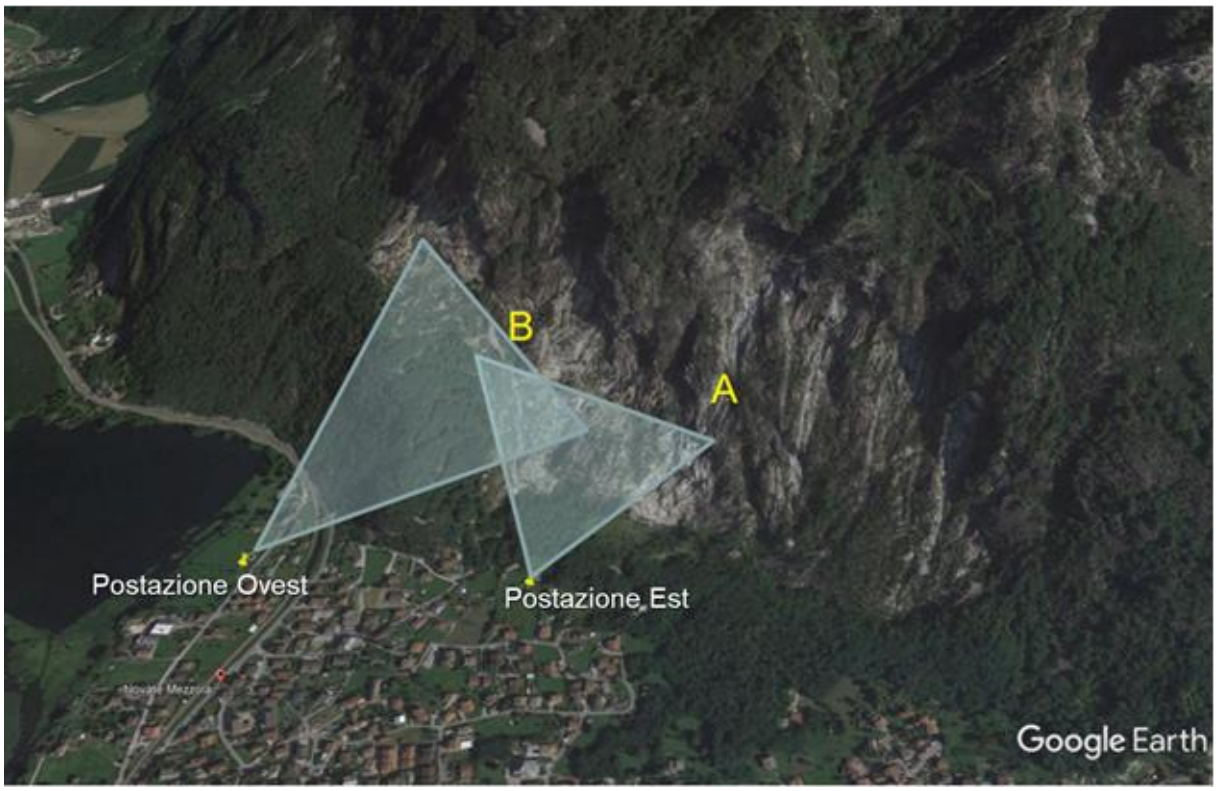


Figura 2: Ubicazione delle due postazioni di misura. La Postazione Ovest, situata in vicinanza del Lago di Novate Mezzola, permette di ottimizzare le misure nell'area B mentre la Postazione Est, prossima al versante, permette una buona copertura dell'area A.

L'area di interesse si estende dalla strada statale SS36 in località Foppa fino a Montagnola e Ganda Grossa per una estensione lineare di circa 1.000 m. L'area da indagare di primario interesse è quella immediatamente sopra l'abitato fino a circa 650 m s.l.m. (area circoscritta in verde in Figura 3). A questa zona si aggiunge una ulteriore area che comprende la parte superiore del versante roccioso del monte Avedèe (area circoscritta in giallo in Figura 3). Il fine del monitoraggio richiesto è il controllo della stabilità e l'individuazione e la perimetrazione di eventuali aree in movimento.

In Figura 4 sono riportate le fotografie dei due sistemi di monitoraggio LiSAmobile impegnati nella campagna di misura. Vengono inoltre riportate delle riprese fotografiche del versante montuoso dalle due postazioni (Figura 5).

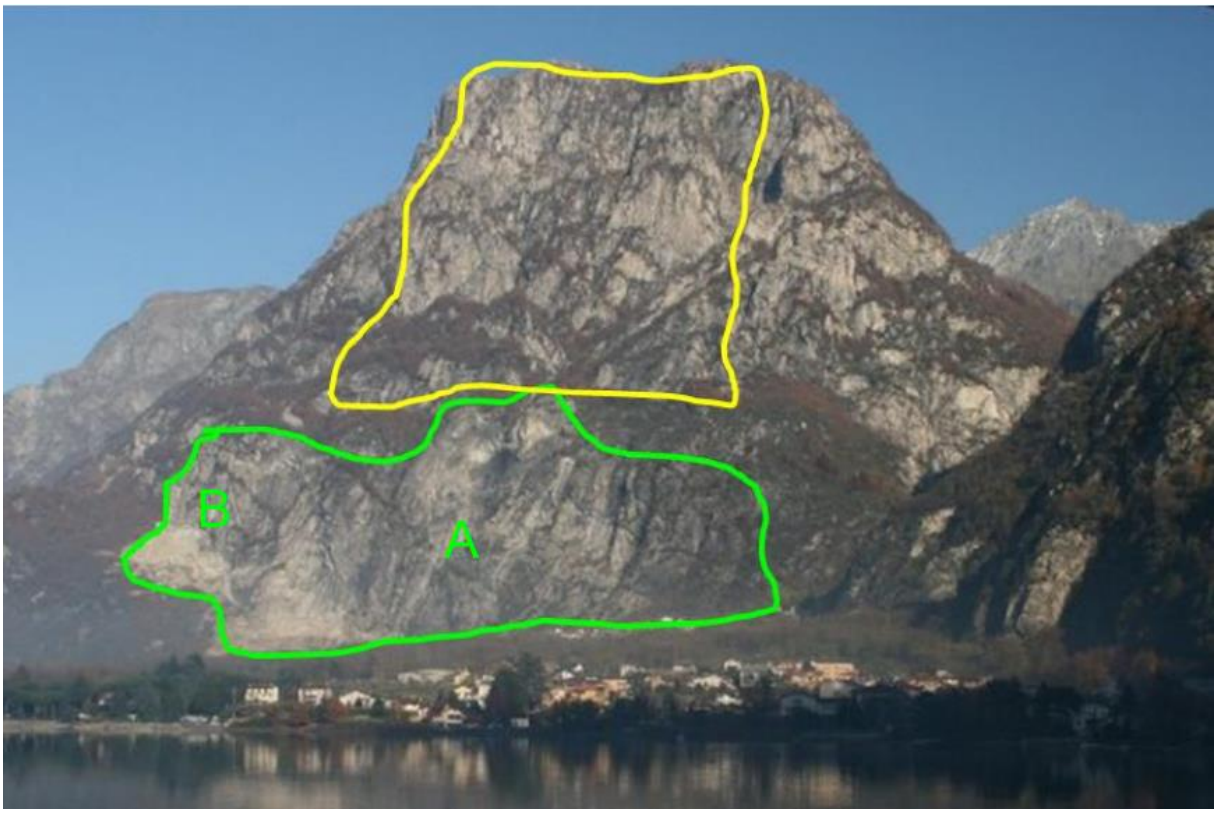


Figura 3: Fotografia del versante meridionale del Monte Avedèe, sopra Novate Mezzola, con circoscritte in verde le aree di primario interesse per il monitoraggio con tecnologia SAR terrestre (GBInSAR). In giallo sono evidenziate invece le pareti rocciose a quote più elevate e considerate obiettivo secondario del monitoraggio.

In Figura 3 sono state perimetrate in verde le aree da monitorare considerate di primaria importanza ed in giallo le pareti rocciose a quote più elevate che rappresentano l'obiettivo secondario del monitoraggio. Le lettere A e B indicano due settori nella zona di interesse. L'area A è situata immediatamente sopra al luogo dove si sta progettando la costruzione di un vallo a protezione dell'abitato di Novate mentre l'area B, immediatamente sopra la località Foppa, presenta un pilastro roccioso che sembra mostrare recente

attività. L'eventuale distacco di materiale da questo pilastro interesserebbe la strada SS36 e la ferrovia sottostante.

La quarta campagna di misura (che chiameremo brevemente con IV-1 PC) si è svolta inizialmente dal 19 al 23 Maggio 2023 ma ha riportato dei risultati che mostravano evidenze di movimento su importanti porzioni del versante (non sulle pareti rocciose verticali ma su parti meno acclivi e parzialmente vegetate del versante) di entità pari a circa -1 mm in 365 giorni. Considerando che le condizioni meteo erano state avverse per tutta la durata della campagna di misura, con la presenza di forti temporali e quindi di condizioni di umidità sulla parete, al fine di valutare se tali spostamenti fossero reali o il frutto di effetti atmosferici non completamente compensati e non eliminabili, si è provveduto a ripetere la misura a circa due settimane di distanza e precisamente tra il 9 e il 13 Giugno in condizioni molto simili a quelle di maggio 2022. Questa seconda misura (che chiameremo IV-2 PC) ha confermato la presenza di tali spostamenti. In questo report verranno presentati i risultati del IV-2 PC che rappresenta quindi il quarto monitoraggio periodico eseguito per il sito di Novate Mezzola (SO).

Il presente report è articolato come segue:

1. Descrizione dell'installazione del sistema GBInSAR LiSALab, sua messa in funzione e parametri di misura selezionati;
2. Definizione parametri di misura;
3. Analisi delle immagini radar acquisite;
4. Elaborazione dei risultati in 3D;
5. Conclusioni.



Figura 4: Fotografia del sistema di monitoraggio LiSAmobile impegnato nella campagna di monitoraggio della parete del monte Avedèe. Pannello di sx: postazione *Ovest* nei pressi di via Riva. Pannello di dx: postazione *Est* nei pressi della ex Cava della Foppa.



Figura 5: Scenario osservato dal sistema di monitoraggio LiSAmobile nella campagna di monitoraggio della parete del Monte Avedèe nel mese di Giugno 2023. Pannello di sx: versante inquadrato dalla postazione Ovest. Pannello di dx: versante inquadrato dalla postazione Est.

La tecnica SAR interferometrica

Per la descrizione della tecnica SAR interferometrica si rimanda al report della misura zero (rep.cvc.220601.ag.01).

Specifiche del servizio

Per la descrizione della descrizione del servizio si rimanda al report della misura zero (rep.cvc.220601.ag.01).

Punto d'installazione del sistema GBInSAR LiSALab

Per poter operare correttamente nello specifico caso di misura del versante del monte Avedèe, entrambe le postazioni del sistema GBInSAR LiSALab sono state installate in siti aventi le seguenti caratteristiche:

- buona visuale della zona da monitorare;
- postazione stabile non soggetta a movimenti;
- distanza media dall'area da monitorare tale da non comportare la perdita di risoluzione spaziale;
- migliore linea di osservazione (LOS) possibile del fenomeno.

Tali caratteristiche permettono di osservare nella sua quasi totalità l'area d'interesse del versante del monte Avedèe.

Di seguito ripotiamo le coordinate (nel sistema UTM – WGS84, Fuso 32) delle due postazioni di misura:

Postazione	Est [m]	Nord [m]	Quota [m s.l.m.]
EST (PE)	534815.1	5119084.4	233
OVEST (PO)	534419.0	5119154.0	207

Per entrambe le postazioni, la Comunità Montana della Valchiavenna ha fatto realizzare un magrone in cemento con dimensioni tali da poter, in un secondo tempo e all'occorrenza, predisporre una postazione di monitoraggio permanente. Al di sopra dei magroni in cemento sono state installate delle travi metalliche (Figura 6 e Figura 7) per il posizionamento dello strumento. Queste verranno lasciate in loco per tutta la durata del servizio e permetteranno di mantenere un riferimento univoco nelle successive installazioni. Il sistema in entrambe le postazioni viene alimentato direttamente dalla rete in corrispondenza di due case poste nelle vicinanze delle postazioni di misura.

Il sistema di ancoraggio a terra combinato con l'impiego del portale metallico in questa serie di campagne di misura conferisce un sufficiente grado di stabilità al sistema e garantisce la riuscita del monitoraggio interferometrico. La presenza di contro-piastre sulla trave metallica orizzontale permette di mantenere invariato il posizionamento del sistema nei futuri Periodical Check rendendo possibile il confronto tra i dati acquisiti progressivamente.



Figura 6: Postazione Est: a sinistra dettagli del magrone di cemento su cui è stato fissato il basamento in metallo; a destra come appariva il sistema ad installazione ultimata.



Figura 7: Postazione Ovest: a sinistra il magrone di cemento e il portale metallico; a destra il sistema ad installazione ultimata.

Descrizione del servizio

Il servizio di monitoraggio periodico si compone di svariate campagne di misura.

Per ciascuna campagna il sistema GBInSAR LiSALab, che è stato precedentemente assemblato, adattato e calibrato allo specifico utilizzo presso la sede della Ellegi srl, verrà trasportato in loco ed installato sul basamento utilizzato per la prima campagna di misura (misura di zero).

Dopo le necessarie attività di implementazione, controllo e calibrazione, la strumentazione inizierà ad eseguire indagini radar. Al termine della serie di acquisizioni il sistema sarà smontato, prelevato e riportato alla sede Ellegi srl per la elaborazione dei dati acquisiti.

I risultati delle analisi eseguite sono di seguito restituiti sotto forma di sequenze di mappe di spostamento, in due e tre dimensioni, a copertura totale e/o parziale dell'intervallo considerato.

Come accennato sopra, il IV-1 PC si è svolto dal 19 al 23 Maggio 2023 ma ha riportato dei risultati che mostravano evidenze di movimento su importanti porzioni del versante pari a circa -1 mm in 365 giorni. Considerando che le condizioni meteo erano state avverse per tutta la durata della campagna di misura, con la presenza di forti temporali e quindi di condizioni di umidità sulla parete, al fine di valutare se tali spostamenti fossero reali o il frutto di effetti atmosferici non completamente compensati e non eliminabili, si è provveduto a ripetere la misura (IV-2 PC) a circa due settimane di distanza, precisamente tra il 9 e il 13 Giugno. La ripetizione della campagna è stata utile per eseguire le misure in condizioni di temperatura atmosferica uguali a quelle registrate nel corso del I PC di Maggio 2022. In entrambe le campagne (Maggio 2022 e Giugno 2023), infatti, i valori di temperatura si sono attestati attorno ai 20°C mentre durante il IV-1 PC le temperature mediate su 7 e su 30 giorni sono risultate inferiori (valori medi di circa 15°C). La ripetizione della misura ha confermato la presenza degli spostamenti rilevati nel IV-1 PC anche con temperature più alte e pari a quelle di maggio 2022. In questo report verranno presentati i risultati

della campagna di Giugno 2023 che rappresenta il quarto monitoraggio periodico eseguito per il sito di Novate Mezzola (SO).

Il presente report riporta i risultati della campagna di Giugno 2023 e fornisce una valutazione delle deformazioni che interessano il Monte Avedèe, anche mediante confronto con le misure acquisite nelle campagne periodiche di Maggio 2022 (misura di zero su questo sito) e di Gennaio 2023.

La presente campagna di misura ha permesso di acquisire un totale di 668 immagini dalla Postazione *Est* e di 670 immagini dalla Postazione *Ovest*.

Analogamente al report del III monitoraggio periodico, anche nel presente documento riportiamo il grafico delle temperature rilevate dall'inizio del monitoraggio (Maggio 2022) fino alla presente campagna di misura (Giugno 2023), al fine di valutare le relazioni che intercorrono tra le variazioni di temperatura ed i valori di spostamento misurati. I dati, come per lo scorso report, sono messi a disposizione dal Centro Meteorologico Lombardo (stazione di Samolaco, SO) e vengono mostrati nel grafico seguente come media mobile calcolata sia su 7 giorni (curva rossa), sia su 30 giorni (curva blu). In aggiunta al grafico delle temperature, presentiamo anche quello delle precipitazioni che vengono mostrate come valori cumulati giornalieri (istogramma blu) e come curva cumulata totale di tutto il periodo di monitoraggio (Figura 9). Confrontando le temperature della presente campagna di misura (IV-2 PC) con quelle della campagna di Maggio 2023 (IV-1 PC), si osserva un lieve incremento delle temperatura, circa 3-5°C. Rispetto alla III campagna di misura (20-24 Gennaio 2023) notiamo invece un significativo incremento dovuto all'uscita dalla stagione invernale. La temperatura media della settimana in cui si è svolta la III campagna di misura (20-24 Gennaio 2023) si attestava infatti attorno ai 3-4°C. I valori registrati nel corso dell'ultima campagna di misura (IV-2 PC, 9-13 Giugno 2023) sono molto simili a quelli osservati durante la I campagna di monitoraggio (20-24 Maggio 2022), con valori medi tra circa 18°C (media mobile su 30 giorni) e 20°C (media mobile su 7 giorni). Questo dimostra che con questa quarta campagna periodica di Giugno 2023 si completa il ciclo termico annuale. Questo permetterà, nell'analisi di seguito presentata, di valutare la natura degli spostamenti classificati come effetti termici nei report delle campagne precedenti.

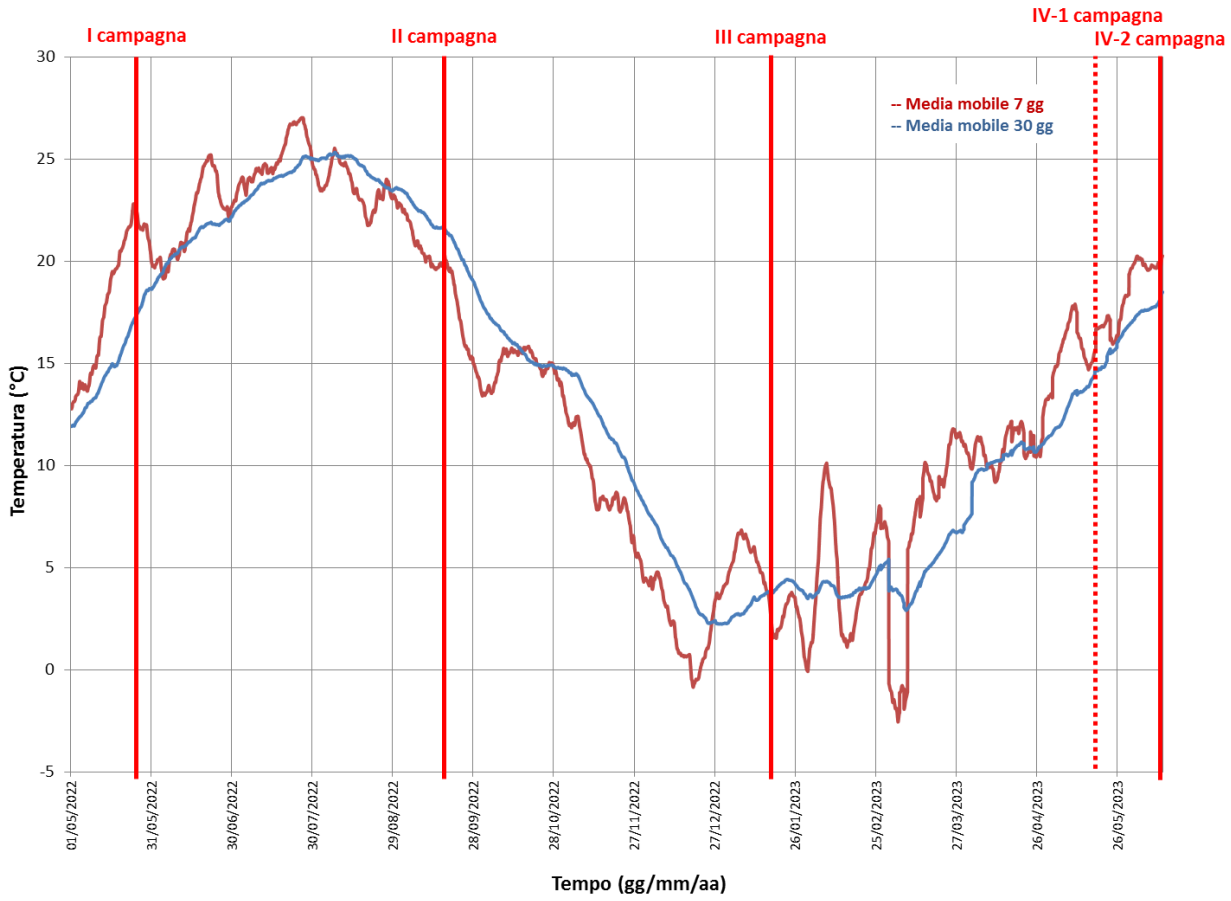


Figura 8: Media mobile calcolata su 7 giorni (curva rossa) e 30 giorni (curva blu) relativa ai valori di temperatura registrati presso la stazione meteo di Samolaco (SO). In rosso sono indicati i periodi di monitoraggio.

Analizzando il grafico delle precipitazioni in Figura 9 si osserva la presenza di un evento particolarmente significativo verificatosi all'inizio di Novembre 2022 ed eventi minori distribuiti in modo abbastanza uniforme nel periodo considerato. Il grafico mette bene in evidenza la siccità che ha caratterizzato l'inverno del corrente anno, da Febbraio 2023 ad inizio Aprile 2023. Il periodo che ha preceduto la presente campagna è stato caratterizzato da precipitazioni medie di circa 10 mm. Si osservano inoltre due eventi significativi verificatisi rispettivamente a metà Marzo e a fine Aprile caratterizzati da valori di circa 38 mm e 43 mm (valore cumulato giornaliero).

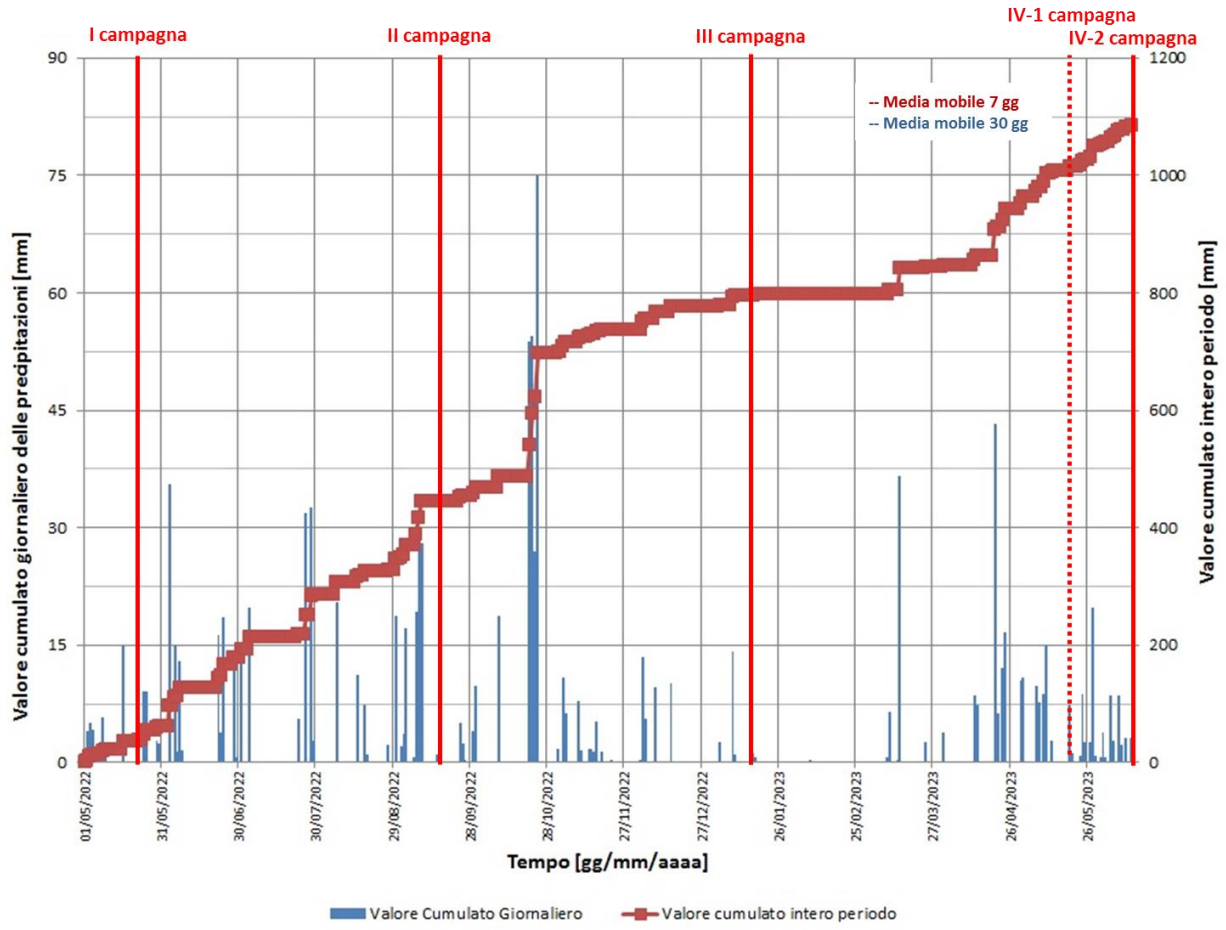


Figura 9: Valori cumulati giornalieri e curva cumulata sull'intero periodo di monitoraggio delle precipitazioni registrate presso la stazione meteo di Samolaco (SO). In rosso sono indicati i periodi di monitoraggio.

A titolo d'esempio e per spiegare il possibile contributo delle variazioni di temperatura sui valori di spostamento che presenteremo nel corso del presente report, mostriamo in Figura 10 gli spostamenti rilevati sull'area B, già individuata in movimento nei report delle campagne precedenti, confrontati con le oscillazioni termiche stagionali registrate tra le campagne di Maggio 2022 e Giugno 2023 (periodo di monitoraggio di un anno).

La figura mostra che, durante le fasi di riscaldamento atmosferico (aumento delle temperature da 17°C a 20°C nell'intervallo tra la I e la II campagna e da 13°C a 15°C per l'intervallo tra la III e la IV-2 campagna), l'area B è soggetta a spostamenti in avvicinamento rispetto al sistema rispettivamente di -1.0 mm nell'intervallo tra la I e la seconda campagna e di -8.0 mm tra la III la IV-2 campagna. Viceversa, durante la fase di raffreddamento (diminuzione delle temperature da 20°C a 3°C nell'intervallo tra la II e la III campagna di misura), la zona è soggetta a spostamenti in allontanamento rispetto al sistema di circa +1.6 mm. Considerando come periodo temporale un intero anno (intervallo tra la I e la IV-2 campagna di misura, entrambe eseguite con temperature medie di 20°C) l'area B mostra spostamenti molto inferiori

alla precisione strumentale e pari a circa -0.2 mm. Questo valore di spostamento, inoltre, corrisponde alla sommatoria dei singoli valori registrati nel corso dei tre sotto-periodi dell'anno appena descritti.

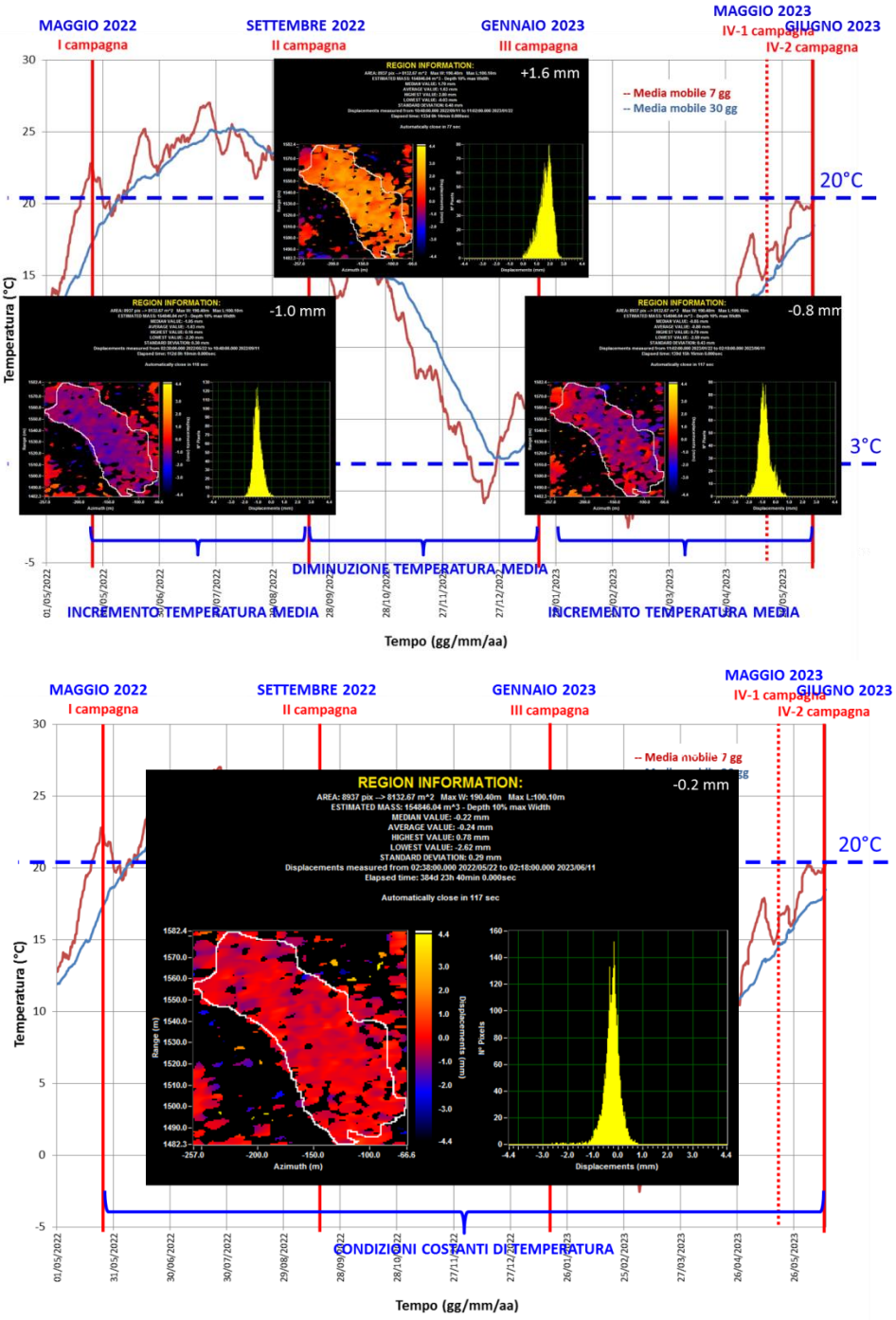


Figura 10: Effetto termico sugli spostamenti registrati nell'area B dalla postazione Ovest Far nei diversi periodi dell'anno e a diverse condizioni di temperatura atmosferica.



Figura 11: Postazione Est, ripresa fotografica del versante durante la disinstallazione del sistema del 13 Giugno 2023.



Figura 12: Postazione Est, sistema LiSAmobile ad installazione ultimata il 9 Giugno 2023.



Figura 13: Postazione *Ovest*, ripresa fotografica del versante durante l'installazione del 9 Giugno 2023.



Figura 14: Postazione *Ovest*, sistema LiSAmobile ad installazione ultimata il 9 Giugno 2023.

Parametri di misura e caratteristiche dell'immagine SAR

Le proprietà dell'immagine SAR acquisite per mezzo della tecnica GBInSAR LiSALab, in particolare la risoluzione spaziale, sono legate ai parametri di misura scelti, alle caratteristiche dell'installazione e alla distanza del sensore dalla scena osservata. Le risoluzioni in *range* (distanza) ed *azimut* (direzione parallela al movimento del sensore) sono date dalle due seguenti relazioni:

$$\Delta r = \frac{c}{2B} \qquad \Delta r_x = \frac{cR}{2Lf_c}$$

L'estensione totale del tratto percorso lungo il binario dalle antenne (L) e la frequenza centrale del segnale trasmesso (f_c) influiscono in maniera inversamente proporzionale sulla dimensione longitudinale (*azimut*) della cella di risoluzione, mentre la larghezza della banda di frequenze trasmessa (B) ha effetto solo sulla seconda dimensione (*range*), sempre in modo inversamente proporzionale.

Nel presente report, vista la complessità geometrica della parete rocciosa del Monte Avedèe e la necessità di ottimizzare l'analisi del dato in relazione alle diverse zone mostrate in Figura 3 si è scelto di processare le immagini radar utilizzando, per ogni postazione, due sottofinestre: una, la sottofinestra *Near*, ha come obiettivo principale il monitoraggio delle deformazioni nella porzione di versante più vicina al sistema (area circoscritta in verde in Figura 3); la seconda, la sottofinestra *Far*, si focalizza invece sulle pareti più lontane, nella porzione superiore del monte Avedèe (area circoscritta in giallo in Figura 3). Gli estremi delle due sottofinestre, in coordinate radar, sono riportati nelle seguenti tabelle:

Postazione EST

Sottofinestra	Min Azimuth (m)	Max Azimuth (m)	Min Range (m)	Max Range (m)
FAR	-500	600	950	1550
NEAR	-400	600	200	950

Postazione OVEST

Sottofinestra	Min Azimuth (m)	Max Azimuth (m)	Min Range (m)	Max Range (m)
FAR	-600	800	1000	1650
NEAR	-500	600	500	1000

È bene anche sottolineare che, diversamente dalla tecnica SAR tradizionale, la risoluzione non solo dipende dalla distanza ma ha anche una dipendenza dalla posizione in azimut della cella rispetto alla collocazione del sensore.

Tipicamente ci si può attendere una variazione fino al 50% della dimensione della cella anche a seconda dei filtri utilizzati nell'elaborazione dei dati.

In accordo con i parametri scelti, la risoluzione teorica in range è approssimativamente di 0,7 m, mentre quella in azimut varia tra 0,6 m e 4,8 m. La Figura 15 mostra le due griglie di risoluzione utilizzate per la postazione *Ovest* mentre in Figura 16 vengono mostrate le griglie utilizzate per la postazione *Est*.
Le condizioni operative e i parametri di misura utilizzati dal sistema sono riassunti nella tabella seguente:

Postazione EST

	NEAR	FAR
Minima distanza osservata	200 m	950 m
Massima distanza osservata	950 m	1550 m
Risoluzione teorica in azimut a distanza minima	0.6 m	2.7 m
Risoluzione teorica in azimut a distanza massima	2.7 m	4.5 m
Risoluzione teorica in range (costante)	0.7 m	0.7 m

Postazione OVEST

	NEAR	FAR
Minima distanza osservata	500 m	1000 m
Massima distanza osservata	1000 m	1650 m
Risoluzione teorica in azimut a distanza minima	1.4 m	2.9 m
Risoluzione teorica in azimut a distanza massima	2.9 m	4.8 m
Risoluzione teorica in range (costante)	0.7 m	0.7 m

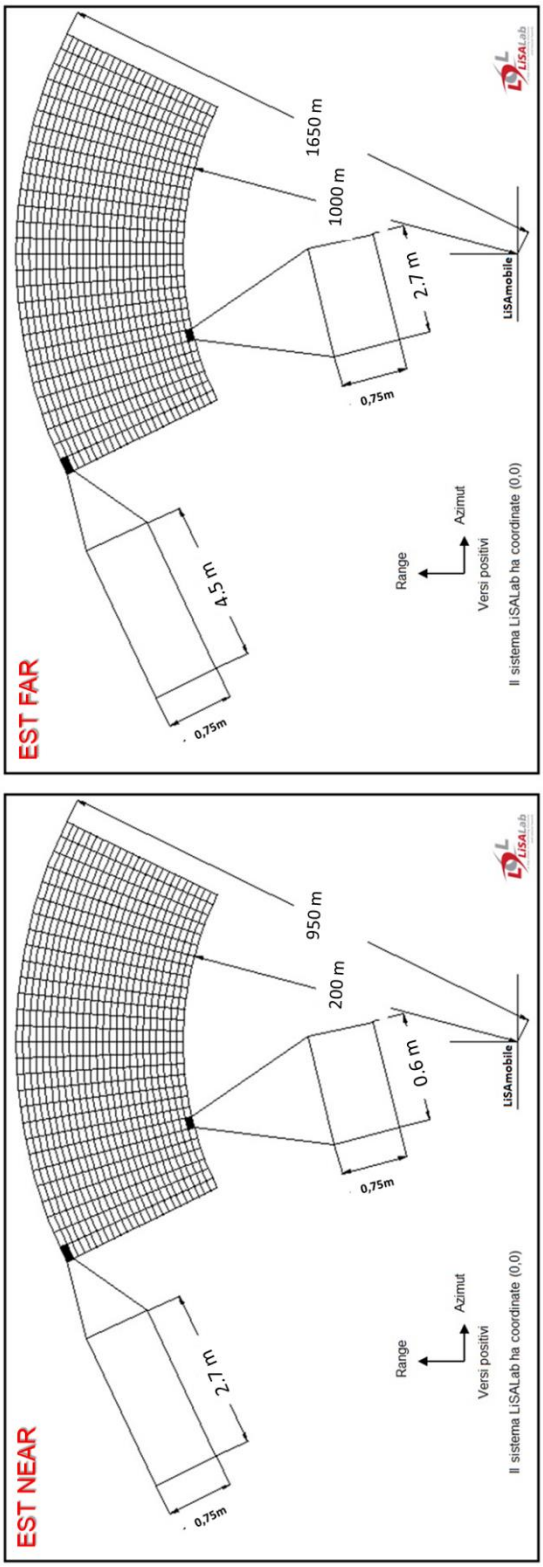


Figura 15: griglia di risoluzione del sistema GBInSAR LiSALab per la campagna in oggetto, Postazione *Est*.

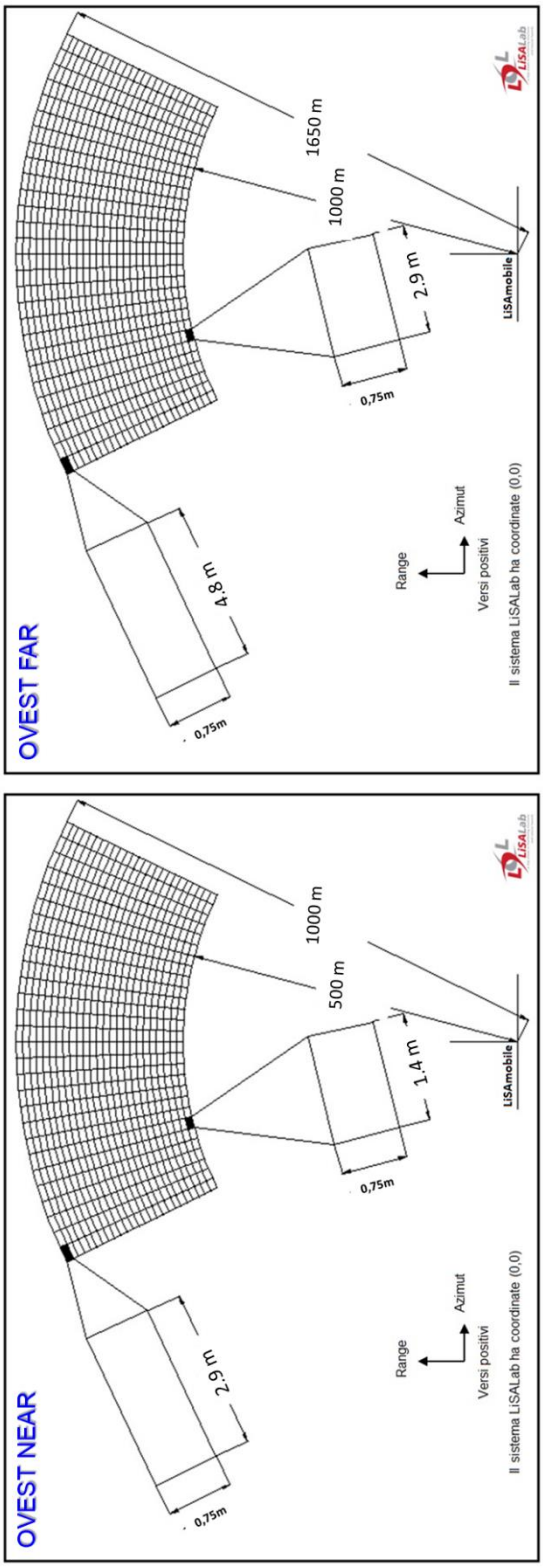


Figura 16: griglia di risoluzione del sistema GBInSAR LiSALab per la campagna in oggetto. Postazione *Ovest*.

Elaborazione dei risultati della campagna di misura di Giugno 2023

In questa sezione saranno presentati i risultati della presente campagna di misura, effettuata tra il 9 ed il 13 Giugno 2023, che rappresenta il IV-2 Periodical Check per il sito di Novate Mezzola.

Mappe di potenza

Nelle figure seguenti vengono presentate le immagini SAR in potenza del versante del monte Avedèe acquisite dal sistema GBInSAR LiSALab secondo le griglie di risoluzione presentate nella sezione precedente. Ciascuna mappa mostra l'energia riflessa dagli oggetti presenti nella scena osservata, relativizzata al massimo segnale riflesso misurato. L'unità di misura utilizzata è il dB.

Le regioni gialle sono quelle che riflettono meglio le onde elettromagnetiche, mentre quelle blu sono le regioni che riflettono peggio i raggi trasmessi, a causa della geometria o del materiale della superficie su cui incidono che tende ad assorbire maggiormente le onde.

In generale, le zone rocciose e le strutture in muratura o metalliche riflettono le onde incidenti meglio delle aree coperte da vegetazione. Le zone d'ombra o vegetate presentano generalmente una colorazione vicina al nero.

Dalle precedenti immagini in potenza si può notare che le pareti rocciose pseudo-verticali dello scenario sono ben visibili ed hanno una buona risposta al segnale radar.

Le immagini radar 2D di un oggetto sono intrinsecamente distorte in quanto lungo la direzione "range" sono riportate le distanze "sensore – punto osservato" e per questo le immagini tendono ad essere "stirate" più ci si allontana dal sensore stesso.

Per rendere più immediata la comprensione dell'immagine in potenza e per riassorbire le distorsioni caratteristiche delle immagini 2D, si riporta una rappresentazione qualitativa con indicazioni delle zone radar sull' immagine fotografica dello scenario. Tale georeferenziazione è mostrata in Figura 21 per la postazione *Ovest* e in Figura 22 per la Postazione *Est*.

Nei capitoli successivi, le mappe in potenza e le mappe di spostamento verranno direttamente proiettate su un DEM dell'area monitorata recuperando così le distorsioni tipiche delle misure radar ed ottenendo una relazione univoca tra pixel radar e punto "fisico" osservato.

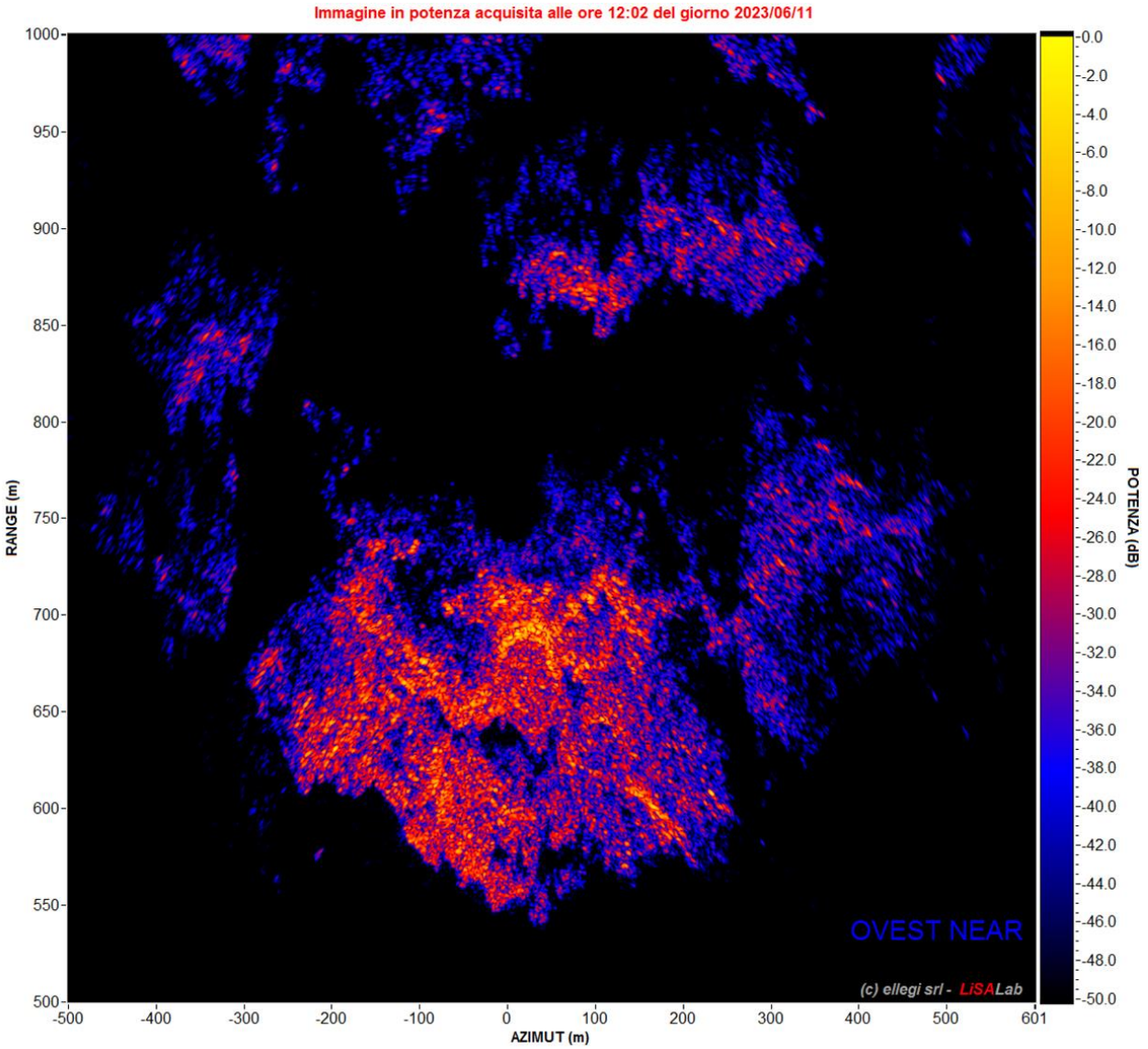


Figura 17: Immagine SAR in potenza in 2D dello scenario osservato dal sistema GBInSAR LiSALab, Giugno 2023. Postazione *Ovest*, sottofinestra *Near*.

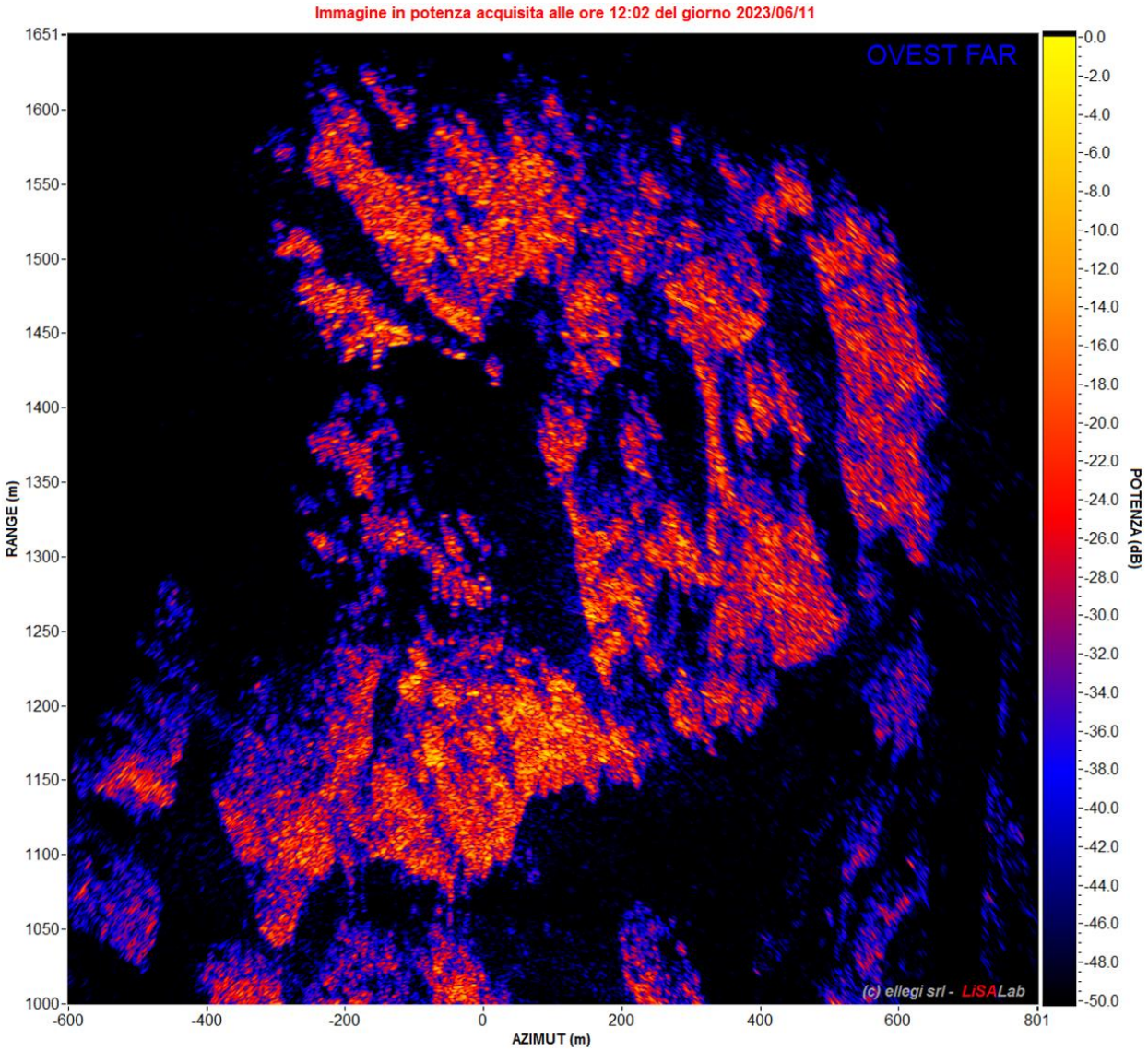


Figura 18: Immagine SAR in potenza in 2D dello scenario osservato dal sistema GBInSAR LiSALab, Giugno 2023. Postazione *Ovest*, sottofinestra *Far*.

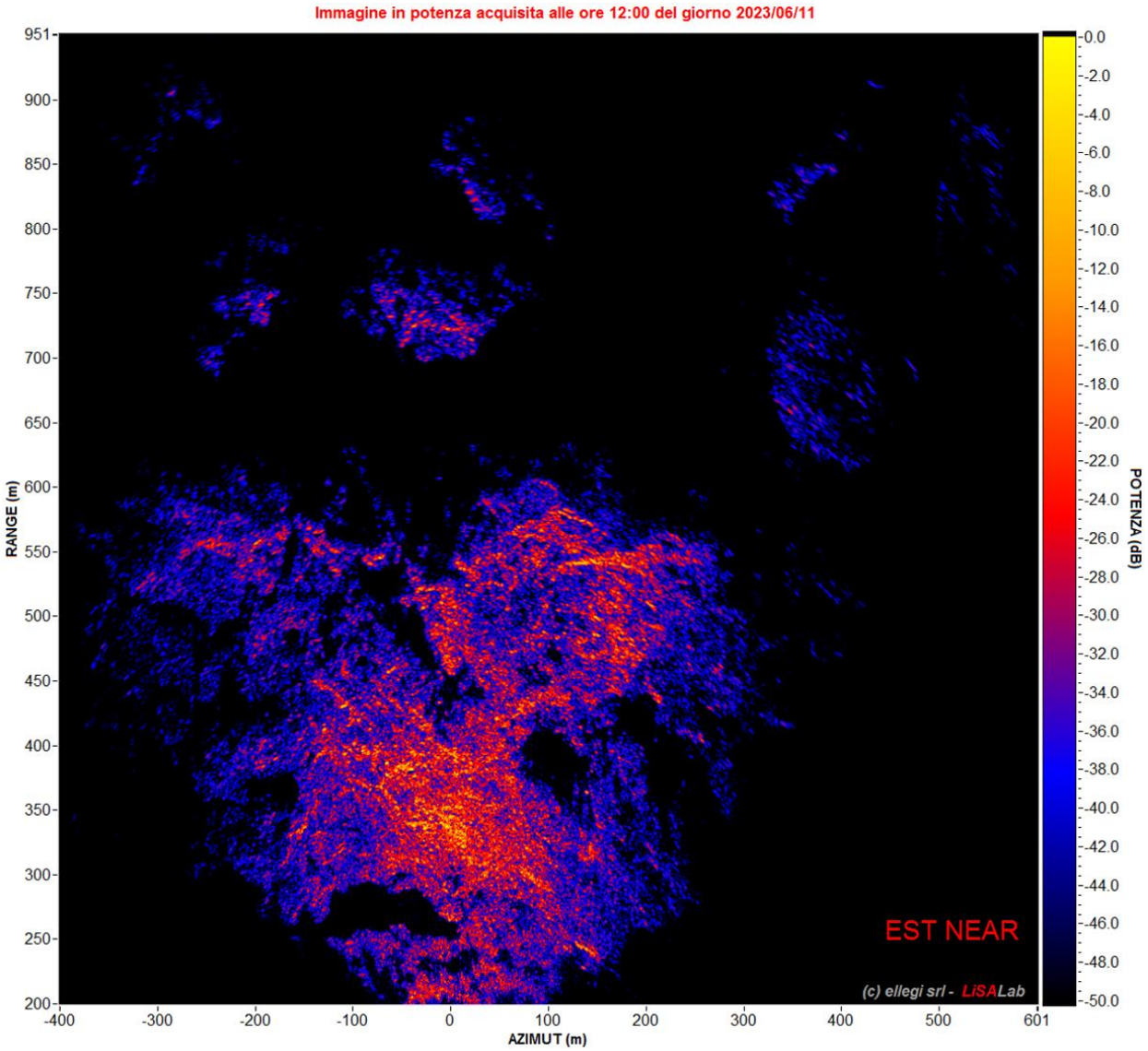


Figura 19: Immagine SAR in potenza in 2D dello scenario osservato dal sistema GBInSAR LiSALab, Giugno 2023. Postazione *Est*, sottofinestra *Near*.

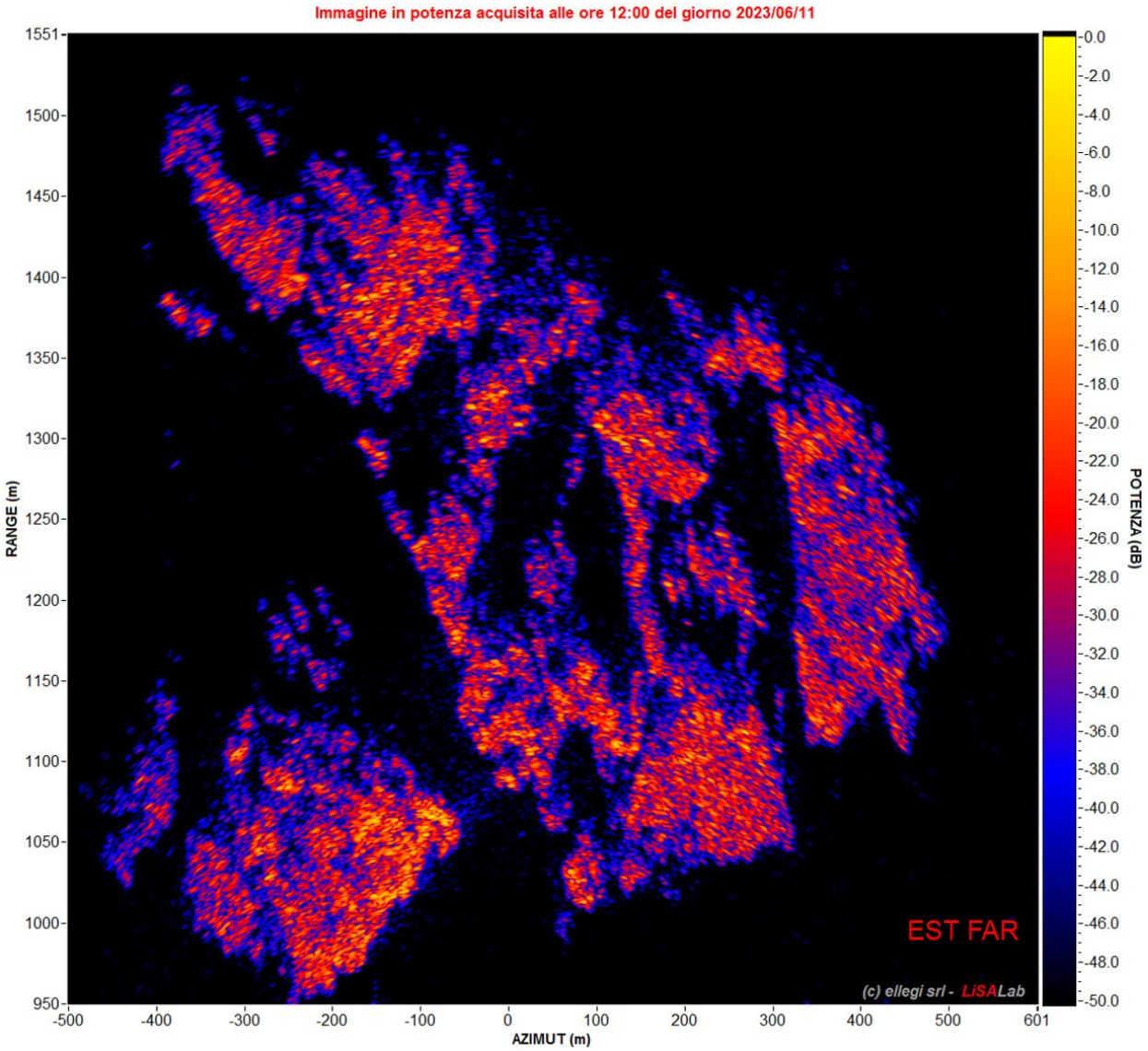


Figura 20: immagine SAR in potenza in 2D dello scenario osservato dal sistema GBInSAR LiSALab, Giugno 2023. Postazione *Est*, sottofinestra *Far*.

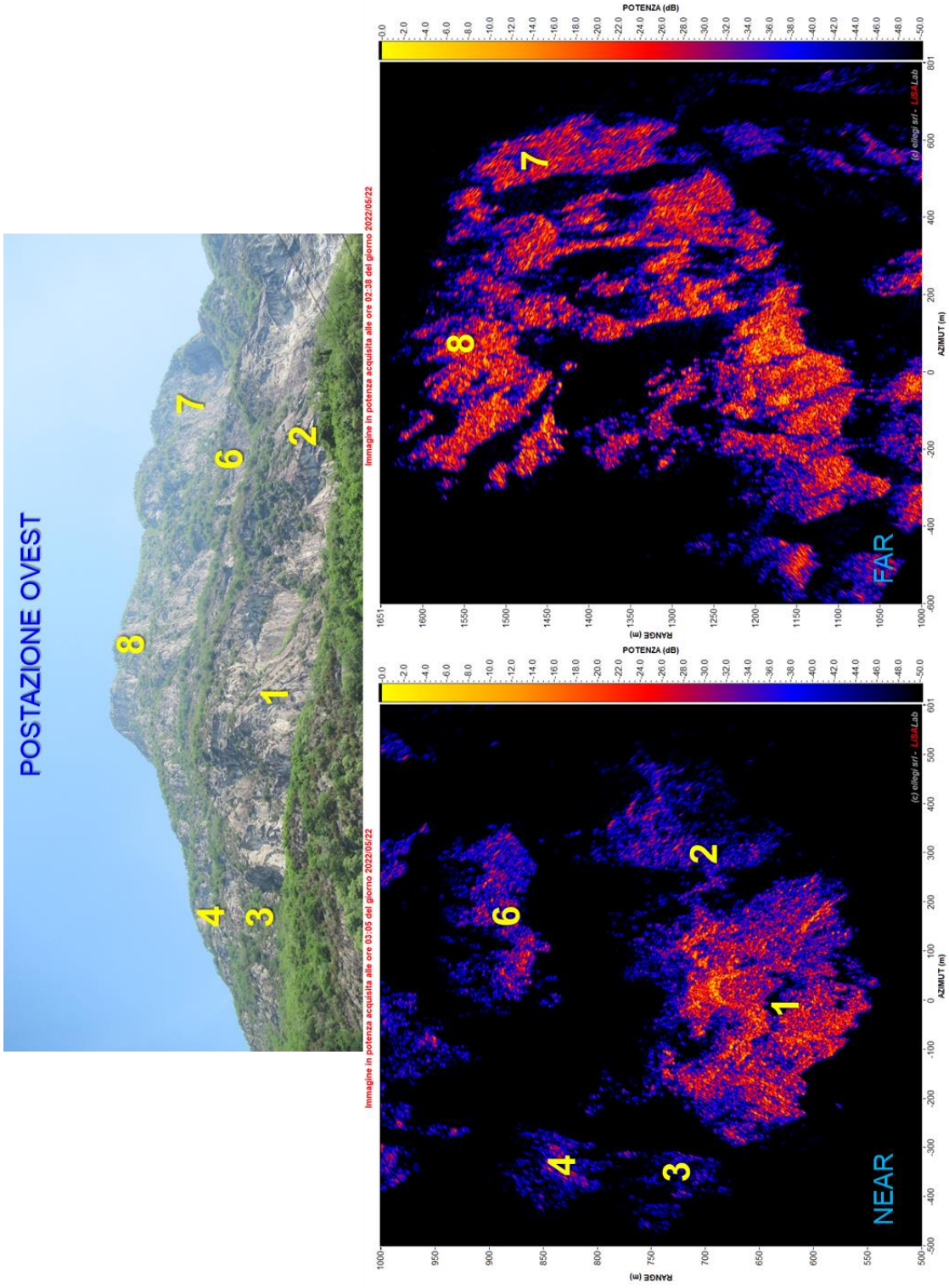


Figura 21: Georeferenziazione qualitativa delle immagini radar in potenza sulla fotografia del versante. Postazione *Ovest*, sottofinestre *Near* e *Far*.

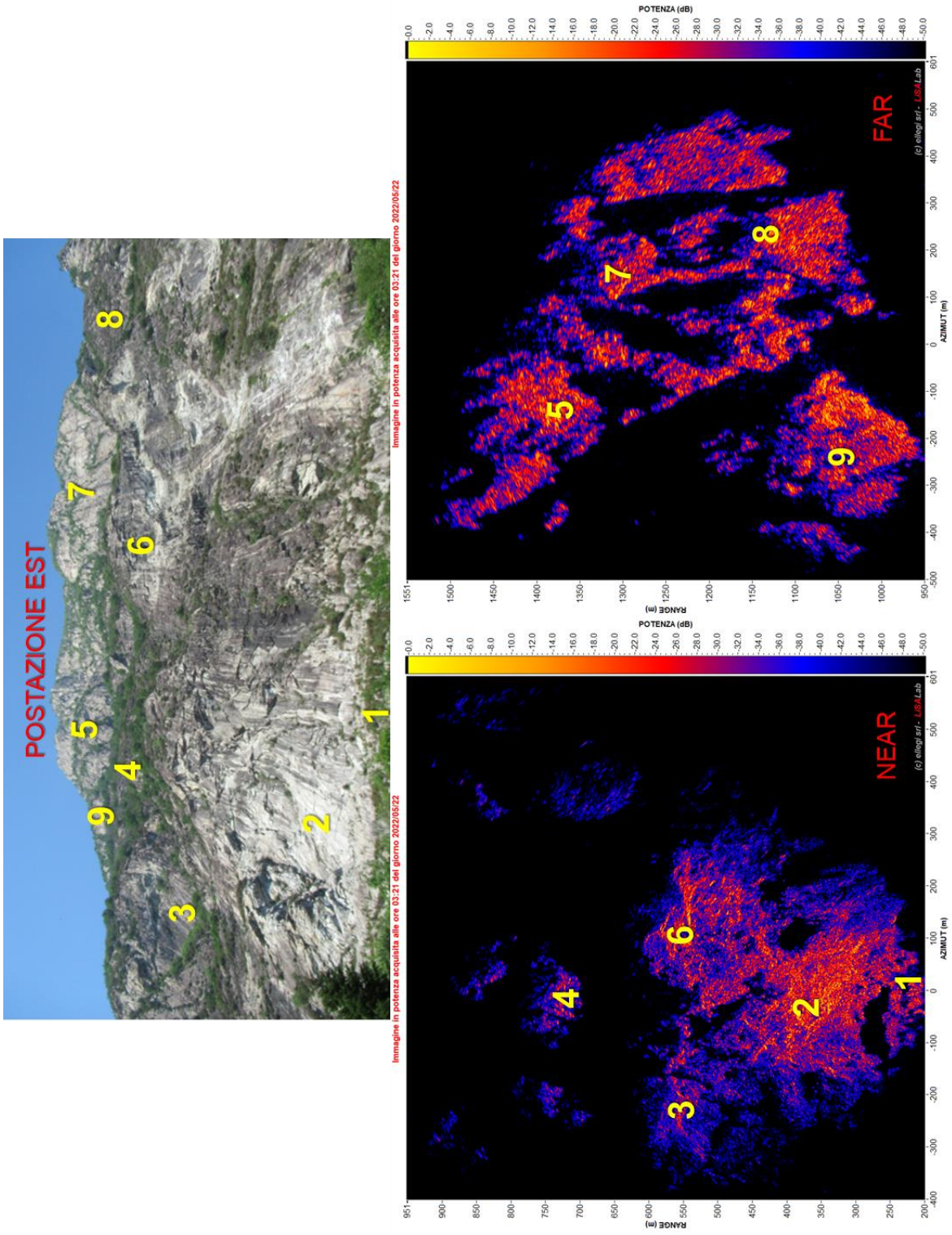


Figura 22: Georeferenziazione qualitativa delle immagini radar in potenza sulla fotografia del versante. Postazione *Est*, sottofinestre *Near* e *Far*.

Mappe di spostamento

Analisi degli spostamenti a breve termine: 9 – 13 Giugno 2023

In questa sezione vengono presentate le mappe di spostamento a breve termine del versante del monte Avedèe. Nelle mappe a breve termine l'obiettivo principale è quello di verificare la stabilità o la presenza di deformazioni che intercorrono durante la singola campagna di misura, ad esempio a distanza di 3-4 giorni. Nella fattispecie, vengono di seguito presentate le mappe degli spostamenti avvenuti fra il 9 Giugno 2023 e il 13 Giugno 2023, a copertura di un intervallo temporale di circa tre giorni.

Le mappe di spostamento a breve termine sono in grado di evidenziare le regioni in movimento ed individuare comportamenti o anomalie locali che interessano il versante montuoso nell'arco temporale coperto dalla singola campagna di misura.

Le mappe possono essere lette utilizzando le barre colorate poste sul fianco sinistro di ciascuna mappa. I risultati, per entrambe le postazioni, sono riportati nelle figure seguenti (da Figura 23 a Figura 29).

Per ciascuna postazione/sottofinestra vengono presentati:

A) Le mappe di spostamento 2D nella rappresentazione interferometrica "classica" tipicamente utilizzata in misure SAR da terra. Questa rappresentazione permette di visualizzare eventuali spostamenti in avvicinamento ed allontanamento e la presenza di superamenti del limite di fase interferometrica. In questa visualizzazione le zone stabili hanno un colore rosso mentre le zone con spostamenti fra i -2 e i -4 mm in avvicinamento hanno un colore blu/blu scuro. Le zone in cui viene superato il limite di fase interferometrica hanno colore giallo;
B) Gli istogrammi con la distribuzione degli spostamenti per tutti i pixel della mappa di spostamento.

Ricordiamo che i fenomeni di perdita di coerenza, o decorrelazione, si manifestano nelle immagini SAR come rumore sovrapposto alla fase interferometrica legata agli spostamenti e si concretizzano con una perdita di precisione delle misure o, nei casi peggiori, nell'impossibilità della misurazione stessa.

Per ottenere valori accettabili nella precisione delle misure degli spostamenti estrapolate dalle mappe di spostamento, queste ultime sono spesso prodotte mascherando le zone che hanno una coerenza troppo bassa, motivo per cui le mappe di spostamento relative ad intervalli temporali più brevi contengono un maggior numero di punti non mascherati in coerenza.

TUTTI I RISULTATI PRESENTATI RIPORTANO LA MISURA DEGLI SPOSTAMENTI LUNGO LA DIREZIONE DI OSSERVAZIONE (LOS) DEL SISTEMA GBInSAR LiSALab, OSSIA LA DIREZIONE CHE SI OTTIENE CONGIUNGENDO IL SISTEMA AL PARTICOLARE PUNTO OSSERVATO.

L'analisi è stata effettuata utilizzando immagini SAR ottenute elaborando statisticamente tutte le immagini acquisite in 24 ore (24h). Il prodotto di questa elaborazione statistica è una immagine "mediata"

caratterizzata da un rapporto segnale/rumore superiore a quello della immagine iniziale e una qualità e precisione di misura ritenute più idonee allo scopo di questo monitoraggio conoscitivo.

Dall'analisi delle mappe di spostamento ottenute da entrambe le postazioni (*Est* e *Ovest*) per le due sottofinestre analizzate (*Near* e *Far*) è evidente che in tutta l'area osservata dal sistema GBInSAR LiSAmobile non sono presenti aree estese affette da movimenti nel breve termine (intervallo di tempo compreso tra il 9 e il 13 Giugno 2023). Negli interferogrammi sono comunque individuabili delle aree puntiformi (di pochi pixel) caratterizzate da spostamenti millimetrici dovuti a locali fenomeni di disturbo (es. rumore per presenza di vegetazione nelle porzioni esterne delle immagini o ai bordi delle pareti verticali) che per estensione e posizionamento non devono essere tuttavia interpretati come reali spostamenti di are estese sul versante.

Al fine di fornire una analisi statistica dei dati ottenuti dagli interferogrammi si presentano, unitamente a questi, gli istogrammi con la distribuzione degli spostamenti ottenuti tracciando sull'asse delle x il valore di spostamento e sull'asse delle y il numero di pixel dell'immagine radar. Sotto al grafico vengono forniti, per ciascuna distribuzione, valor medio e deviazione standard riferiti alla distribuzione degli spostamenti.

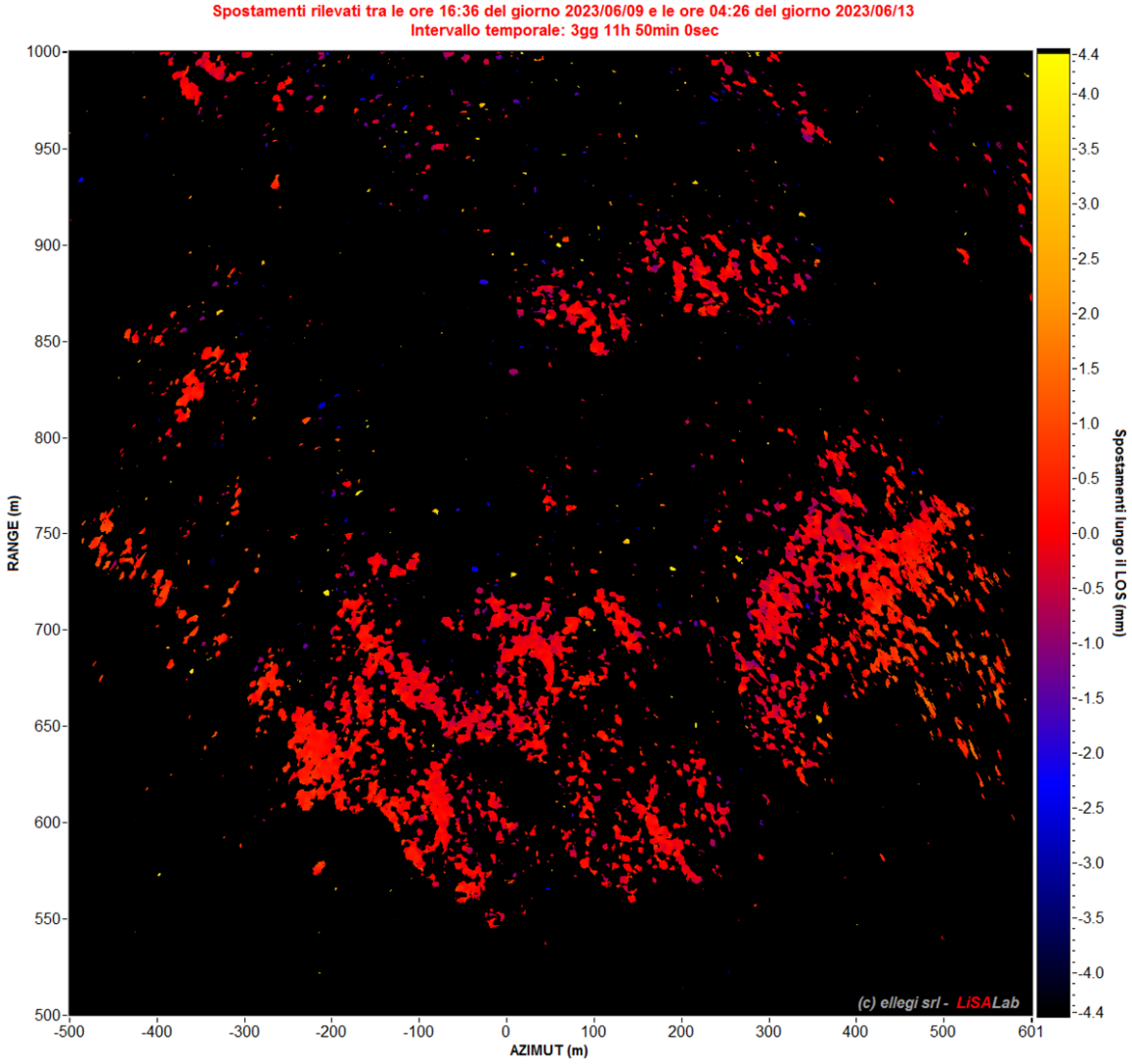


Figura 23: Mappa di spostamento 2D per il periodo 9 – 13 Giugno 2023 (3 giorni 11 ore e 50 minuti) – rappresentazione classica. Postazione *Ovest*, sottofinestra *Near*.

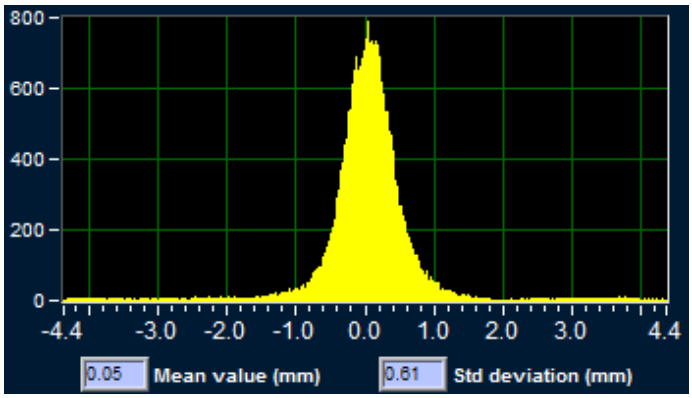


Figura 24: Istogramma della distribuzione degli spostamenti della mappa relativa alla postazione *Ovest*, sottofinestra *Near*.

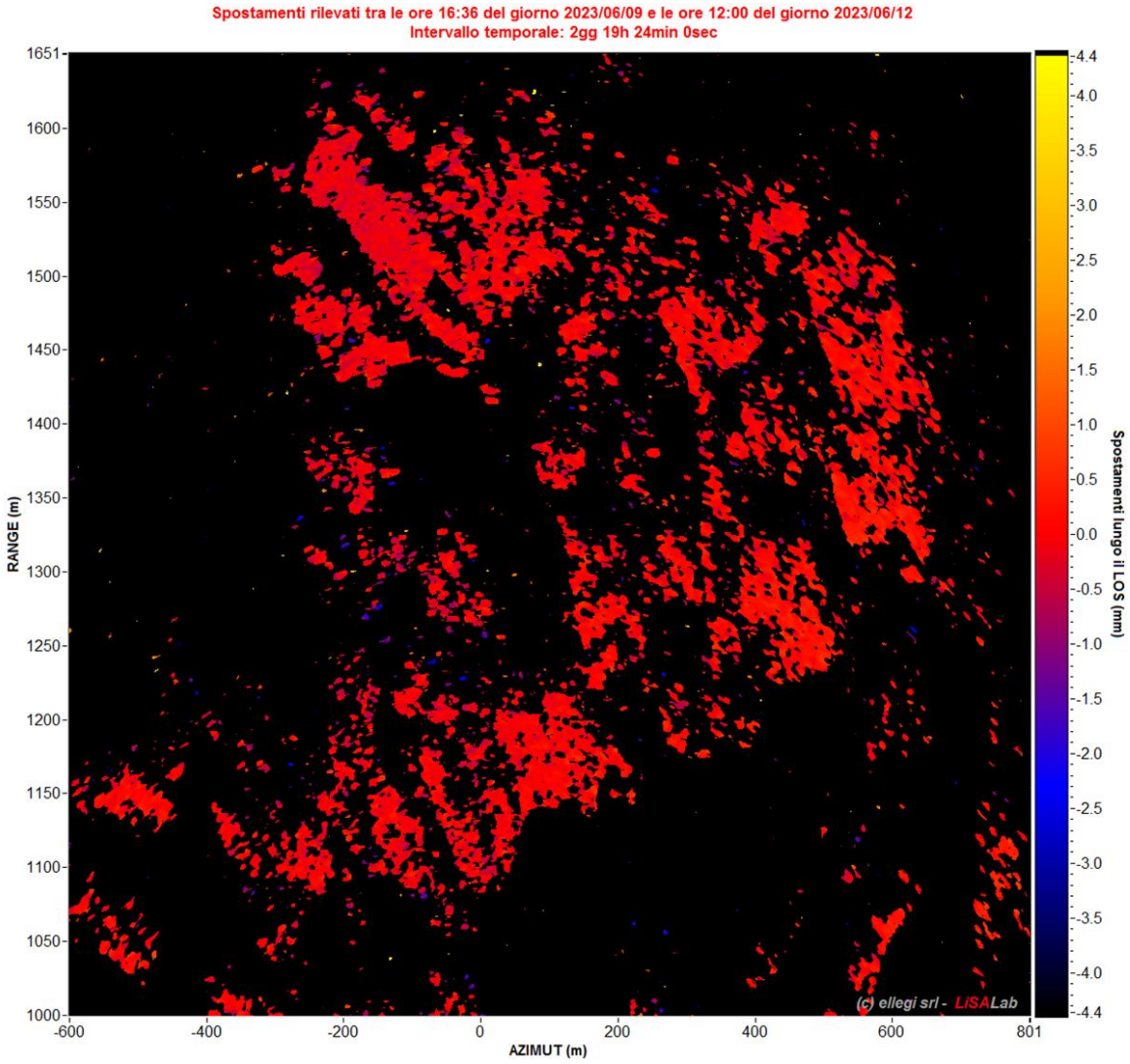


Figura 25: Mappa di spostamento 2D per il periodo 9 – 12 Giugno 2023 (2 giorni 19 ore e 24 minuti) – rappresentazione classica. Postazione *Ovest*, sottofinestra *Far*.

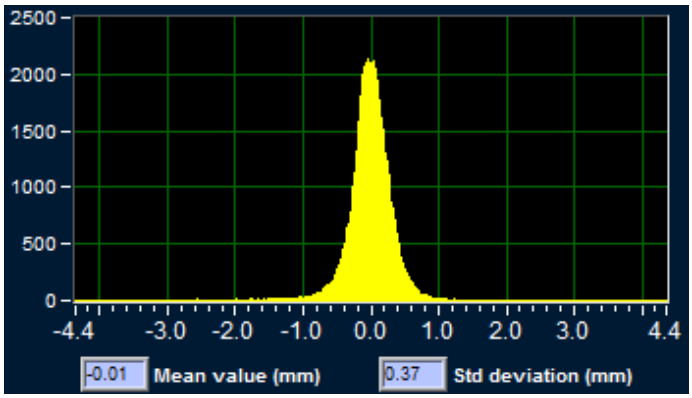


Figura 26: Istogramma della distribuzione degli spostamenti della mappa relativa alla postazione *Ovest*, sottofinestra *Far*.

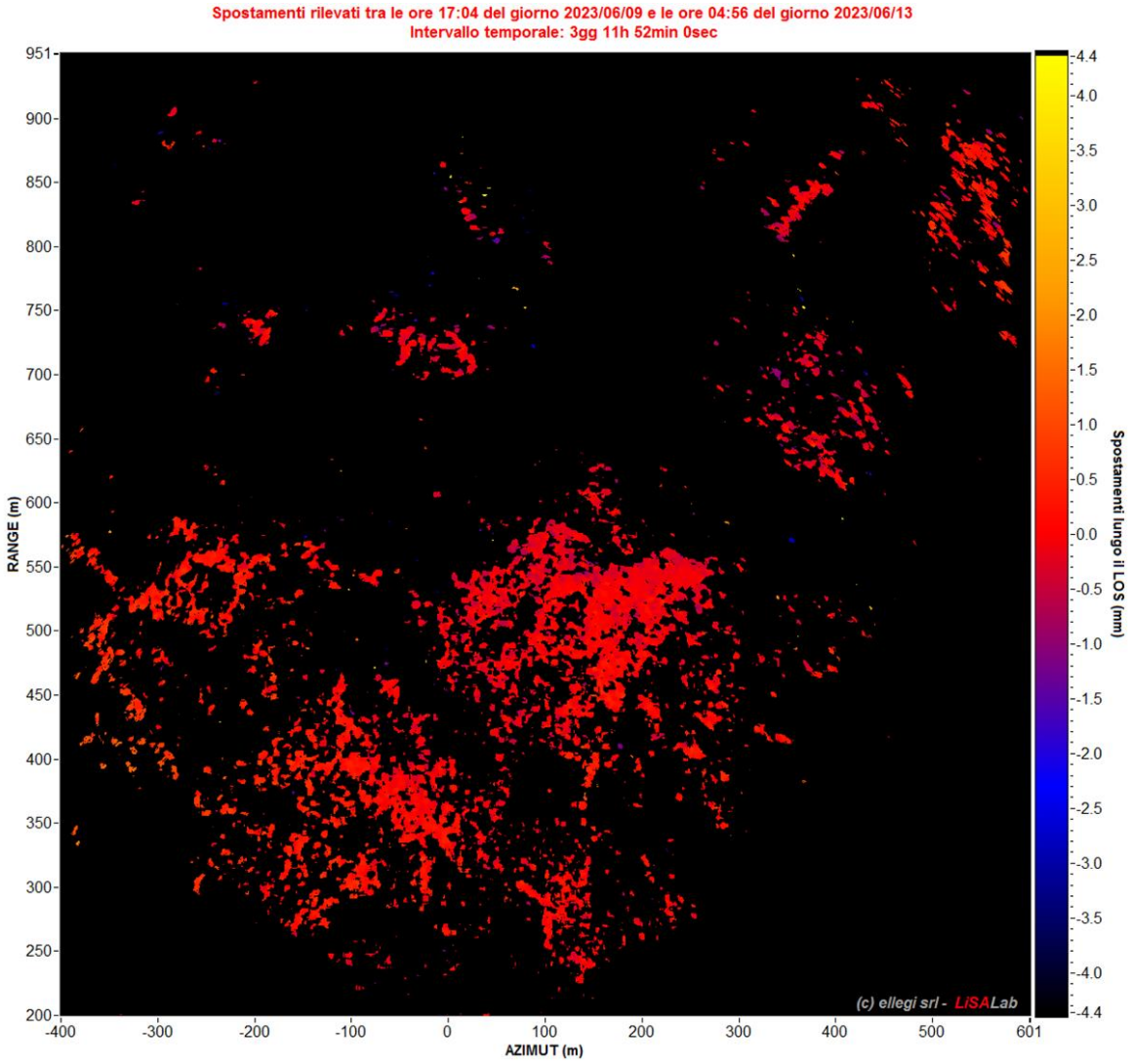


Figura 27: Mappa di spostamento 2D per il periodo 9 – 13 Giugno 2023 (3 giorni 11 ore e 52 minuti) – rappresentazione classica. Postazione *Est*, sottofinestra *Near*.

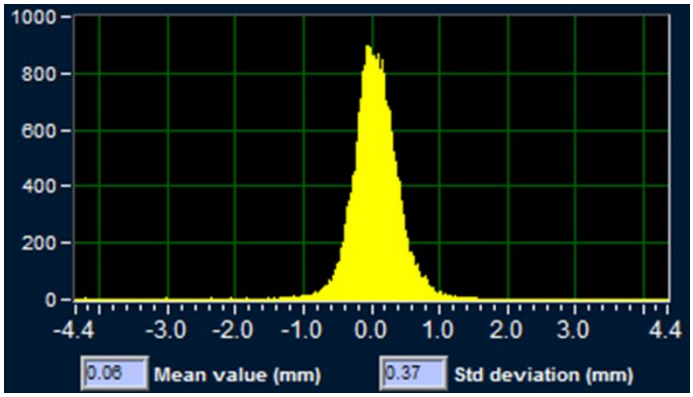


Figura 28: Istogramma della distribuzione degli spostamenti della mappa relativa alla postazione *Est*, sottofinestra *Near*.

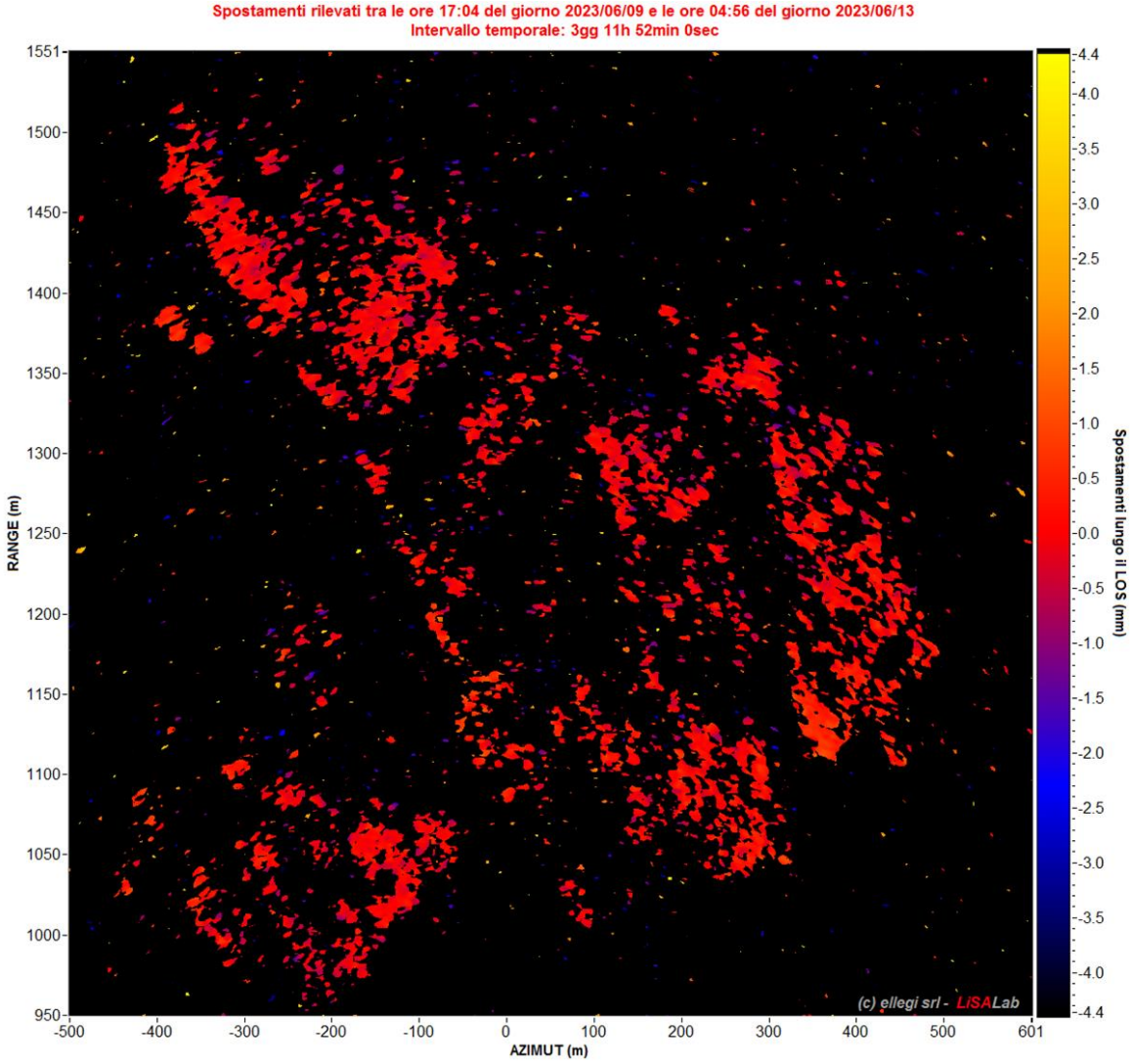


Figura 29: Mappa di spostamento 2D per il periodo 9 – 13 Giugno 2023 (3 giorni 11 ore e 52 minuti) – rappresentazione classica. Postazione *Est*, sottofinestra *Far*.

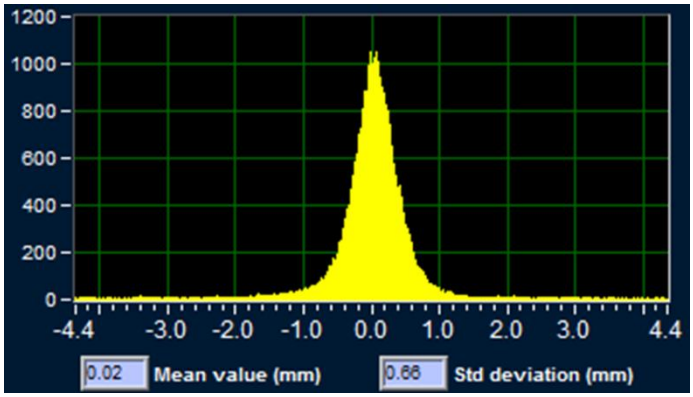


Figura 30: Istogramma della mappa degli spostamenti. Postazione *Est*, sottofinestra *Far*.

Le mappe di spostamento ottenute per il periodo 9-13 Giugno 2023, che forniscono una analisi del Monte Avedèe nel breve termine (da Figura 23 a Figura 29), mostrano una sostanziale assenza di spostamenti su tutto il versante monitorato. I valori medi di spostamento ottenuti dall' analisi quantitativa, presentati sotto forma di distribuzioni normali sotto gli interferogrammi 2D per l'intervallo analizzato di circa 3 giorni, variano tra -0.0 mm e +0.1 mm, con deviazione standard compresa rispettivamente tra 0.4 mm e 0.7 mm circa (da Figura 24 a Figura 30).

Con l'analisi dei dati della IV-2 campagna periodica confermiamo la situazione di stabilità del versante del Monte Avedèe nel breve termine.

Analisi degli spostamenti a lungo termine

In questa sezione saranno analizzati i risultati ottenuti confrontando le campagne di misura di Maggio 2022, Gennaio 2023 e Giugno 2023, al fine di rilevare l'eventuale presenza di spostamenti nell'intervallo di tempo intercorso tra le diverse campagne (analisi di lungo termine). Come descritto nel paragrafo relativo ai dati meteorologici, ricordiamo che le tre campagne qui confrontate sono state eseguite con diverse condizioni di temperatura. Di seguito riportiamo i valori medi di temperatura rilevati nelle tre settimane di monitoraggio:

I PC (Maggio 2022): circa 18-20 °C

III PC (Gennaio 2023): circa 3 °C

IV-2 PC (Giugno 2023): circa 18-20°C

I valori medi di temperatura e quelli delle precipitazioni verranno presi in considerazione nell'interpretazione dei dati di spostamento.

Di seguito verranno analizzati prima gli spostamenti relativi all'intervallo tra la III e la IV-2 campagna di misura e poi quelli tra la I (misura di zero) e la IV-2 campagna. L'analisi incrociata dei diversi intervalli temporali permette di studiare l'evoluzione del fenomeno nel tempo, anche rispetto all'eventuale effetto delle oscillazioni termiche appena citate che rappresentano dei possibili fattori di influenza sugli spostamenti rilevati.

Per ognuna delle due postazioni (postazione *Est* e postazione *Ovest*) e delle due sottofinestre analizzate (sottofinestra *Near* e sottofinestra *Far*) verranno presentati i seguenti risultati:

- Mappe di spostamento 2D;
- Mappe di spostamento 3D;
- Mappe di spostamento sovraimposte ad immagine ottica del versante;

Le mappe degli spostamenti relative al lungo termine possono essere lette utilizzando le barre colorate poste sul fianco di ciascuna mappa, che associano ad ogni colore un valore di spostamento. Nella scala utilizzata in queste immagini, il colore rosso identifica zone ferme o stabili nell'intervallo di misura considerato. Le zone con spostamenti fra i -2 mm e i -4 mm in avvicinamento hanno un colore blu/blu scuro mentre il colore giallo/arancio sarà associato a spostamenti in allontanamento rispetto al sistema caratterizzati da spostamenti compresi tra +2 mm e +4 mm nell'intervallo di tempo considerato. In alcuni casi diversi da quelli presentati nelle pagine seguenti e caratterizzati da alti tassi di spostamento, il colore giallo può significare il superamento della fase interferometrica e quindi spostamenti in avvicinamento al sistema con valori che eccedono i -4 mm.

Rammentiamo nuovamente che i fenomeni di perdita di coerenza, o decorrelazione, si manifestano nelle immagini SAR come rumore sovrapposto alla fase interferometrica legata agli spostamenti e si concretizzano con una perdita di precisione nelle misure o, nei casi peggiori, nell'impossibilità della misurazione stessa. Per ottenere valori accettabili nella precisione delle misure dalle mappe di

spostamento, queste ultime sono spesso prodotte mascherando le zone che hanno una coerenza troppo bassa, quindi risulta evidente che le mappe di spostamento relative ad intervalli temporali più brevi contengano un maggior numero di punti non mascherati in coerenza.
Le mappe di spostamento che verranno proposte di seguito mostrano il campo deformativo misurato dal sistema LiSAmobile tra le campagne di misura finora eseguite, in particolare verrà riportato il confronto tra la campagna di Gennaio 2023 e la campagna di Giugno 2023 e tra la campagna di Maggio 2022 e la campagna di Giugno 2023. Tale confronto permetterà di visualizzare gli eventuali movimenti rilevati nell'arco temporale del monitoraggio.

SI RICORDA CHE TUTTI I RISULTATI PRESENTATI RIPORTANO LA MISURA DEGLI SPOSTAMENTI LUNGO LA DIREZIONE DI OSSERVAZIONE (LOS) DEL SISTEMA GBInSAR LiSAmobile, OSSIA LA DIREZIONE CHE SI OTTIENE CONGIUNGENDO IL SISTEMA AL PARTICOLARE PUNTO OSSERVATO.

Al fine di facilitare il riconoscimento delle aree in movimento sulla parete rocciosa si è provveduto ad elaborare e geo-referenziare i risultati su Point Cloud con risoluzione a 10 cm.
Facciamo presente che questo Point Cloud, fornito dalla Comunità Montana della Valchiavenna e ottenuto da rilievo Lidar, ha una ottima risoluzione per le aree del versante poste nelle immediate vicinanze dell'abitato ed in prossimità della Postazione *Est*, ma non copre a sufficienza le aree del versante poste a quote più elevate (quelle analizzate con la sottofinestra *Far*).
Se fosse possibile aumentare i punti acquisiti dal Lidar a copertura di queste aree ed estendere ulteriormente la ripresa nella parte anche a Nord-Ovest e nella zona del pilastro roccioso attivo (oggetto di monitoraggio), si otterrebbe un miglioramento della qualità della restituzione in tre dimensioni permettendo di raggiungere una migliore precisione nell' individuazione di eventuali aree in movimento nei settori sottocampionati della nuvola di punti.
Prima di integrare il Point Cloud con il dato radar, è stato necessario trasformare e rielaborare il file originale eliminando le aree non coperte dal segnale radar e/o vegetate e ri-campionarlo con una risoluzione a 40 cm per renderlo più maneggiabile.
La visualizzazione dei dati in tre dimensioni permette di localizzare in maniera univoca la posizione del dato radar all'interno della scena osservata e di facilitare il confronto con gli spostamenti rilevati sul versante.

Nei paragrafi seguenti mostreremo, per ciascuna vista e sottofinestra, i risultati ottenuti del confronto tra le campagne sopra citate che corrispondono a spostamenti differenziali su aree distinte di diversa estensione. La discussione dei risultati ottenuti, anche alla luce dei dati termici e delle precipitazioni, sarà invece riportata nel paragrafo finale denominato "analisi riassuntiva".

Postazione Ovest Near

Analisi per il periodo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023

Di seguito vengono presentati i risultati ottenuti per la postazione *Ovest Near* riferiti all'intervallo di tempo tra la III e la IV-2 campagna di misura (22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023).

Prima di mostrare le mappe di spostamento, ricordiamo che tra il 22 Gennaio 2023 e l'11 Giugno 2023 si rileva un aumento di temperatura atmosferica media di circa 15/17°C.

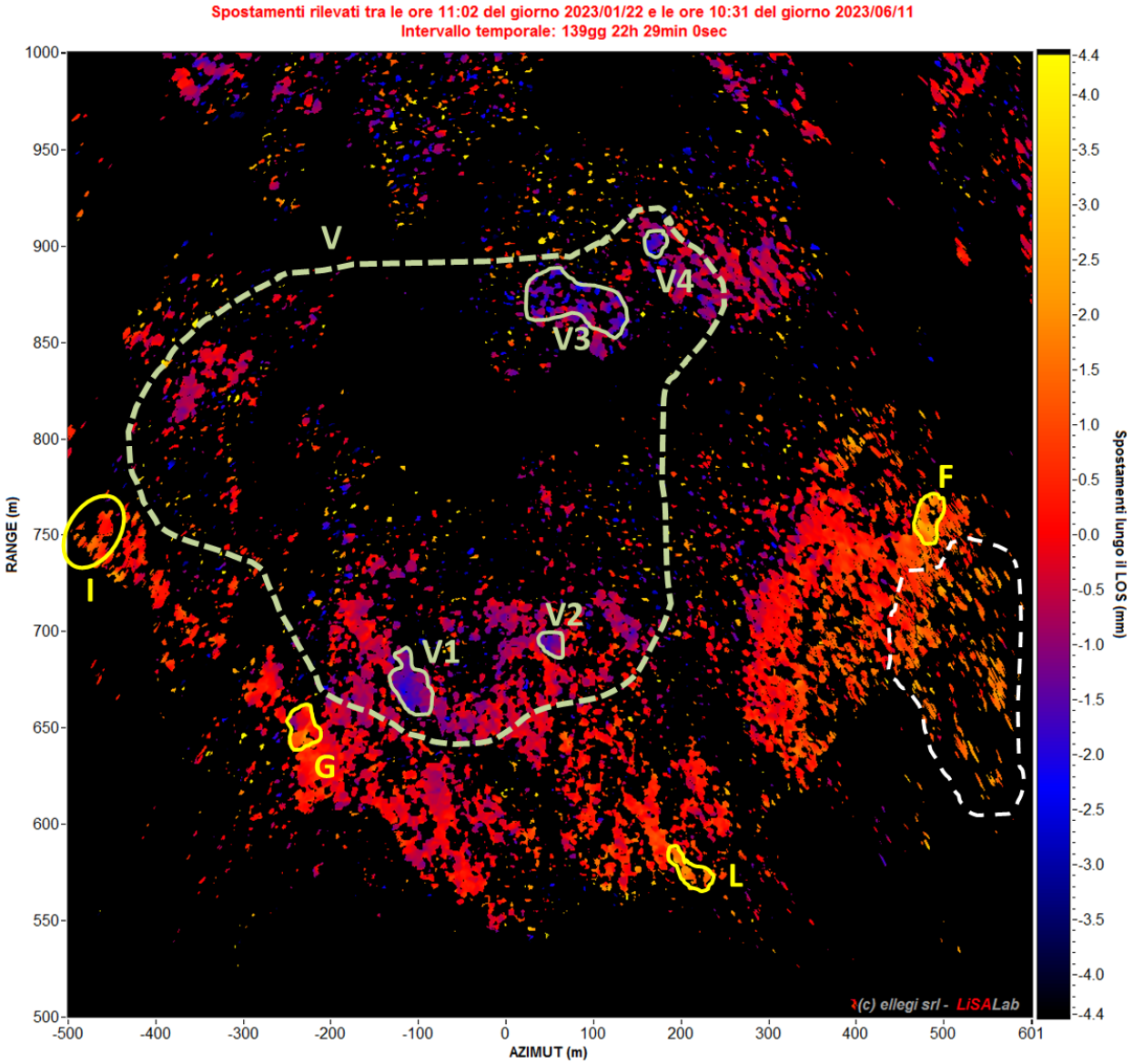


Figura 31: Mappa di spostamento 2D per il periodo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023 (139 giorni 22 ore e 29 minuti) – rappresentazione classica. Postazione Ovest, sottofinestra Near. In giallo e verde sono identificate le aree in movimento. Le aree verdi corrispondono alle nuove aree identificate in movimento.

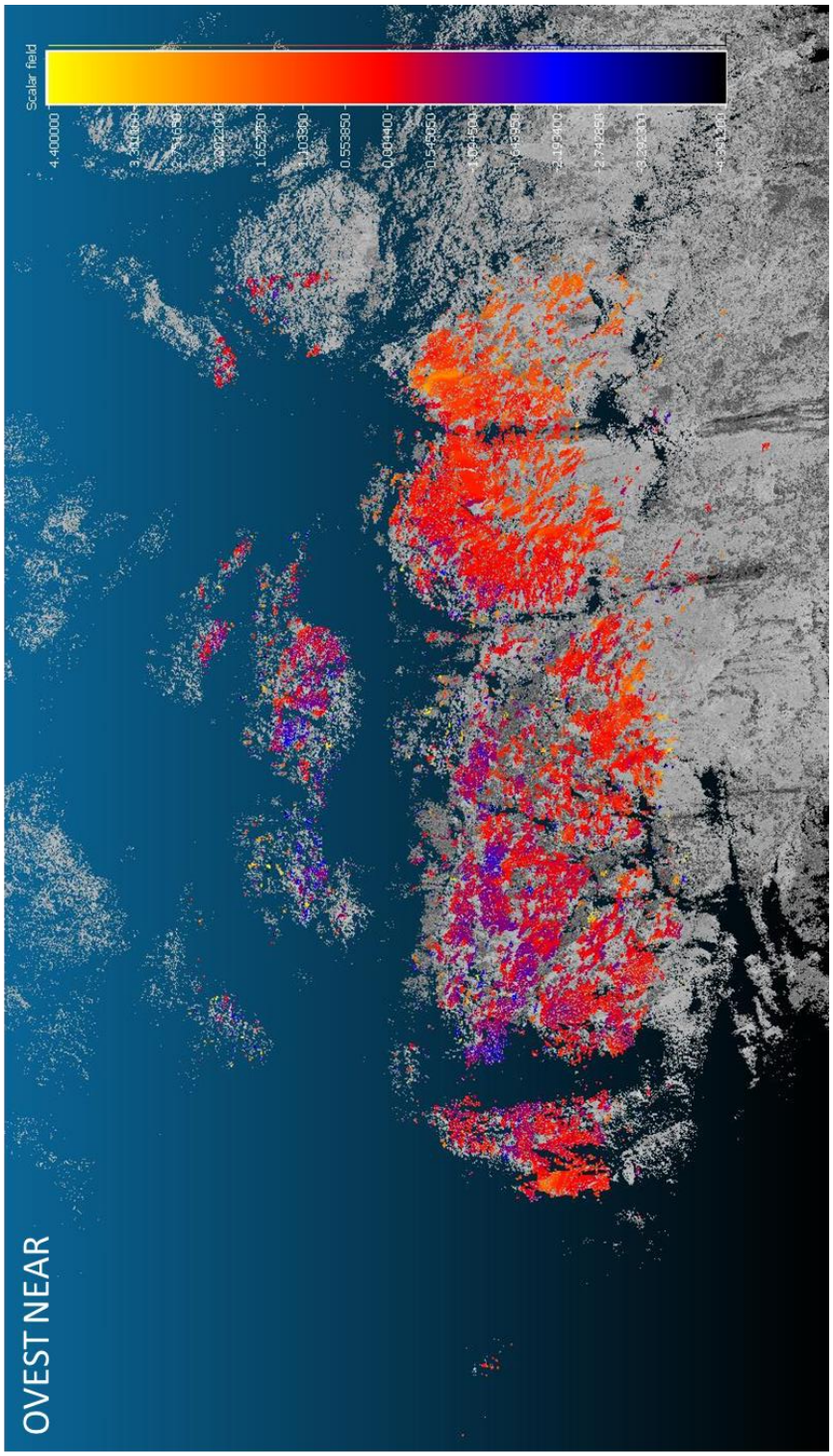


Figura 32: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023 (139 giorni 22 ore e 29 minuti) su Point Cloud. Postazione Ovest, sottofinestra Near.

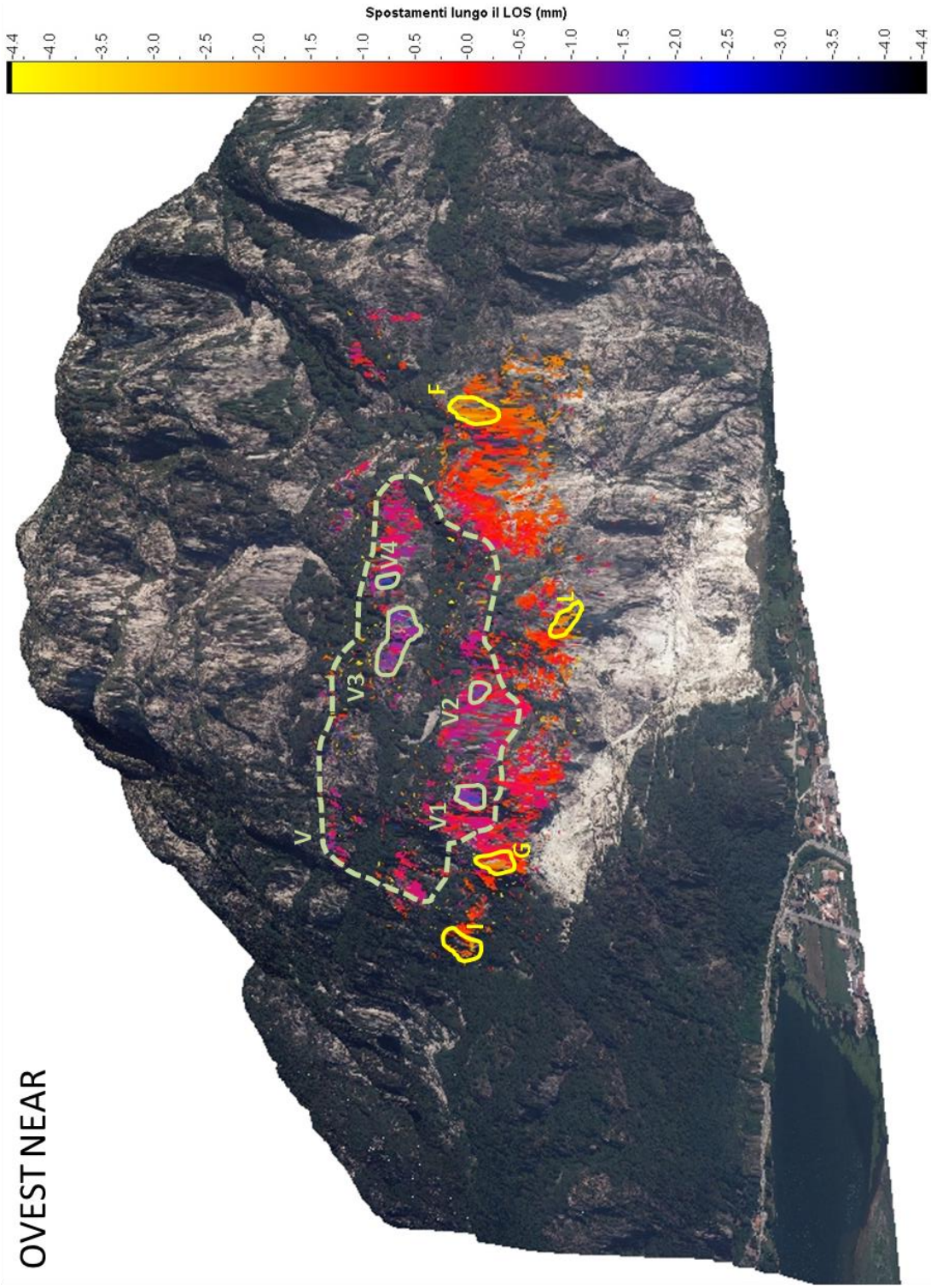


Figura 33: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023 (139 giorni 22 ore e 29 minuti) su DEM del versante. Postazione Ovest, sottofinestra Near.

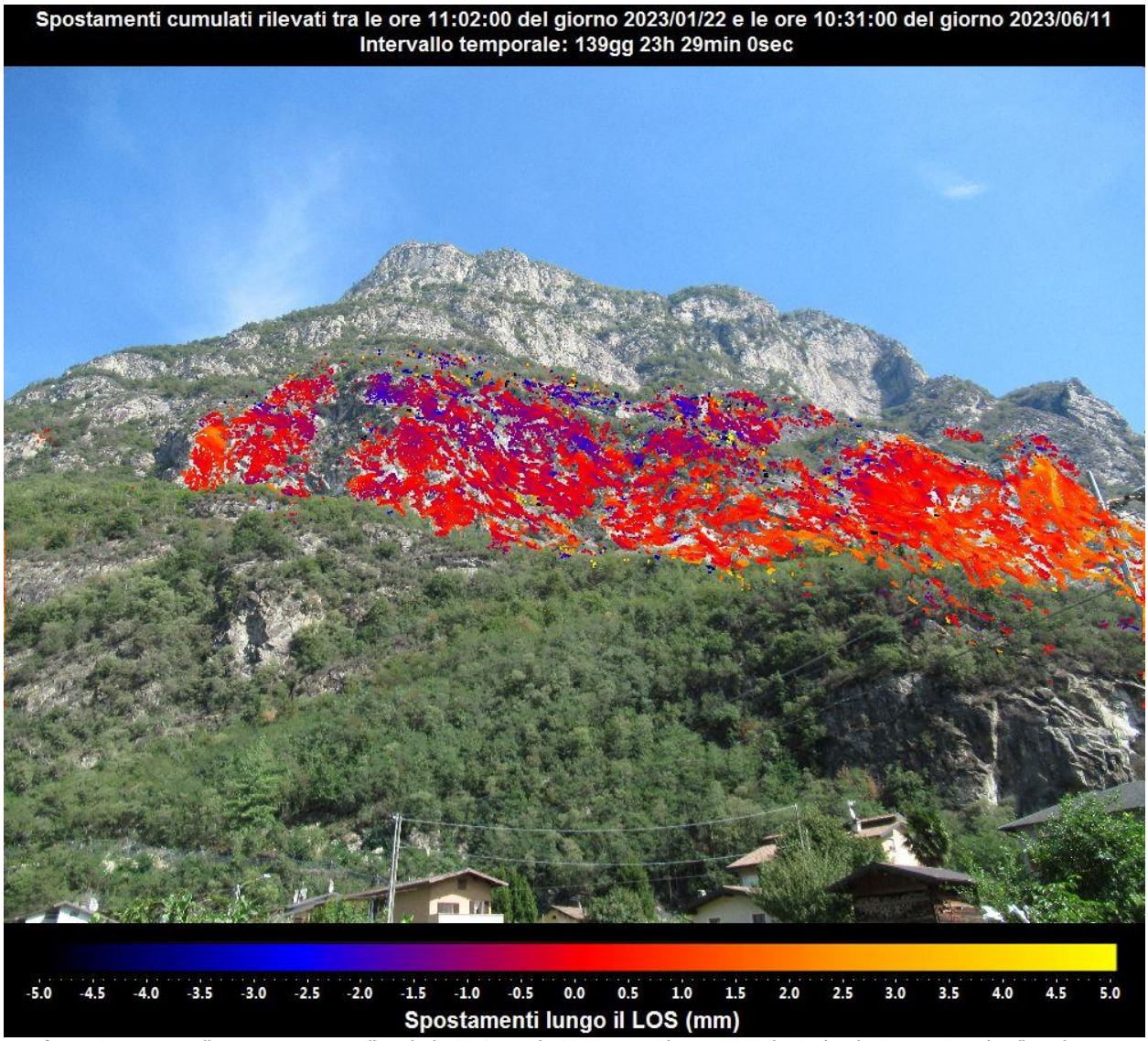


Figura 34: Mappa di spostamento per il periodo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023 (139 giorni 23 ore e 29 minuti) proiettata sull'immagine ottica del versante. Postazione Ovest, sottofinestra Near.

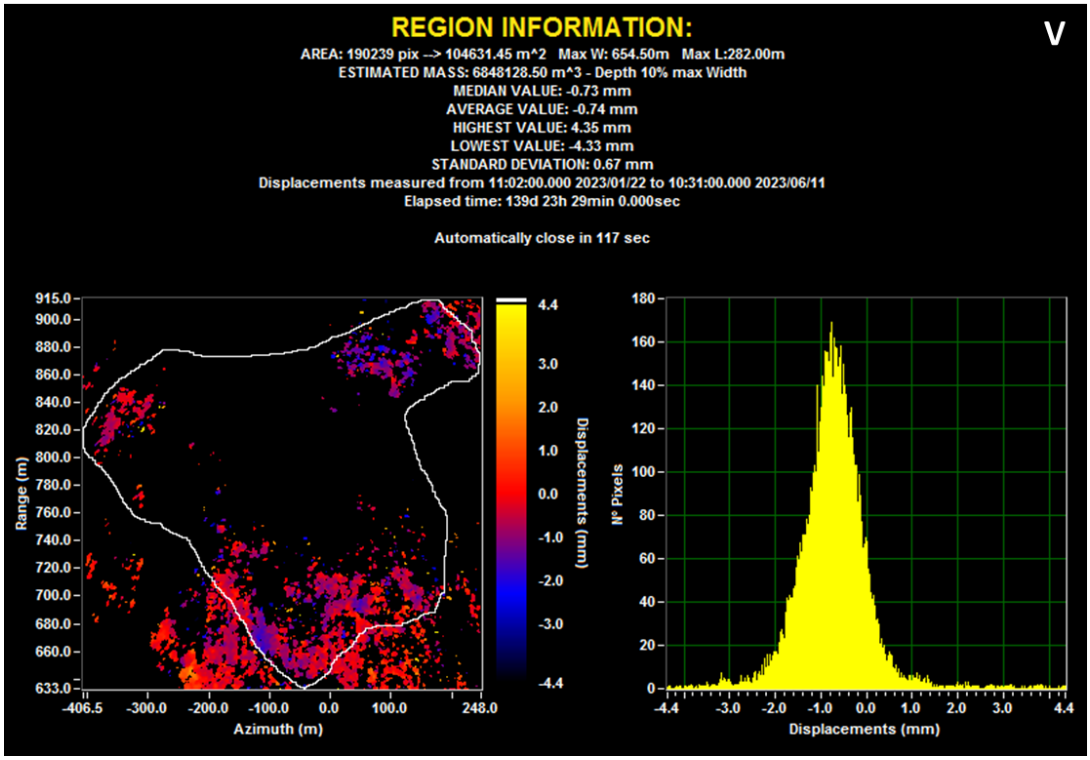
Dall'analisi sul lungo termine eseguita tra la campagna di Gennaio 2023 e la campagna di Giugno 2023 per la postazione *Ovest Near* si rileva la presenza di alcune aree in movimento.

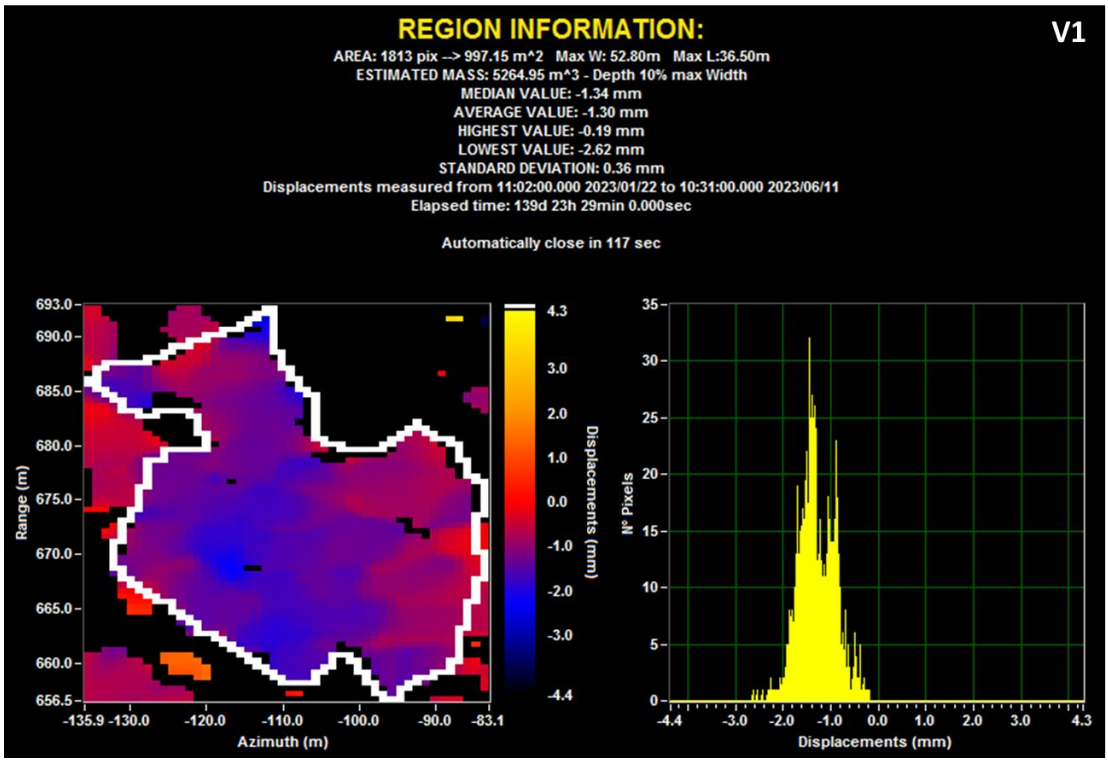
Tra queste, le aree G, L, F ed I, che erano già state individuate nel report precedente, nell'intervallo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023 riportano i seguenti valori di spostamento: G=+0.5 mm, L=+1.6 mm, F=+1.7 mm e I=1.0 mm. L'area G, in particolare, corrisponde al pilastro roccioso sopra località Foppa che era stato individuato come particolare oggetto di monitoraggio. La zona più ampia individuata con la linea tratteggiata verde corrisponde invece ad una zona in movimento di dimensioni molto maggiori rispetto a quelle appena descritte ed è identificata dalla lettera "V". Quest'area presenta degli spostamenti differenziali medi di circa -0.7 mm nel periodo analizzato di circa 139 giorni. Osservando la mappa 3D si

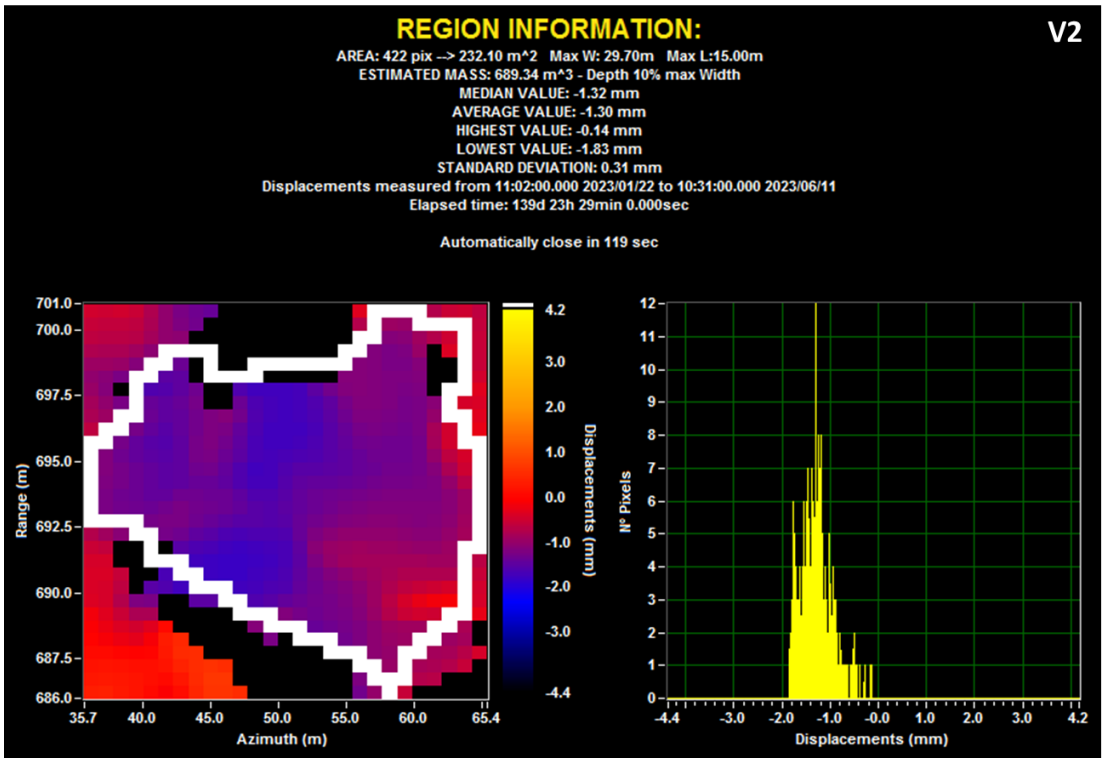
può notare come quest'area coincida principalmente con la parte parzialmente vegetata del versante, da quota 556 m a quota 752 m, e solo in piccola parte con la parte superiore delle pareti verticali sui cui emergono le altre aree in movimento. All'interno della vasta area V si riscontrano delle sotto-aree che presentano movimenti differenziali (V1, V2, V3 e V4). Anche queste aree non erano state individuate nei report precedenti e nell'intervallo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023 riportano i seguenti valori di spostamento: V1=-1.3 mm, V2=-1.3 mm, V3=-1.4 mm e V4=-1.7 mm. Di seguito vengono mostrati i risultati dell'analisi statistica condotta per tutte le aree in movimento e su cui viene indicata inoltre l'ampiezza di ogni area espressa come m^2 calcolati in coordinate radar (Figura 35).

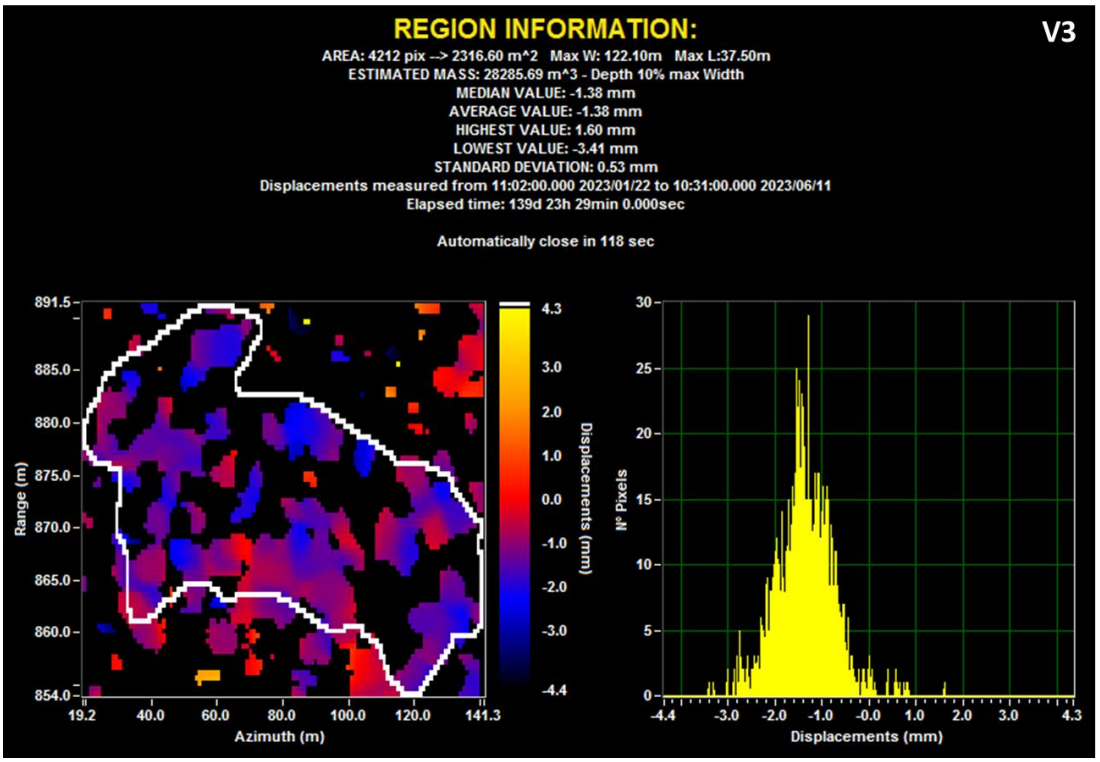
Nella parte Est della mappa degli spostamenti al di sotto dell'area F, si osserva una zona di colore giallo/arancio (linea bianca tratteggiata in Figura 31) che indica la presenza di un effetto atmosferico non completamente compensato e che quindi non è da intendersi come reale spostamento della parete rocciosa.

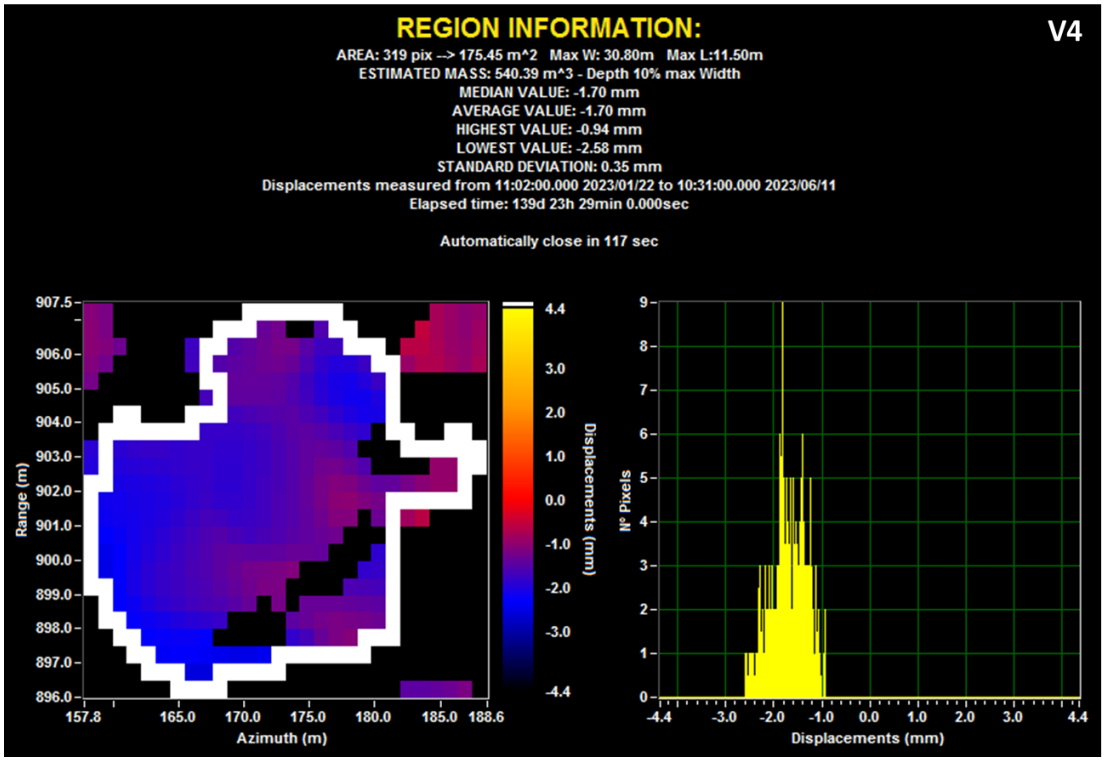
Si rimanda al paragrafo "analisi riassuntiva" per le considerazioni sui risultati ottenuti.

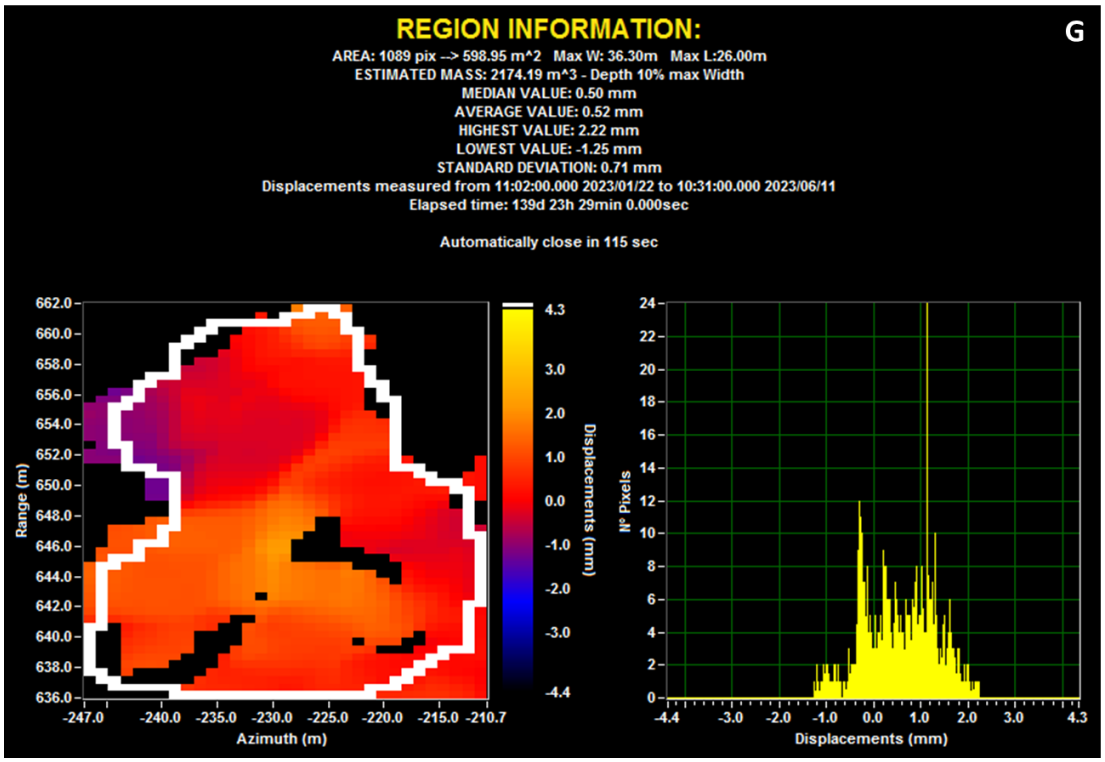


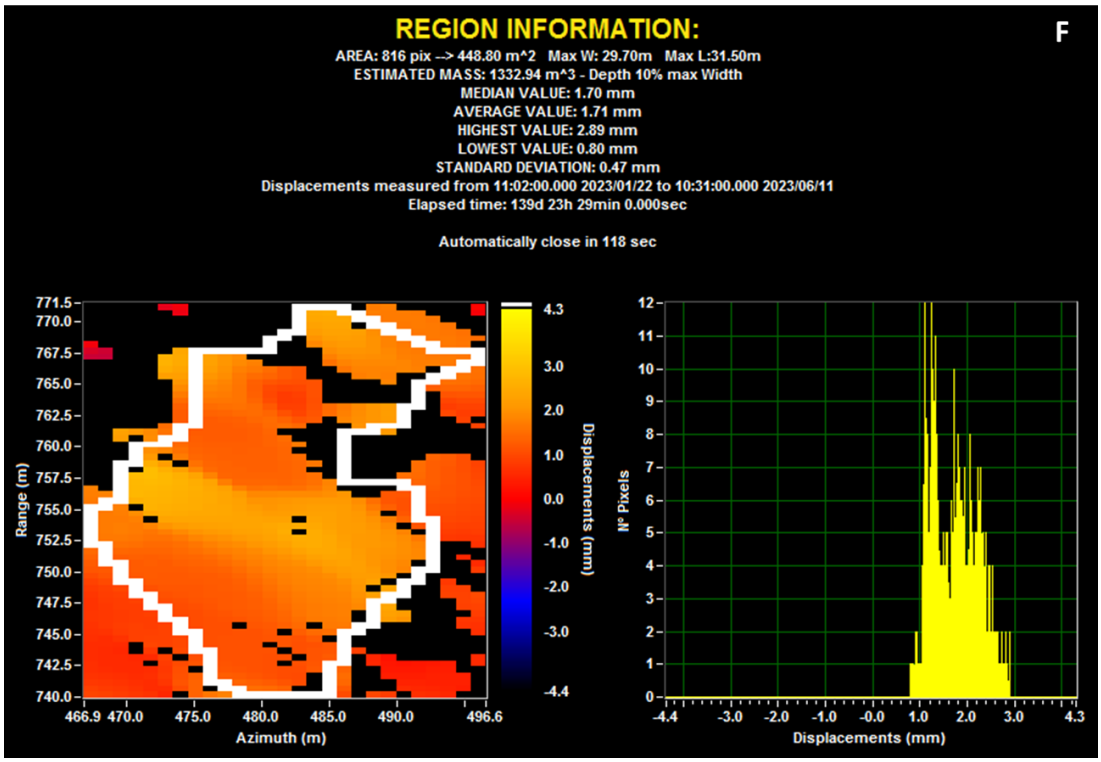

REGION INFORMATION:
V1
AREA: 1813 pix --> 997.15 m^2 Max W: 52.80m Max L:36.50m
ESTIMATED MASS: 5264.95 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: -1.34 mm
AVERAGE VALUE: -1.30 mm
HIGHEST VALUE: -0.19 mm
LOWEST VALUE: -2.62 mm
STANDARD DEVIATION: 0.36 mm
Displacements measured from 11:02:00.000 2023/01/22 to 10:31:00.000 2023/06/11
Elapsed time: 139d 23h 29min 0.000sec
Automatically close in 117 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
Nº Pixels
Displacements (mm)


REGION INFORMATION:
V2
AREA: 422 pix --> 232.10 m^2 Max W: 29.70m Max L:15.00m
ESTIMATED MASS: 689.34 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: -1.32 mm
AVERAGE VALUE: -1.30 mm
HIGHEST VALUE: -0.14 mm
LOWEST VALUE: -1.83 mm
STANDARD DEVIATION: 0.31 mm
Displacements measured from 11:02:00.000 2023/01/22 to 10:31:00.000 2023/06/11
Elapsed time: 139d 23h 29min 0.000sec
Automatically close in 119 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
Nº Pixels
Displacements (mm)


REGION INFORMATION:
V3
AREA: 4212 pix --> 2316.60 m^2 Max W: 122.10m Max L:37.50m
ESTIMATED MASS: 28285.69 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: -1.38 mm
AVERAGE VALUE: -1.38 mm
HIGHEST VALUE: 1.60 mm
LOWEST VALUE: -3.41 mm
STANDARD DEVIATION: 0.53 mm
Displacements measured from 11:02:00.000 2023/01/22 to 10:31:00.000 2023/06/11
Elapsed time: 139d 23h 29min 0.000sec
Automatically close in 118 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
Nº Pixels
Displacements (mm)


REGION INFORMATION:
V4
AREA: 319 pix --> 175.45 m^2 Max W: 30.80m Max L:11.50m
ESTIMATED MASS: 540.39 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: -1.70 mm
AVERAGE VALUE: -1.70 mm
HIGHEST VALUE: -0.94 mm
LOWEST VALUE: -2.58 mm
STANDARD DEVIATION: 0.35 mm
Displacements measured from 11:02:00.000 2023/01/22 to 10:31:00.000 2023/06/11
Elapsed time: 139d 23h 29min 0.000sec
Automatically close in 117 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
Nº Pixels
Displacements (mm)


REGION INFORMATION:
G
AREA: 1089 pix --> 598.95 m^2 Max W: 36.30m Max L:26.00m
ESTIMATED MASS: 2174.19 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: 0.50 mm
AVERAGE VALUE: 0.52 mm
HIGHEST VALUE: 2.22 mm
LOWEST VALUE: -1.25 mm
STANDARD DEVIATION: 0.71 mm
Displacements measured from 11:02:00.000 2023/01/22 to 10:31:00.000 2023/06/11
Elapsed time: 139d 23h 29min 0.000sec
Automatically close in 115 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
Nº Pixels
Displacements (mm)


REGION INFORMATION:
F
AREA: 816 pix --> 448.80 m^2 Max W: 29.70m Max L:31.50m
ESTIMATED MASS: 1332.94 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: 1.70 mm
AVERAGE VALUE: 1.71 mm
HIGHEST VALUE: 2.89 mm
LOWEST VALUE: 0.80 mm
STANDARD DEVIATION: 0.47 mm
Displacements measured from 11:02:00.000 2023/01/22 to 10:31:00.000 2023/06/11
Elapsed time: 139d 23h 29min 0.000sec
Automatically close in 118 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
Nº Pixels
Displacements (mm)

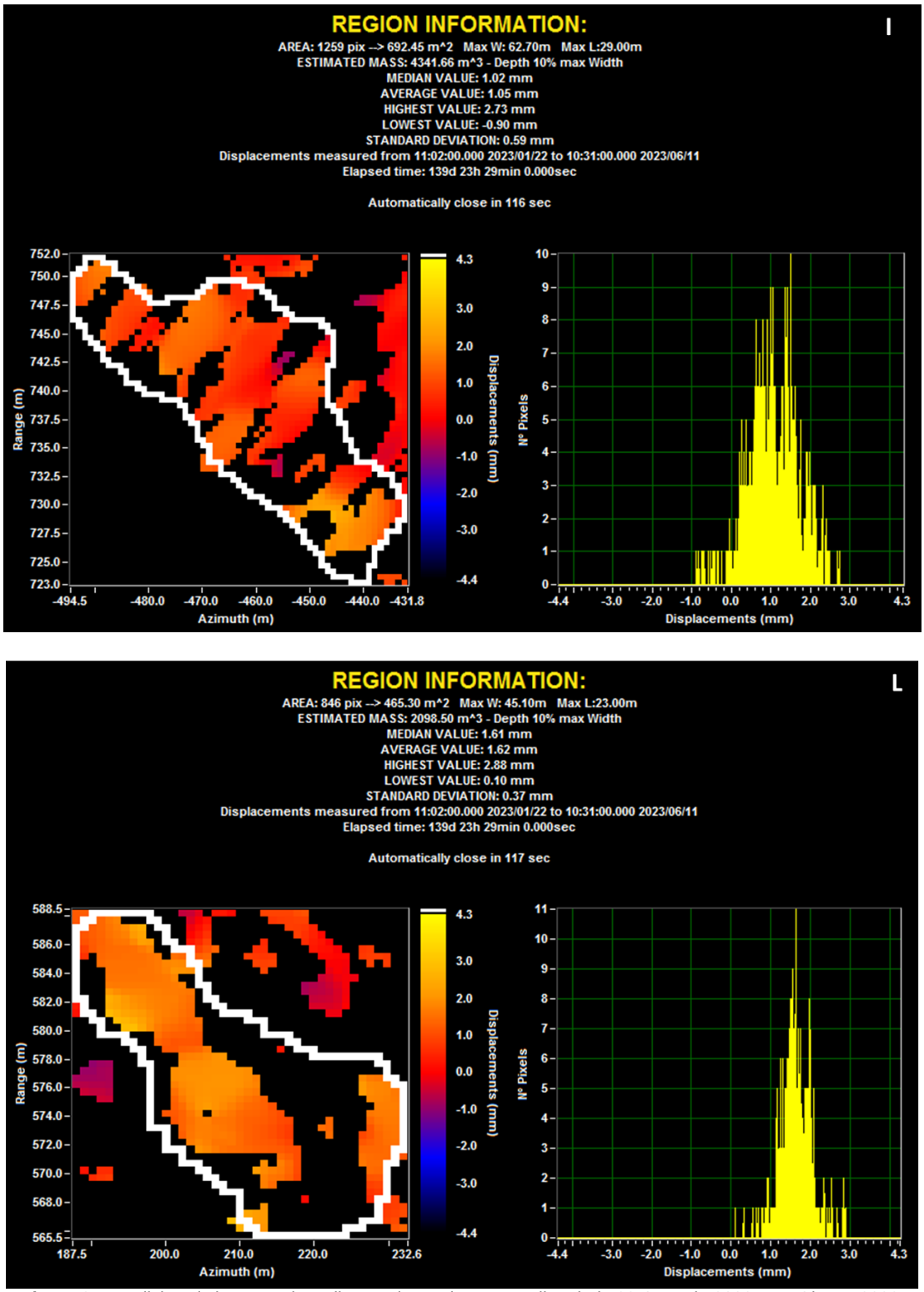


Figura 35: Analisi statistica eseguita sulle aree in movimento per il periodo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023. Postazione Ovest, sottofinestra Near.

Analisi per il periodo 22 Maggio 2022 – 11 Giugno 2023

Di seguito vengono presentati i risultati ottenuti per la postazione *Ovest Near* riferiti all'intervallo di tempo tra la I e la IV-2 campagna di misura (22 Maggio 2022 – 11 Giugno 2023) a copertura di circa un anno di monitoraggio.

Prima di mostrare le mappe di spostamento, ricordiamo che i giorni in cui sono state svolte le campagne di misura di Maggio 2022 e Giugno 2023 sono stati caratterizzati da uguali valori di temperatura pari a circa 20°C.

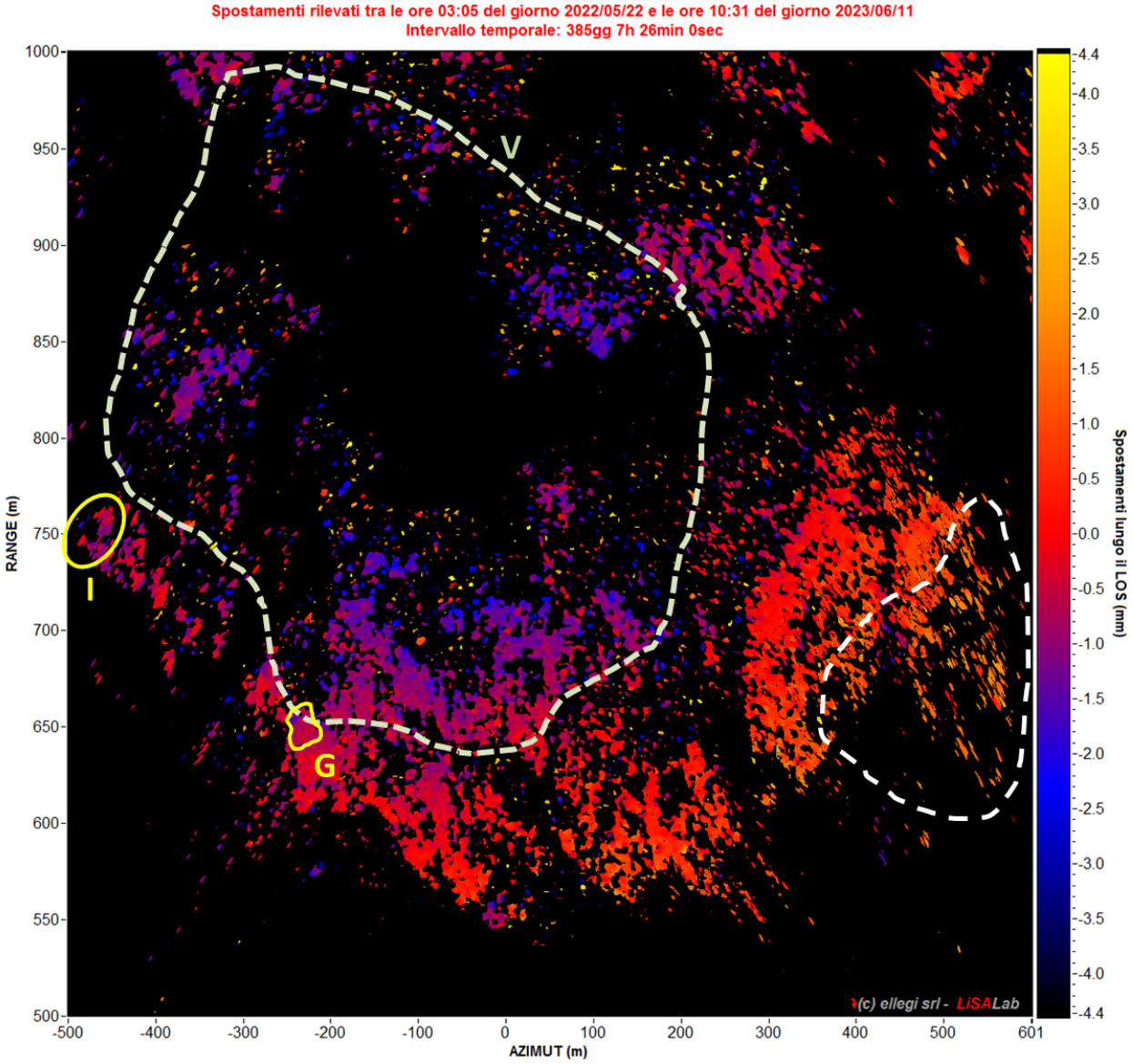


Figura 36: Mappa di spostamento 2D per il periodo 22 Maggio 2022 – 11 Giugno 2023 (385 giorni 7 ore e 26 minuti) – rappresentazione classica. Postazione Ovest, sottofinestra Near. In giallo sono identificate le aree in movimento. Con la linea tratteggiata verde è indicata l'area estesa in movimento. La linea tratteggiata bianca indica la presenza di un effetto atmosferico.

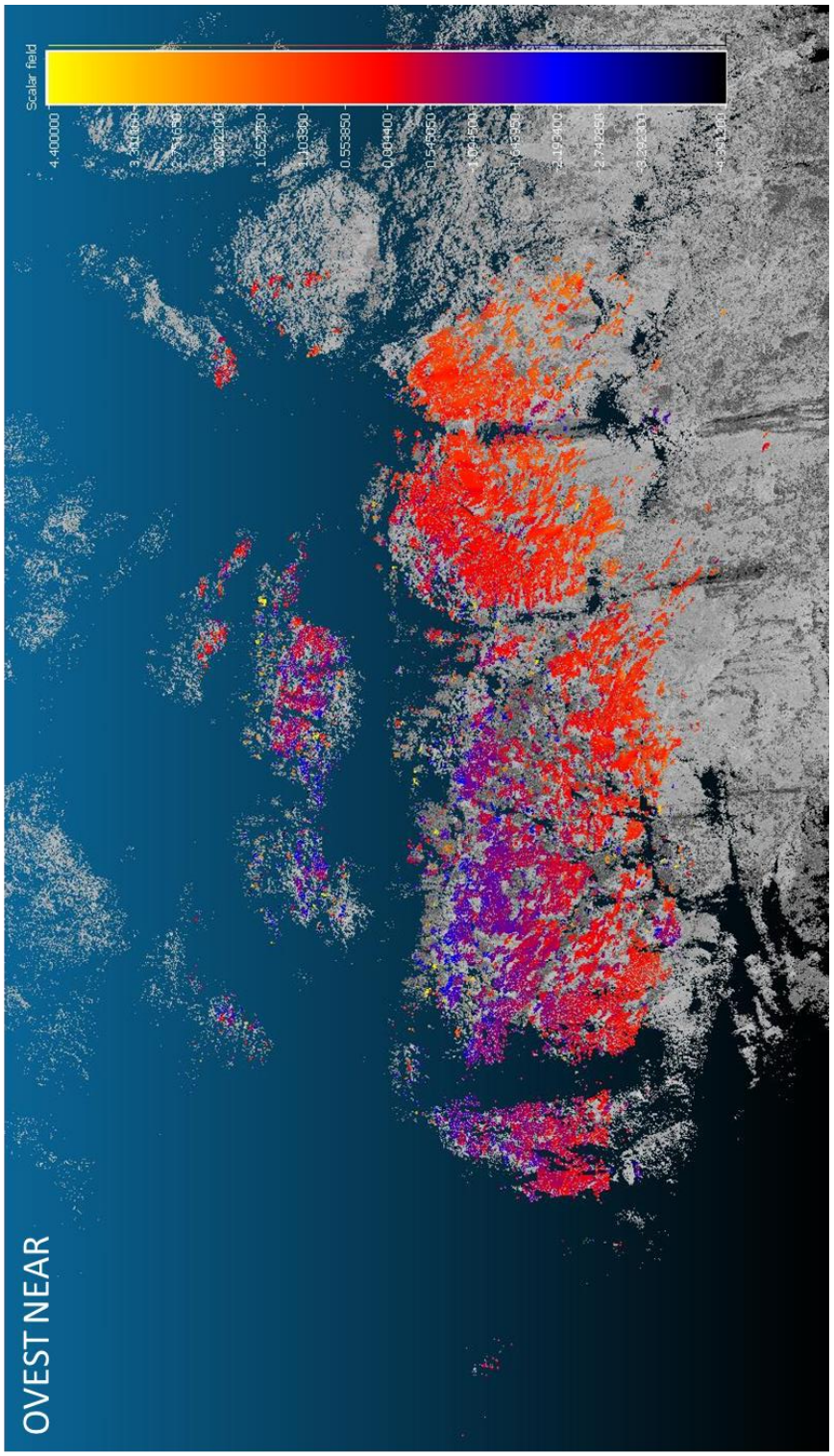


Figura 37: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 Maggio 2022 – 11 Giugno 2023 (385 giorni 7 ore e 26 minuti) su Point Cloud. Postazione Ovest, sottofinestra Near.

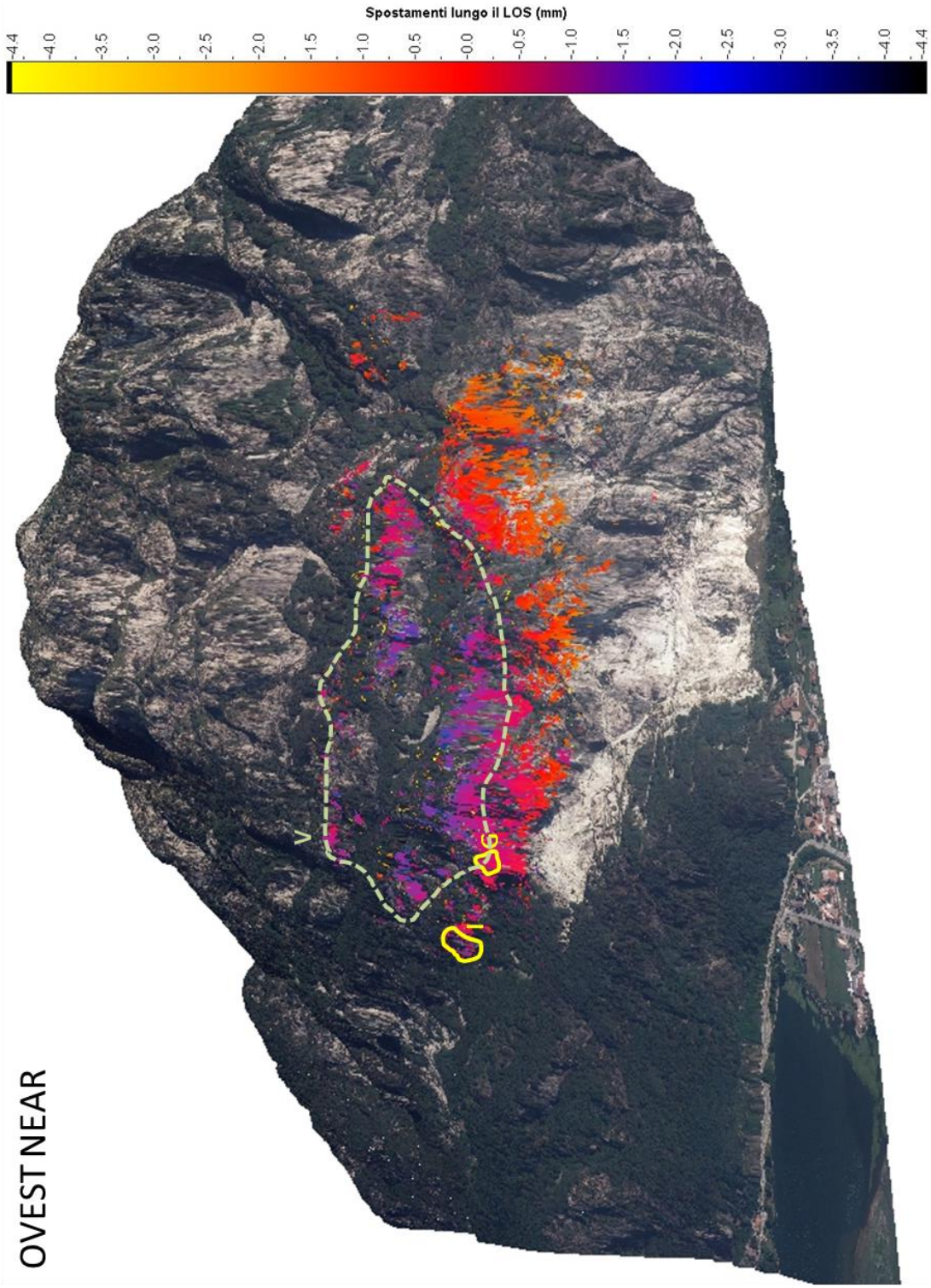


Figura 38: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 Maggio 2022 – 11 Giugno 2023 (385 giorni 7 ore e 26 minuti) su DEM del versante. Postazione Ovest, sottofinestra Near.

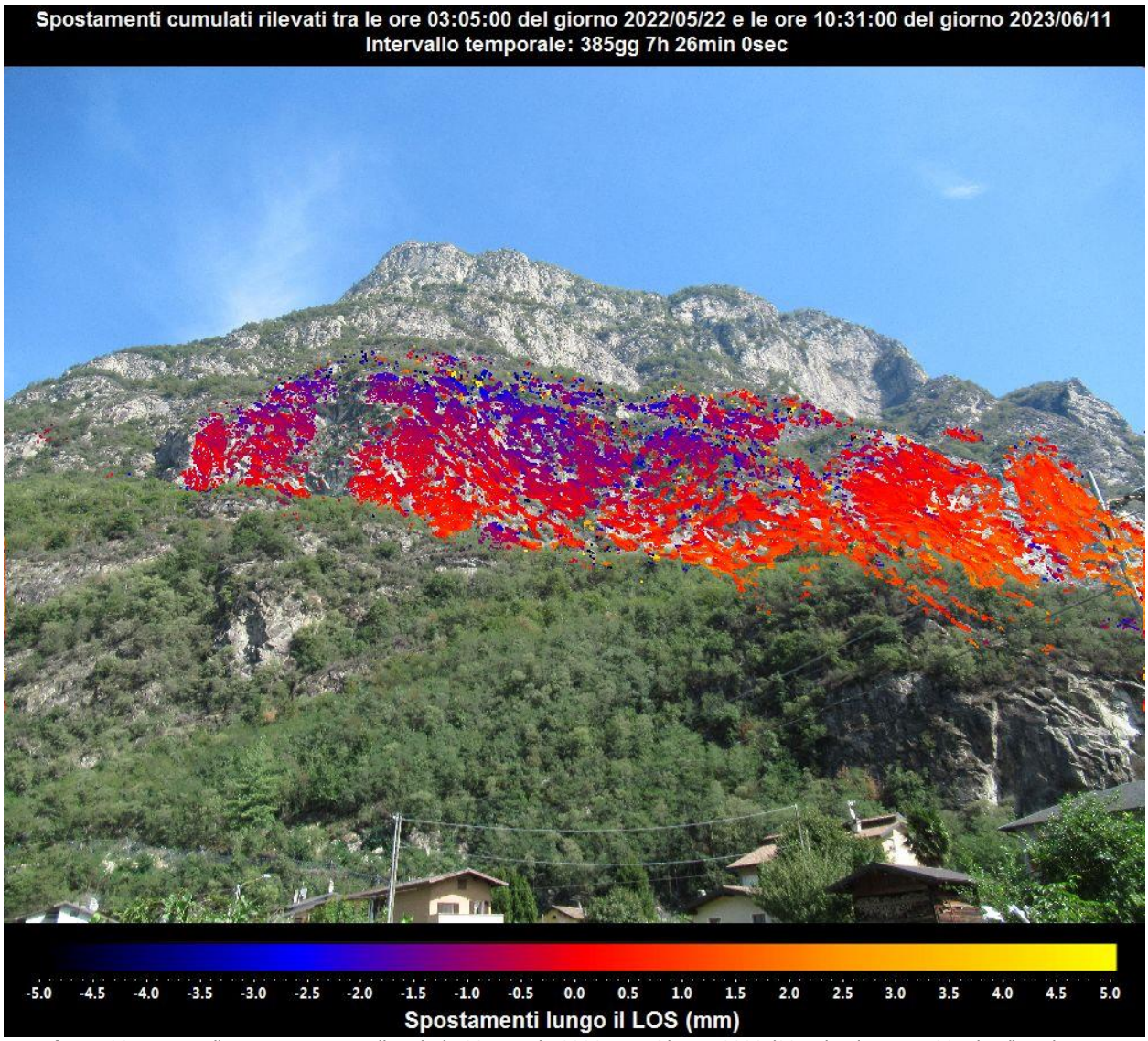


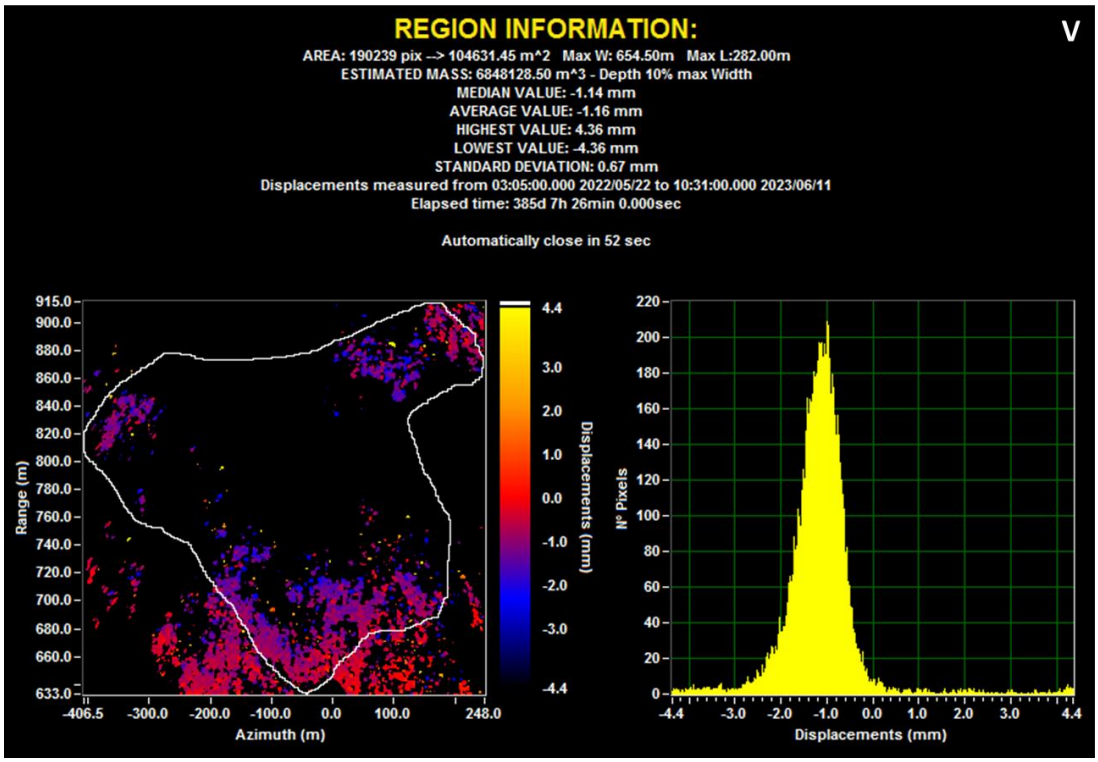
Figura 39: Mappa di spostamento per il periodo 22 Maggio 2022 – 11 Giugno 2023 (385 giorni 7 ore e 26 minuti) proiettata sull'immagine ottica del versante. Postazione Ovest, sottofinestra Near.

Dall'analisi sul lungo termine eseguita tra la campagna di Maggio 2022 e la campagna di Giugno 2023 per la postazione *Ovest Near* si osserva la permanenza di movimenti solo all'interno dell'area I e dell'area G, caratterizzate entrambe da spostamenti medi di circa -0.7 mm. Oltre a queste due aree, permane del movimento anche sull'area V, delimitata dalla linea tratteggiata verde in Figura 36. Questa area presenta spostamenti medi sull'intero periodo di monitoraggio (Maggio 2022 – Giugno 2023) di circa -1.2 mm in avvicinamento al sistema (valore ottenuto analizzando la stessa area riconosciuta nel periodo Gennaio 2023 – Giugno 2023). Nell'arco dell'intero anno, l'area in movimento V si estende da quota 556 m a quota 752 m. Le altre zone riconosciute in movimento nel periodo Gennaio – Giugno 2023 (area L ed area F) risultano ora ferme o con spostamenti medi al di sotto della precisione strumentale (< 0.5/0.7 mm). Le sotto-aree V1-V4 invece non risultano più distinguibili come movimenti differenziali rispetto alle zone

limitrofe interne all'area V. Di seguito vengono mostrati i risultati dell'analisi statistica condotta per le aree in movimento in cui viene inoltre riportata l'ampiezza di ogni area espressa come m^2 calcolati in coordinate radar (Figura 40).

Anche in questo intervallo temporale, nella parte Est della mappa degli spostamenti si osserva una zona di colore giallo/arancio (linea bianca tratteggiata in Figura 36) che corrisponde ad un effetto atmosferico non completamente compensato e che quindi non è da intendersi come reale spostamento della parete rocciosa.

Si rimanda al paragrafo "analisi riassuntiva" per le considerazioni sui risultati ottenuti.



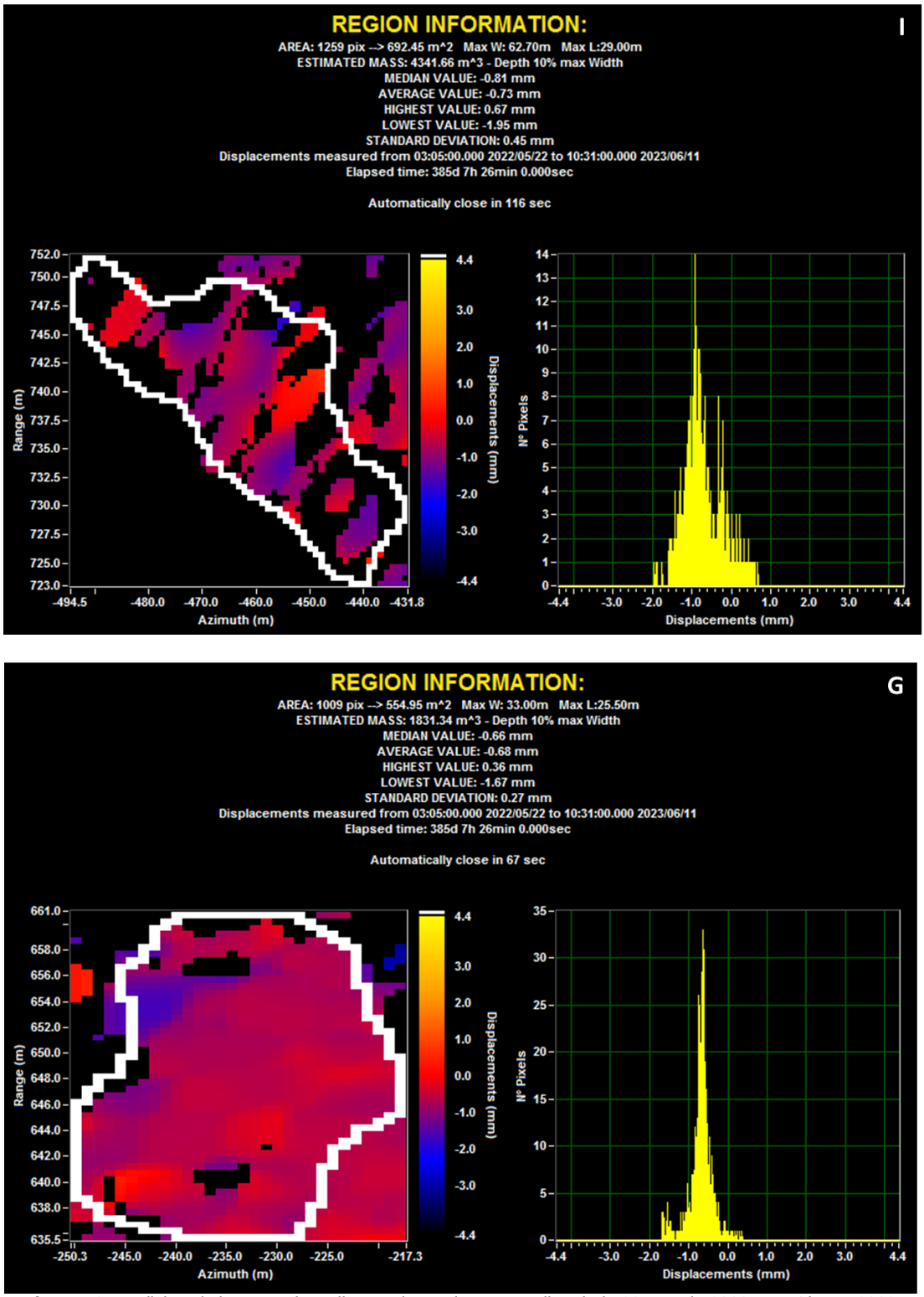


Figura 40: Analisi statistica eseguita sulle aree in movimento per il periodo 22 Maggio 2022 – 11 Giugno 2023. Postazione Ovest, sottofinestra Near.

Postazione Ovest Far

Analisi per il periodo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023

Di seguito vengono presentati i risultati ottenuti per la postazione *Ovest Far* riferiti all'intervallo di tempo tra la III e la IV-2 campagna di misura (22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023).
Prima di mostrare le mappe di spostamento, ricordiamo che tra il 22 Gennaio 2023 e l'11 Giugno 2023 si rileva un aumento di temperatura atmosferica media di circa 15/17°C.

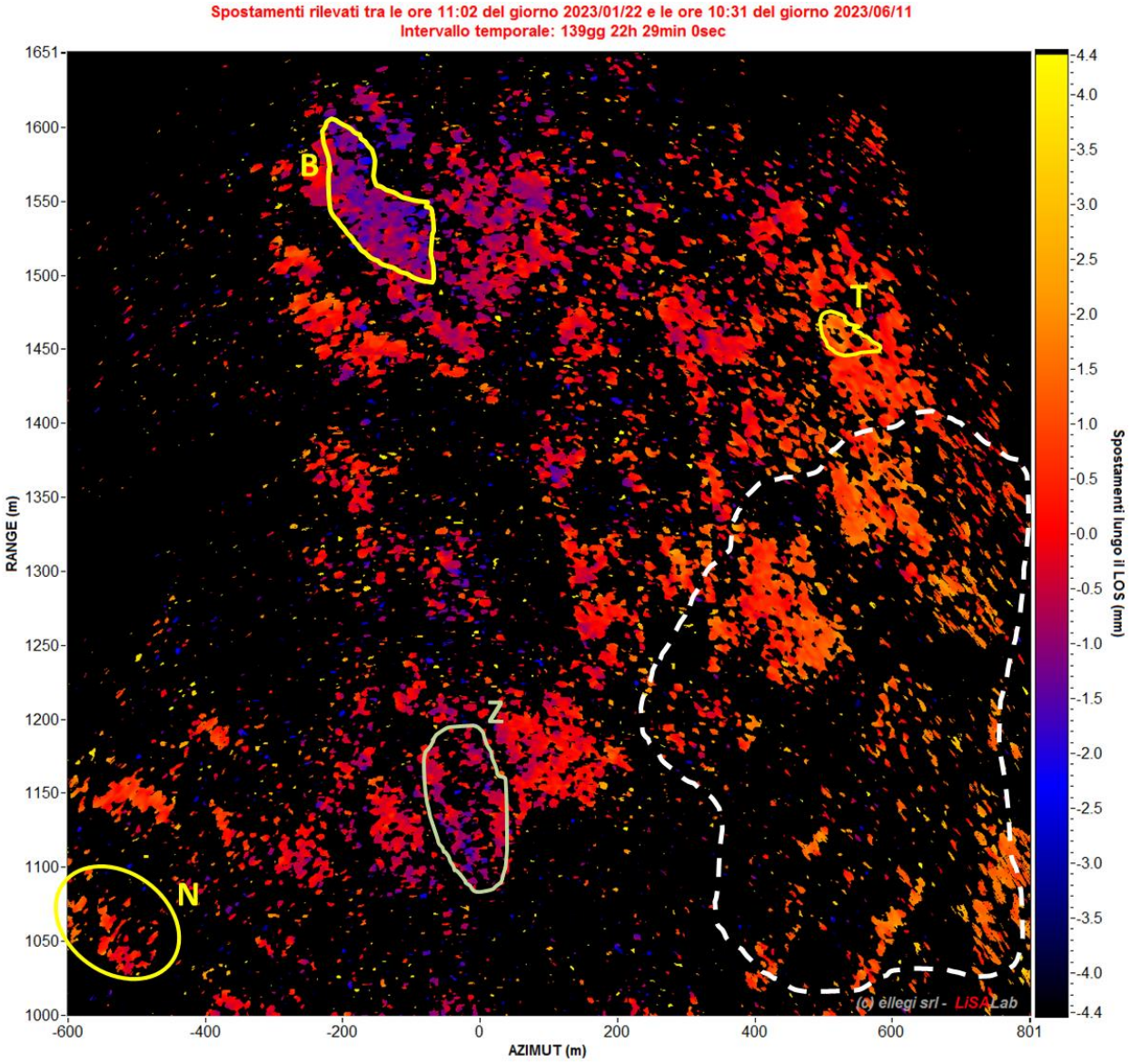


Figura 41: Mappa di spostamento 2D per il periodo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023 (139 giorni 22 ore e 29 minuti) – rappresentazione classica. Postazione Ovest, sottofinestra Far. In giallo e verde sono identificate le aree in movimento. La linea tratteggiata bianca indica la presenza di un effetto atmosferico.

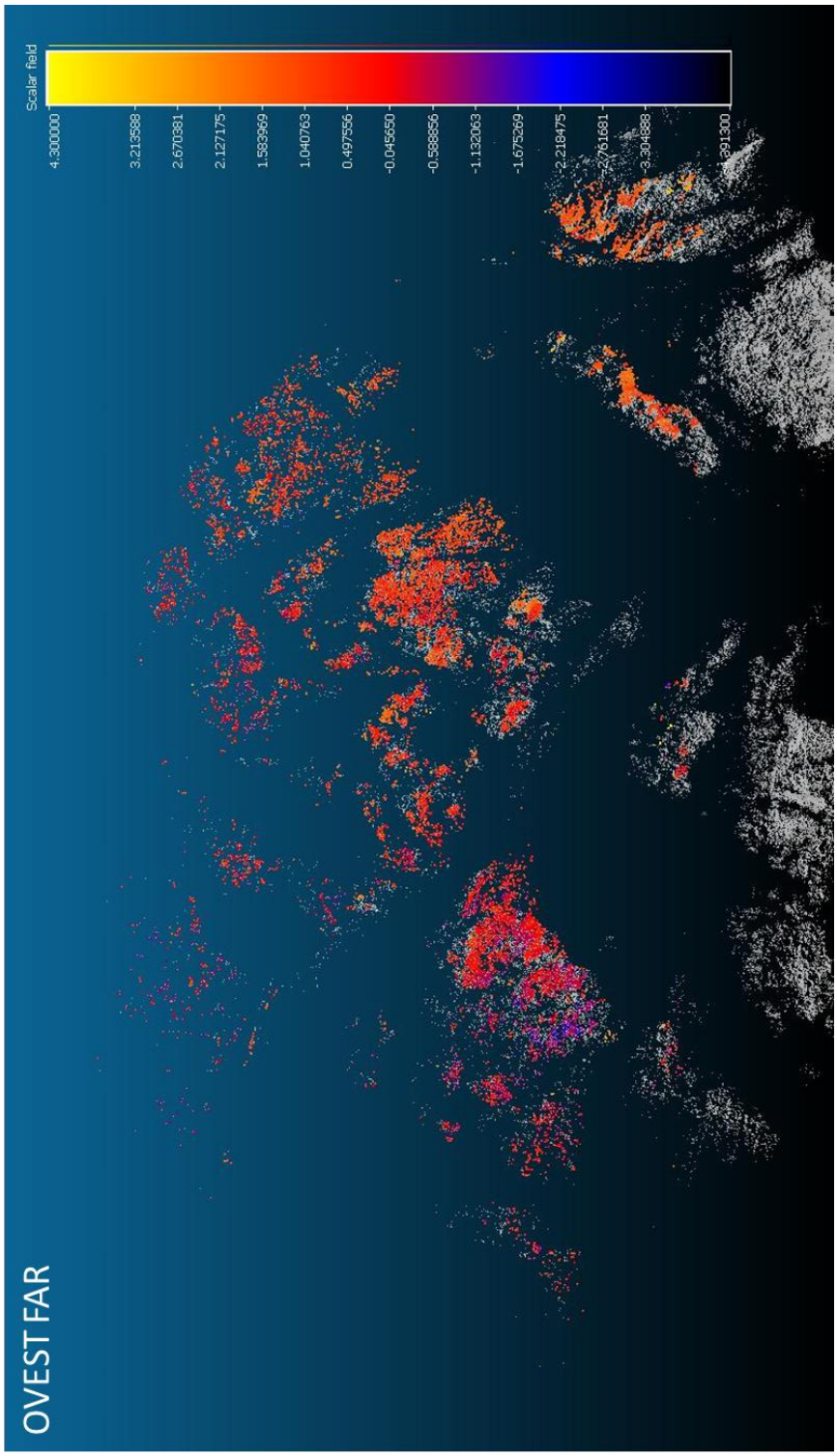


Figura 42: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023 (139 giorni 22 ore e 29 minuti) su Point Cloud. Postazione Ovest, sottofinestra Far.

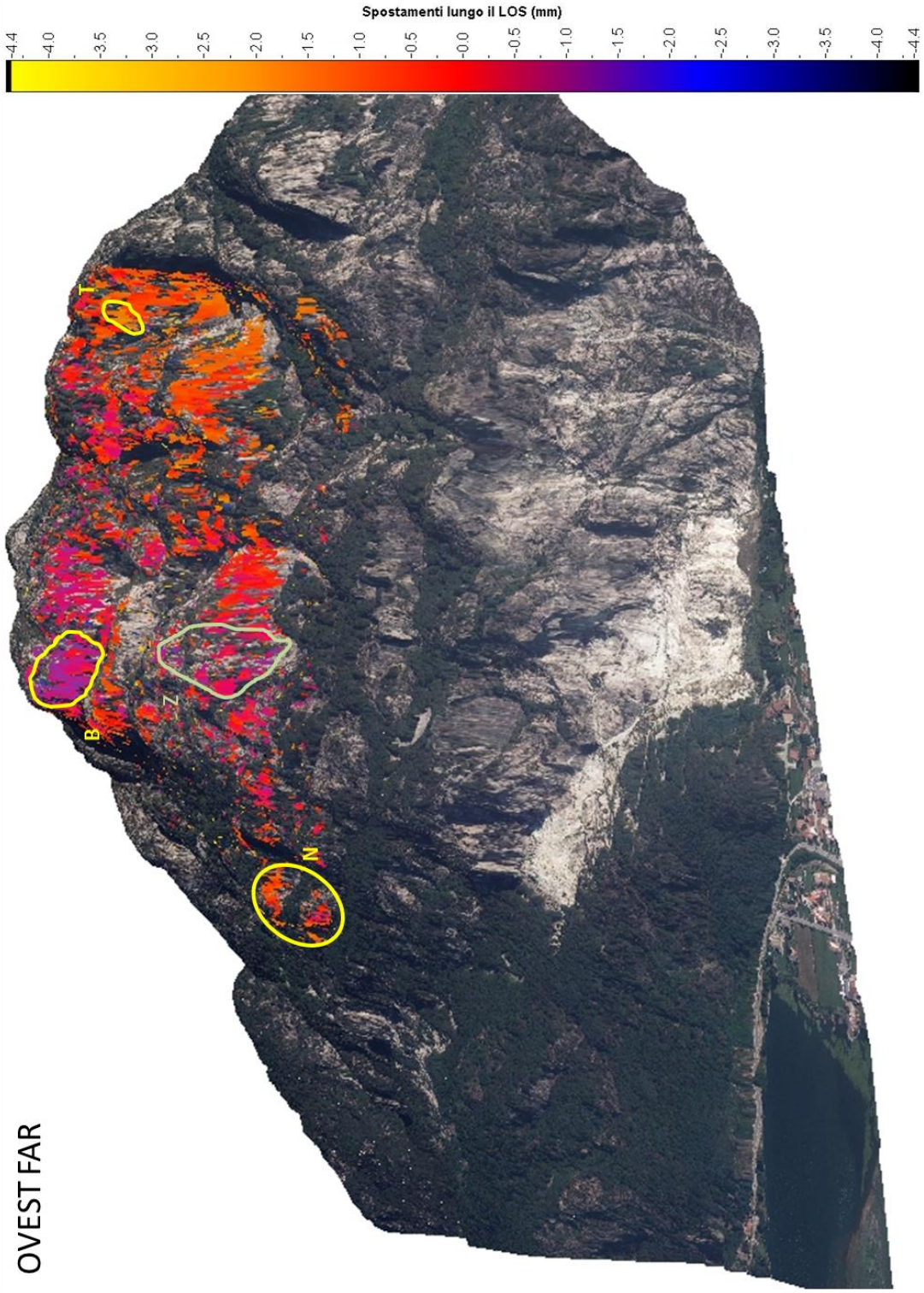


Figura 43: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023 (139 giorni 22 ore e 29 minuti) su DEM del versante. Postazione Ovest, sottofinestra Far.

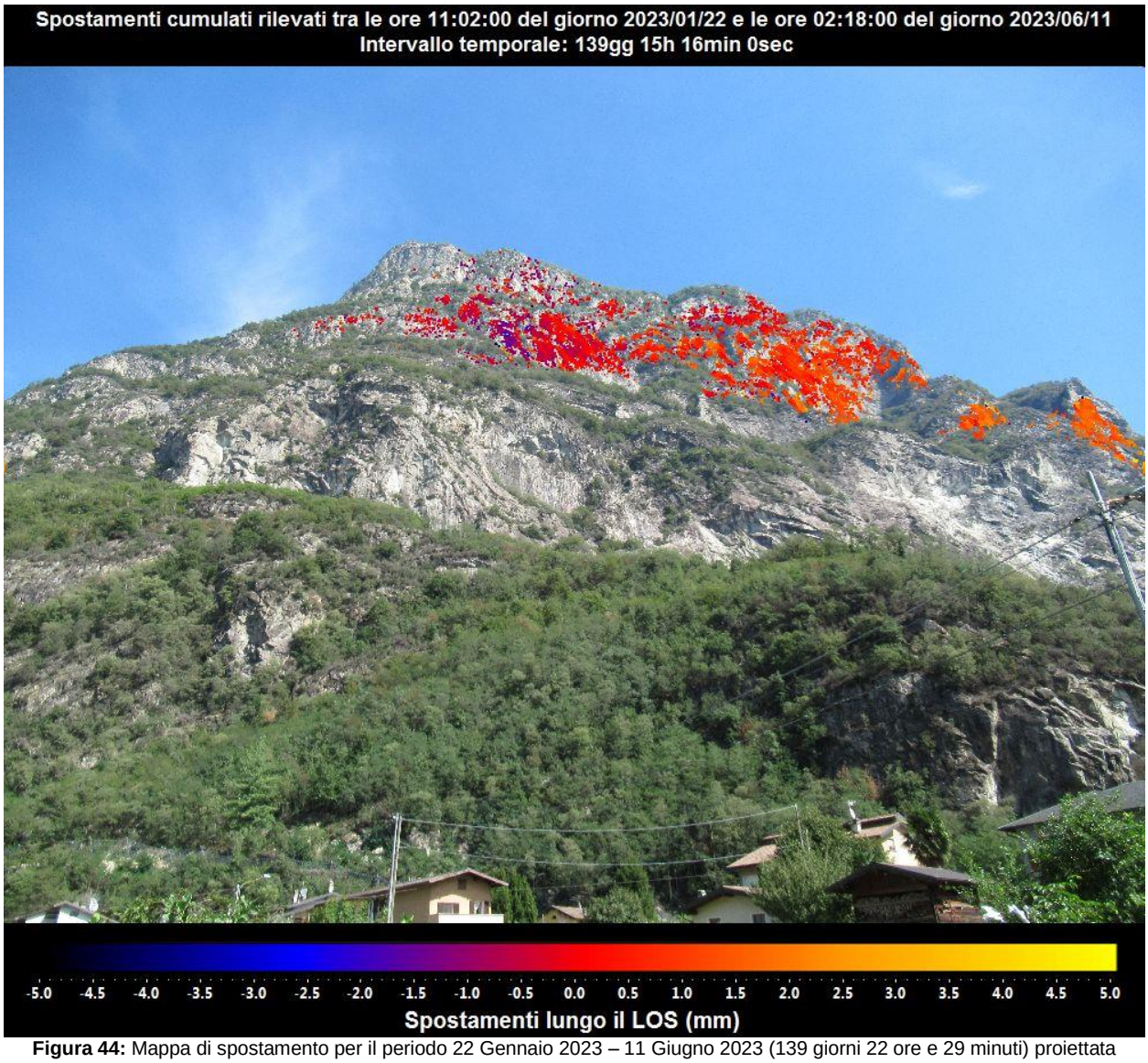


Figura 44: Mappa di spostamento per il periodo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023 (139 giorni 22 ore e 29 minuti) proiettata sull'immagine ottica del versante. Postazione Ovest, sottofinestra Far.

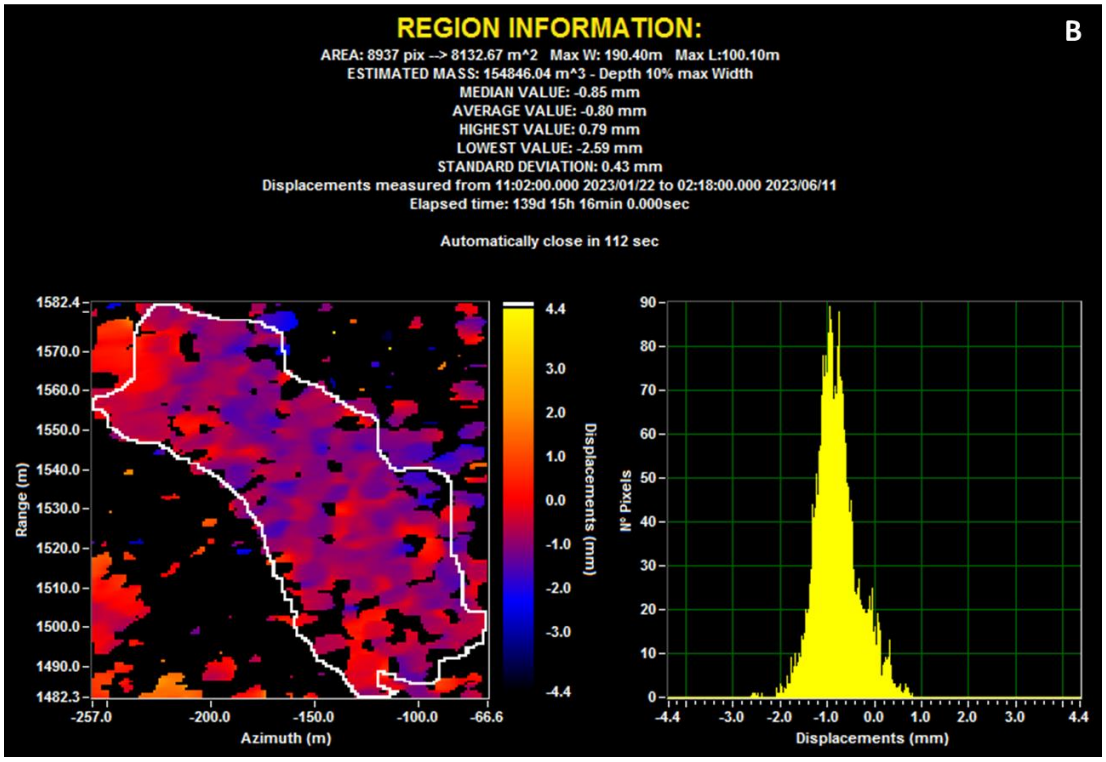
Dall'analisi sul lungo termine eseguita tra la campagna di Gennaio 2023 e la campagna di Giugno 2023 per la postazione *Ovest Far* si rilevata la presenza di alcune aree in movimento.

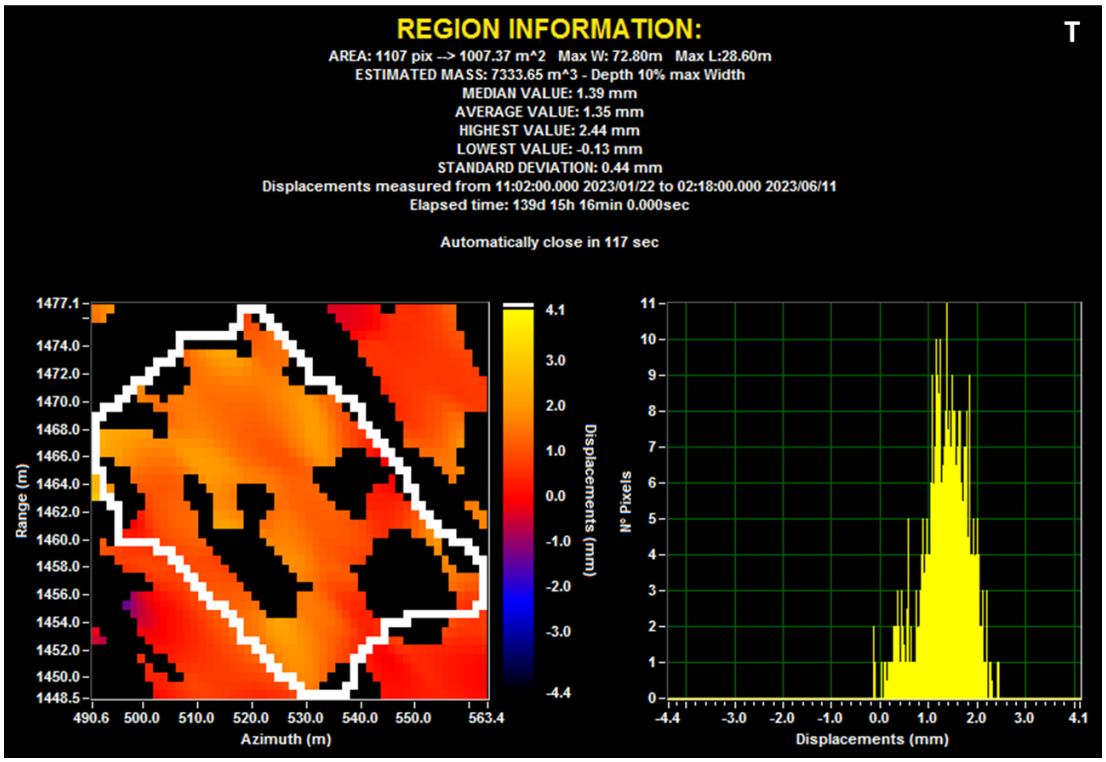
Tra queste, le aree B, T ed N erano già state individuate nel report precedente e nell'intervallo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023 riportano i seguenti valori di spostamento: B=-0.8 mm, T=+1.3 mm ed N=+0.5 mm. La zona Z, invece, non era stata individuata nei report precedenti e mostra spostamenti medi sul periodo analizzato di circa -0.7 mm. Di seguito vengono mostrati i risultati dell'analisi statistica condotta per le aree in movimento in cui viene ripotata anche l'ampiezza di ogni area espressa come m^2 calcolati in coordinate radar (Figura 45).

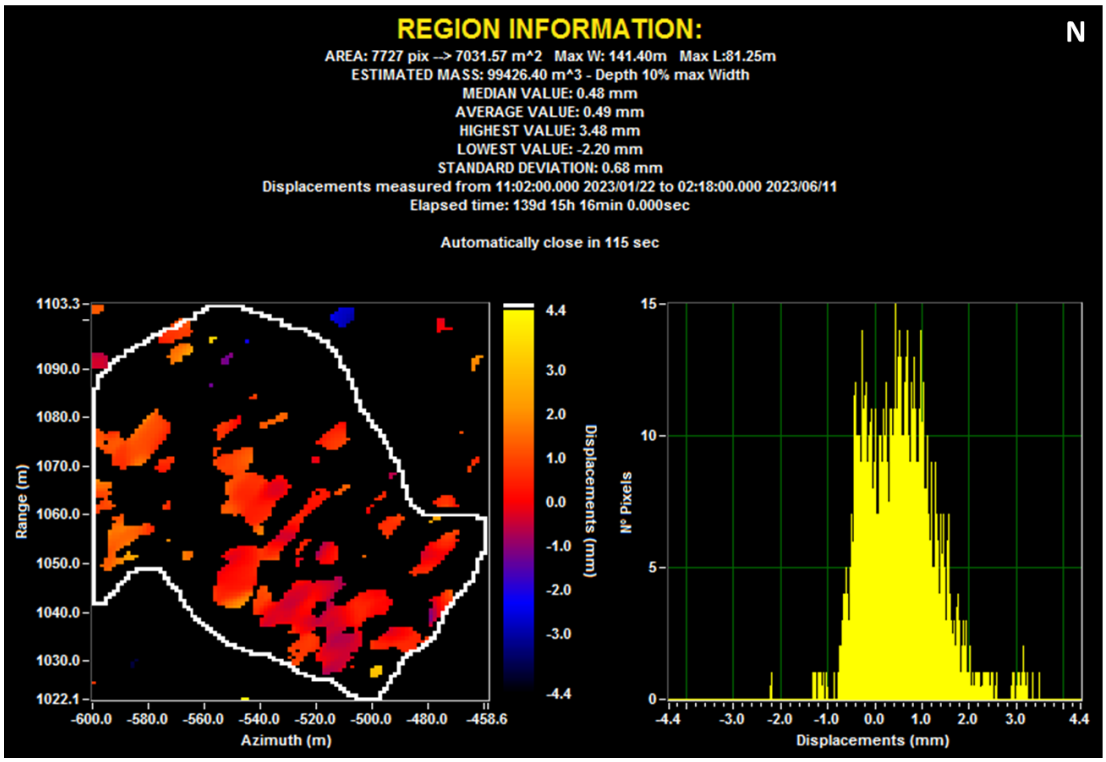
Nella parte Est della mappa degli spostamenti al di sotto dell'area T, si osserva una zona di colore giallo/arancio (linea bianca tratteggiata in Figura 41) che corrisponde ad un effetto atmosferico non

completamente compensato e che quindi non è da intendersi come reale spostamento della parete rocciosa.

Si rimanda al paragrafo “analisi riassuntiva” per le considerazioni sui risultati ottenuti.




REGION INFORMATION:
T
AREA: 1107 pix --> 1007.37 m^2 Max W: 72.80m Max L:28.60m
ESTIMATED MASS: 7333.65 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: 1.39 mm
AVERAGE VALUE: 1.35 mm
HIGHEST VALUE: 2.44 mm
LOWEST VALUE: -0.13 mm
STANDARD DEVIATION: 0.44 mm
Displacements measured from 11:02:00.000 2023/01/22 to 02:18:00.000 2023/06/11
Elapsed time: 139d 15h 16min 0.000sec
Automatically close in 117 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
Nº Pixels
Displacements (mm)


REGION INFORMATION:
N
AREA: 7727 pix --> 7031.57 m^2 Max W: 141.40m Max L:81.25m
ESTIMATED MASS: 99426.40 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: 0.48 mm
AVERAGE VALUE: 0.49 mm
HIGHEST VALUE: 3.48 mm
LOWEST VALUE: -2.20 mm
STANDARD DEVIATION: 0.68 mm
Displacements measured from 11:02:00.000 2023/01/22 to 02:18:00.000 2023/06/11
Elapsed time: 139d 15h 16min 0.000sec
Automatically close in 115 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
Nº Pixels
Displacements (mm)

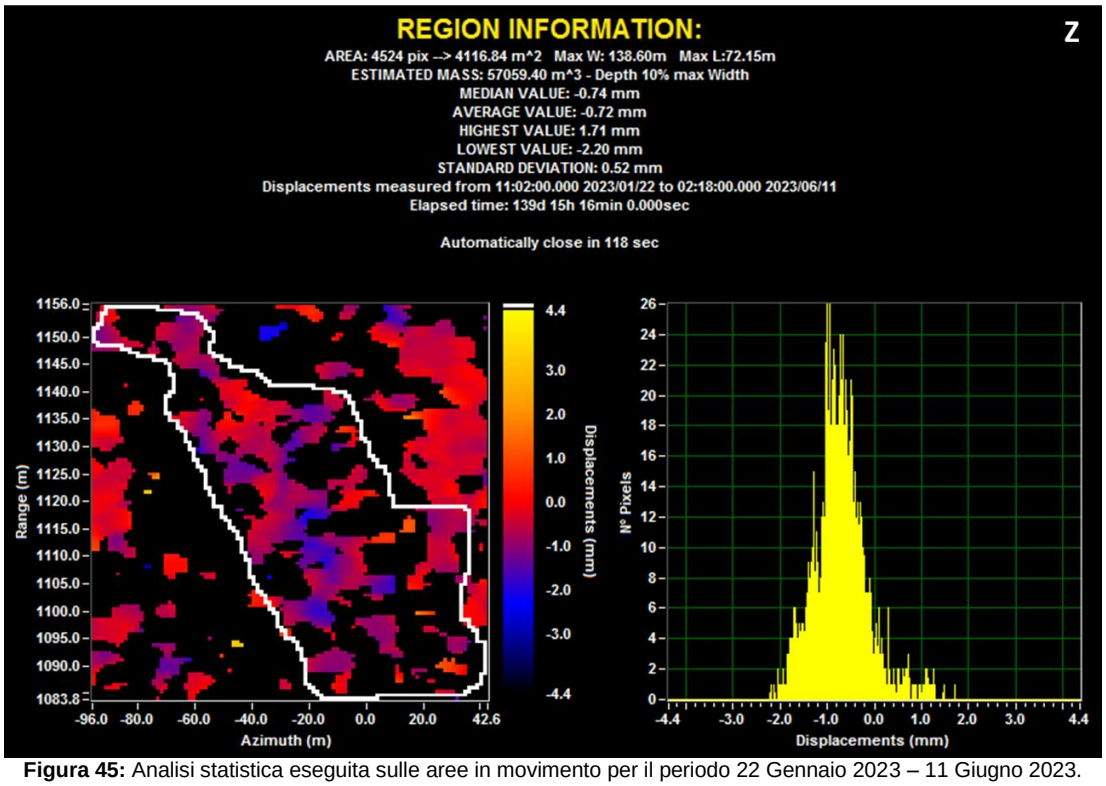


Figura 45: Analisi statistica eseguita sulle aree in movimento per il periodo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023. Postazione Ovest, sottofinestra Far.

Analisi per il periodo 22 Maggio 2022 – 11 Giugno 2023

Di seguito vengono presentati i risultati ottenuti per la postazione *Ovest Far* riferiti all'intervallo di tempo tra la I e la IV-2 campagna di misura (22 Maggio 2022 – 11 Giugno 2023).

Prima di mostrare le mappe di spostamento, ricordiamo che i giorni in cui sono state svolte le campagne di misura di Maggio 2022 e Giugno 2023 sono stati caratterizzati da uguali valori di temperatura pari a circa 20°C.

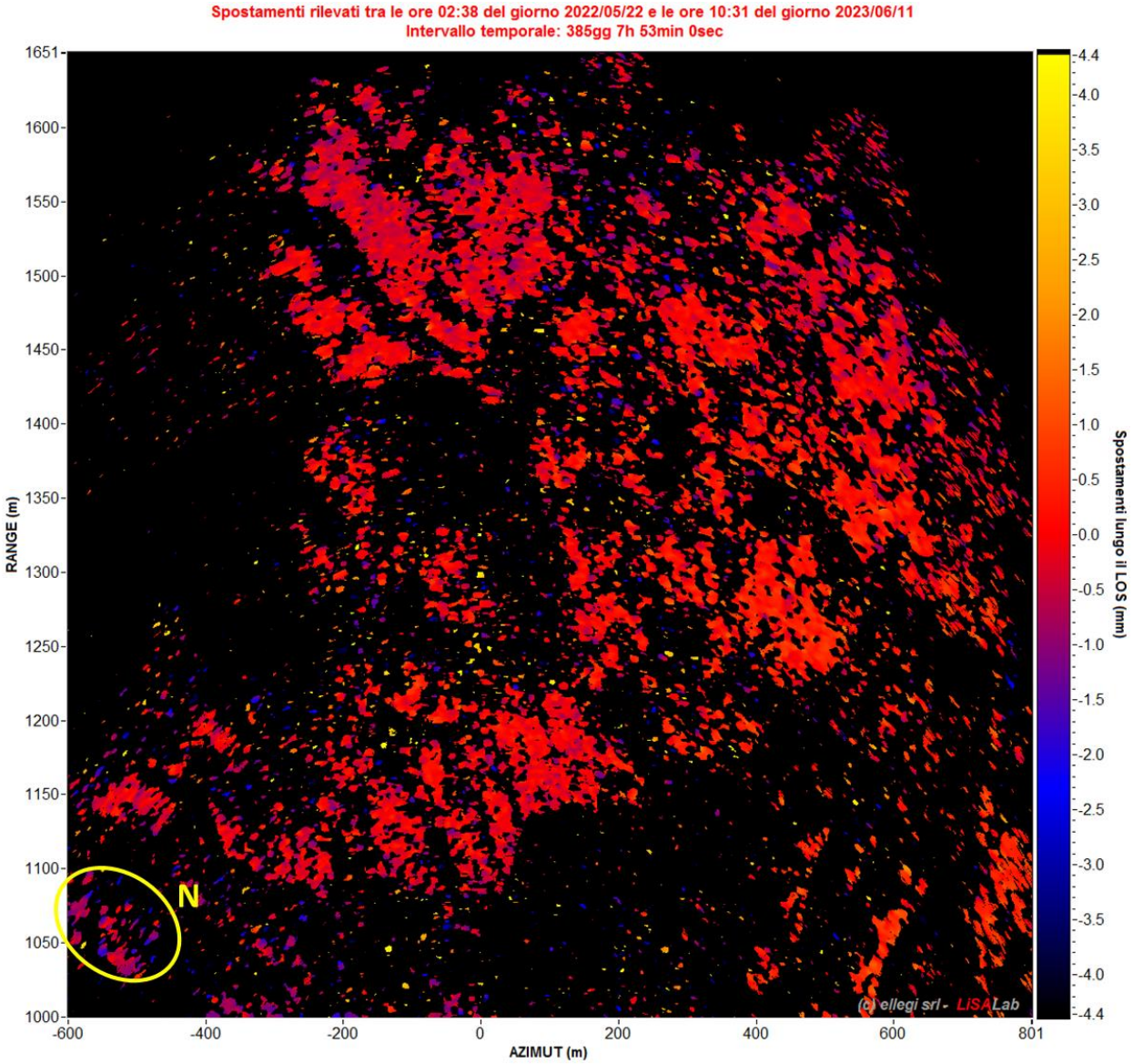


Figura 46: Mappa di spostamento 2D per il periodo 22 Maggio 2022 – 11 Giugno 2023 (385 giorni 7 ore e 53 minuti) – rappresentazione classica. Postazione Ovest, sottofinestra Far. In giallo sono identificate le aree in movimento.

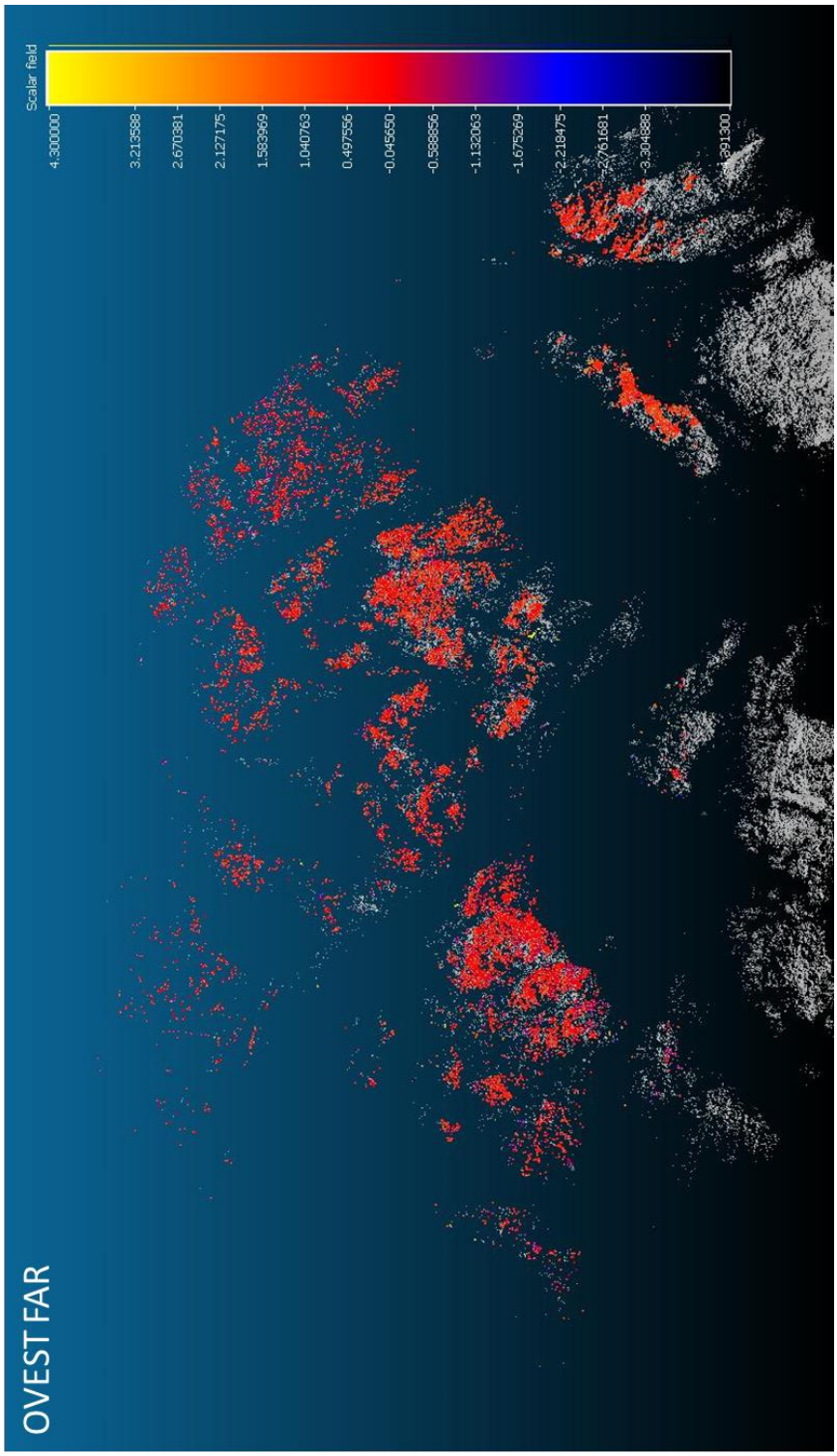


Figura 47: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 Maggio 2022 – 11 Giugno 2023 (385 giorni 7 ore e 53 minuti) su Point Cloud. Postazione Ovest, sottofinestra Far.

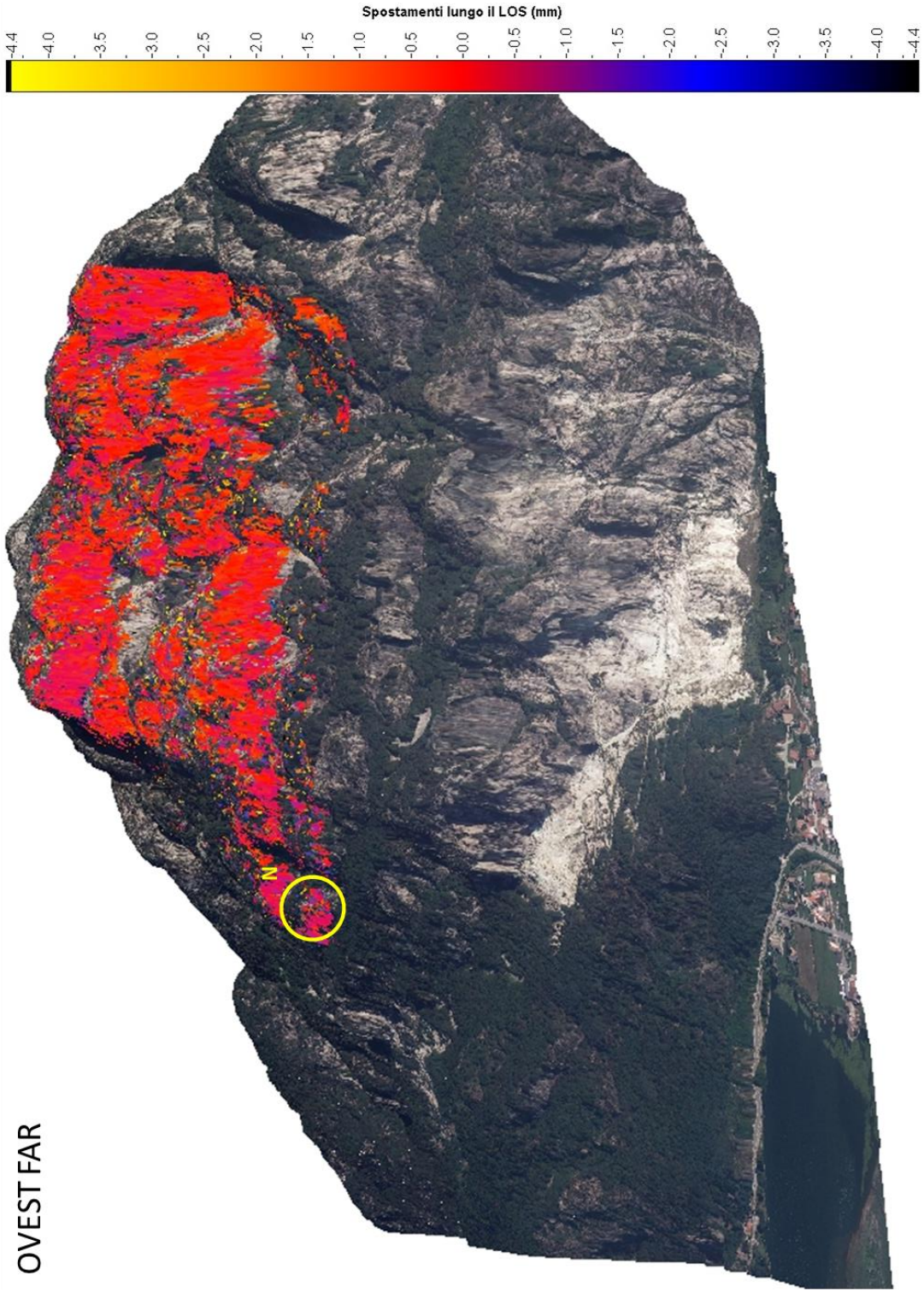


Figura 48: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 Maggio 2022 – 11 Giugno 2023 (385 giorni 7 ore e 53 minuti) su DEM del versante. Postazione Ovest, sottofinestra Far.

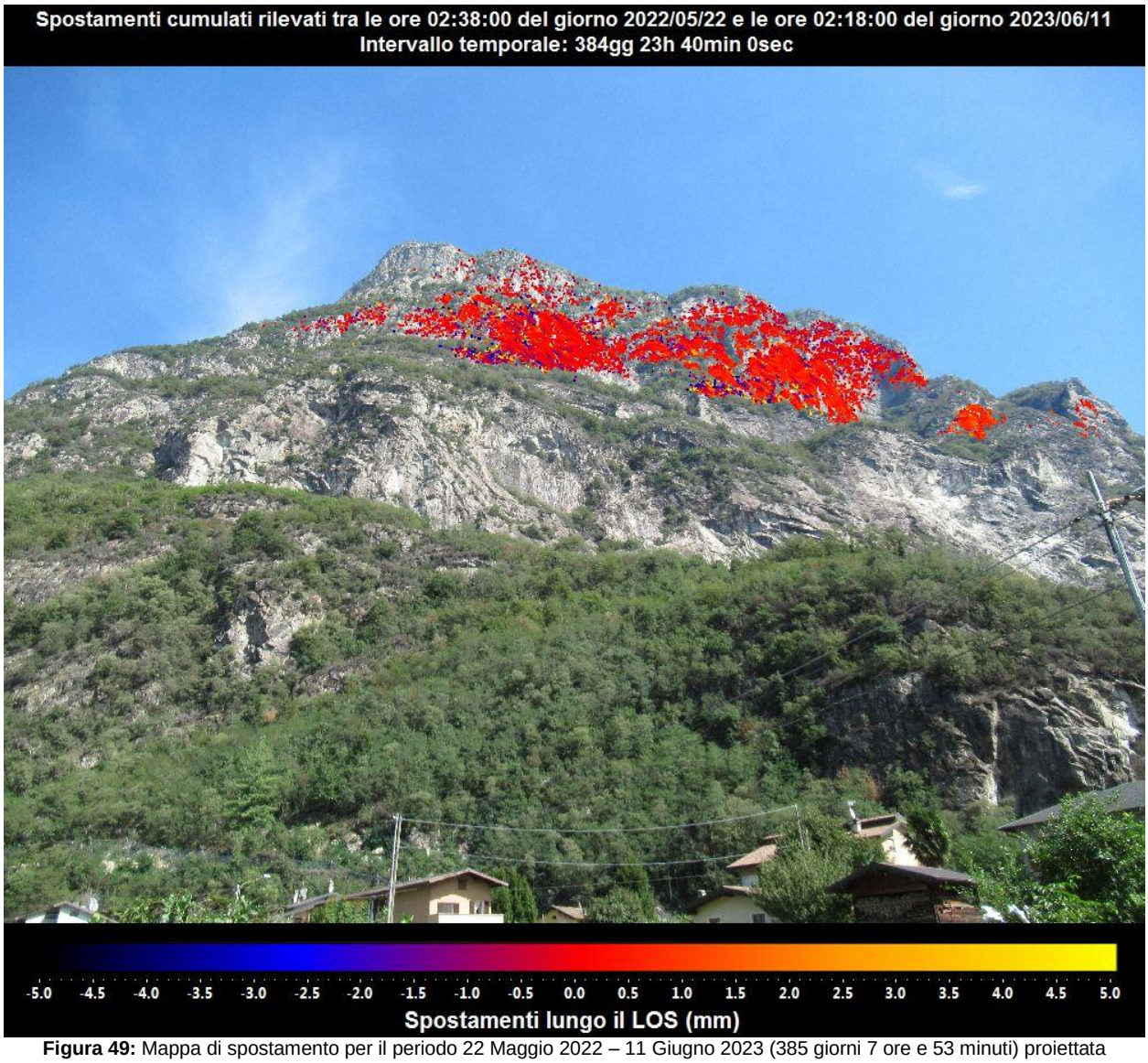


Figura 49: Mappa di spostamento per il periodo 22 Maggio 2022 – 11 Giugno 2023 (385 giorni 7 ore e 53 minuti) proiettata sull'immagine ottica del versante. Postazione Ovest, sottofinestra Far.

Dall'analisi sul lungo termine eseguita tra la campagna di Maggio 2022 e la campagna di Giugno 2023 per la postazione *Ovest Far* si osserva la permanenza di movimenti solo sull'area N, caratterizzata da spostamenti medi di circa -0.9 mm. Le altre zone riconosciute in movimento nel periodo Gennaio – Giugno 2023 (B, T e Z) risultano ora ferme o con spostamenti medi al di sotto della precisione strumentale (< 0.5/0.7 mm). Di seguito vengono mostrati i risultati dell'analisi statistica condotta per le aree in movimento in cui viene ripotata anche l'ampiezza di ogni area espressa come m^2 calcolati in coordinate radar (Figura 50).

Si rimanda al paragrafo "analisi riassuntiva" per le considerazioni sui risultati ottenuti.

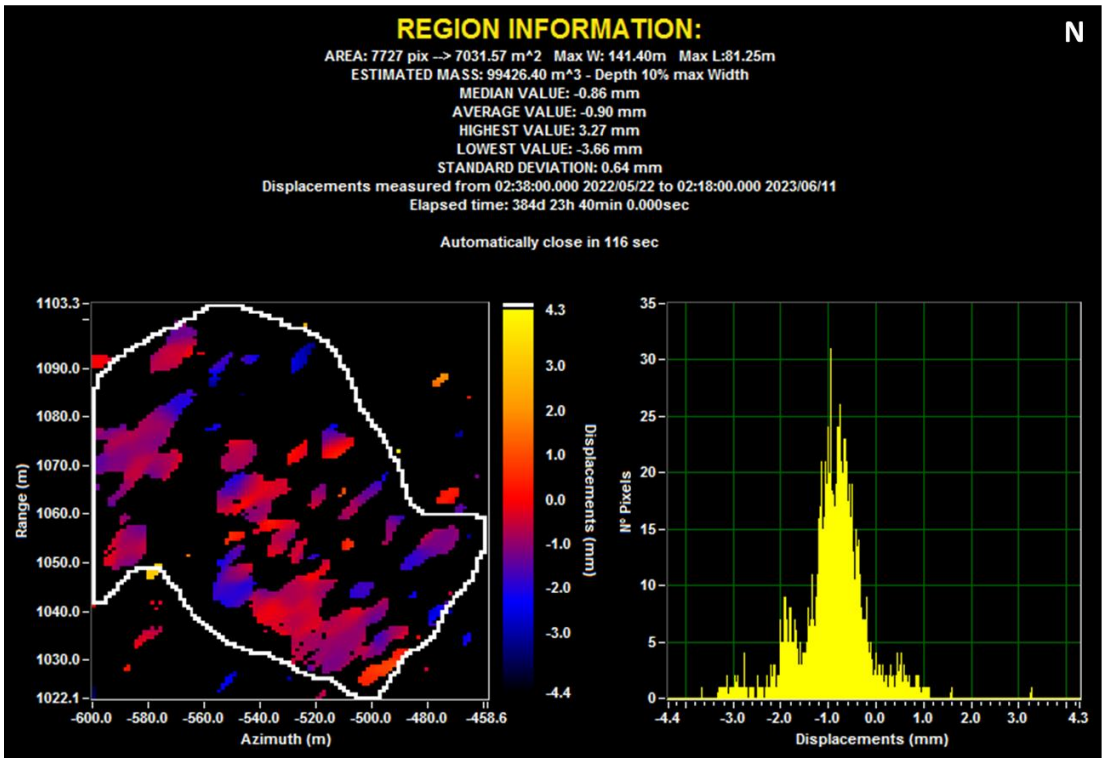


Figura 50: Analisi statistica eseguita sulle aree in movimento per il periodo 22 Maggio 2022 – 11 Giugno 2023. Postazione Ovest, sottofinestra Far.

Postazione Est Near

Analisi per il periodo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023

Di seguito vengono presentati i risultati ottenuti per la postazione *Est Near* riferiti all'intervallo di tempo tra la III e la IV-2 campagna di misura (22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023).

Prima di mostrare le mappe di spostamento, ricordiamo che tra il 22 Gennaio 2023 e l'11 Giugno 2023 si rileva un aumento di temperatura atmosferica media di circa 15/17°C.

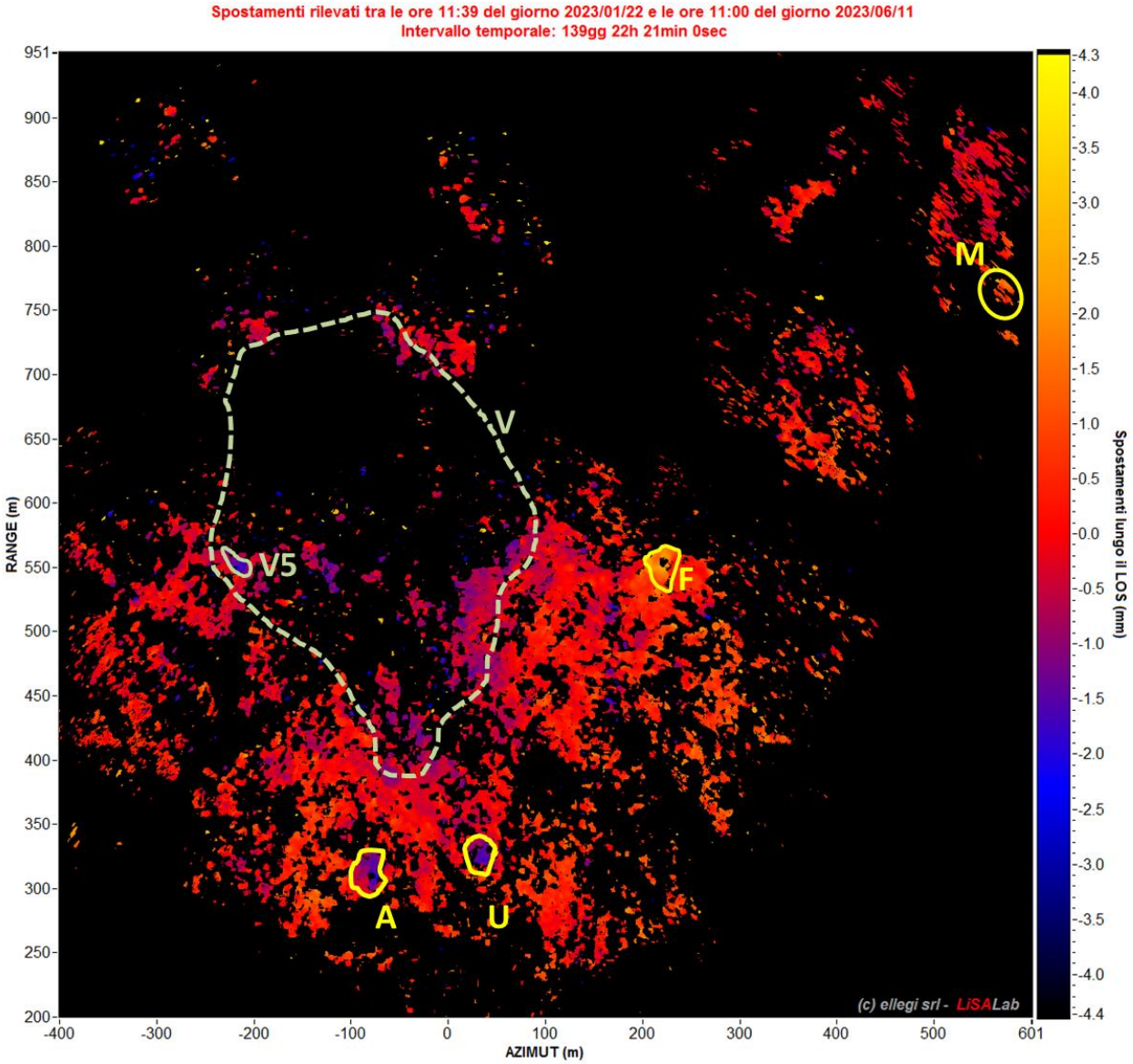


Figura 51: Mappa di spostamento 2D per il periodo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023 (139 giorni 22 ore e 21 minuti) – rappresentazione classica. Postazione Est, sottofinestra Near. In giallo e verde sono identificate le aree in movimento. In verde sono indicate le nuove aree in movimento Con la linea tratteggiata è indicata l'area estesa in movimento.

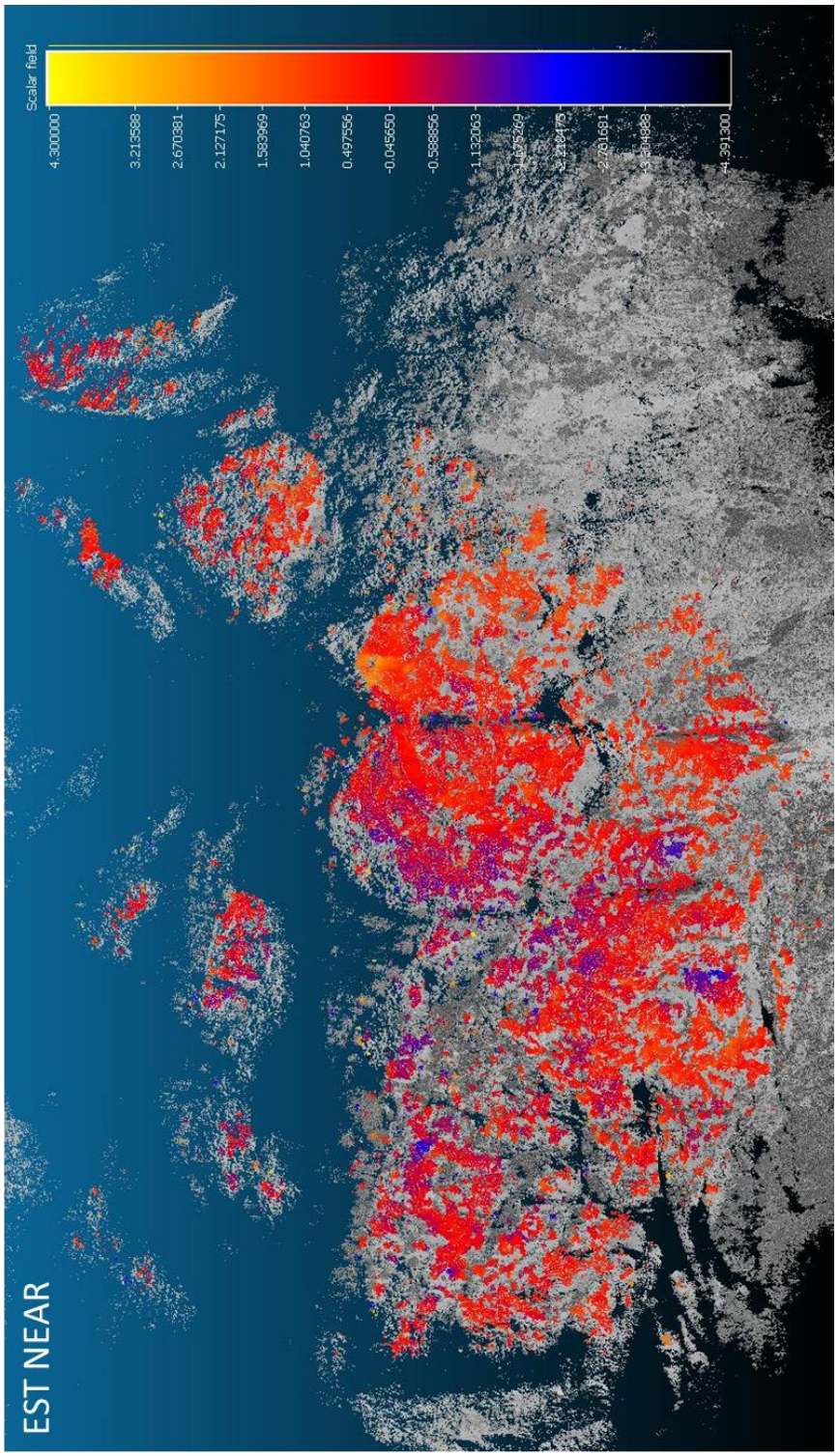


Figura 52: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023 (139 giorni 22 ore e 21 minuti) su Point Cloud. Postazione Est, sottofinestra Near.

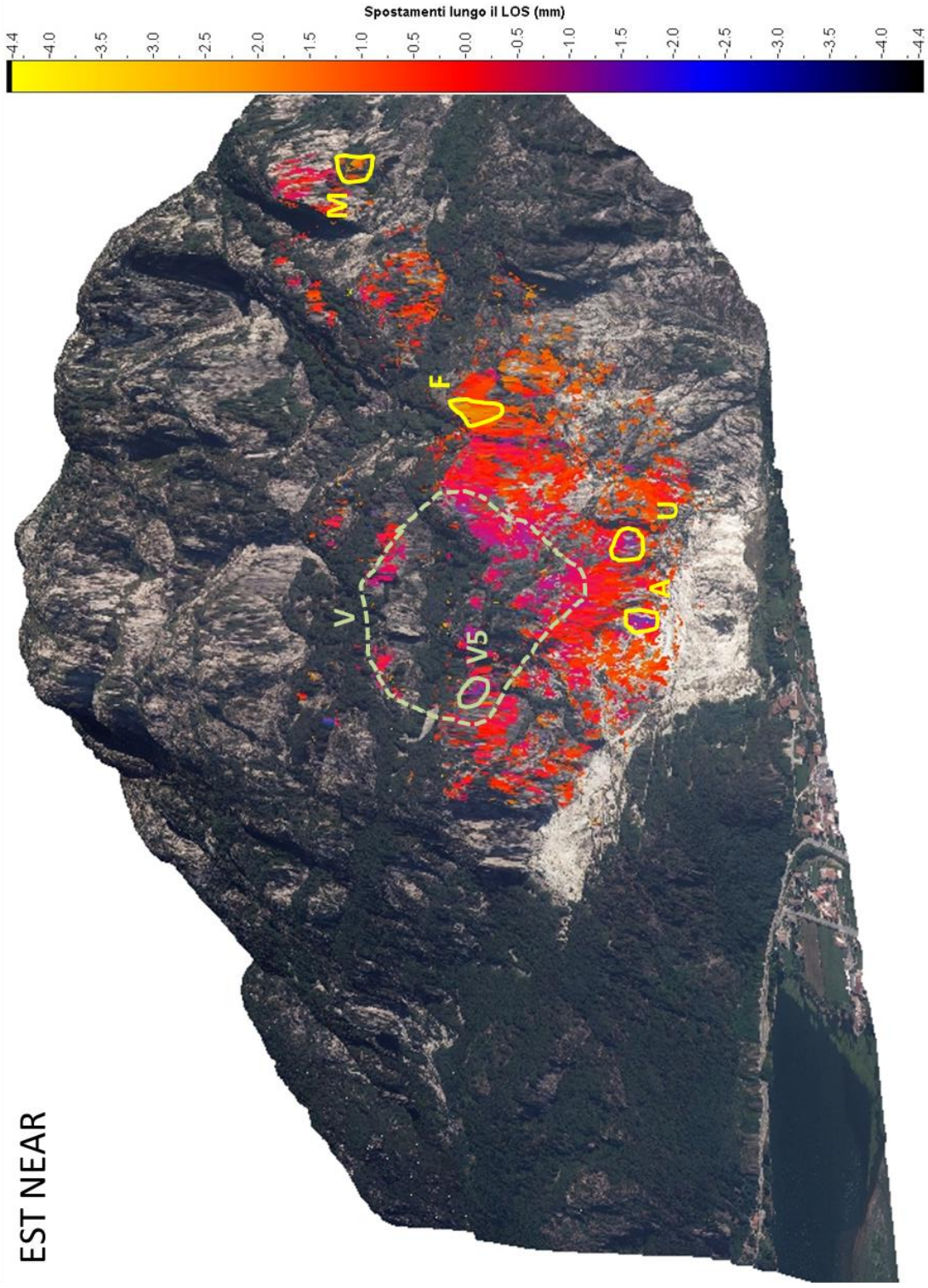


Figura 53: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023 (139 giorni 22 ore e 21 minuti) su DEM del versante. Postazione Est, sottofinestra Near.

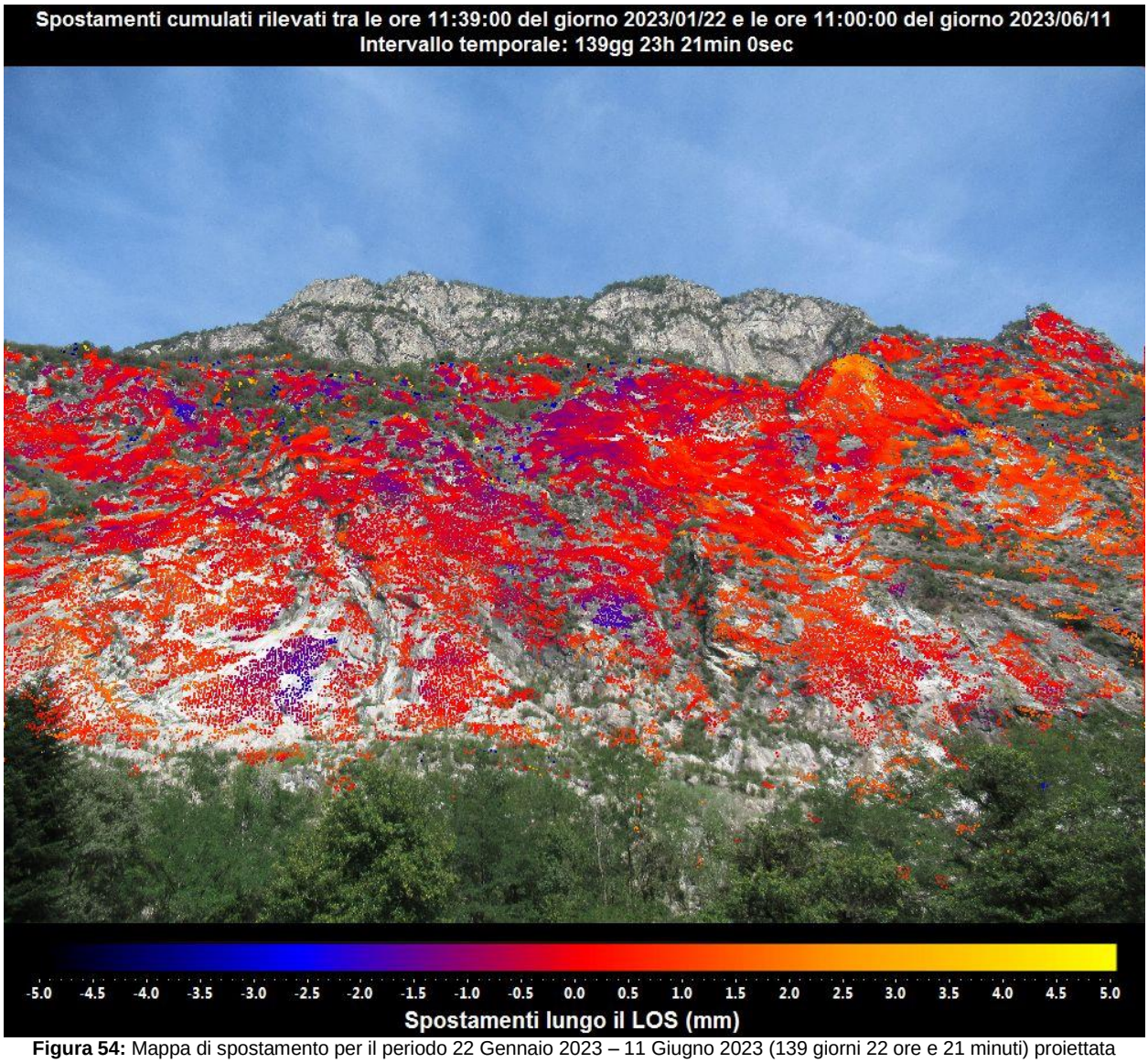
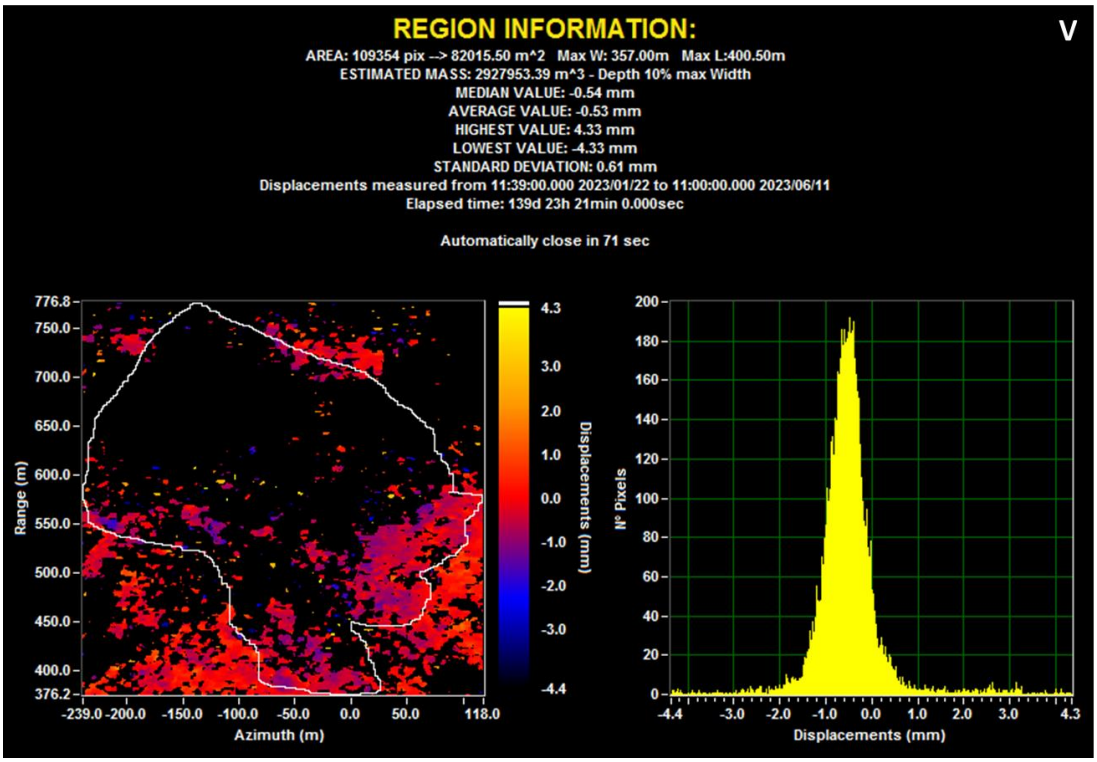


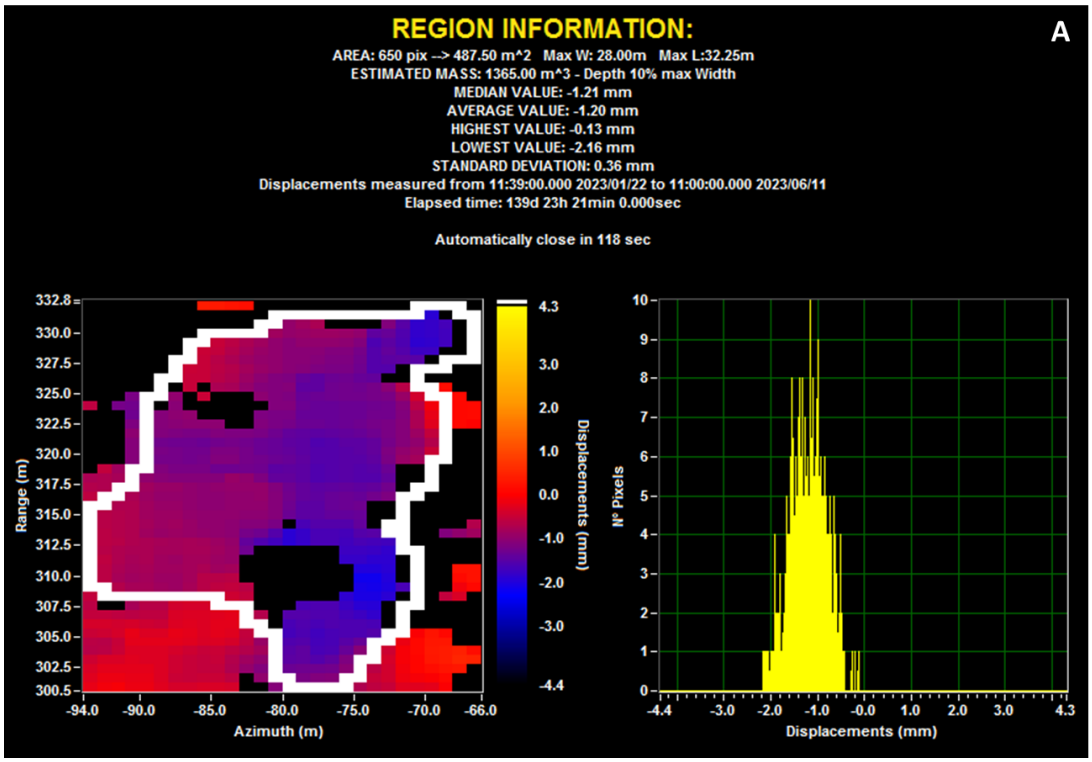
Figura 54: Mappa di spostamento per il periodo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023 (139 giorni 22 ore e 21 minuti) proiettata sull'immagine ottica del versante. Postazione Est, sottofinestra Near.

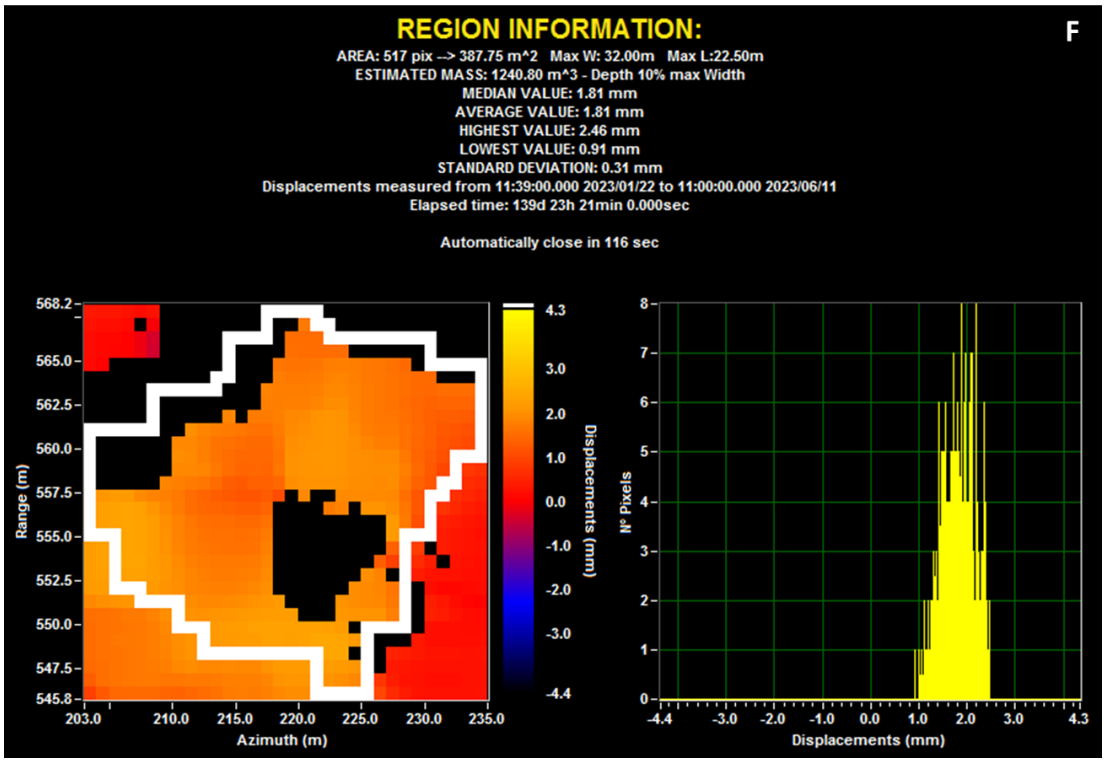
Dall'analisi sul lungo termine eseguita tra la campagna di Gennaio 2023 e la campagna di Giugno 2023 per la postazione *Est Near* è stata rilevata la presenza di alcune aree in movimento.

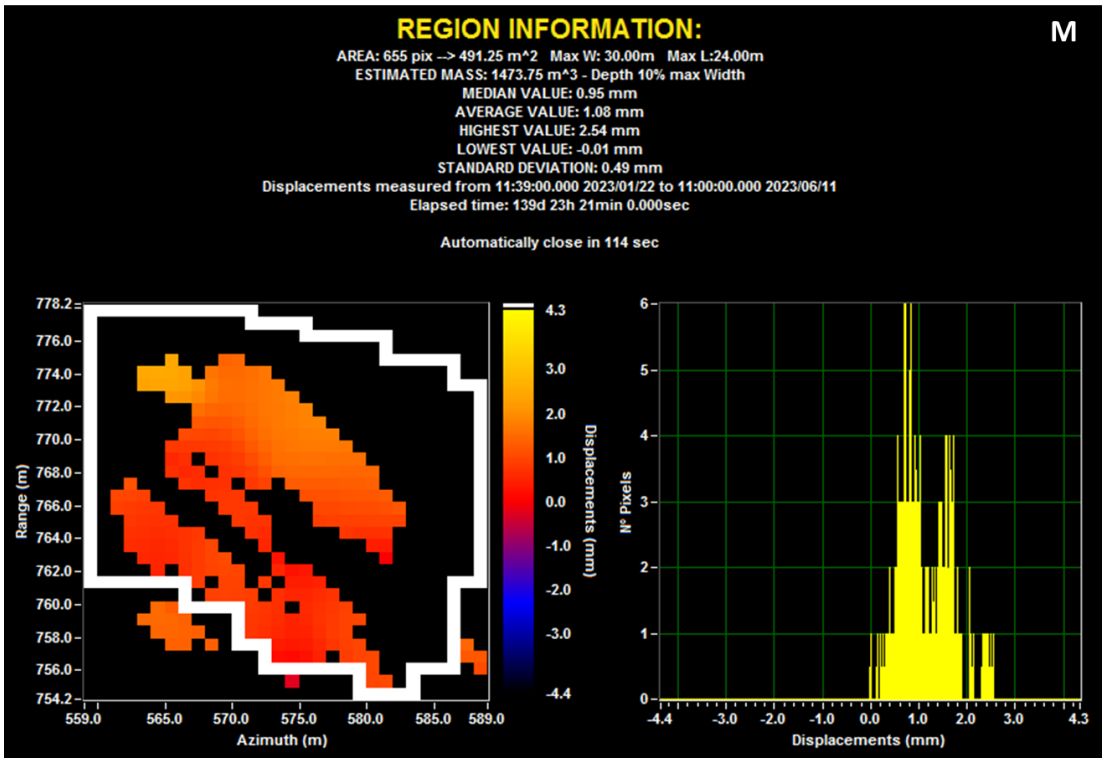
Tra queste, le aree A, F, M ed U erano già state individuate nel report precedente e nell'intervallo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023 riportano i seguenti valori di spostamento: A= -1.2 mm, F= +1.8, M= +1.8 mm ed U= -1.1 mm. Le aree C, D ed E, che erano state classificate come in movimento nel report della III campagna periodica, non mostrano spostamenti medi superiori alla precisione strumentale nel periodo qui analizzato con la sottofinestra *Est Near*. La zona più ampia individuata con la linea tratteggiata verde corrisponde ad una area in movimento di dimensioni maggiori rispetto a quelle appena descritte ed identificata dalla lettera "V". Quest'area presenta spostamenti differenziali medi di circa -0.5 mm (quindi vicini alla precisione strumentale) nel periodo analizzato di circa 139 giorni (Figura 51).

Osservando la mappa 3D si può notare come quest'area coincida per gran parte con la parte parzialmente vegetata del versante, da quota 498 m a quota 758. All'interno dell'area V si riscontra una sotto-area nominata V5 che presenta movimenti differenziali. Nell'intervallo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023, l'area V5 presenta un valore medio di spostamento di circa -1.5 mm. Di seguito vengono mostrati i risultati dell'analisi statistica condotta per le aree in movimento in cui viene ripotata anche l'ampiezza di ogni area espressa come m^2 calcolati in coordinate radar (Figura 55).
Si rimanda al paragrafo "analisi riassuntiva" per le considerazioni sui risultati ottenuti.


REGION INFORMATION:
V
AREA: 109354 pix --> 82015.50 m^2 Max W: 357.00m Max L:400.50m
ESTIMATED MASS: 2927953.39 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: -0.54 mm
AVERAGE VALUE: -0.53 mm
HIGHEST VALUE: 4.33 mm
LOWEST VALUE: -4.33 mm
STANDARD DEVIATION: 0.61 mm
Displacements measured from 11:39:00.000 2023/01/22 to 11:00:00.000 2023/06/11
Elapsed time: 139d 23h 21min 0.000sec
Automatically close in 71 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
N° Pixels
Displacements (mm)


REGION INFORMATION:
A
AREA: 650 pix --> 487.50 m^2 Max W: 28.00m Max L:32.25m
ESTIMATED MASS: 1365.00 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: -1.21 mm
AVERAGE VALUE: -1.20 mm
HIGHEST VALUE: -0.13 mm
LOWEST VALUE: -2.16 mm
STANDARD DEVIATION: 0.36 mm
Displacements measured from 11:39:00.000 2023/01/22 to 11:00:00.000 2023/06/11
Elapsed time: 139d 23h 21min 0.000sec
Automatically close in 118 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
N° Pixels
Displacements (mm)


REGION INFORMATION:
F
AREA: 517 pix --> 387.75 m^2 Max W: 32.00m Max L:22.50m
ESTIMATED MASS: 1240.80 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: 1.81 mm
AVERAGE VALUE: 1.81 mm
HIGHEST VALUE: 2.46 mm
LOWEST VALUE: 0.91 mm
STANDARD DEVIATION: 0.31 mm
Displacements measured from 11:39:00.000 2023/01/22 to 11:00:00.000 2023/06/11
Elapsed time: 139d 23h 21min 0.000sec
Automatically close in 116 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
Nº Pixels
Displacements (mm)


REGION INFORMATION:
M
AREA: 655 pix --> 491.25 m^2 Max W: 30.00m Max L:24.00m
ESTIMATED MASS: 1473.75 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: 0.95 mm
AVERAGE VALUE: 1.08 mm
HIGHEST VALUE: 2.54 mm
LOWEST VALUE: -0.01 mm
STANDARD DEVIATION: 0.49 mm
Displacements measured from 11:39:00.000 2023/01/22 to 11:00:00.000 2023/06/11
Elapsed time: 139d 23h 21min 0.000sec
Automatically close in 114 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
Nº Pixels
Displacements (mm)

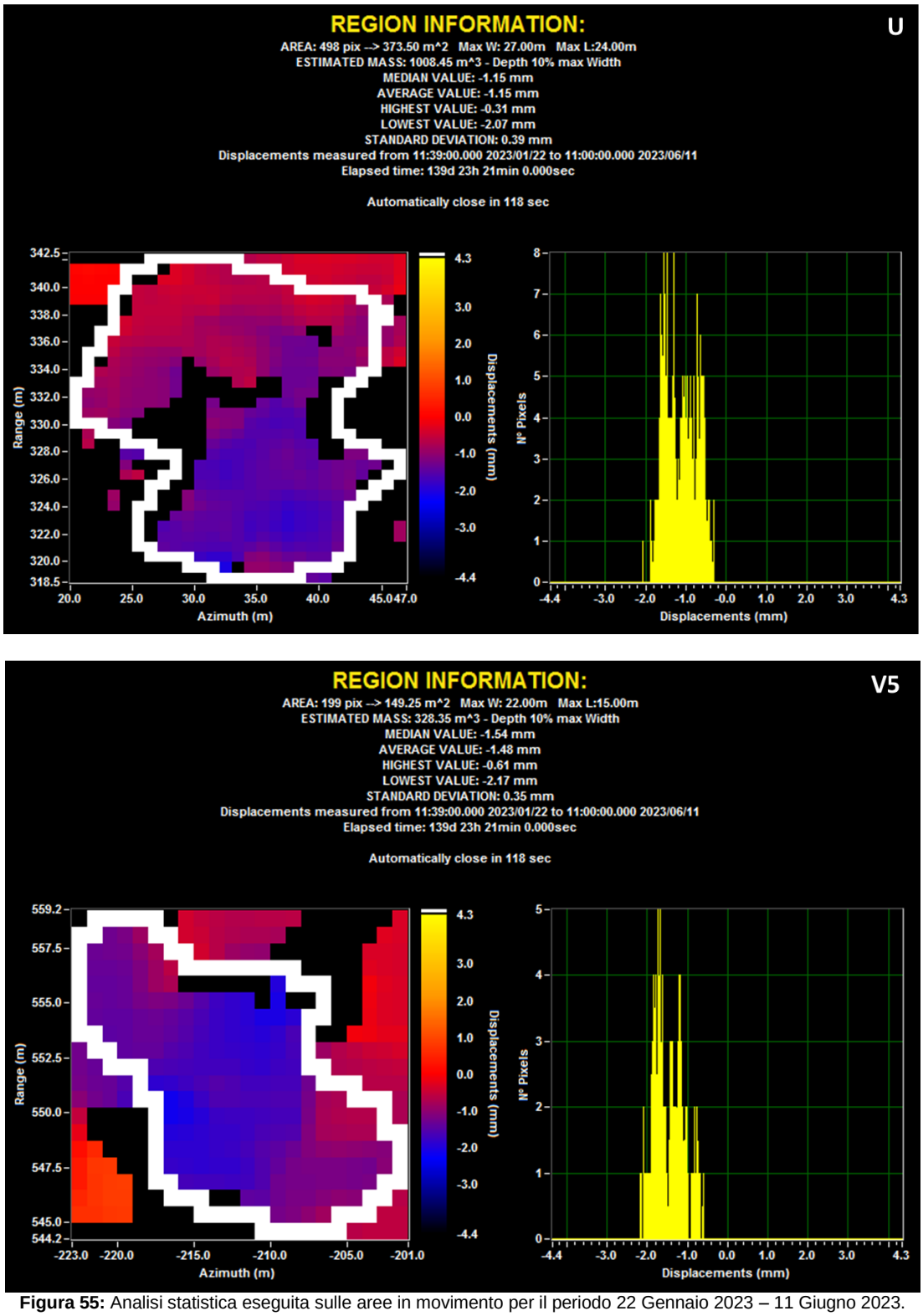


Figura 55: Analisi statistica eseguita sulle aree in movimento per il periodo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023. Postazione Est, sottofinestra Near.

Analisi per il periodo 22 Maggio 2022 – 11 Giugno 2023

Di seguito vengono presentati i risultati ottenuti per la postazione *Est Near* riferiti all'intervallo di tempo tra la I e la IV-2 campagna di misura (22 Maggio 2022 – 11 Giugno 2023).

Prima di mostrare le mappe di spostamento, ricordiamo che i giorni in cui sono state svolte le campagne di misura di Maggio 2022 e Giugno 2023 sono stati caratterizzati da uguali valori di temperatura media pari a circa 20°C.

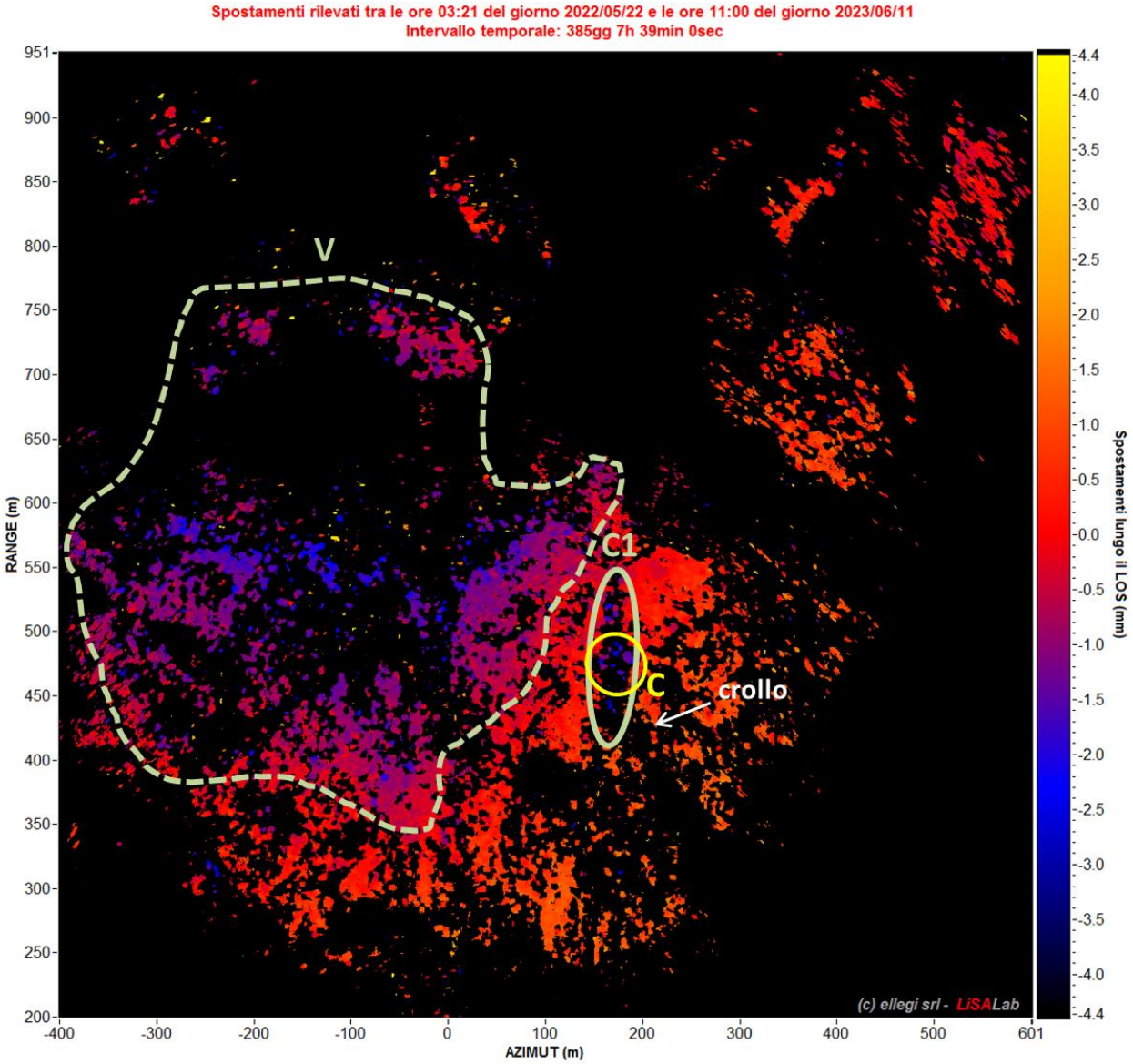


Figura 56: Mappa di spostamento 2D per il periodo 22 Maggio 2022 – 11 Giugno 2023 (385 giorni 7 ore e 39 minuti) – rappresentazione classica. Postazione Est, sottofinestra Near. Con la freccia bianca è indicata la zona del crollo del Maggio 2023. In verde e giallo sono rappresentate aree in movimento. Con la linea tratteggiata è individuata un'area estesa in movimento.

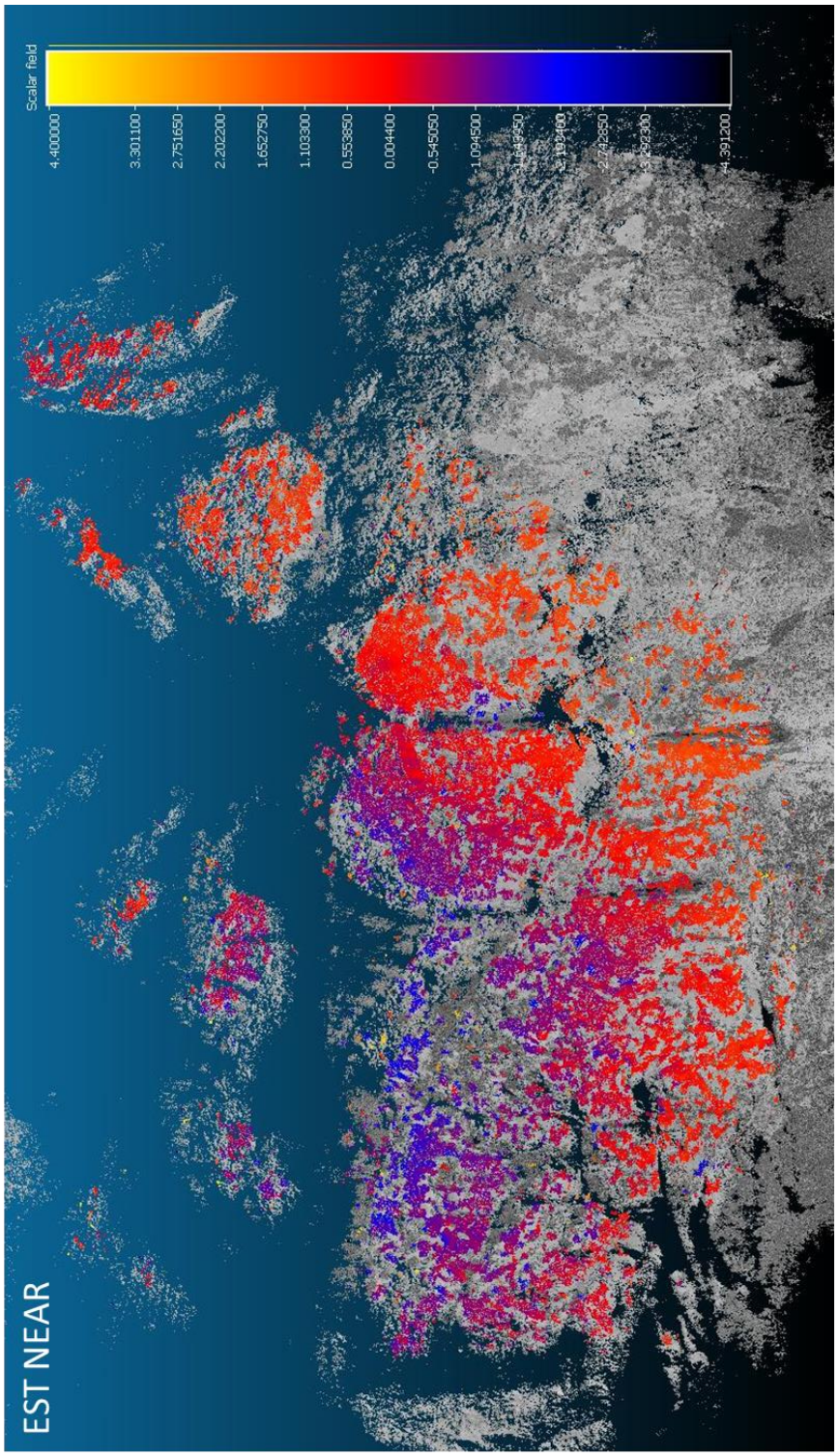


Figura 57: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 Maggio 2023 – 11 Giugno 2023 (385 giorni 7 ore e 39 minuti) su Point Cloud. Postazione Est, sottofinestra Near.

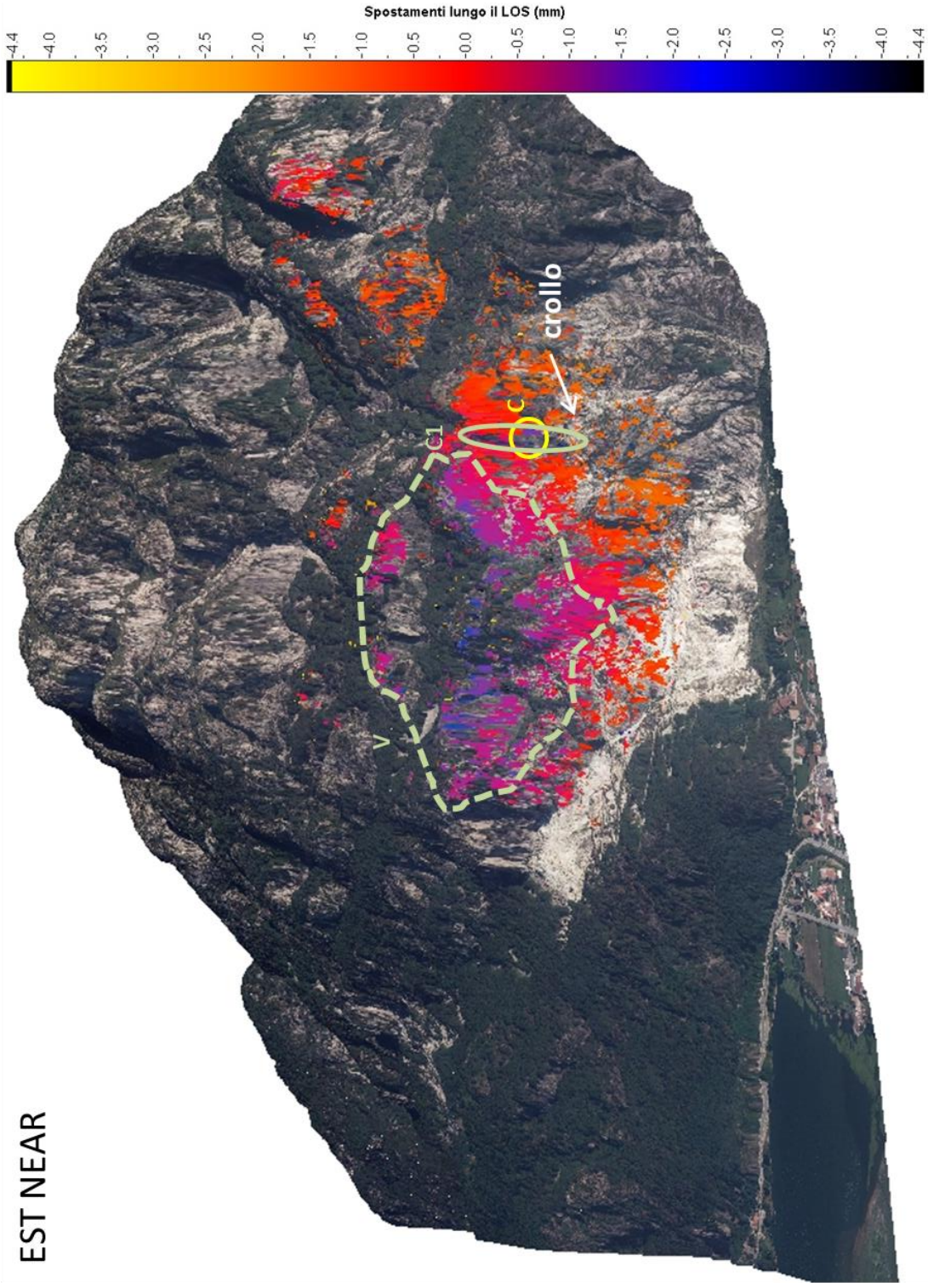


Figura 58: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 Maggio 2023 – 11 Giugno 2023 (385 giorni 7 ore e 39 minuti) su DEM del versante. Postazione Est, sottofinestra Near.

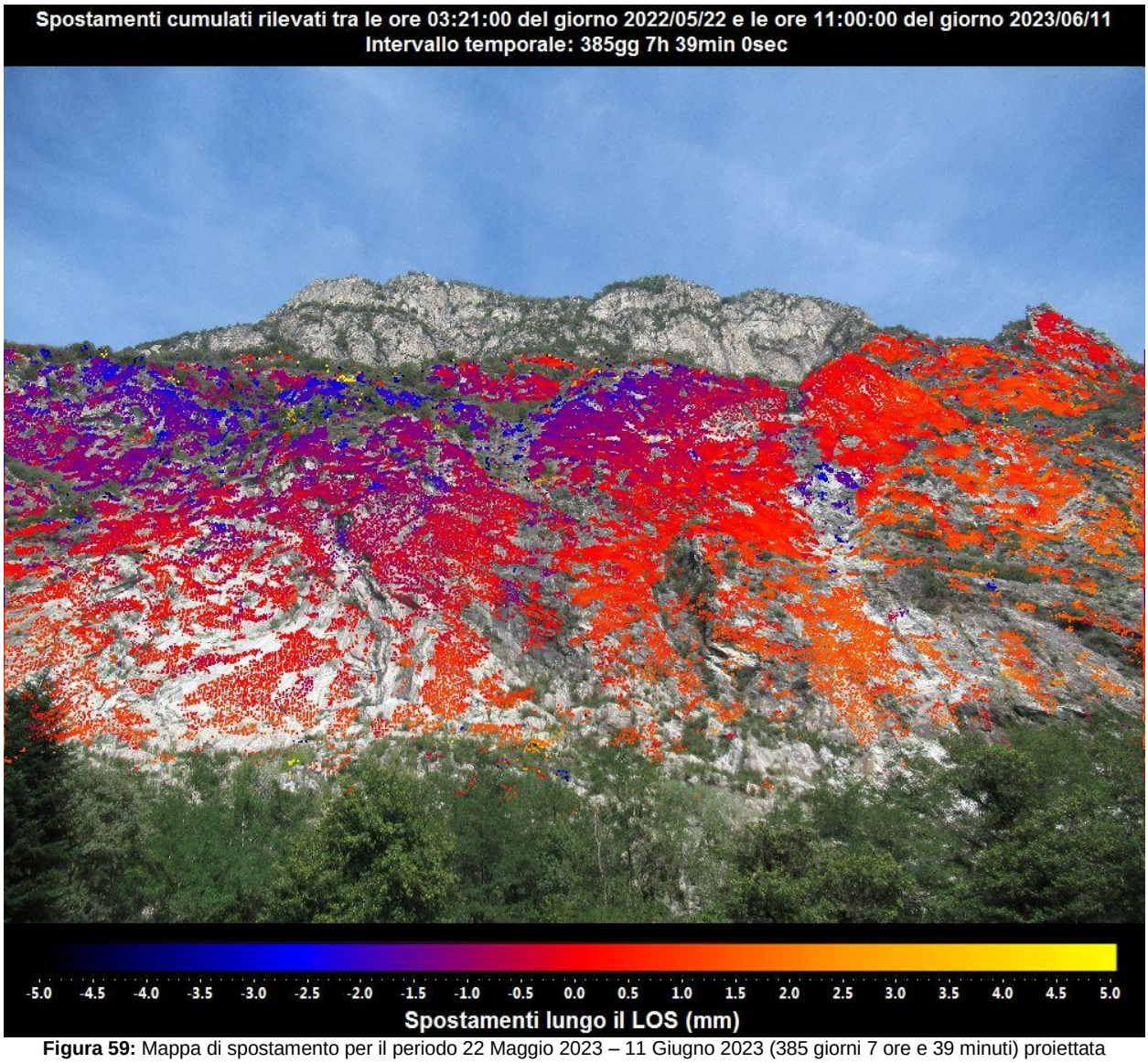


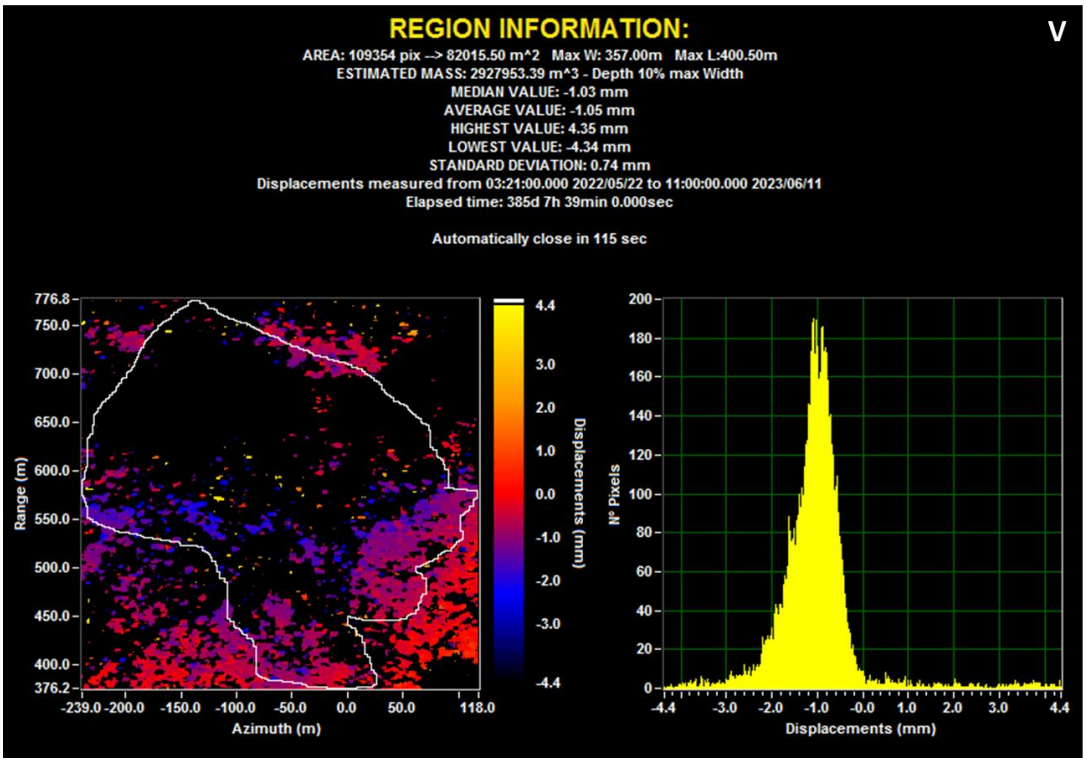
Figura 59: Mappa di spostamento per il periodo 22 Maggio 2023 – 11 Giugno 2023 (385 giorni 7 ore e 39 minuti) proiettata sull'immagine ottica del versante. Postazione Est, sottofinestra Near.

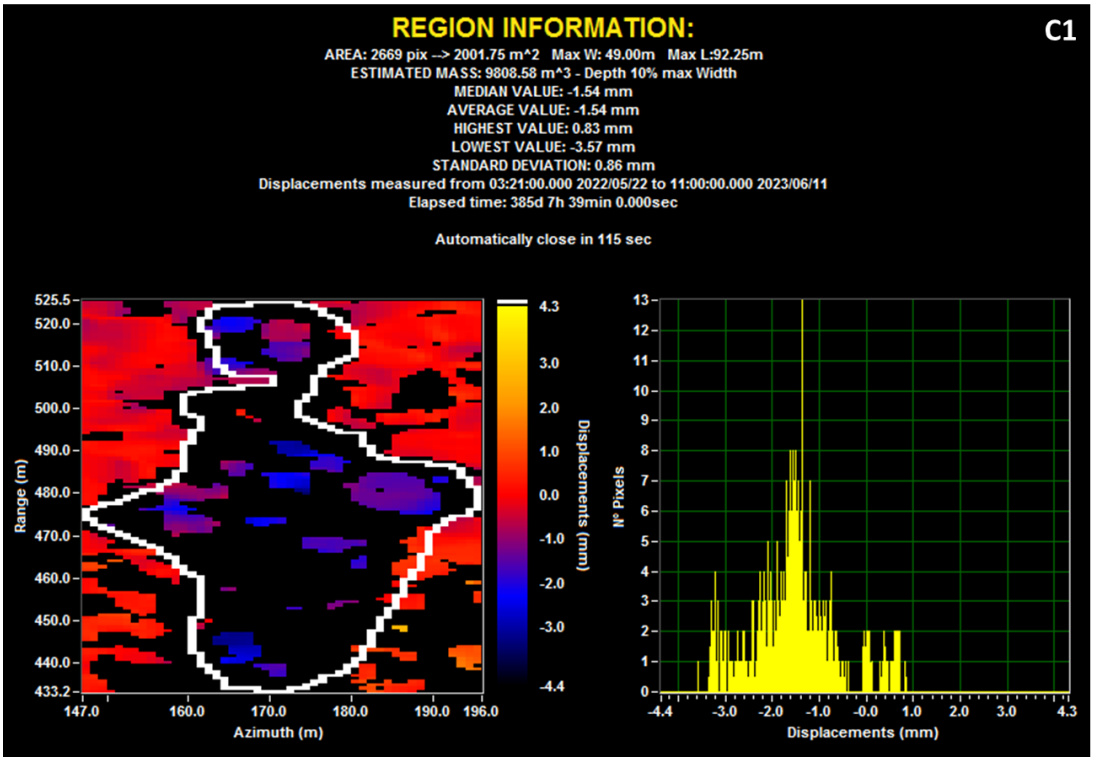
Dall'analisi sul lungo termine eseguita tra la campagna di Maggio 2022 e la campagna di Giugno 2023 per la postazione *Est Near* si osservano movimenti sull'area C1, che in parte coincide con l'area C già individuata come area in movimento nel report della III campagna periodica ma che si estende maggiormente sulla verticale andando da quota 469 m circa a quota 617 circa. La regione C1 è caratterizzata da spostamenti medi di circa -1.5 mm nel periodo analizzato. Oltre a questa area ampia circa 2000 m^2 (calcolati in coordinate radar) si osserva ancora del movimento sull'area V, descritta precedentemente per il periodo Gennaio 2023 – Giugno 2023 e delimitata dalla linea tratteggiata verde in Figura 56. Quest' area presenta spostamenti medi sull'intero periodo di monitoraggio (Maggio 2022 – Giugno 2023) di circa -1.0 mm in avvicinamento al sistema (valore ottenuto analizzando la stessa area

riconosciuta nel periodo Gennaio 2023 – Giugno 2023). Analizzando i dati dalla postazione Est Near, l'area in questione si estende verticalmente da quota 451 m circa a quota 749 m circa.

Le altre zone riconosciute in movimento nel periodo Gennaio 2023 – Giugno 2023 (A, F, M ed U) risultano ora ferme o con spostamenti medi al di sotto della precisione strumentale (< 0.5/0.7 mm). Di seguito vengono riportati i risultati dell' analisi statistica condotta per le aree in movimento nell'intervallo di tempo considerato in cui viene ripotata anche l'ampiezza di ogni area espressa come m^2 calcolati in coordinate radar (Figura 60).

Si rimanda al paragrafo "analisi riassuntiva" per le considerazioni sui risultati ottenuti.


REGION INFORMATION:
V
AREA: 109354 pix --> 82015.50 m^2 Max W: 357.00m Max L:400.50m
ESTIMATED MASS: 2927953.39 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: -1.03 mm
AVERAGE VALUE: -1.05 mm
HIGHEST VALUE: 4.35 mm
LOWEST VALUE: -4.34 mm
STANDARD DEVIATION: 0.74 mm
Displacements measured from 03:21:00.000 2022/05/22 to 11:00:00.000 2023/06/11
Elapsed time: 385d 7h 39min 0.000sec
Automatically close in 115 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
N° Pixels
Displacements (mm)


REGION INFORMATION:
C1
AREA: 2669 pix --> 2001.75 m^2 Max W: 49.00m Max L:92.25m
ESTIMATED MASS: 9808.58 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: -1.54 mm
AVERAGE VALUE: -1.54 mm
HIGHEST VALUE: 0.83 mm
LOWEST VALUE: -3.57 mm
STANDARD DEVIATION: 0.86 mm
Displacements measured from 03:21:00.000 2022/05/22 to 11:00:00.000 2023/06/11
Elapsed time: 385d 7h 39min 0.000sec
Automatically close in 115 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
N° Pixels
Displacements (mm)

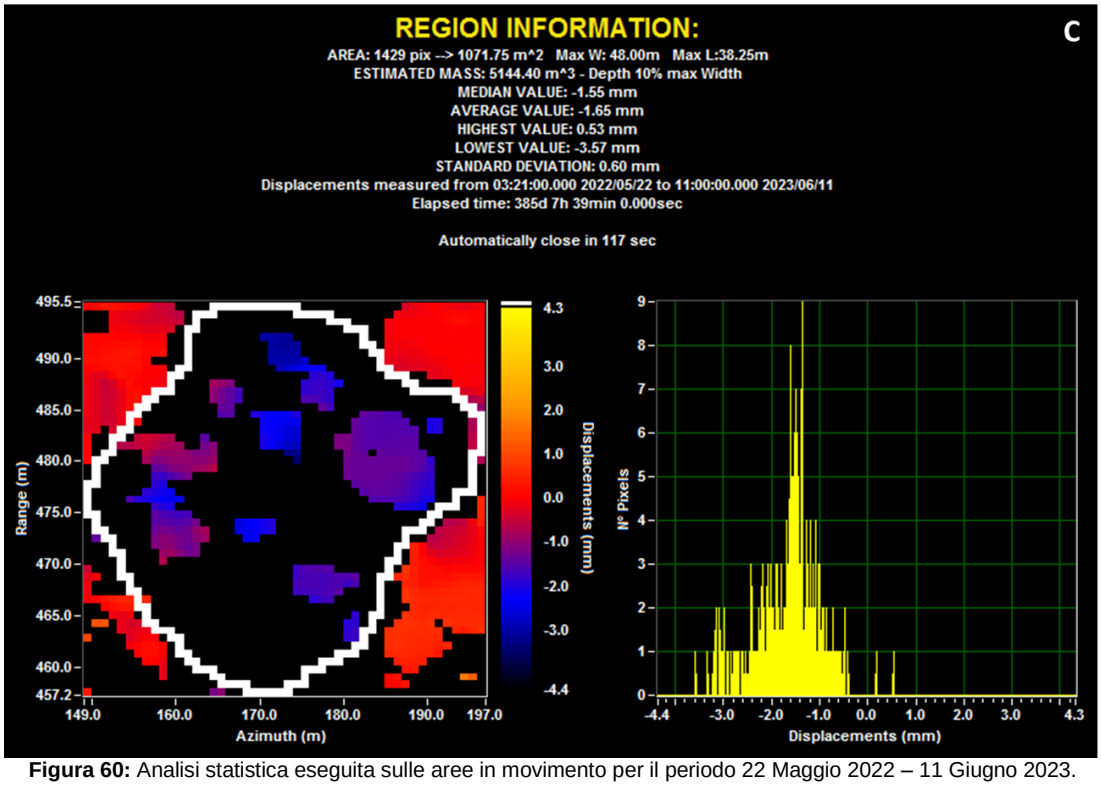


Figura 60: Analisi statistica eseguita sulle aree in movimento per il periodo 22 Maggio 2022 – 11 Giugno 2023. Postazione Est, sottofinestra Near.

Le aree C e C1 si collocano nelle vicinanze di una zona che il 10 Maggio 2023 è stata interessata da un crollo. La posizione della zona del crollo rispetto alle altre due aree, che ha coordinate: 535174.5000E 5119275.0000N e quota 489m s.l.m., è rappresentata in Figura 61. Dalle immagini radar della scorsa campagna (Gennaio 2023) non erano sati stati identificati movimenti interpretabili come precursori del crollo. La zona del crollo appare ora nelle immagini radar come area decorrelata.

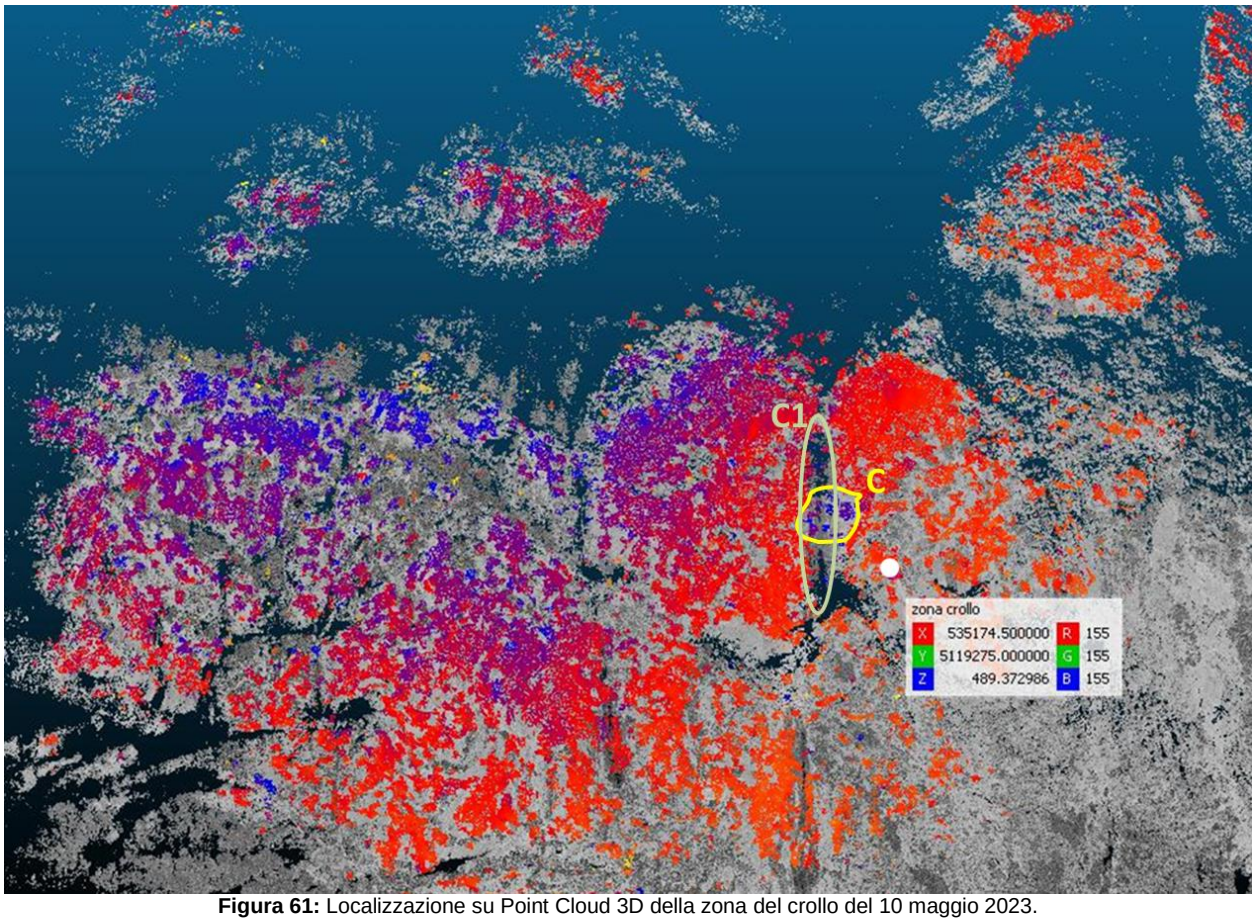


Figura 61: Localizzazione su Point Cloud 3D della zona del crollo del 10 maggio 2023.

Postazione Est Far

Analisi per il periodo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023

Di seguito vengono presentati i risultati ottenuti per la postazione *Est Far* riferiti all'intervallo di tempo tra la III e la IV-2 campagna di misura (22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023).
Prima di mostrare le mappe di spostamento, ricordiamo che tra il 22 Gennaio 2023 e l'11 Giugno 2023 si rileva un aumento di temperatura atmosferica media di circa 15/17°C.

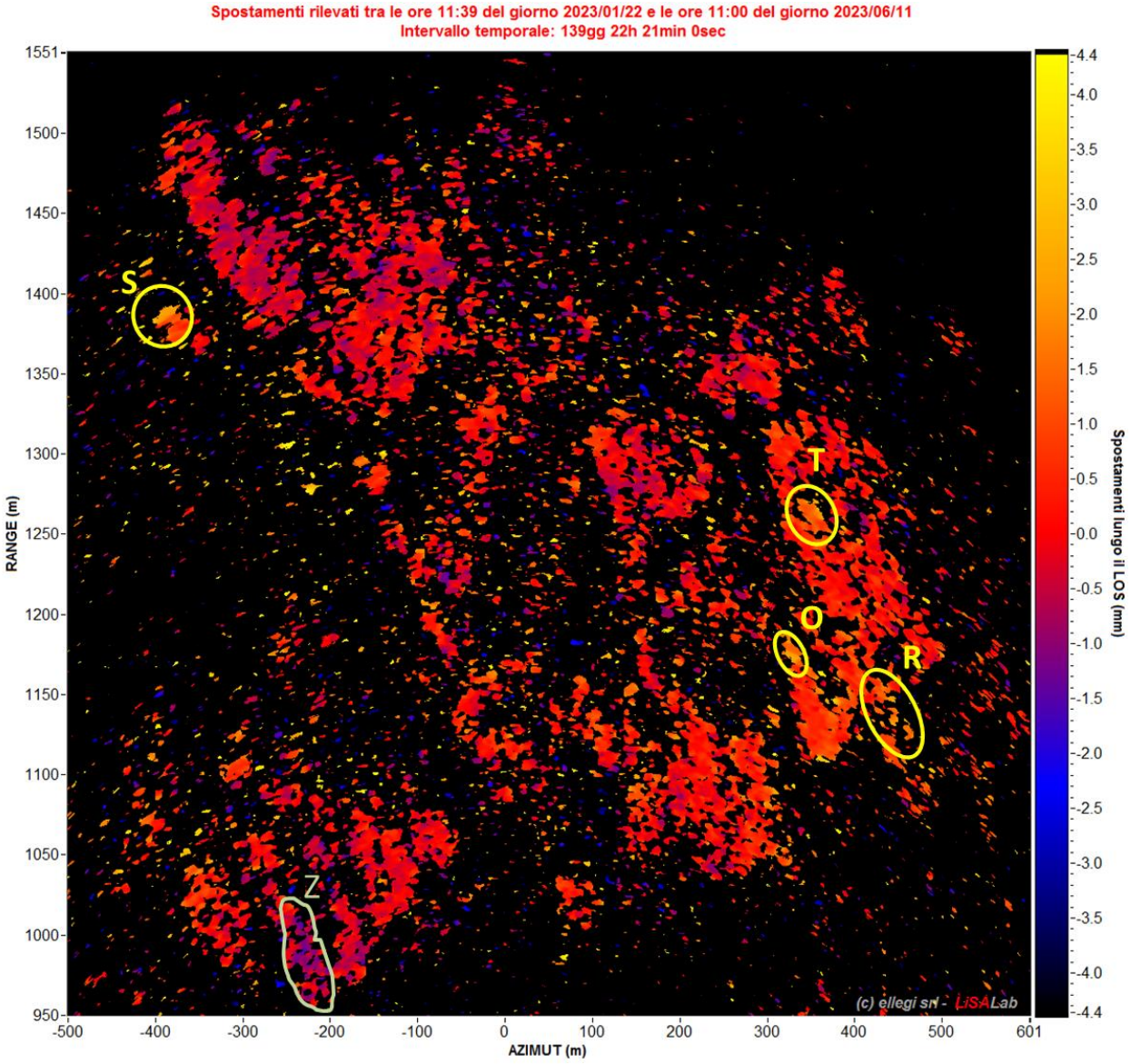


Figura 62: Mappa di spostamento 2D per il periodo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023 (139 giorni 22 ore e 21 minuti) – rappresentazione classica. Postazione Est, sottofinestra Near. In giallo e verde sono identificate le aree in movimento.

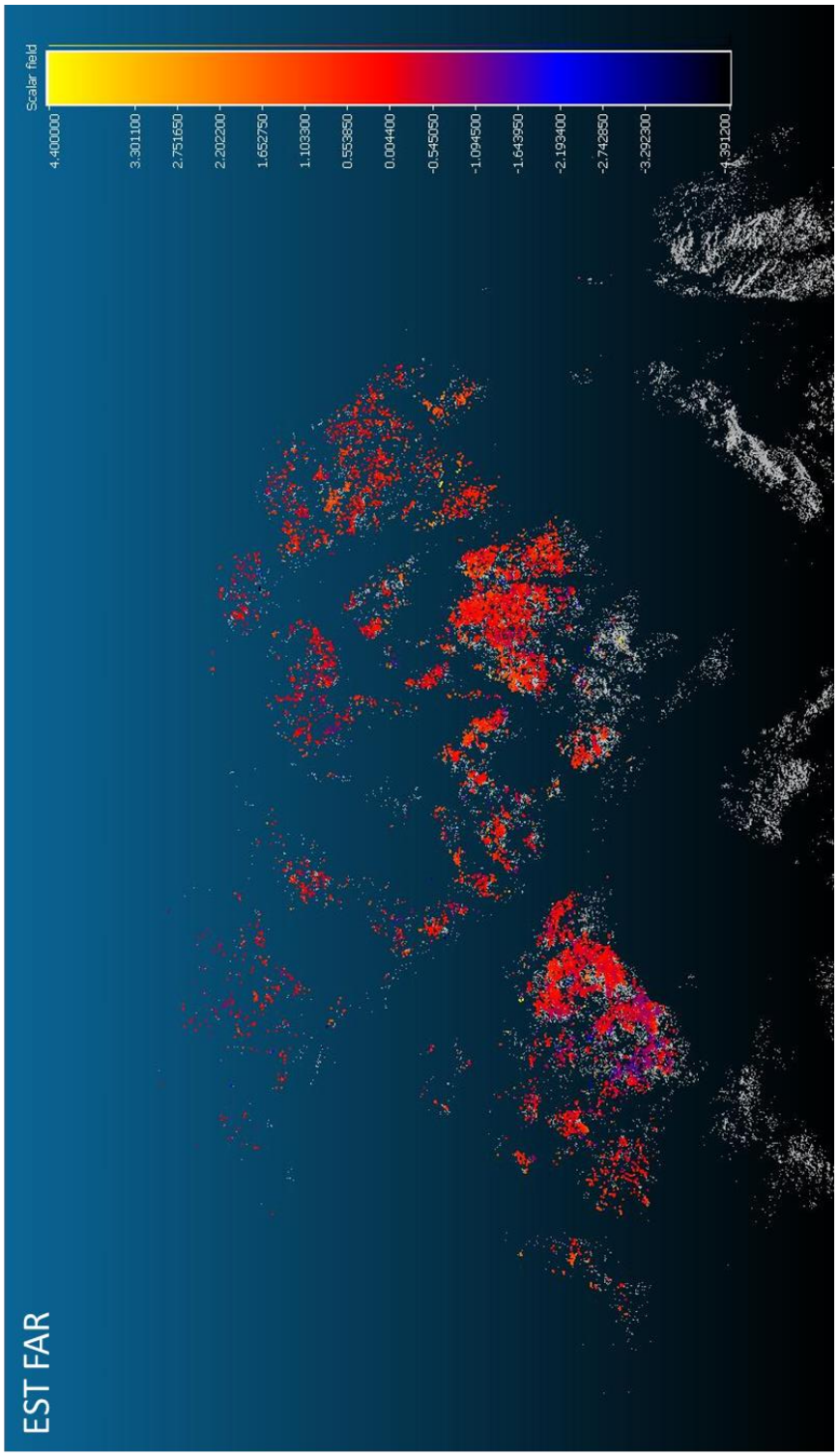


Figura 63: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023 (139 giorni 22 ore e 21 minuti) su Point Cloud. Postazione Est, sottofinestra Far.

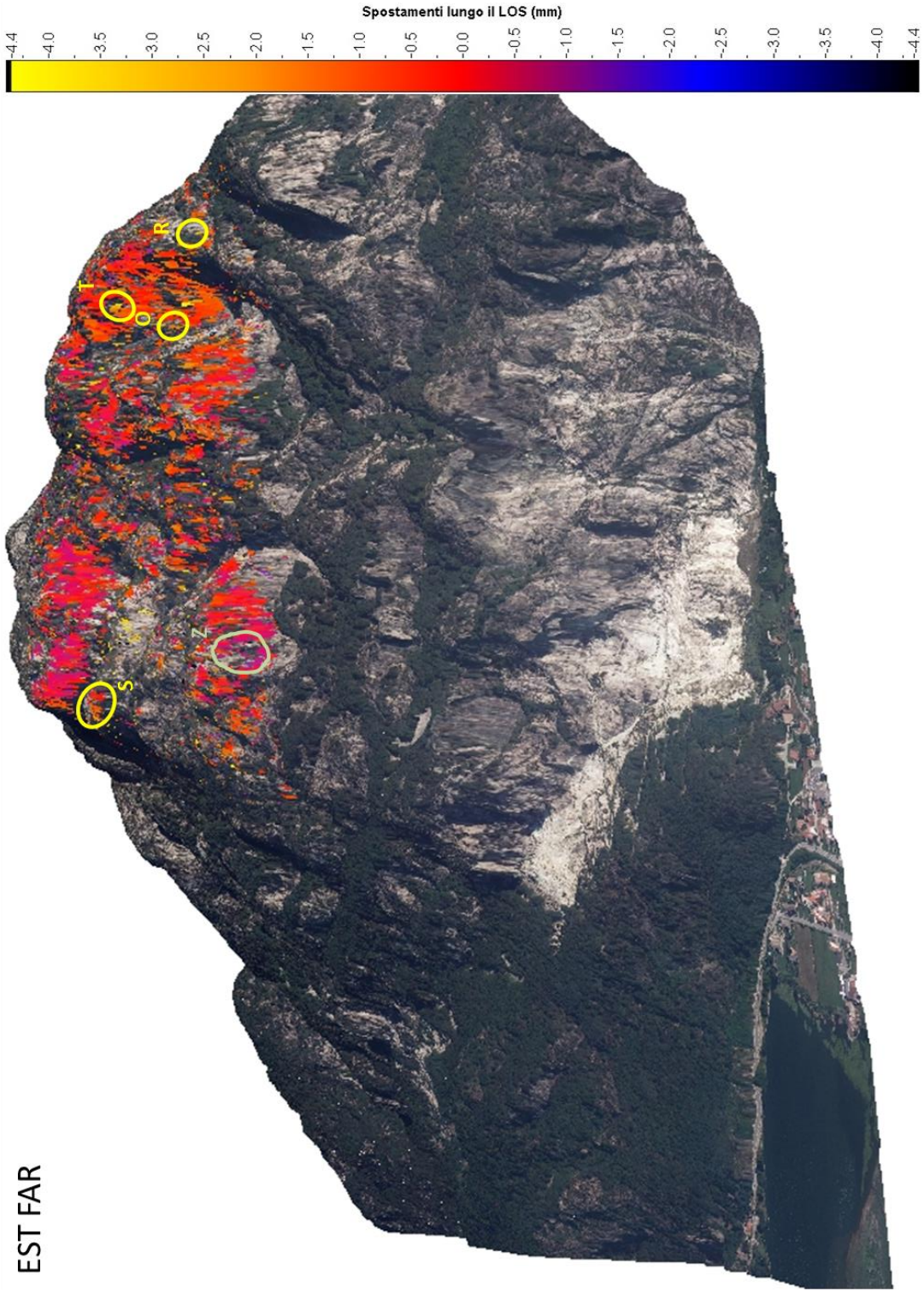


Figura 64: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023 (139 giorni 22 ore e 21 minuti) su DEM del versante. Postazione Est, sottofinestra Far.

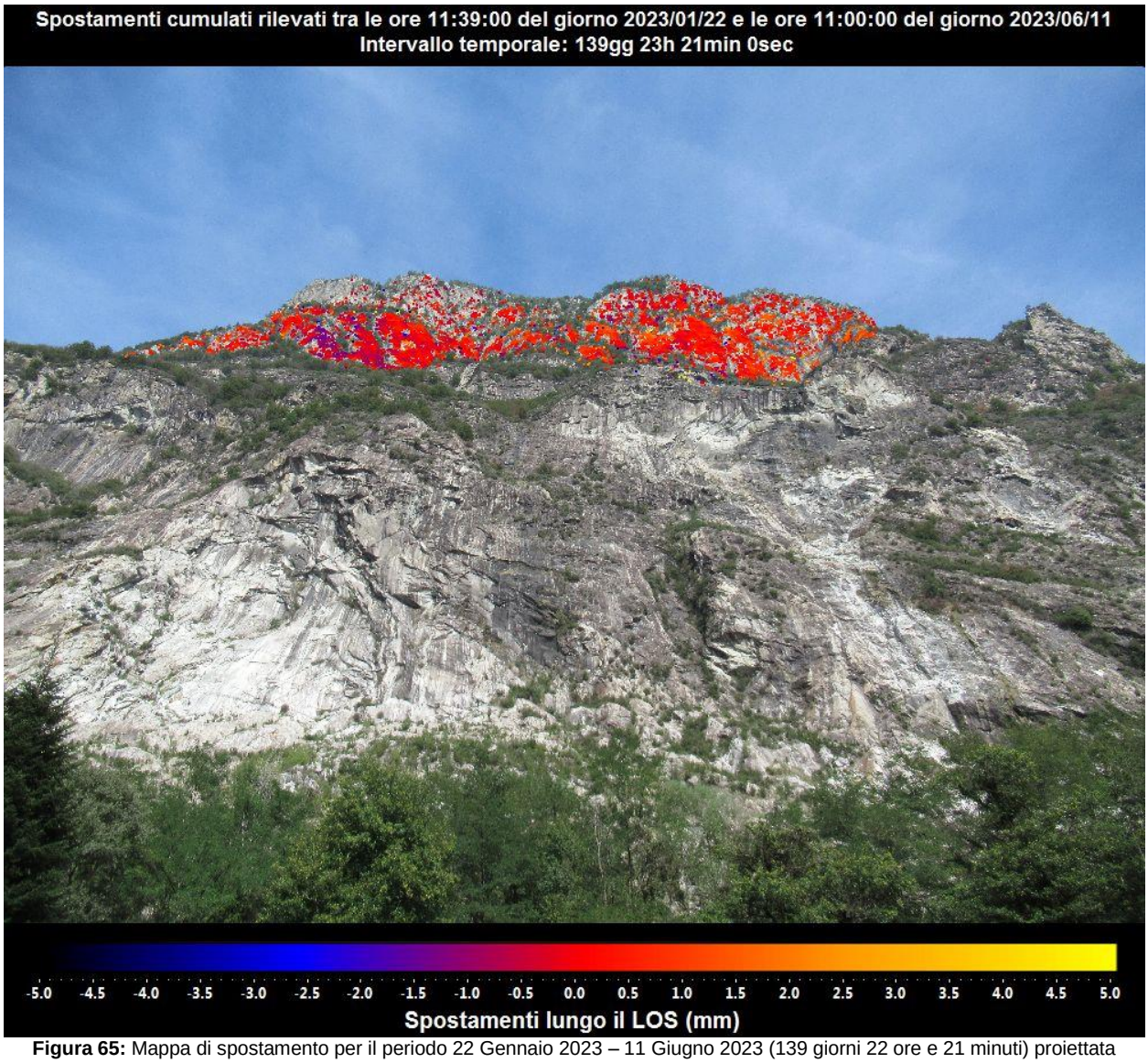


Figura 65: Mappa di spostamento per il periodo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023 (139 giorni 22 ore e 21 minuti) proiettata sull'immagine ottica del versante. Postazione Est, sottofinestra Far.

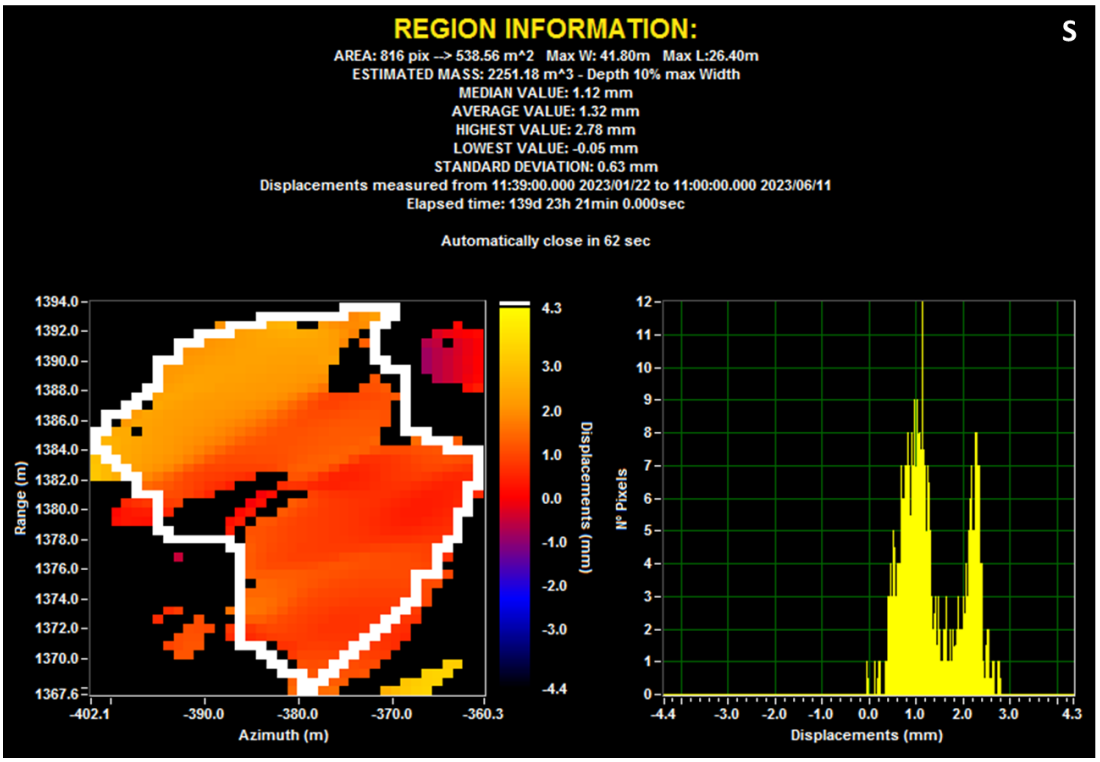
Dall'analisi sul lungo termine eseguita tra la campagna di Gennaio 2023 e la campagna di Giugno 2023 per la postazione *Est Far* si è rilevata la presenza di alcune aree in movimento.

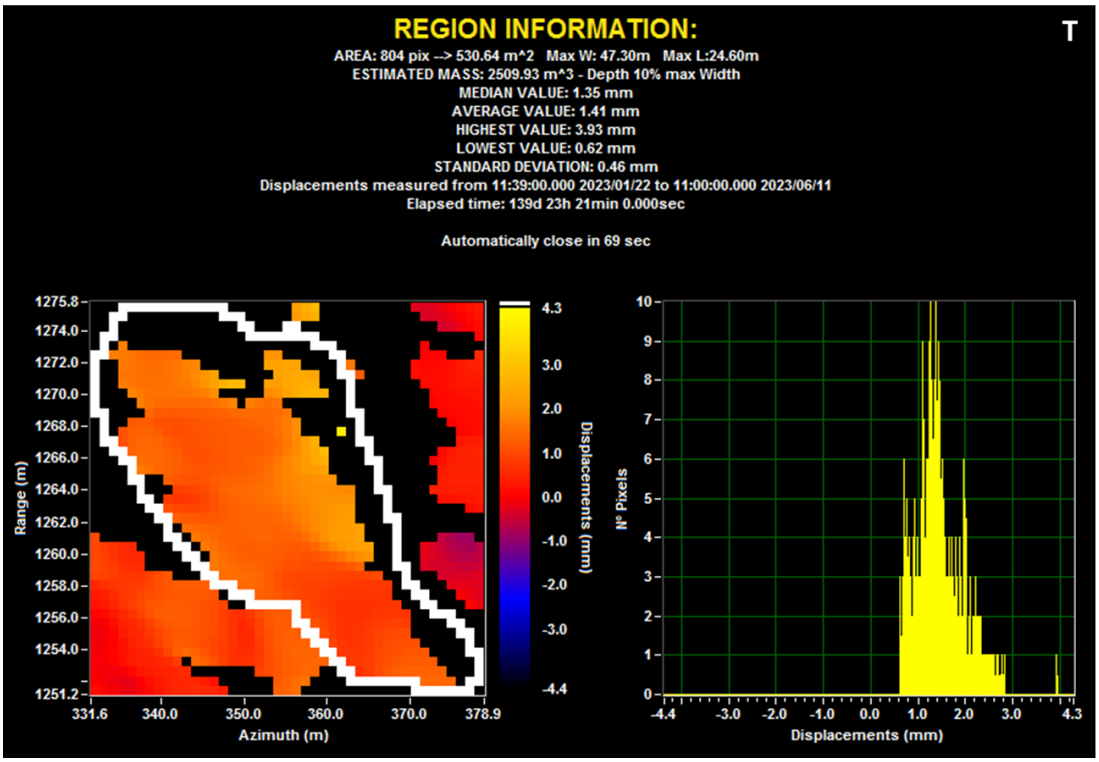
Tra queste, le aree S, T, O ed R erano già state individuate nel report precedente e nell'intervallo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023 riportano i seguenti valori di spostamento: S= +1.3 mm, T=+1.4 , O=+1.7 mm ed R=+1.2 mm. L'area B, anch'essa classificata come in movimento nel report della III campagna periodica, non mostra spostamenti medi superiori alla precisione strumentale nel periodo qui analizzato. In questo intervallo di tempo di riscontra però una nuova area in movimento nominata Z. Quest'area presenta spostamenti medi di -0.7 mm (quindi vicini alla precisione strumentale) nell'intervallo tra Gennaio 2023 e Giugno 2023. Osservando la mappa 3D in Figura 64 si può notare come quest'area

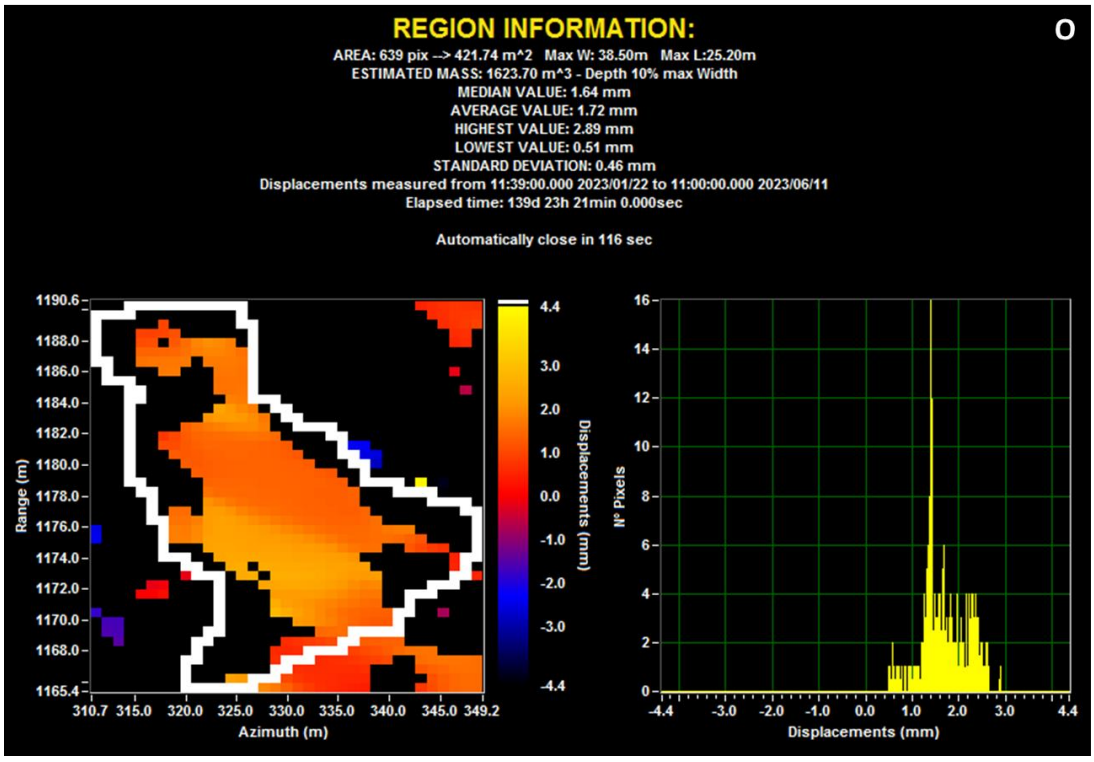
coincida con quella identificata dalla postazione Ovest Far, sebbene l'estensione e i valori di spostamento siano leggermente diversi a causa della diversa LOS con cui viene acquisito il dato dalle due postazioni. Di seguito vengono mostrati i risultati dell'analisi statistica condotta per le aree in movimento in cui viene ripotata anche l'ampiezza di ogni area espressa come m^2 calcolati in coordinate radar (Figura 66).

Si ricorda che in Figura 63 il dato radar delle zone a quote più elevate non viene rappresentato a causa della sotto-campionatura del Point Cloud nella parte superiore del versante.

Si rimanda al paragrafo "analisi riassuntiva" per le considerazioni sui risultati ottenuti.




REGION INFORMATION:
T
AREA: 804 pix --> 530.64 m^2 Max W: 47.30m Max L:24.60m
ESTIMATED MASS: 2509.93 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: 1.35 mm
AVERAGE VALUE: 1.41 mm
HIGHEST VALUE: 3.93 mm
LOWEST VALUE: 0.62 mm
STANDARD DEVIATION: 0.46 mm
Displacements measured from 11:39:00.000 2023/01/22 to 11:00:00.000 2023/06/11
Elapsed time: 139d 23h 21min 0.000sec
Automatically close in 69 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
N° Pixels
Displacements (mm)


REGION INFORMATION:
O
AREA: 639 pix --> 421.74 m^2 Max W: 38.50m Max L:25.20m
ESTIMATED MASS: 1623.70 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: 1.64 mm
AVERAGE VALUE: 1.72 mm
HIGHEST VALUE: 2.89 mm
LOWEST VALUE: 0.51 mm
STANDARD DEVIATION: 0.46 mm
Displacements measured from 11:39:00.000 2023/01/22 to 11:00:00.000 2023/06/11
Elapsed time: 139d 23h 21min 0.000sec
Automatically close in 116 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
N° Pixels
Displacements (mm)

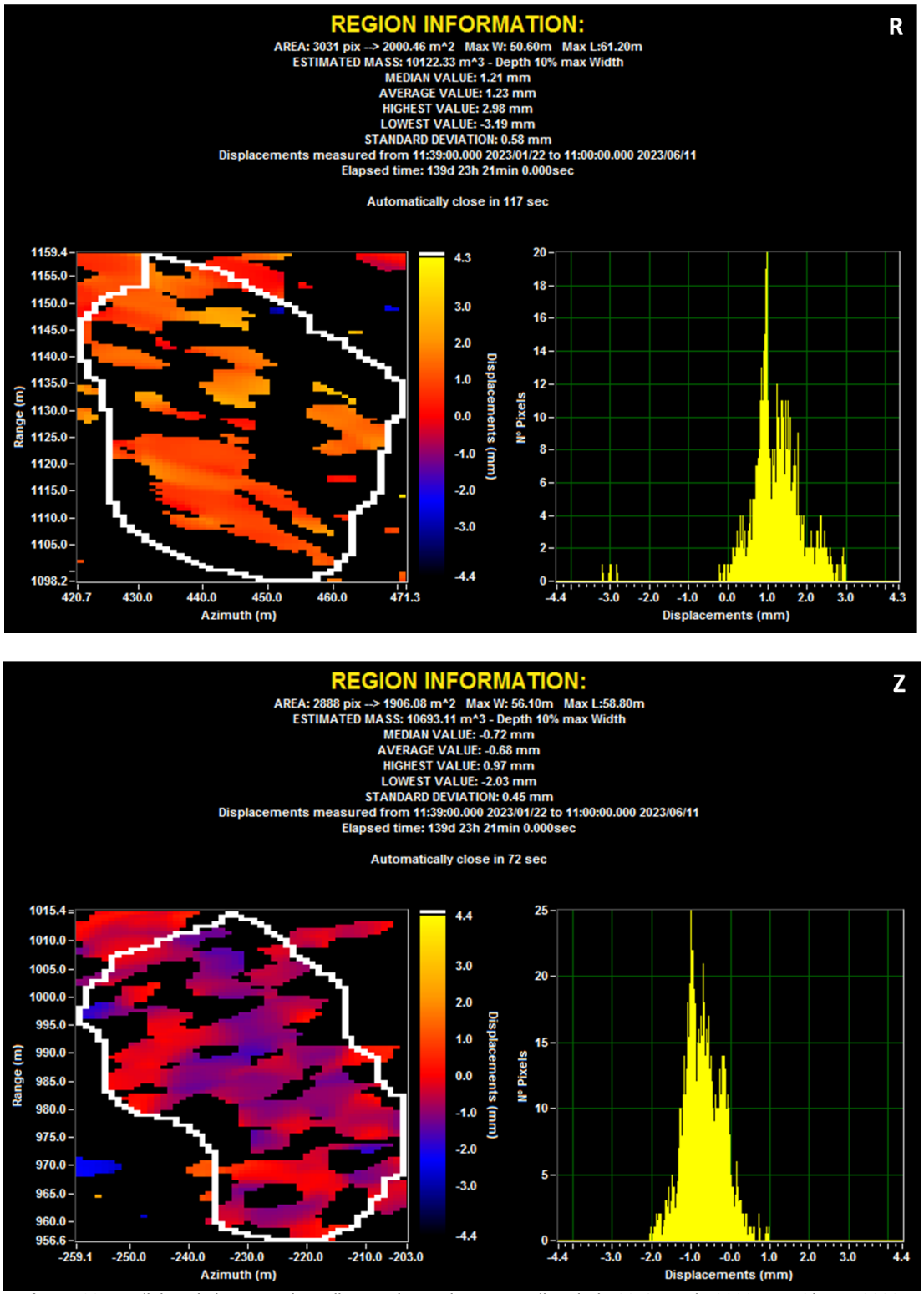


Figura 66: Analisi statistica eseguita sulle aree in movimento per il periodo 22 Gennaio 2023 – 11 Giugno 2023. Postazione Est, sottofinestra Far.

Analisi per il periodo 22 Maggio 2022 – 11 Giugno 2023

Di seguito vengono presentati i risultati ottenuti per la postazione *Est Far* riferiti all'intervallo di tempo tra la I e la IV-2 campagna di misura (22 Maggio 2022 – 11 Giugno 2023).

Prima di mostrare le mappe di spostamento, ricordiamo che i giorni in cui sono state svolte le campagne di misura di Maggio 2022 e Giugno 2023 sono stati caratterizzati da uguali valori di temperatura media pari a circa 20°C.

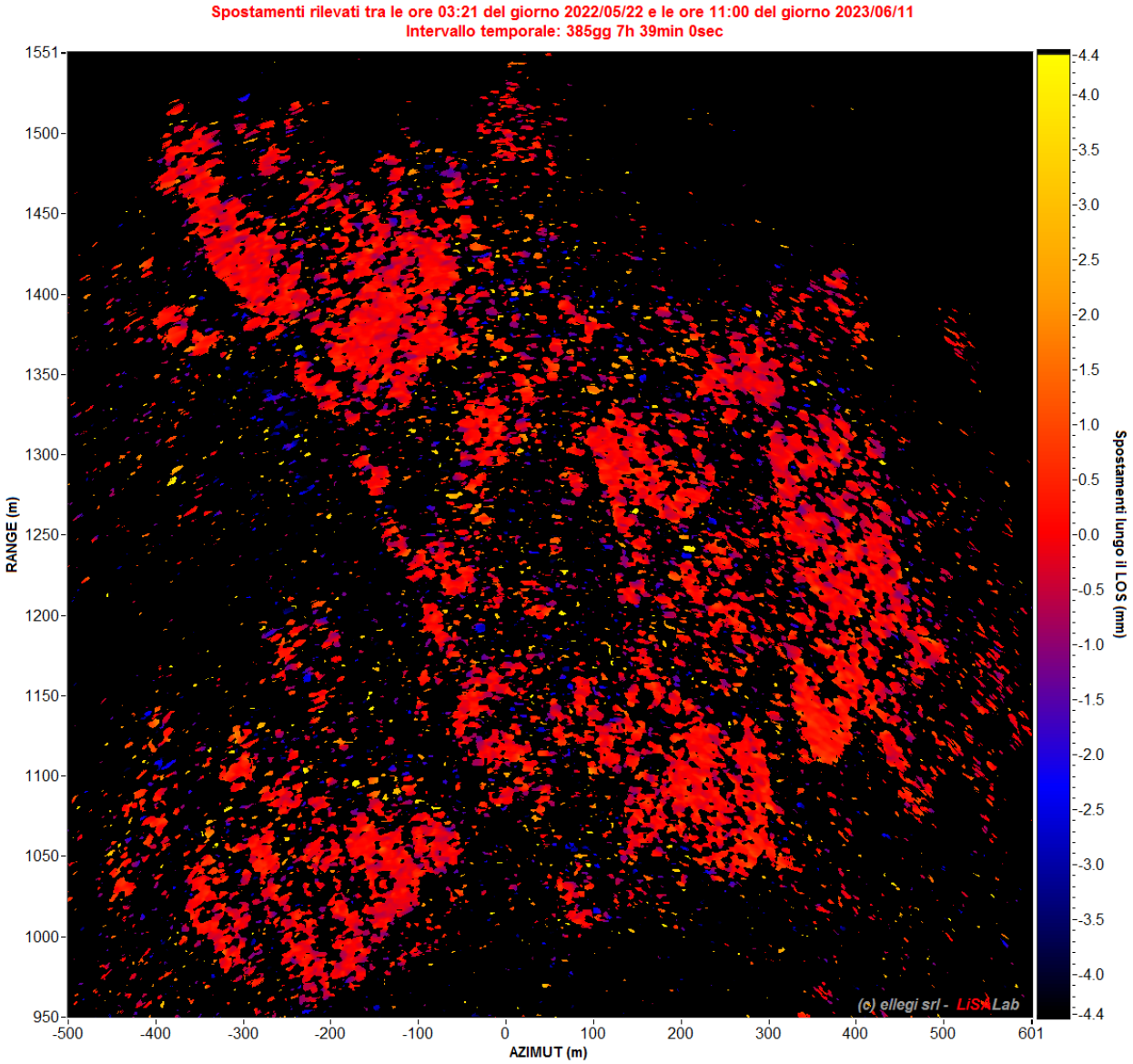


Figura 67: Mappa di spostamento 2D per il periodo 22 Maggio 2022 – 11 Giugno 2023 (385 giorni 7 ore e 38 minuti) – rappresentazione classica. Postazione Est, sottofinestra Far.

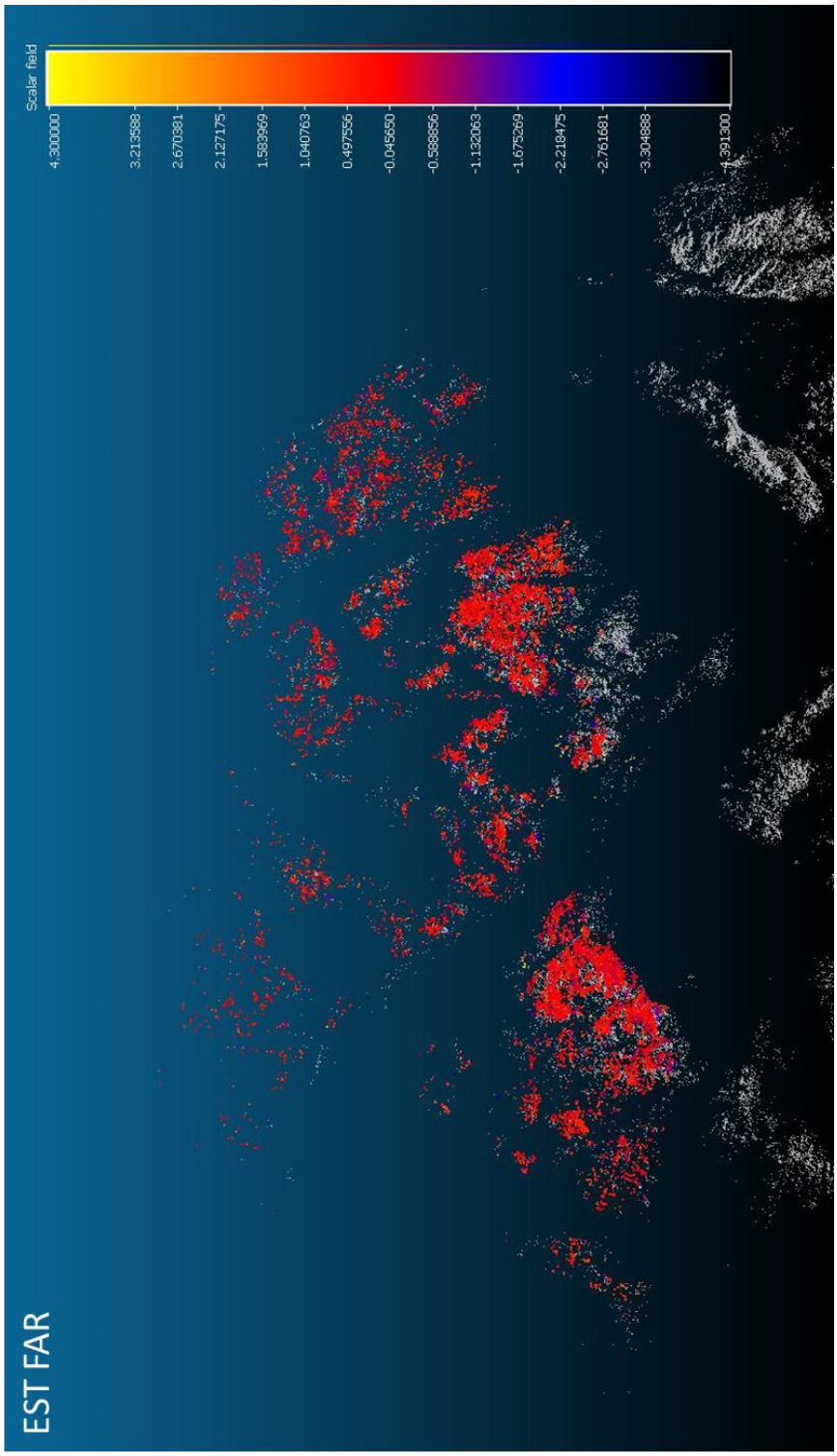


Figura 68: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 Maggio 2023 – 11 Giugno 2023 (385 giorni 7 ore e 38 minuti) su Point Cloud. Postazione Est, sottofinestra Far.

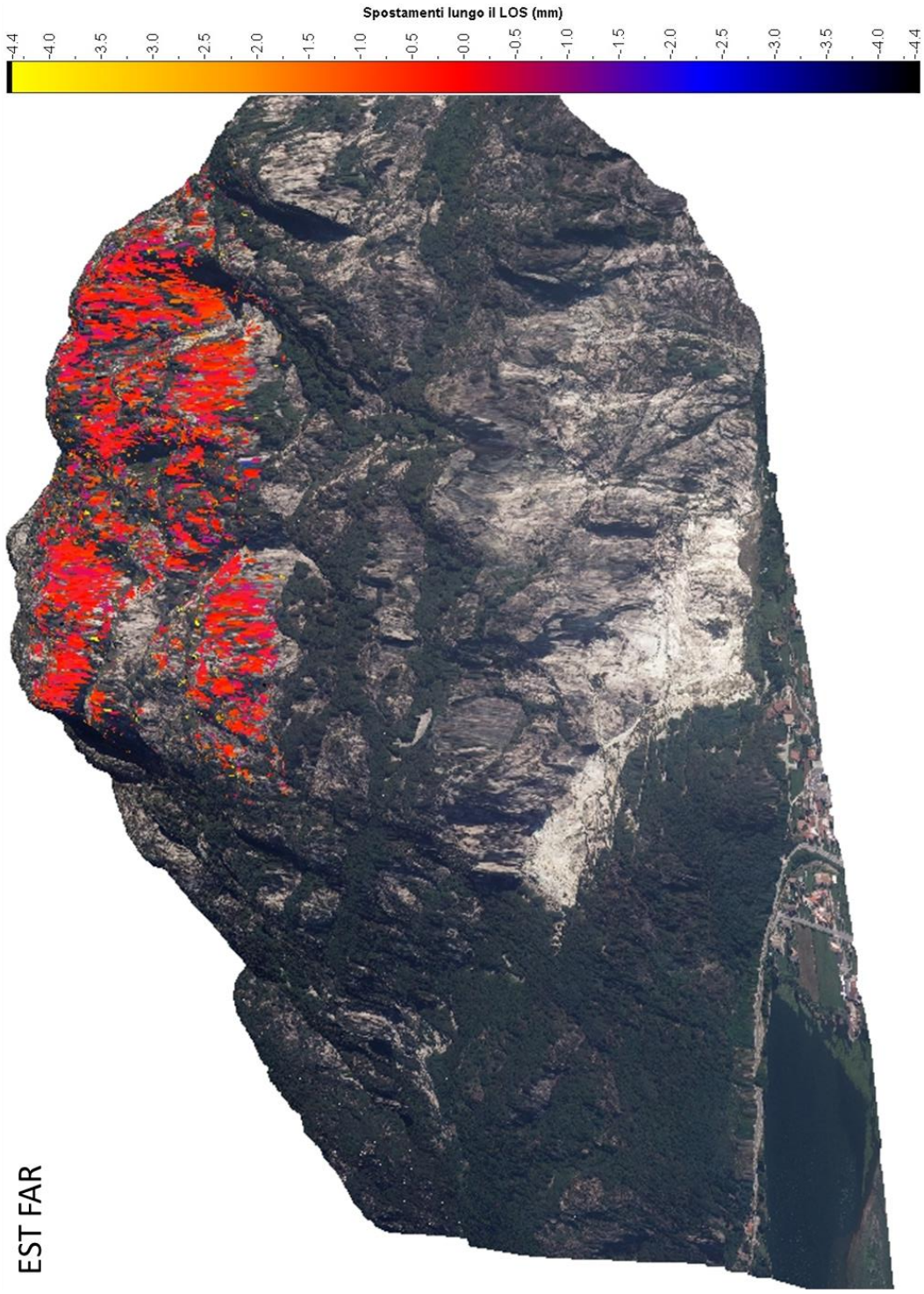


Figura 69: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 Maggio 2023 – 11 Giugno 2023 (385 giorni 7 ore e 38 minuti) su DEM del versante. Postazione Est, sottofinestra Far.

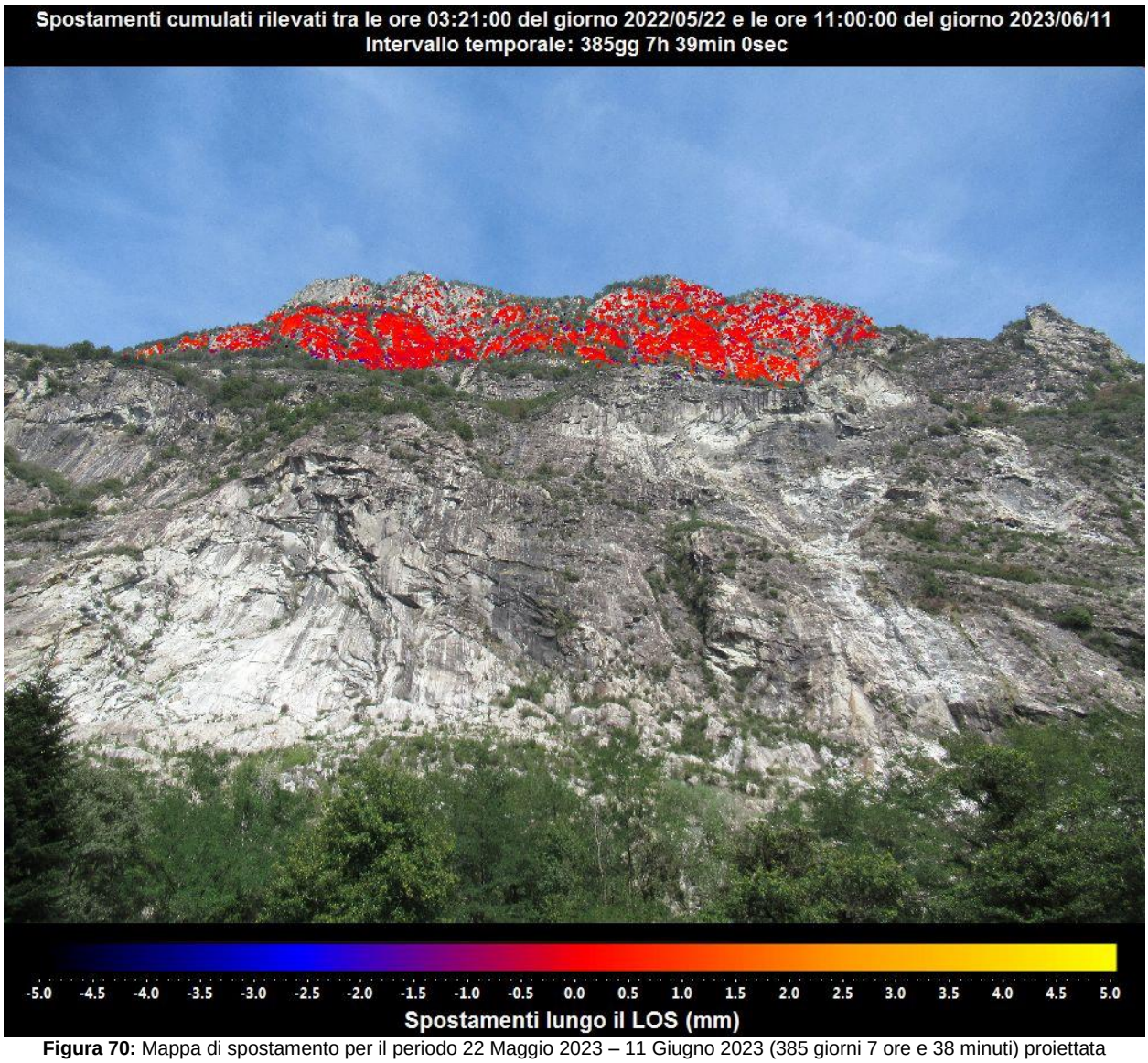


Figura 70: Mappa di spostamento per il periodo 22 Maggio 2023 – 11 Giugno 2023 (385 giorni 7 ore e 38 minuti) proiettata sull'immagine ottica del versante. Postazione Est, sottofinestra Far.

Dall'analisi sul lungo termine eseguita tra la campagna di Maggio 2022 e la campagna di Giugno 2023 per la postazione *Est Far* non si osservano zone in movimento. Tutte le aree in movimento nel periodo Gennaio 2023 – Giugno 2023 (S, T, O, R, Z) mostrano, tra Maggio 2022 e Giugno 2023, spostamenti nulli o al di sotto della precisione strumentale.

Si rimanda al paragrafo "analisi riassuntiva" per le considerazioni sui risultati ottenuti.

Analisi puntuale

Per migliorare la comprensione del fenomeno sono stati scelti 11 Punti di Interesse (POI) distribuiti lungo lo scenario osservato ed in particolare all'intero delle aree individuate in movimento nel corso di questo primo anno di monitoraggio. Per ciascuno di questi punti sono stati calcolati i valori degli spostamenti misurati lungo la LOS nei mesi di monitoraggio.

E' importante sottolineare che le serie temporali dei POI danno una informazione ed una rappresentazione puntuale degli spostamenti e che da soli non possono essere usati per identificare ed analizzare il comportamento dell'area in cui giacciono. Per descrivere in modo globale il comportamento del versante e delle aree in movimento è utile fare riferimento alle mappe di spostamento presentate nei capitoli precedenti. Queste, infatti, possono restituire dei valori di spostamento medi sull'intera area analizzata differenti rispetto ai valori puntuali ottenuti per i singoli punti. Nonostante ciò, le serie temporali, nel loro insieme, sono utili per valutare l'andamento nel tempo dei POI, nel breve e lungo termine, in modo da rilevarne possibili accelerazioni e ipotizzare il comportamento evolutivo del fenomeno studiato in particolari punti di interesse.

In Tabella 1 riportiamo le coordinate geografiche (nel sistema UTM WGS84) dei 16 Punti di Interesse analizzati. Ogni punto della tabella rappresenta il baricentro di un'area in movimento.

AREA	Est [m]	Nord [m]	Quota [m]
A	534885.5000	5119369.5000	359
B	535008.7365	5120061.8280	1293
C	535154.0625	5119326.0000	531
D	535367.0000	5119292.5000	678
E	535327.8750	5119348.5000	702
F	535193.1875	5119306.5000	623
G	534601.3125	5119706.0000	563
I	534496.6397	5119914.6505	588
L	534908.8750	5119399.5000	480
M	535570.3750	5119267.5000	771
N	534618.1392	5120126.8406	872
O	535514.6250	5119623.5000	1082
R	535584.6720	5119524.7657	1049
S	534956.1580	5120075.9705	1243
T	535541.3125	5119628.0000	1176
U	534982.6250	5119316.0000	388

Tabella 1: Coordinate geografiche espresse nel sistema UTM-WGS84 dei POI individuati sulle 11 aree in movimento.

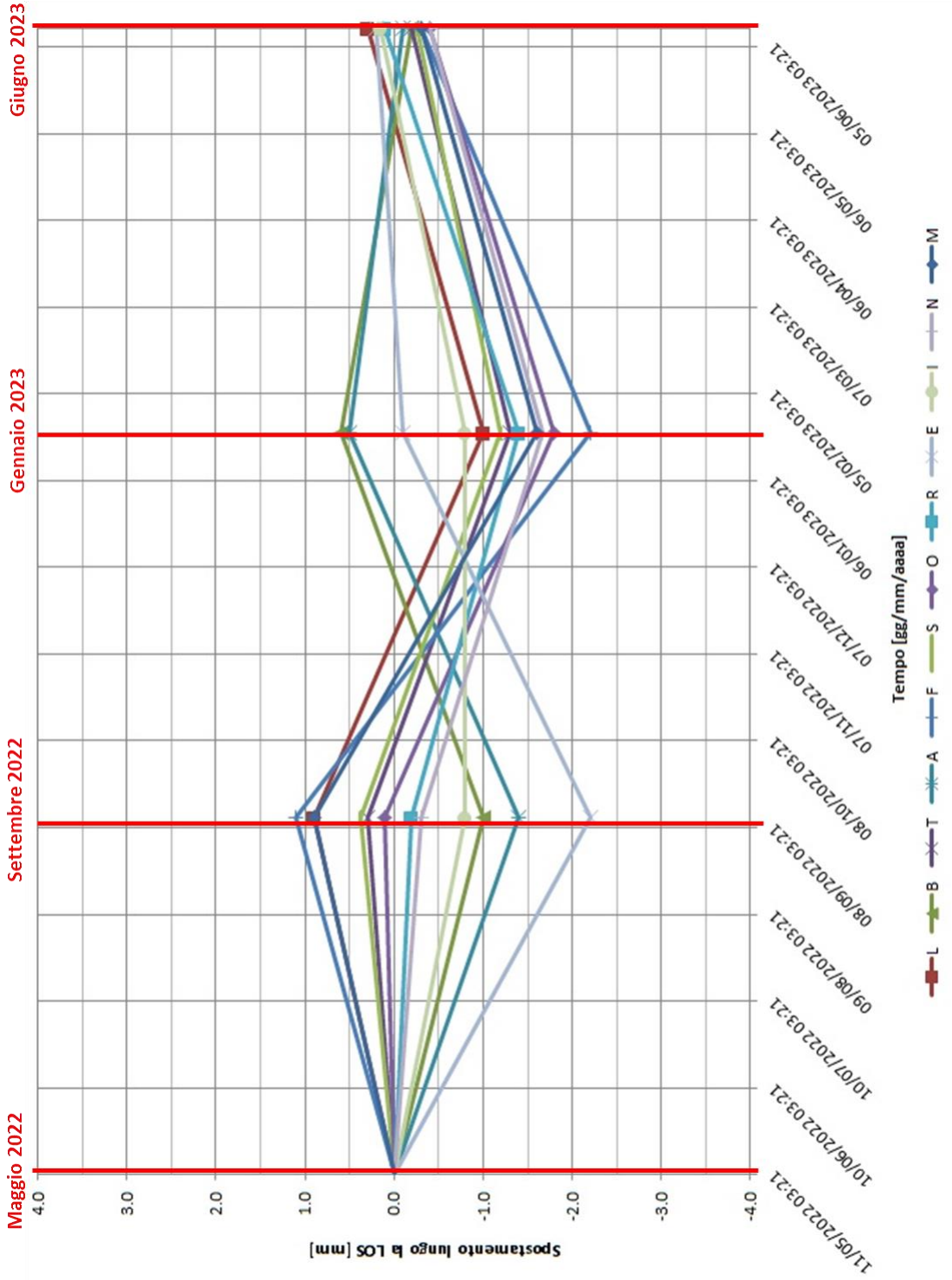


Figura 71: serie temporali delle aree che hanno registrato spostamenti inferiori a +-0.5 mm nel periodo tra la I e la IV-2 campagna di misura

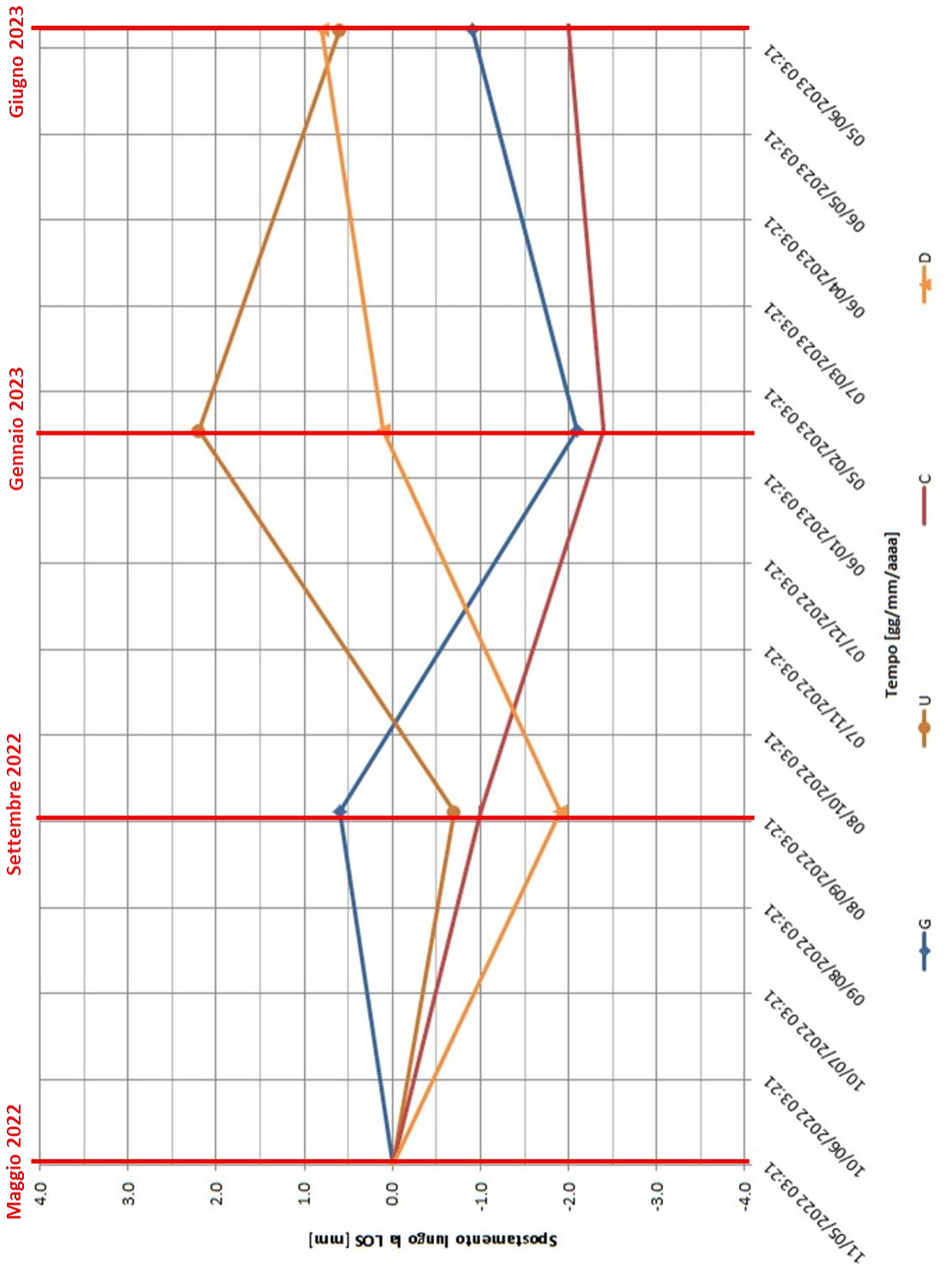


Figura 72: serie temporali delle aree che hanno registrato spostamenti superiori a +-0.5 mm nel periodo tra la I e la IV-2 campagna di misura

Nei grafici di Figura 71 e di Figura 72 sono mostrate le serie temporali degli spostamenti negli intervalli di tempo intercorsi tra le campagne di misura di Maggio 2022, Settembre 2022, Gennaio 2023 e Giugno 2023. In entrambi i grafici si possono osservare delle oscillazioni stagionali tra le diverse campagne con comportamenti anche opposti. Tuttavia, il primo grafico mostra gli spostamenti dei punti che sul primo anno di monitoraggio hanno cumulato uno spostamento totale inferiore alla precisione strumentale di +- 0.5 mm e che quindi possono considerarsi fermi in tale intervallo di osservazione, viceversa, il secondo grafico mostra i punti che hanno cumulato uno spostamento totale superiore alla precisione strumentale e che quindi possono considerarsi in movimento nell'arco del primo anno di monitoraggio.

Tutti i punti riportati nel grafico di Figura 71, quindi, sono rappresentativi di aree che nell'arco di un anno restano sostanzialmente ferme ma che mostrano delle oscillazioni a frequenza stagionale. I punti O, T, S, L, N, M ed F mostrano spostamenti in allontanamento al sistema nei periodi Maggio 2022 – Settembre 2022 e Gennaio 2023 – Giugno 2023 e spostamenti in avvicinamento al sistema nel periodo Settembre 2022 – Gennaio 2023. I punti B, A ed E mostrano invece un trend opposto al precedente con spostamenti in avvicinamento al sistema nel periodo Maggio 2022 – Settembre 2022 e Gennaio 2023 - Giugno 2023 e spostamenti in allontanamento al sistema nel periodo Settembre 2022 - Gennaio 2023. Infine, il punto I mostra spostamenti in avvicinamento al sistema tra Maggio 2022 e Settembre 2022, assenza di spostamenti tra Settembre 2022 e Gennaio 2023 e movimenti in allontanamento al sistema tra Gennaio 2023 e Giugno 2023.

Nel grafico di Figura 72 sono rappresentate le aree classificabili in movimento nell'arco dell'intero anno di misura, queste sono le aree G, U, C e D. Le aree U e D nel periodo Maggio 2022 – Giugno 2023 mostrano spostamenti complessivamente in allontanamento rispetto al sistema, sebbene subiscano stagionalmente delle oscillazioni con valori di spostamento sia positivi, sia negativi. Le aree G e C, invece, mostrano un trend che va complessivamente verso valori negativi rispettivamente pari a -0.9 mm, e -2.0 mm. Ricordiamo che il punto G è rappresentativo dell'area del pilastro roccioso sopra località Foppa riconosciuto come oggetto di monitoraggio.

Si rimanda al paragrafo "analisi riassuntiva" per le considerazioni sui risultati ottenuti.

Analisi riassuntiva

In Figura 73 è riportata l'ubicazione di tutte le aree riscontrate in movimento nel primo anno di monitoraggio sul DEM del versante, in Figura 74 è riportata la mappa complessiva 3D degli spostamenti riferita al periodo Gennaio 2023 – Giugno 2023 (III-IV-2 campagna) mentre in Figura 75 è riportata la mappa complessiva 3D degli spostamenti riferita al periodo Maggio 2022 – Giugno 2023 (I-IV-2 campagna).

Partendo da queste tre mappe riportiamo di seguito un'analisi riassuntiva degli spostamenti rilevati sul versante del Monte Avedèe nel primo anno di monitoraggio.

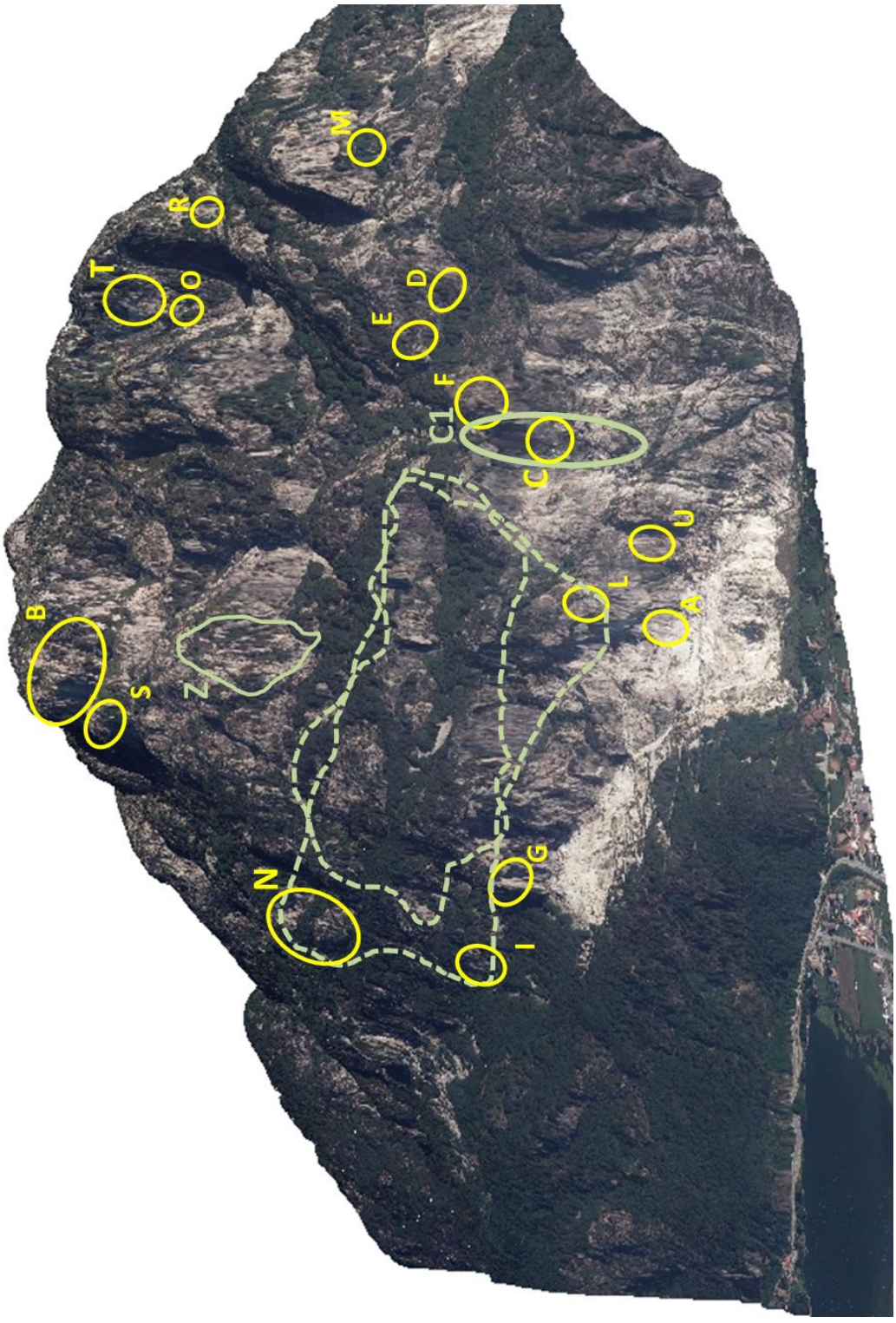


Figura 73: Ubicazione delle aree in movimento sul DEM del versante

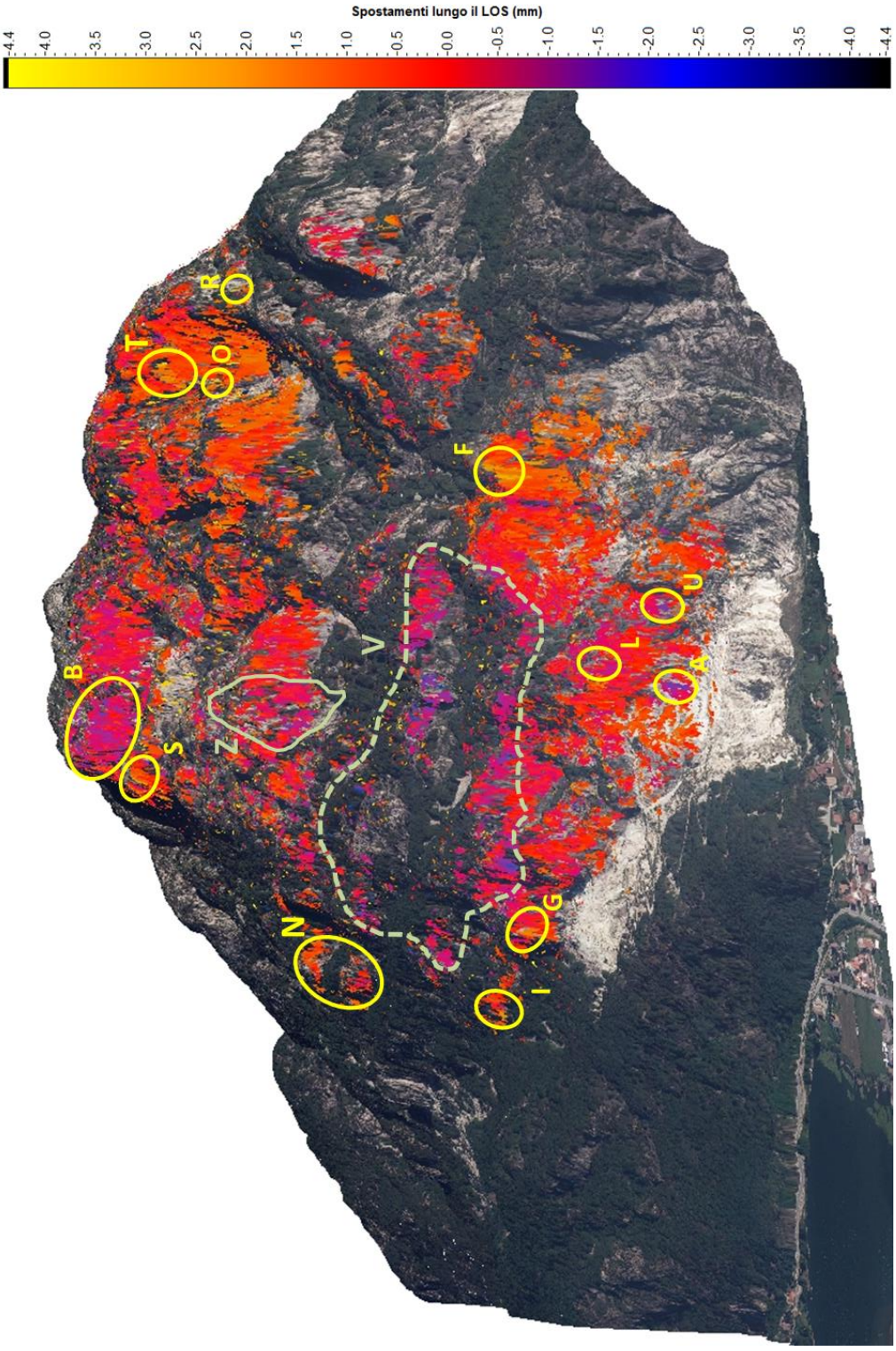


Figura 74: Visione d'insieme delle quattro mappe di spostamento (entrambe le postazioni, tutte le sottofinestre) per il periodo 22 Gennaio 2022 - 11 Giugno 2023 su DEM del versante

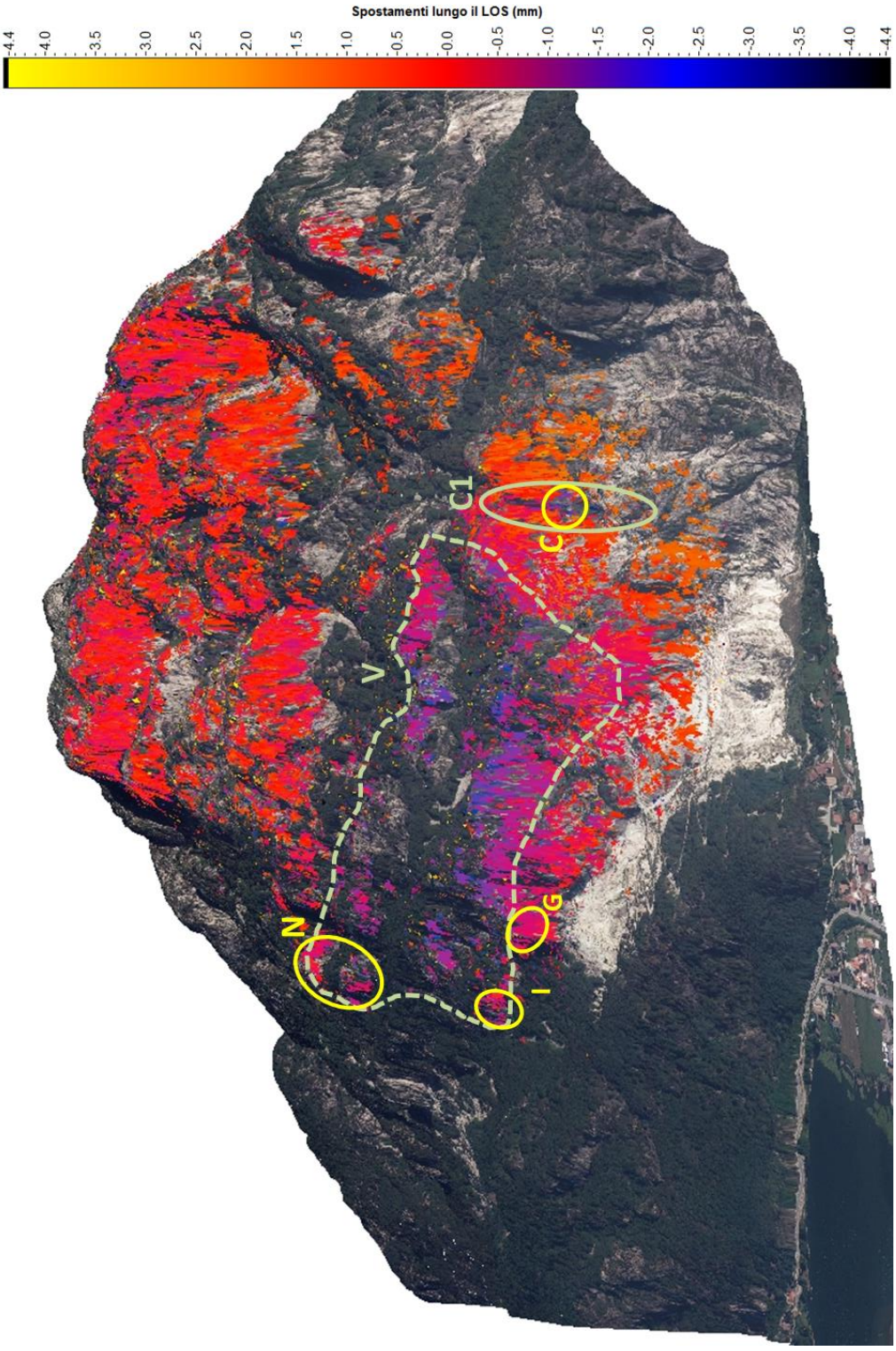


Figura 75: Visione d'insieme delle quattro mappe di spostamento (entrambe le postazioni, tutte le sottofinestre) per il periodo 22 Maggio 2022 - 11 Giugno 2023 su DEM del versante

A differenza di quanto osservato nelle campagne precedenti e nel confronto tra di esse, tra i due periodi analizzati in questo report (Gennaio 2023 – Giugno 2023 e Maggio 2022 – Giugno 2023), nel complesso, si osserva una diversa distribuzione degli spostamenti.

Tra Gennaio 2023 e Giugno 2023 (intervallo tra la III e la IV-2 campagna periodica), considerando tutte e quatto le sottofinestre, si osservano movimenti differenziali concentrati su 13 aree di dimensione ridotta (Figura 74). In particolare, di queste 13 aree, 8 mostrano spostamenti in allontanamento rispetto al sistema (aree T, O, R, F, G, S, N, I) e 5 mostrano spostamenti in avvicinamento rispetto al sistema (aree B, L, A, U, Z) in un intervallo temporale di circa 5 mesi. Quasi tutte queste aree avevano già mostrato movimenti differenziali nei report precedenti e gli spostamenti qui rilevati tra la III e la IV-2 campagna periodica confermano il trend oscillatorio che alternava movimenti in avvicinamento e movimenti in allontanamento rispetto al sistema nei diversi intervalli di tempo considerati (questo comportamento oscillatorio è osservabile anche nelle serie temporali dei relativi POI di Figura 71 e Figura 72). Tra queste aree di piccole dimensioni, l'unica nuova area identificata in questo report è la Z.

Nelle mappe di questo periodo (intervallo tra la III e la IV-2 campagna periodica) si riscontra inoltre la presenza della zona V, molto estesa e caratterizzata da spostamenti medi vicini alla precisione strumentale. Questi spostamenti sono distribuiti sulla parte sommitale delle pareti rocciose e sulla parte di versante sovrastante, meno acclive e parzialmente vegetata. Un spostamento simile e diffuso era già stato individuato nel report della III campagna di misura ed era stato correlato ipoteticamente alle variazioni termiche stagionali o all'influenza della vegetazione ai bordi delle pareti rocciose. Nell'intervallo Gennaio 2023 – Giugno 2023, l'area ha una diversa estensione laterale in funzione della LOS della finestra di osservazione (l'area vista dalla postazione Ovest Near risulta maggiormente estesa lateralmente rispetto a quella vista dalla postazione Est Near) ed ha una estensione verticale abbastanza simile (si estende da quota 336 m a quota 752 m se vista dalla postazione Ovest Near e si estende da quota 498 m a quota 758 m se vista dalla postazione Est Near). Anche l'entità degli spostamenti varia di poco e sempre in funzione della LOS, da -0.5 mm a -0.7 mm.

Tra Maggio 2022 e Giugno 2023 (intervallo tra la I e la IV-2 campagna periodica) (Figura 75) si riscontrano le seguenti aree in movimento: N, I G, C e C1. Le prime quattro sono aree che avevano già mostrato movimenti nel report della III campagna periodica, e risultano tutte in avvicinamento. L'area C1, che in parte comprende l'area C e che non era mai stata identificata come in movimento, risulta anch'essa in avvicinamento. Osservando la distribuzione D degli spostamenti (Figura 75) si osserva come le aree N, I e G risultino comprese all'interno dell'area V, nuovamente presente anche in questo intervallo temporale. L'area V in questo caso si estende per gran parte al di sopra delle pareti verticali (Figura 75) e mostra spostamenti medi superiori rispetto al periodo analizzato precedentemente (Gennaio 2023 – Giugno 2023). Il valore medio di spostamento di tutti i pixel in questa area si aggira attorno a -1 mm in avvicinamento in 385 giorni circa di monitoraggio e varia di poco in funzione della LOS che tuttavia

influisce sull'estensione di tale area, che risulta superiore lateralmente se osservata dalla postazione Ovest. Verticalmente, l'area V si estende da quota 556 m a quota 752 m se vista dalla postazione Ovest Near e da 451 m a 749 m se vista dalla postazione Est Near. Gli spostamenti misurati sulle aree N, I, G in questo intervallo di tempo sono molto probabilmente dovute all'influenza di questo importante movimento diffuso e non ai movimenti differenziali su piccola scala che osserviamo nel periodo Gennaio 2023 – Giugno 2023. Gli spostamenti rilevati su queste tre aree nell'intervallo tra Maggio 2022 e Giugno 2023 hanno infatti una entità paragonabile a quella osservate sull'area estesa V nello stesso periodo di tempo e sembrano essere parte di essa.

Riferendoci a quanto descritto da *Gischig et al., 2011*, JGR, le aree in movimento individuate mediante le mappe di spostamento e l'analisi puntuale in questo report per il periodo Gennaio 2023 – Giugno 2023 e nei report delle campagne precedenti potrebbero subire l'influenza del ciclo termico, che spiegherebbe perché paragonando periodi dell'anno a diverse condizioni termiche risultano in movimento e a distanza di un anno, a pari condizioni di temperatura, non mostrano alcuno spostamento (si rimanda all'esempio in Figura 10 per ulteriori spiegazioni). Questo effetto termico produrrebbe, nello stesso intervallo di tempo, movimenti sia in allontanamento, sia in avvicinamento al sistema in funzione del tipo di roccia (es. diverso coefficiente di dilatazione termica), delle caratteristiche geomeccaniche della roccia, (es. stato di fratturazione dell'ammasso roccioso), e delle condizioni al contorno. Tutte queste caratteristiche andrebbero valutate attraverso un sopralluogo sul versante.

Un possibile effetto termico, tuttavia, non sembra spiegare il movimento che vediamo estendersi sull'area V poiché esso persiste anche a distanza di un anno e a pari condizioni termiche (intervallo tra la I e la IV-2 campagna di misura). Le cause di tale spostamento potranno essere investigate ulteriormente con i prossimi report periodici, verificando se, nel tempo, si osserva il assorbimento di tali spostamenti o se, viceversa, vediamo una loro prosecuzione.

In letteratura esistono casi simili in cui si sono osservati spostamenti distribuiti su ampie porzioni del versante definiti come "rigonfiamenti" dovuti alla circolazione dell'acqua nel sottosuolo (Rouyet et al., 2016). In particolare, tali rigonfiamenti mostravano oscillazioni stagionali correlate con il ciclo di gelo/disgelo che tuttavia non osserviamo sul sito di Novate Mezzola.

In questo caso resta da chiarire l'influenza delle piogge sugli spostamenti osservati sull'area V. Infatti, sempre in funzione dello stato di fratturazione dell'ammasso roccioso, l'acqua che si infiltra nel sottosuolo, anche nelle zone parzialmente vegetate, potrebbe contribuire a creare delle sovra pressioni tali da favorire il movimento in determinati settori del versante.

Per quanto riguarda nello specifico l'analisi degli spostamenti sull'area G, cioè il pilastro roccioso sopra località Foppa, possiamo concludere che tale pilastro subisce, come la maggior parte delle altre aree descritte nei capitoli precedenti, dei cicli stagionali di movimenti che alternano spostamenti in allontanamento al sistema a spostamenti in avvicinamento al sistema e che potrebbero essere correlabili con le oscillazioni termiche rilevate da i dati della stazione meteo di Samolaco. Nell'arco dell'intero anno,

a pari condizioni di temperatura, il pilastro mostra degli spostamenti minimi che non sembrano essere correlati con quelli stagionali ma che piuttosto potrebbero far parte dell'ampio movimento osservato nella zona V (il movimento dell'area V, infatti, include la zona del pilastro roccioso).

Nel periodo Maggio 2022 – Giugno 2023 è stata rilevata una nuova area in movimento che in parte coincide con l'area C ma che ha una maggiore estensione verticale. Tale area è stata nominata "C1" e corrisponde ad una zona particolarmente umida del versante che mostra spostamenti di circa -1.5 mm in avvicinamento al sistema nell'arco dell'intero anno di monitoraggio.

Conclusioni

Dopo aver analizzato i dati acquisiti nell'ultima campagna di misura (Giugno 2023), che rappresenta il IV-2 Periodical Check del rilievo con tecnologia GBInSAR LiSALab per il monitoraggio delle pareti rocciose del Monte Avedèe nel Comune di Novate Mezzola (SO), si può concludere che:

1. La quarta campagna di misura si è svolta inizialmente dal 19 al 23 Maggio 2023 ma ha riportato dei risultati che mostravano evidenze di movimento su importanti porzioni del versante di entità pari a circa -1 mm in 365 giorni. Considerando che le condizioni meteo erano state avverse per tutta la durata della campagna di misura, con la presenza di forti temporali e quindi di condizioni di umidità sulla parete, al fine di valutare se tali spostamenti fossero reali o il frutto di effetti atmosferici non completamente compensati e non eliminabili, si è provveduto a ripetere la misura a circa due settimane di distanza e precisamente tra il 9 e il 13 Giugno in condizioni molto simili a quelle di maggio 2022. In questo report sono stati presentati i risultati del IV-2 PC che rappresenta quindi il quarto monitoraggio periodico eseguito per il sito di Novate Mezzola (SO).

2. I due sistemi GBInSAR LiSALab installati nel Giugno 2023 nel Comune di Novate Mezzola (SO) hanno funzionato correttamente e continuativamente dal 9 all' 11 Giugno 2023, acquisendo un totale di 668 dalla postazione *Est* e 670 immagini dalla postazione *Ovest*.

3. Lo scenario in esame si conferma visibile al radar da entrambe le postazioni, le aree che rispondono meglio sono quelle corrispondenti alle aree non vegetate. I dati acquisiti da entrambe le postazioni sono stati elaborati per due sottofinestre spaziali: una sottofinestra *Near* ha coperto le regioni più vicine alle postazioni di misura, una finestra spaziale *Far* ha coperto le aree poste a quote più elevate e quindi più lontane dal sistema radar.

4. Per migliorare la qualità dei risultati ed aumentare il rapporto segnale-rumore sono state elaborate delle immagini "mediate" su intervalli temporali di circa 24 ore. Dalle immagini così ottenute sono state prodotte delle mappe di spostamento per l'analisi a breve termine degli spostamenti misurati nel corso della campagna di misura.

5. I risultati ottenuti sono stati proiettati anche in 3D mediante l'utilizzo di due diversi supporti: un primo modello 3D ottenuto da rilievi Lidar, in formato Point Cloud, e un secondo modello 3D ottenuto in formato raster e successivamente integrato con ortofoto che aiutano a localizzare la posizione del dato radar sul versante monitorato.

6. L'analisi a breve termine, che copre l'intervallo temporale dal 9 al 13 Giugno 2023 ha evidenziato la assenza di aree interessate da spostamenti e/o riconducibili a movimenti generalizzati del versante. La presenza di piccole aree caratterizzate da spostamenti di pochi pixel non desta alcuna preoccupazione in quanto rappresenta effetti locali riconducibili a fenomeni di disturbo che possono generare dati non affidabili, vista anche la presenza di vegetazione nella regione monitorata.

7. Per l'analisi sul lungo termine sono stati analizzati due diversi intervalli temporali:
   a) a copertura del periodo 22 Gennaio 2023 - 11 Giugno 2023, tra la III e la IV-2 campagna periodica;
   b) a copertura del periodo 22 Maggio 2022 - 11 Giugno 2023, tra I e IV-2 campagna periodica.

8. Le analisi condotte su entrambi gli intervalli temporali mostrano diverse aree in movimento nel periodo Gennaio 2023 – Giugno 2023 e che risultano ferme nel periodo Maggio 2022 – Giugno 2023. Queste aree, per gran parte già riscontrate in movimento nei report delle scorse campagne periodiche, potrebbero essere influenzate dalle oscillazioni termiche;

9. Le analisi condotte su entrambi gli intervalli temporali hanno mostrato la presenza di un'area estesa caratterizzata da spostamenti in avvicinamento al sistema di circa -0.5/-0.7 mm nel periodo Gennaio 2023 - Giugno 2023 e di circa -1 mm nel periodo Maggio 2022 – Giugno 2023. Gli spostamenti su tale area, che comprende la parte superiore delle pareti rocciose e la parte di versante sovrastante e parzialmente vegetata, sembrano essere classificabili come reali spostamenti sul versante, tuttavia, nei prossimi report periodici verrà verificato se tali spostamenti avranno un'evoluzione o se anch'essi possono essere considerati in parte condizionati da variazioni termiche;

10. Le analisi condotte sull'intervallo di tempo tra la I e la IV-2 campagna periodica hanno mostrato la presenza di una zona in movimento che coincide in parte con l'area C descritta nei report precedenti ma di dimensioni superiori (area C1). Tale area corrisponde ad una zona particolarmente umida caratterizzata dalla presenza di acqua a seguito di precipitazioni.

Allegati

Al presente report si allegano le seguenti mappe in formato elettronico:

a) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 9 e il 13 Giugno 2023 ottenuta dalla Postazione *Ovest*, finestra *Near*;
b) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 9 e il 13 Giugno 2023 ottenuta dalla Postazione *Ovest*, finestra *Far*;
c) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 9 e il 13 Giugno 2023 ottenuta dalla Postazione *Est*, finestra *Near*;
d) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 9 e il 13 Giugno 2023 ottenuta dalla Postazione *Est*, finestra *Far*;
e) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 22 Gennaio 2023 e l'11 Giugno 2023 ottenuta dalla Postazione *Ovest*, finestra *Near;*
f) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 22 Gennaio 2023 e l'11 Giugno 2023 ottenuta dalla Postazione *Ovest*, finestra *Far;*
g) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 22 Gennaio 2023 e l'11 Giugno 2023 ottenuta dalla Postazione *Est*, finestra *Near;*
h) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 22 Gennaio 2023 e l'11 Giugno 2023 ottenuta dalla Postazione *Est*, finestra *Far;*
i) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 22 Maggio 2022 e l'11 Giugno 2023 ottenuta dalla Postazione *Ovest*, finestra *Near;*
j) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 22 Maggio 2022 e l'11 Giugno 2023 ottenuta dalla Postazione *Ovest*, finestra *Far;*
k) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 22 Maggio 2022 e l'11 Giugno 2023 ottenuta dalla Postazione *Est*, finestra *Near;*
l) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 22 Maggio 2022 e l'11 Giugno 2023 ottenuta dalla Postazione *Est*, finestra *Far;*
m) File Excel contenente i grafici delle serie temporali del punti di interesse e tabella con loro coordinate geografiche. Documento "Analisi_POI_20230613".

Note, Avvertenze e Limitazioni di Responsabilità

Nel presente report non è stata prevista né è stata fornita nessuna interpretazione geofisica, geologica o strutturale dei dati acquisiti, elaborati e presentati.
Nessuna interpretazione successiva potrà essere ascritta o associata alla Ellegi srl.

LiSALab il suo logo, lo slogan e LiSAmobile sono marchi o marchi registrati della Ellegi srl.

Tutti gli altri prodotti, servizi, nomi menzionati nel documento sono marchi dei rispettivi proprietari.
Qualsiasi prodotto, processo o tecnologia descritta in questo documento può essere soggetta a Proprietà Intellettuale di proprietà della Ellegi srl. Lo stesso può essere applicato alla Proprietà intellettuale di proprietà di altri.

Le informazioni contenute in questo documento sono fornite “così come sono" senza alcuna garanzia di qualsiasi genere, sia espressa sia implicita, inclusa ma non limitata alla garanzia implicita di fattibilità tecnico - commerciale, adattabilità a particolari applicazioni e o scopi, o di inviolabilità di proprietà intellettuale.

Le informazioni contenute in questo documento possono contenere errori tipografici e imprecisioni tecniche. Cambiamenti e modificazioni delle informazioni e dei contenuti possono essere apportate ed incorporate nelle nuove revisioni del documento.

La Ellegi srl può apportare in qualsiasi momento e senza alcun obbligo di comunicazione modificazioni, sviluppi o cambiamenti ai prodotti ed ai servizi descritti.
Vietata la riproduzione e la diffusione senza preventivo consenso della Ellegi srl.