LISALAB

REPORT

IX PERIODICAL CHECK

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

23 – 27 GENNAIO 2025

Cliente: Comunità Montana Valchiavenna

Località: Novate Mezzola (SO)

Contratto #: 182204cvc

CUP: B11B21004540002

CIG: 91968611CA

DOCUMENTO RISERVATO

9					
8					
7					
6					
5					
4					
3					
2					
1					
0	10 Febbraio 2025	Emissione	AG	FC	CR
Rev.	**Data:**	**Note:**	**Scritto da:**	**Controllato da:**	**Approvato da:**

LISALAB

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 11

Parametri di misura e caratteristiche dell'immagine SAR 17

Elaborazione dei risultati della campagna di misura di gennaio 2025 22

Mappe di potenza 22

Mappe di spostamento 30

Analisi degli spostamenti a breve termine: 23 – 27 gennaio 2025 30

Analisi degli spostamenti a lungo termine 40

Postazione Ovest Near 42

Analisi per il periodo 13 gennaio 2024 – 25 gennaio 2025. 42

Analisi per il periodo 22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025 49

Postazione Ovest Far 57

Analisi per il periodo 13 gennaio 2024 – 25 gennaio 2025 57

Analisi per il periodo 22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025 61

Postazione Est Near 66

Analisi per il periodo 26 settembre 2024 – 25 gennaio 2025 66

Analisi per il periodo 22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025 75

Postazione Est Far 84

Analisi per il periodo 26 settembre 2024 – 25 gennaio 2025 84

Analisi per il periodo 22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025 89

Analisi puntuale 94

Analisi riassuntiva 97

Conclusioni 100

Allegati 102

Note, Avvertenze e Limitazioni di Responsabilità 103

LISALAB

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.

LISALAB

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.

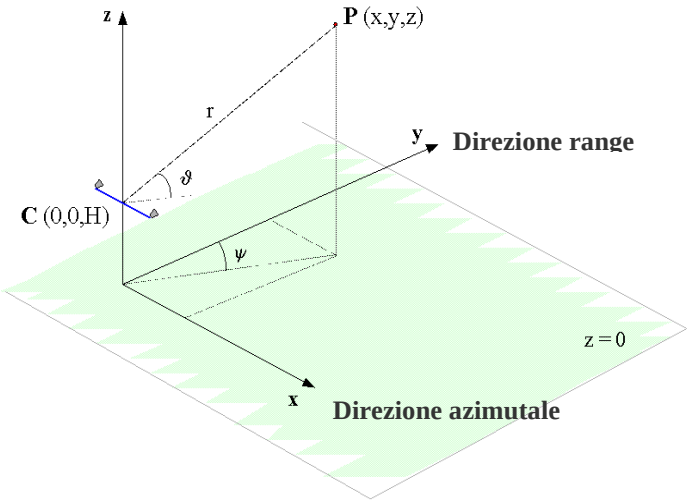


Figura 1: Sistema di riferimento utilizzato

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).

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 2022-2025 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).

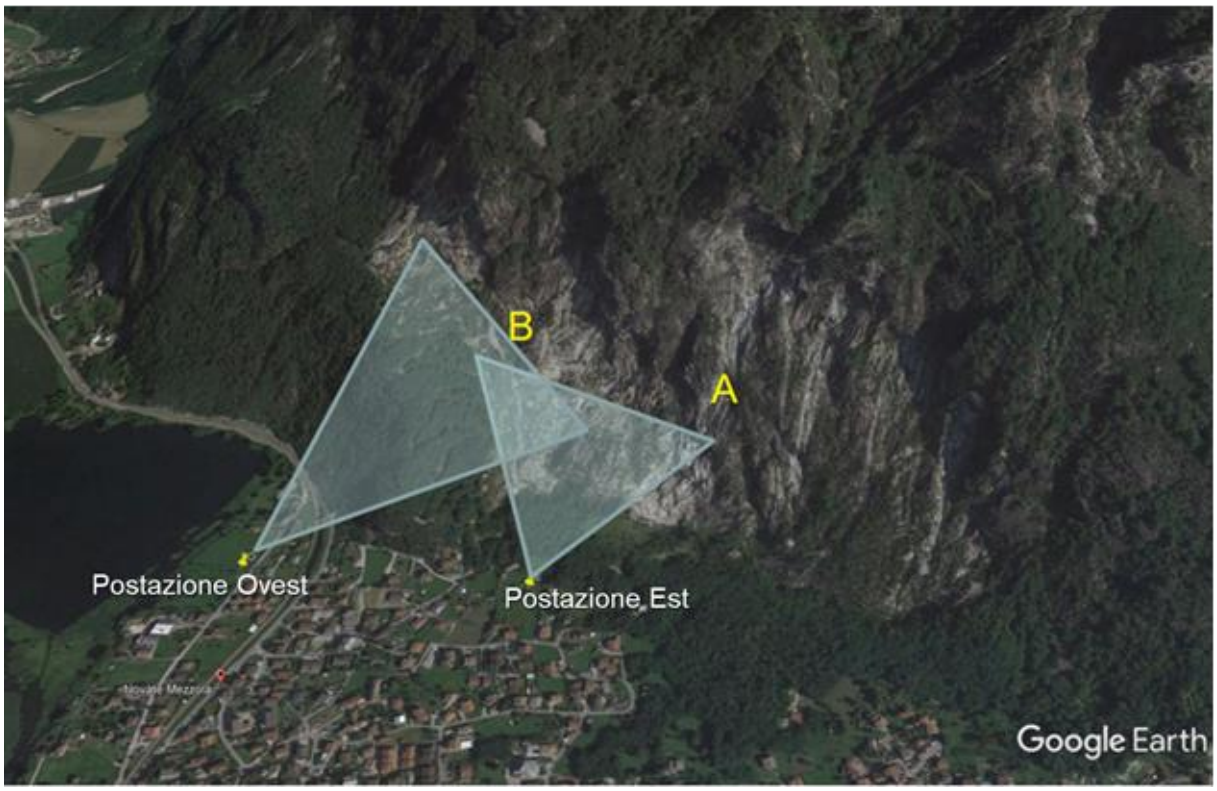


Figura 2: Ubicazione delle due postazioni di misura. La postazione *Ovest*, situata in vicinanza del lago di Novate Mezzola, permette di ottimizzare le misure nell'area B mentre la postazione *Est*, prossima al versante, permette una buona copertura dell'area A.

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 1000 m. In Figura 3 sono 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 si estende in altitudine fino a circa 650 m s.l.m. ed è situata immediatamente sopra al luogo dove si sta progettando la costruzione di un vallo a protezione dell'abitato di Novate. 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. Il fine del monitoraggio richiesto è il controllo della stabilità, l'individuazione e la perimetrazione di eventuali aree in movimento.

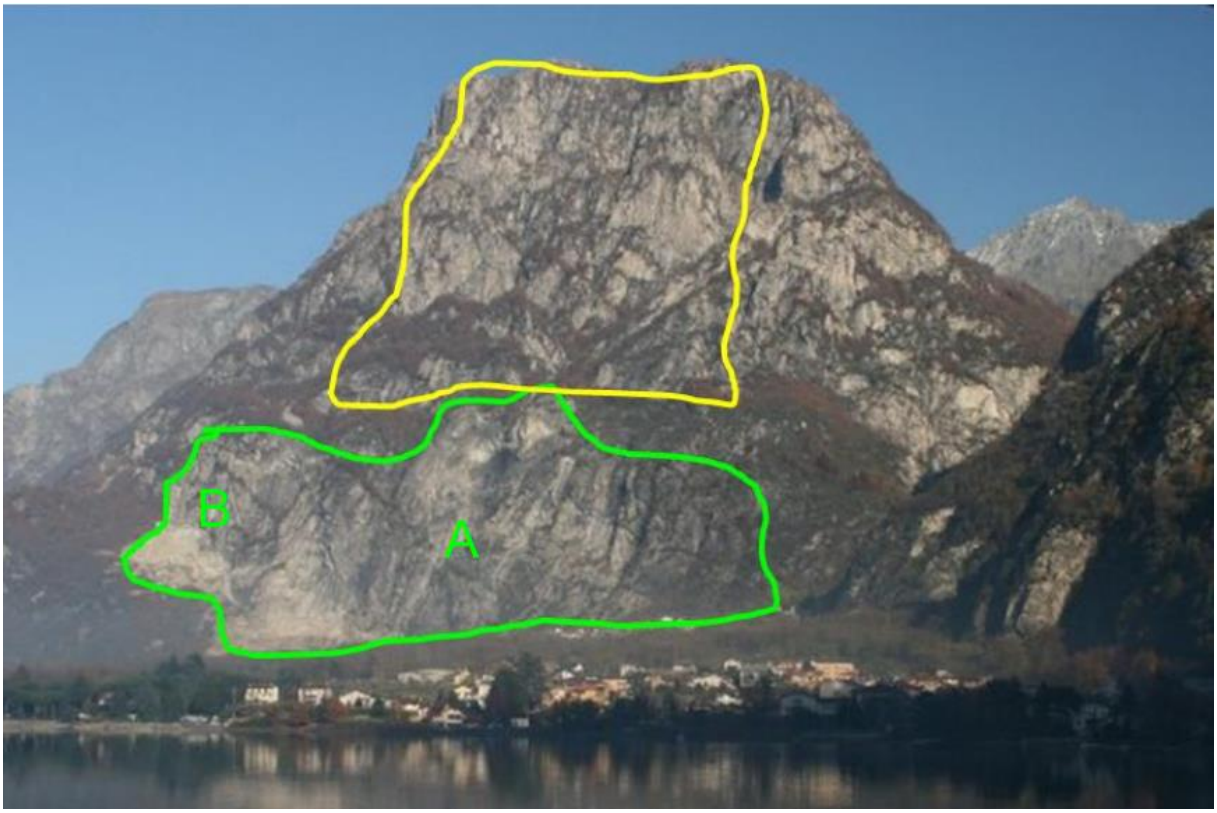


Figura 3: Fotografia del versante meridionale del Monte Avedèe, sopra Novate Mezzola, con circoscritte in verde le aree di primario interesse per il monitoraggio con tecnologia SAR terrestre (GBInSAR). In giallo sono evidenziate invece le pareti rocciose a quote più elevate e considerate obiettivo secondario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

Il presente report presenta i risultati dell'ultima campagna di misura del contratto eseguita a Gennaio 2025 ed 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.

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 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. Pannello di sinistra: versante inquadrato dalla postazione *Ovest*. Pannello di destra: 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 predisporre una postazione di monitoraggio permanente in futuro, qualora fosse necessario. 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 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. Il sistema in entrambe le postazioni viene alimentato direttamente dalla rete in corrispondenza di due case poste nelle vicinanze delle postazioni di misura.



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, precedentemente assemblato, adattato e calibrato all'uso specifico 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 installazione, 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 o parziale dell'intervallo considerato. Il IX ed ultimo PC si è svolto dal 23 al 27 gennaio 2025 ed ha permesso di acquisire un totale di 666 immagini dalla postazione *Est* e di 663 immagini dalla postazione *Ovest*. In Figura 8 e Figura 9, sono riportate delle riprese

fotografiche rispettivamente del versante monitorato (Figura 8 in alto) e del sito di misura dalla postazione *Est* (Figura 9) il giorno di inizio campagna. Figura 10 (in alto) e Figura 11, invece, mostrano il versante e lo strumento radar nella postazione *Ovest*. Si noti che, vista la scarsa visibilità durante l'ultima campagna dovuta alle condizioni meteo, sono state incluse le fotografie dei versanti ottenute a gennaio 2024, con condizioni meteo favorevoli, per poter meglio apprezzare lo scenario monitorato nella sua interezza.



Figura 8: Postazione *Est*, ripresa fotografica del versante in data 23 gennaio 2025 (in alto) ed in data 11 gennaio 2024 (in basso).



Figura 9: Postazione *Est*, sistema LiSAmobile ad installazione ultimata il 23 gennaio 2025.



Figura 10: Postazione *Ovest*, ripresa fotografica del versante durante l'installazione del 23 gennaio 2025 (in alto) e durante l'installazione del'11 gennaio 2024 (in basso).

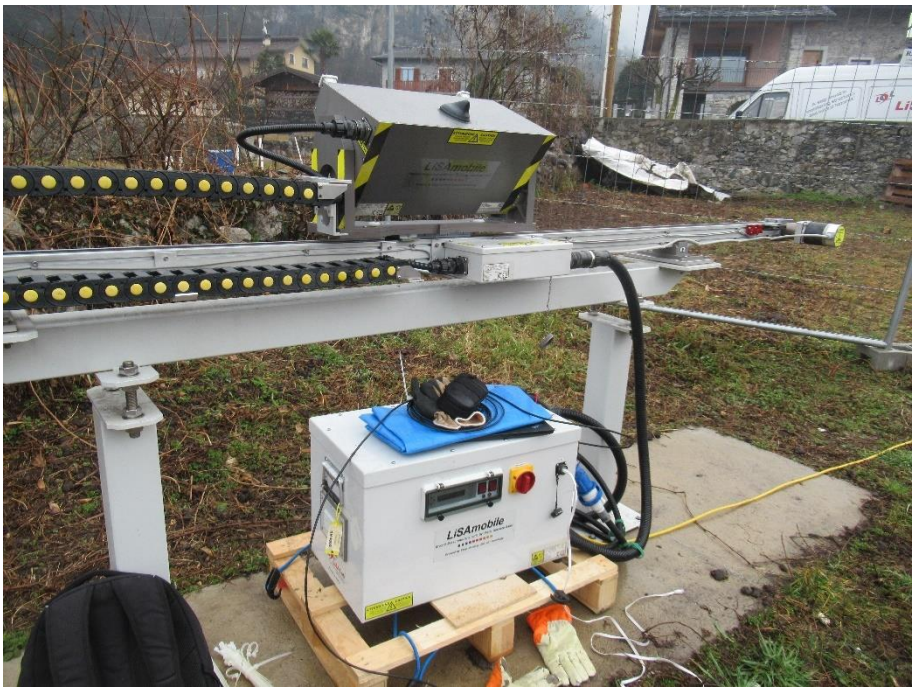


Figura 11: Postazione *Ovest*, sistema LiSAmobile ad installazione ultimata, il 23 gennaio 2025.

Come spiegato ed illustrato nei precedenti report, per quanto riguarda le deformazioni del Monte Avedèe, si è osservata una correlazione tra la direzione delle deformazioni millimetriche (in allontanamento dal sistema radar, rappresentate con segno positivo, ovvero in avvicinamento verso il radar, rappresentate viceversa con segno negativo) con la storia termica della parete rocciosa. In sede di valutazione sulla presenza di eventuali spostamenti sul versante è infatti importante considerare le condizioni ambientali. Riportiamo quindi i dati meteorologici per permettere di contestualizzare eventuali interpretazioni delle deformazioni rilevate e descritte in questo report: Figura 12 mostra il grafico delle temperature rilevate dall'inizio del monitoraggio (maggio 2022) fino alla presente campagna di misura (gennaio 2024), al fine di valutare le relazioni che intercorrono tra le variazioni di temperatura ed i valori di spostamento misurati. I dati di temperatura vengono mostrati nel grafico come media mobile calcolata su 7 giorni (curva rossa) e su 30 giorni (curva blu). Figura 13 mostra il grafico con dati delle precipitazioni che vengono rappresentati come valori cumulati giornalieri (istogramma blu) e come curva cumulata totale di tutto il periodo di monitoraggio. I dati provengono dalla stazione di Samolaco (SO) di ARPA Lombardia.

Dal punto di vista termico, nel corso della presente campagna di misura (IX PC) si può osservare come, per la postazione *Est*, in relazione all'ultima campagna di misura di settembre 2024, ci troviamo in una situazione di raffreddamento. Per la postazione *Ovest* invece, essendo l'ultima campagna di misura risalente a gennaio 2024 (VI PC), si potrà verificare l'effetto di una completa fluttuazione termica di tipo annuale e quindi un riscaldamento seguito da un raffreddamento.

Dal punto di vista pluviometrico, si osserva un aumento delle precipitazioni a partire dalla seconda decade di gennaio 2025, rispetto ai mesi di novembre e dicembre 2024 che sono stati più siccitosi. Tutte queste osservazioni saranno utili nell'interpretazione dei risultati dell'analisi di lungo termine che verrà presentata nei prossimi capitoli.

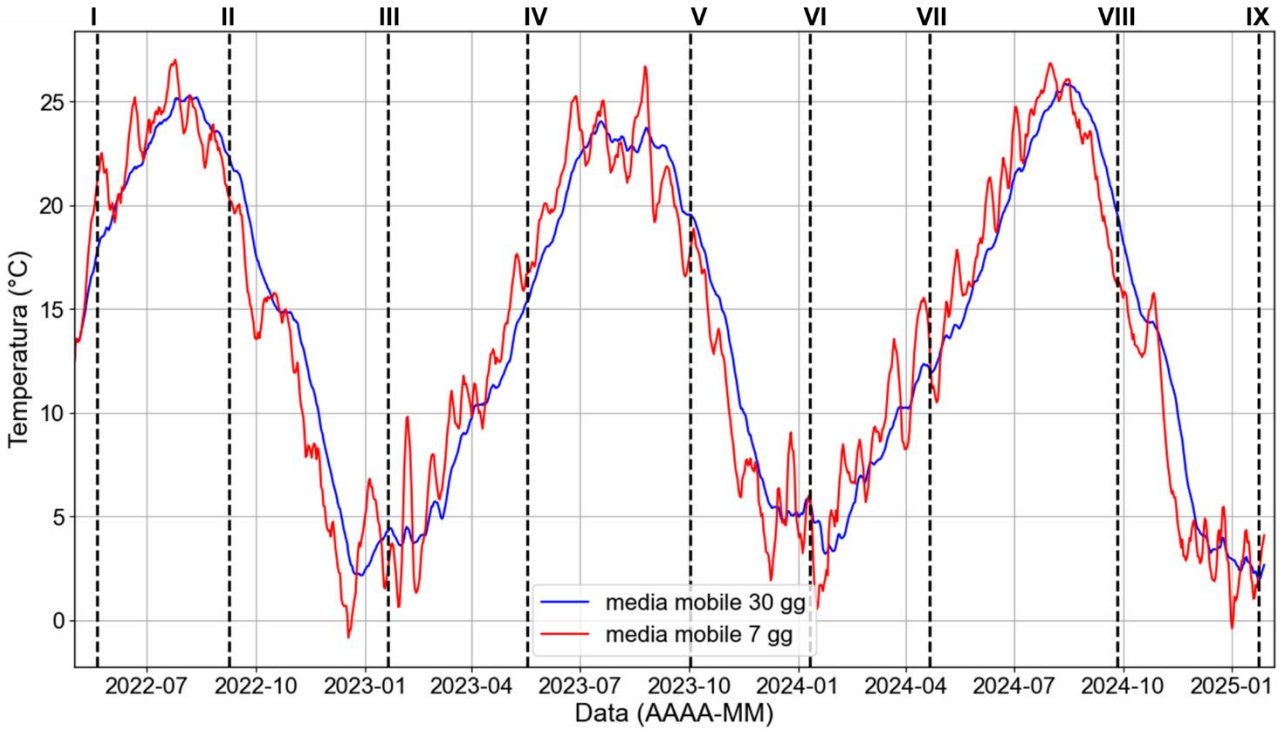


Figura 12: Media mobile calcolata su 7 giorni (curva rossa) e 30 giorni (curva blu) relativa ai valori di temperatura registrati presso la stazione meteo di Samolaco (SO). Con i numeri romani progressivi sono indicate le campagne di misura.

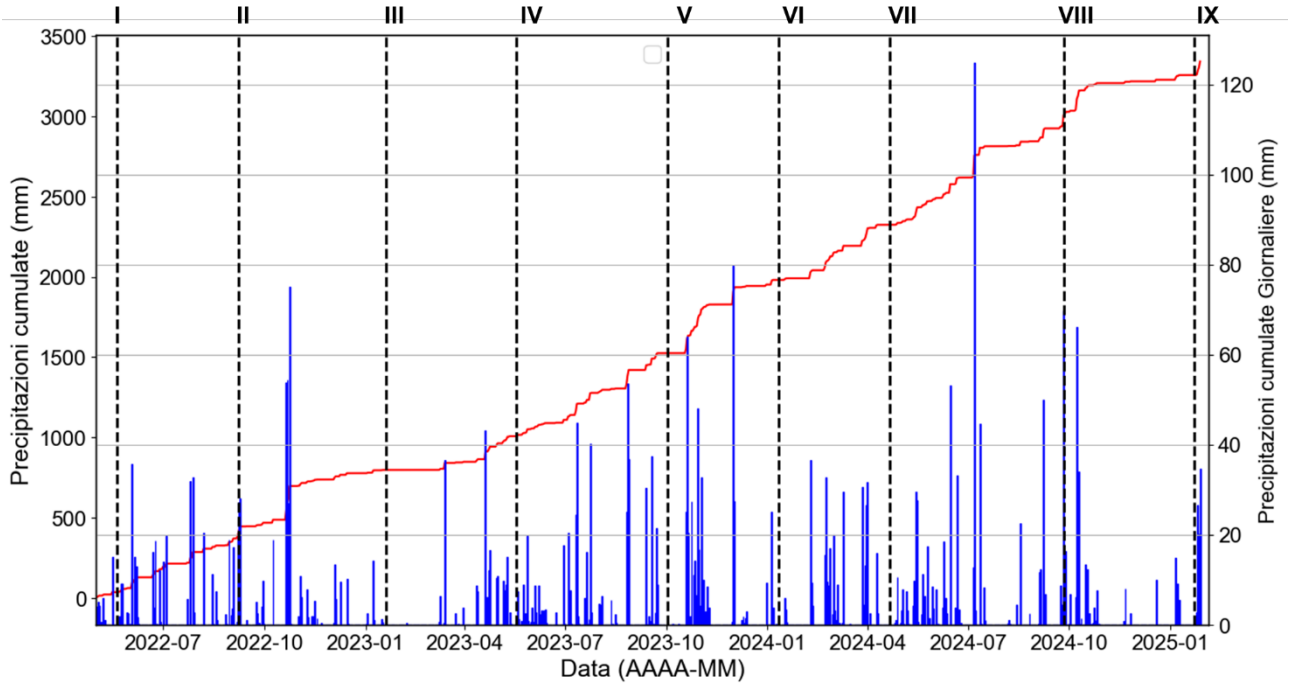


Figura 13: Valori cumulati giornalieri e curva cumulata sull'intero periodo di monitoraggio delle precipitazioni registrate presso la stazione meteo di Samolaco (SO). Con i numeri romani progressivi sono indicate le campagne di misura.

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 ed 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 due sottofinestre per ogni postazione: la prima (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 (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 sotto-finestre, 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 14 mostra le due griglie di risoluzione utilizzate per la postazione *Ovest* mentre in Figura 15 vengono mostrate le griglie utilizzate per la postazione *Est*.

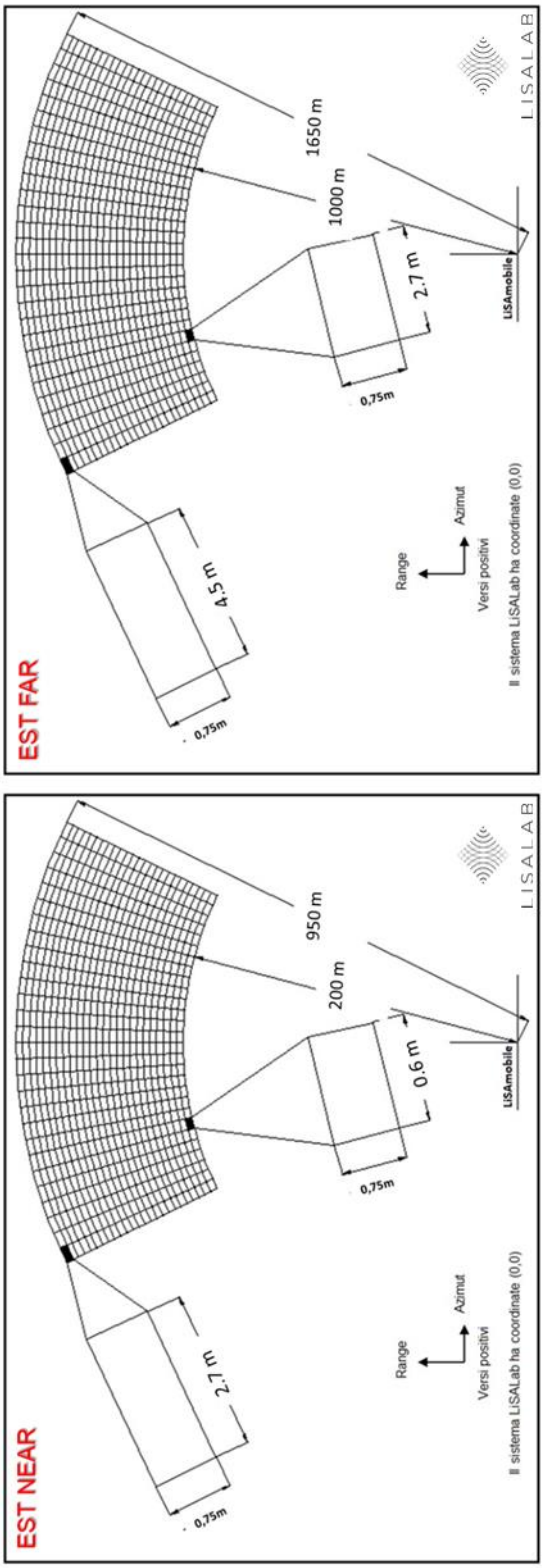


Figura 14: griglia di risoluzione del sistema GBInSAR LiSALab per la campagna in oggetto, Postazione *Est*.

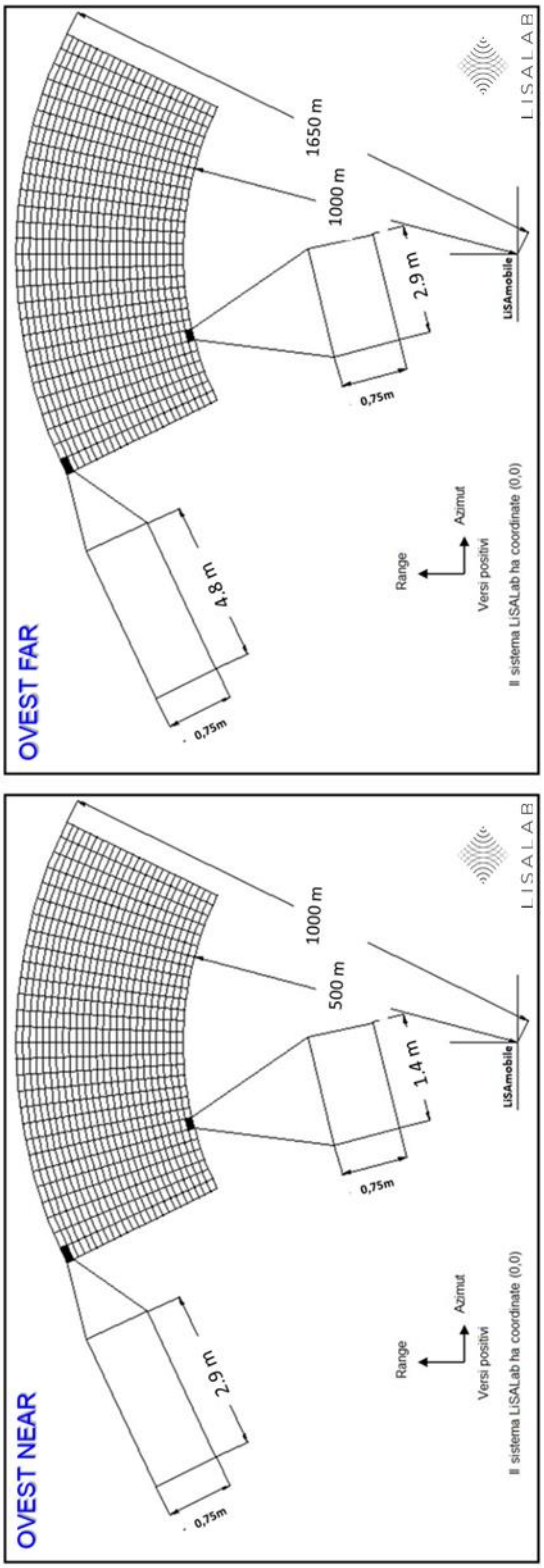


Figura 15: griglia di risoluzione del sistema GBInSAR LiSALab per la campagna in oggetto. Postazione *Ovest*.

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

LISALAB

Elaborazione dei risultati della campagna di misura di gennaio 2025

In questa sezione saranno presentati i risultati della presente campagna di misura, effettuata tra il 23 ed il 27 gennaio 2025, che rappresenta il IX Periodical Check per il sito di Novate Mezzola.

Mappe di potenza

Nelle figure seguenti (da Figura 16 a Figura 19) 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.

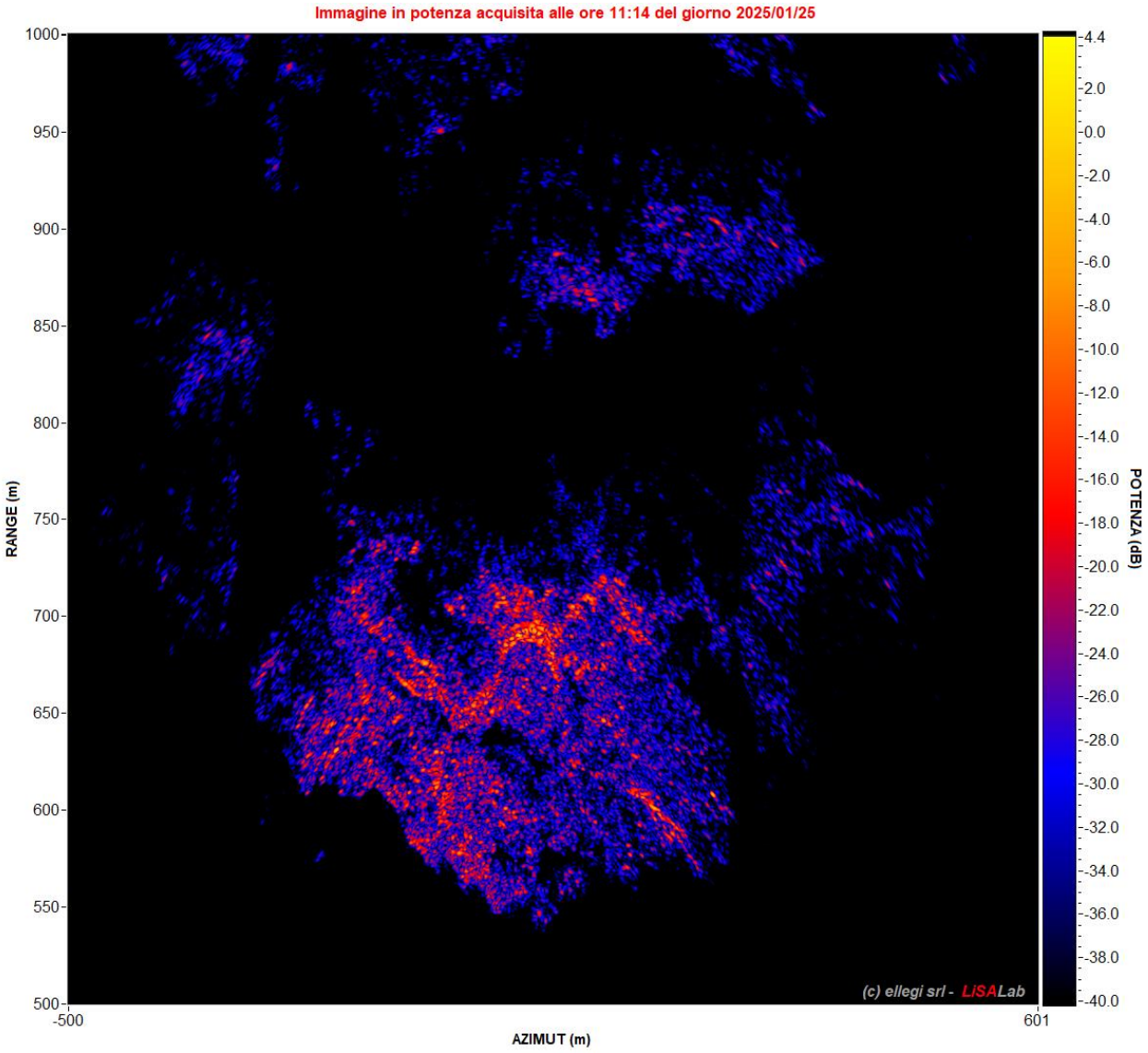


Figura 16: Immagine SAR in potenza in 2D dello scenario osservato dal sistema GBInSAR LiSALab, gennaio 2025. Postazione *Ovest*, sottofinestra *Near*.

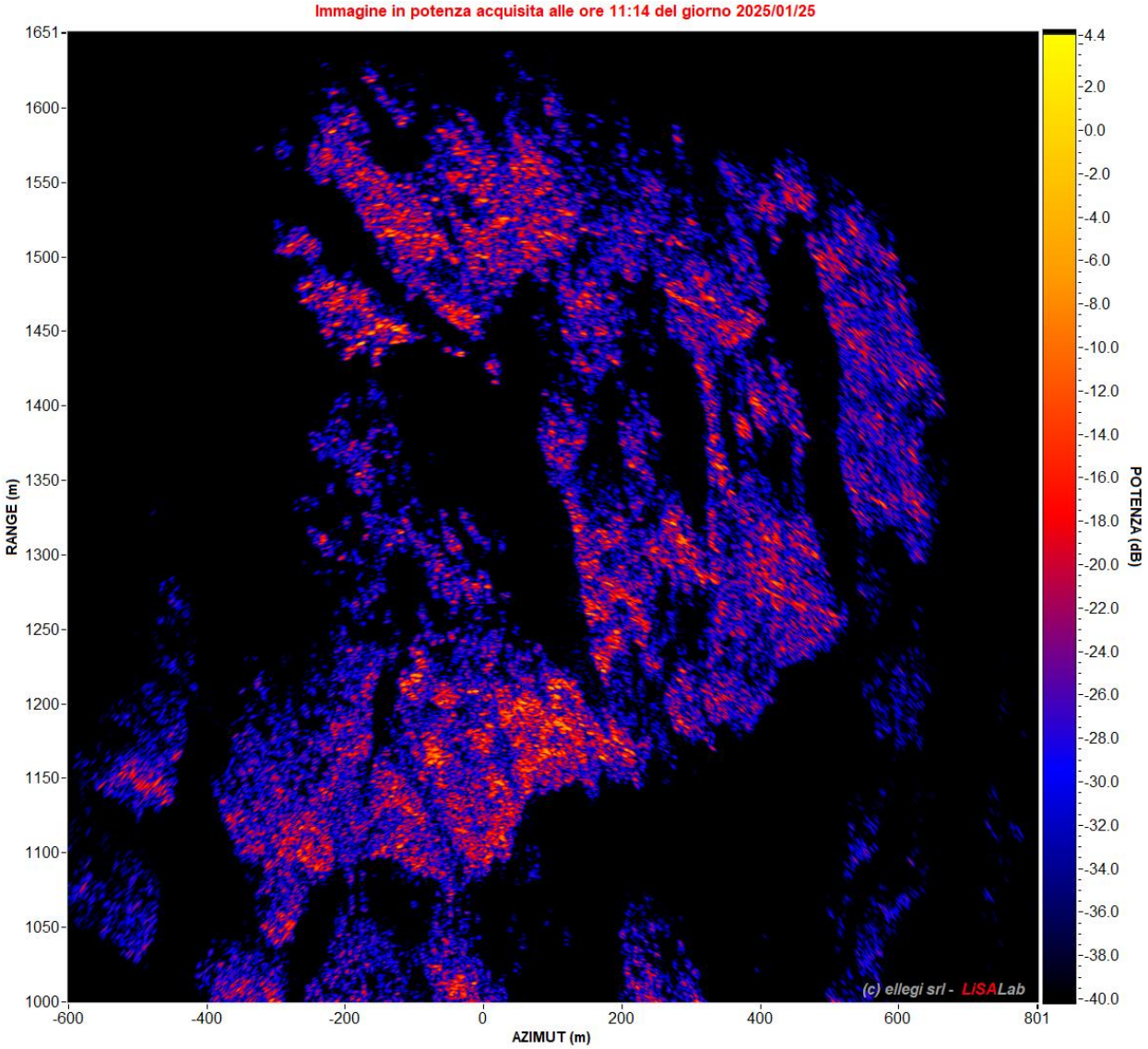


Figura 17: Immagine SAR in potenza in 2D dello scenario osservato dal sistema GBInSAR LiSALab, gennaio 2025. Postazione *Ovest*, sottofinestra *Far*.

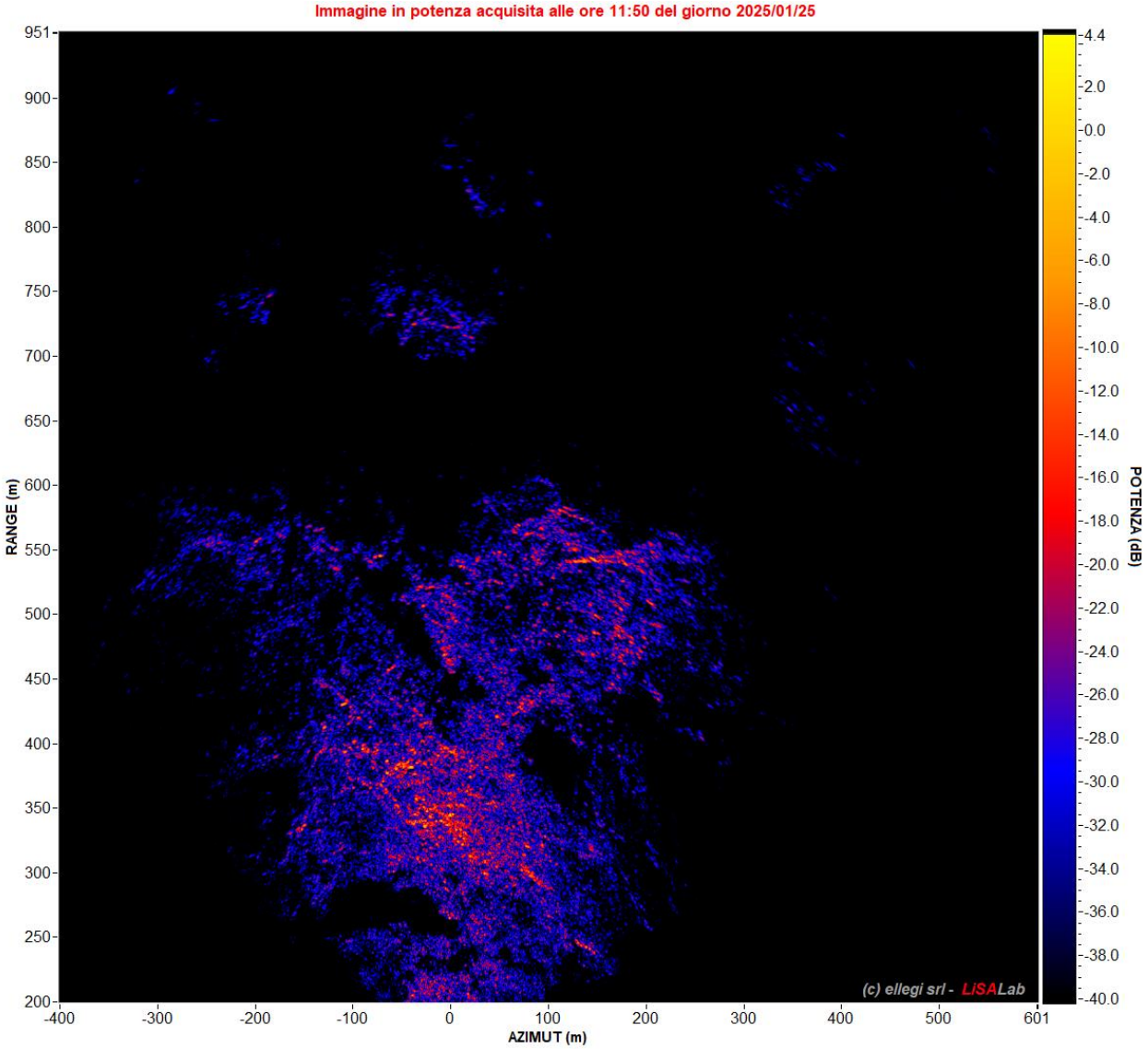


Figura 18: Immagine SAR in potenza in 2D dello scenario osservato dal sistema GBInSAR LiSALab, gennaio 2025. Postazione *Est*, sottofinestra *Near*.

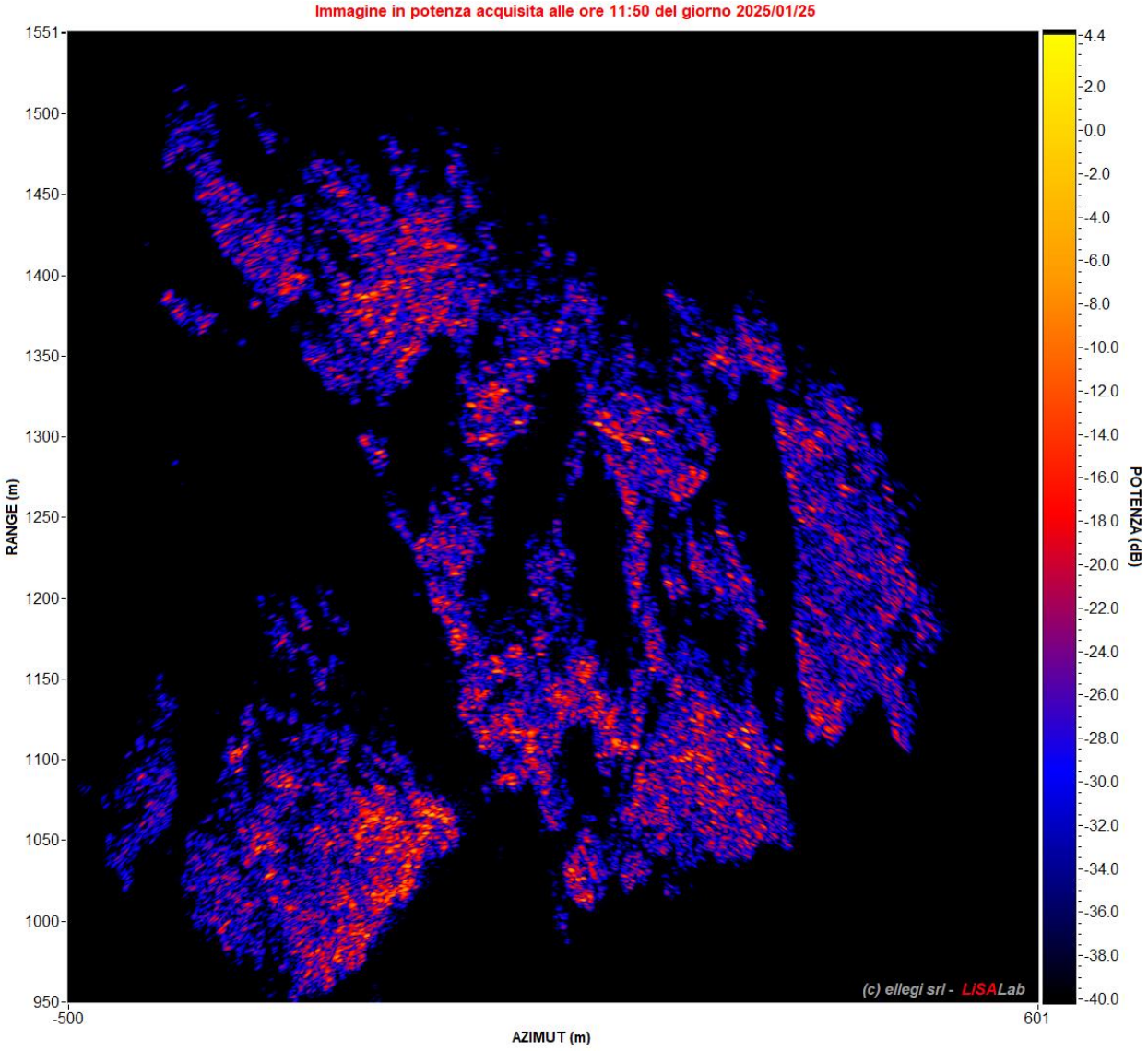


Figura 19: immagine SAR in potenza in 2D dello scenario osservato dal sistema GBInSAR LiSALab, gennaio 2025. Postazione *Est*, sottofinestra *Far*.

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 20 per la postazione *Ovest* e in Figura 21 per la Postazione *Est*. Nei capitoli successivi, le mappe in potenza e le mappe di spostamento verranno direttamente proiettate su un DEM (Digital Elevation Model) dell’area monitorata recuperando così le distorsioni tipiche delle misure radar ed ottenendo una relazione univoca tra pixel radar e punto “fisico” osservato.

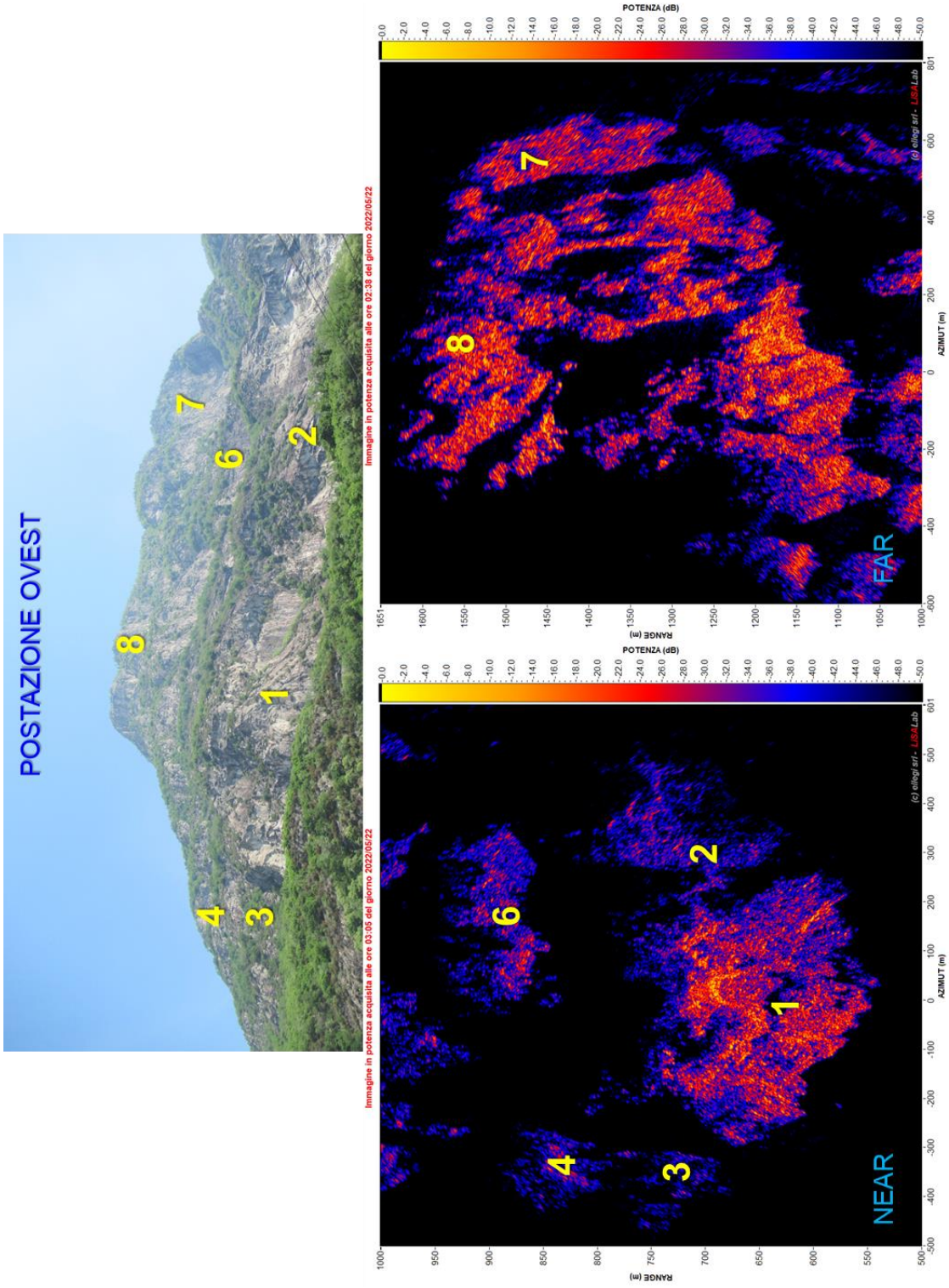


Figura 20: Georeferenziazione qualitativa delle immagini radar in potenza sulla fotografia del versante. Postazione *Ovest*, sottofinestre *Near* e *Far*.

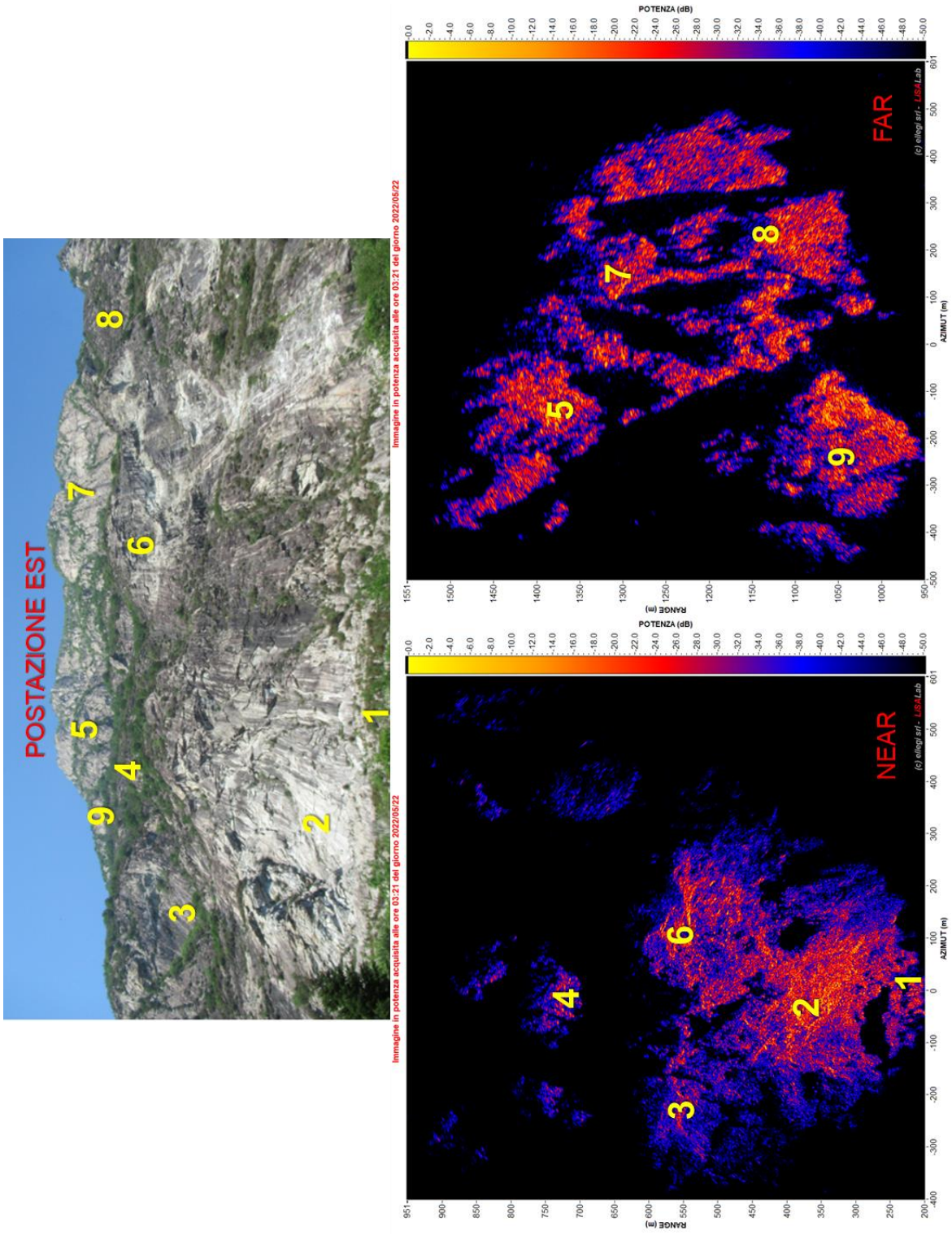


Figura 21: Georeferenziazione qualitativa delle immagini radar in potenza sulla fotografia del versante. Postazione *Est*, sottofinestre *Near* e *Far*.

LISALAB

Mappe di spostamento

Analisi degli spostamenti a breve termine: 23 – 27 gennaio 2025

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 23 e il 27 gennaio 2025, 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. Per ciascuna postazione e sottofinestra, tra Figura 22 e Figura 29 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, al fine di fornire una analisi statistica dei dati ottenuti dagli interferogrammi. Sull'asse delle ascisse viene indicato il valore di spostamento e sulle ordinate il numero di pixel dell'immagine radar. Per ciascuna distribuzione vengono forniti sotto al grafico sia il valor medio sia la deviazione standard riferiti alla distribuzione degli spostamenti.

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. 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. 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.

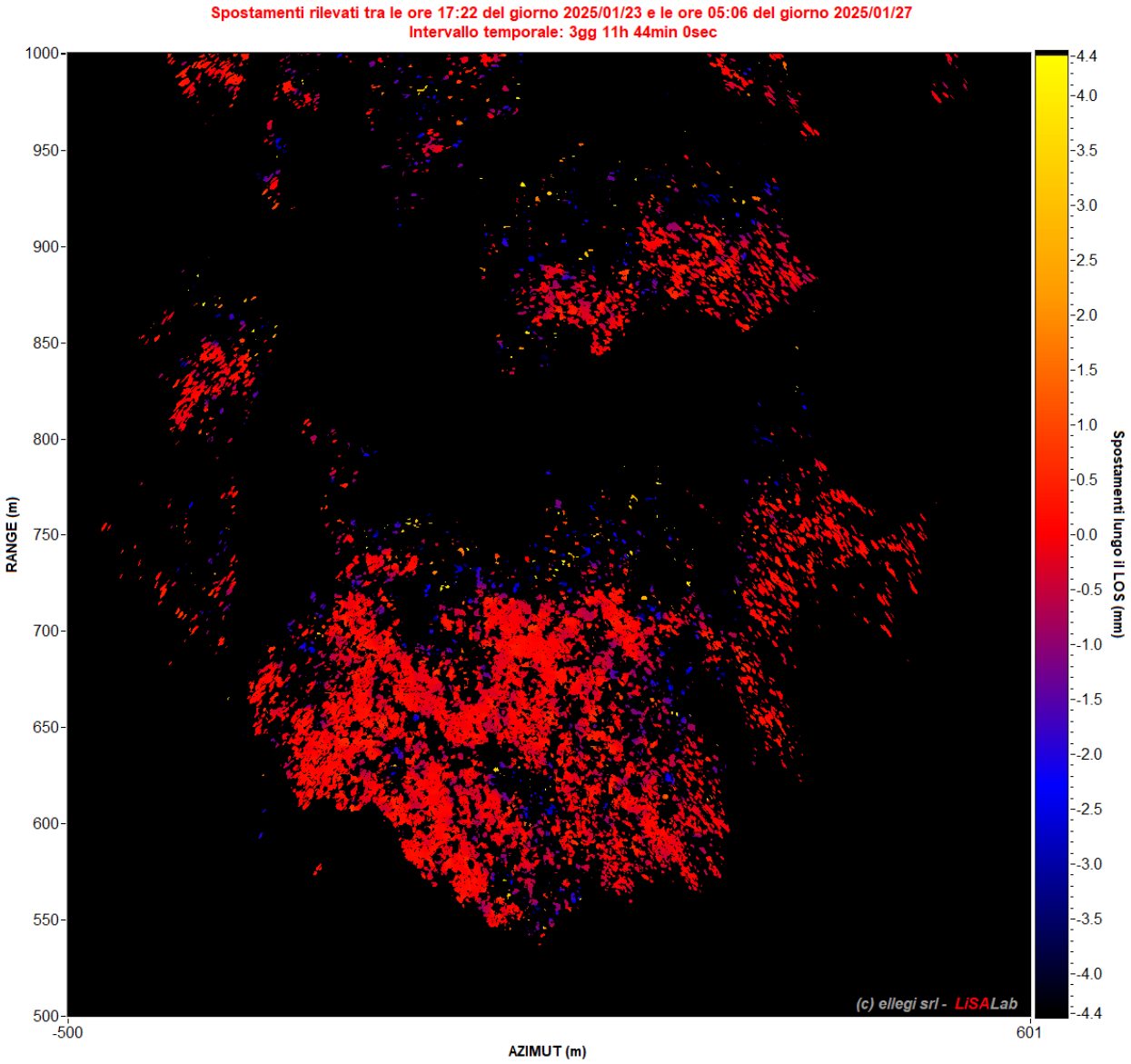


Figura 22: Mappa di spostamento 2D per il periodo 23-27 gennaio 2025 (3 giorni 12 ore e 17 minuti) – rappresentazione classica. Postazione *Ovest*, sottofinestra *Near*.

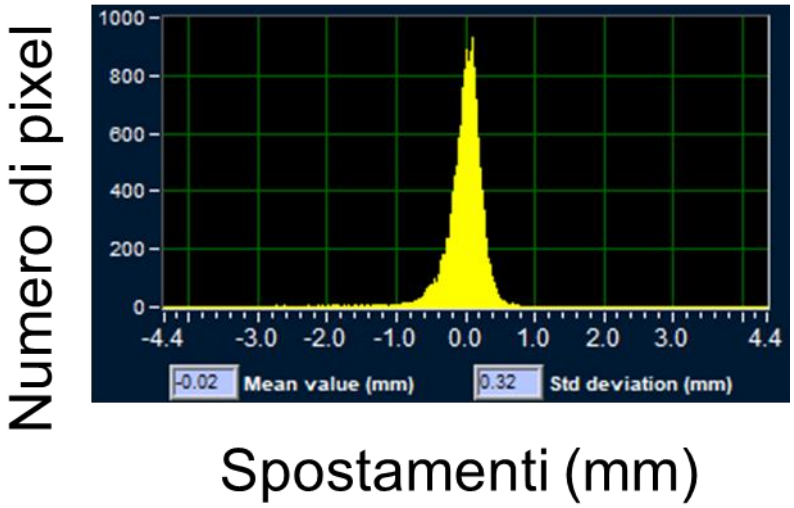


Figura 23: Istogramma della distribuzione degli spostamenti della mappa relativa alla postazione *Ovest*, sottofinestra *Near*. Valor medio degli spostamenti: 0.0, Deviazione Standard: 0.3.

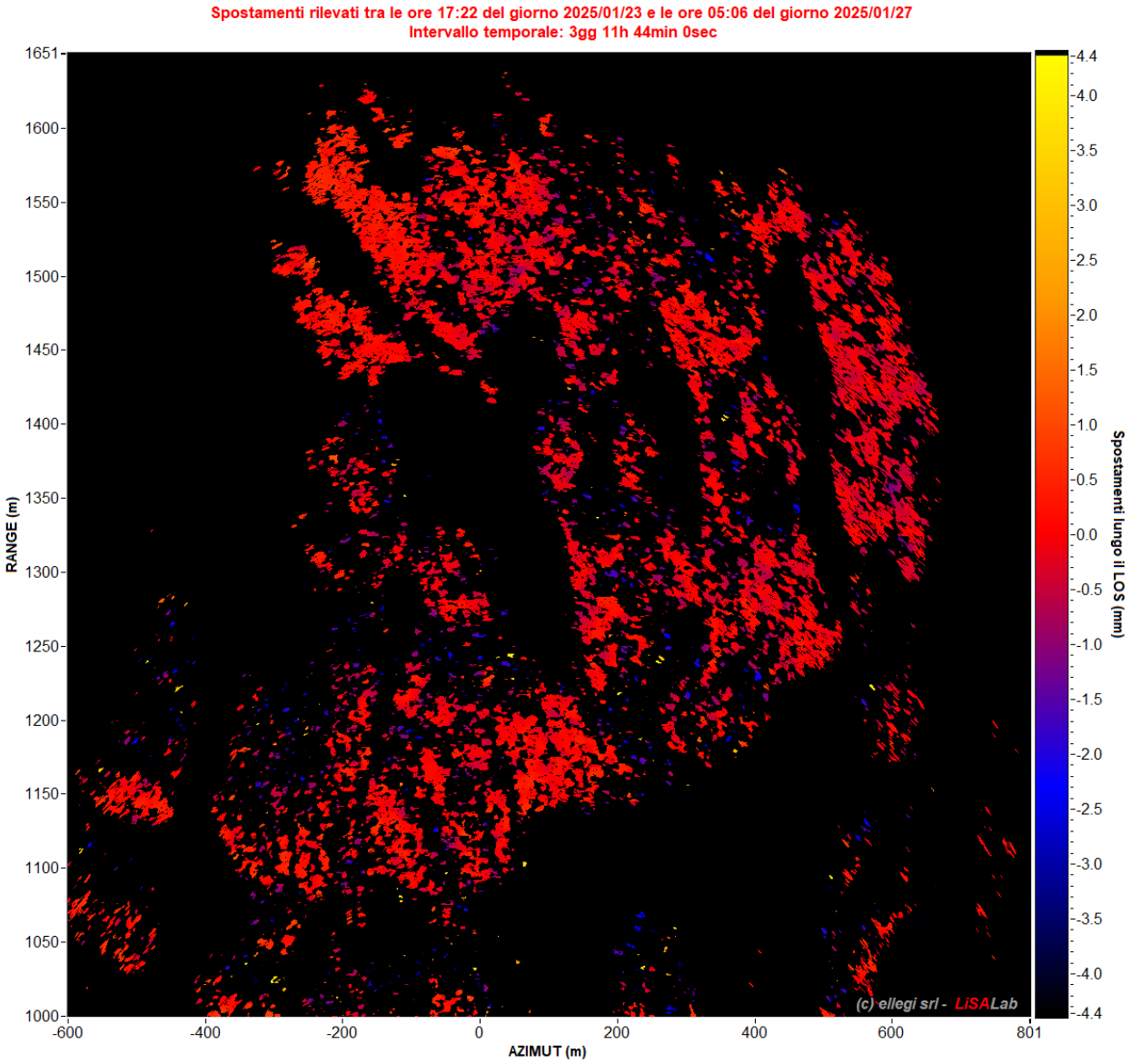


Figura 24: Mappa di spostamento 2D per il periodo 23-27 gennaio 2025 (3 giorni 12 ore e 17 minuti) – rappresentazione classica. Postazione *Ovest*, sottofinestra *Far*.

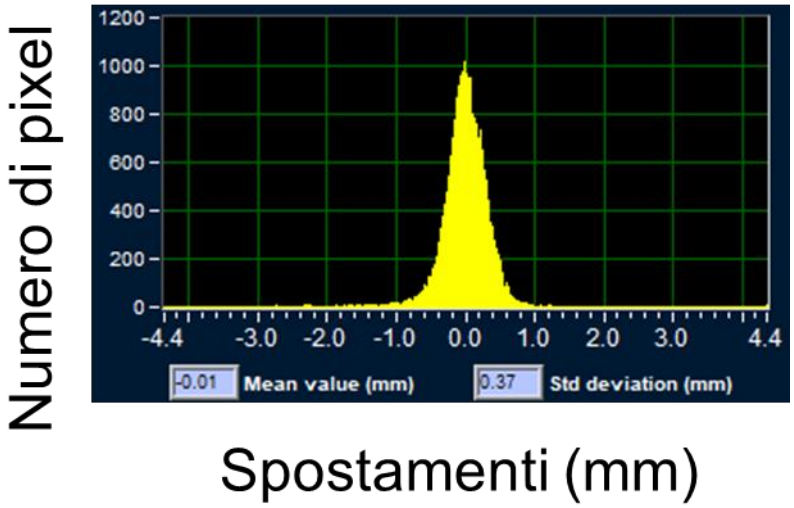


Figura 25: Istogramma della distribuzione degli spostamenti della mappa relativa alla postazione *Ovest*, sottofinestra Far. Valor medio degli spostamenti: -0.0, Deviazione Standard: 0.4.

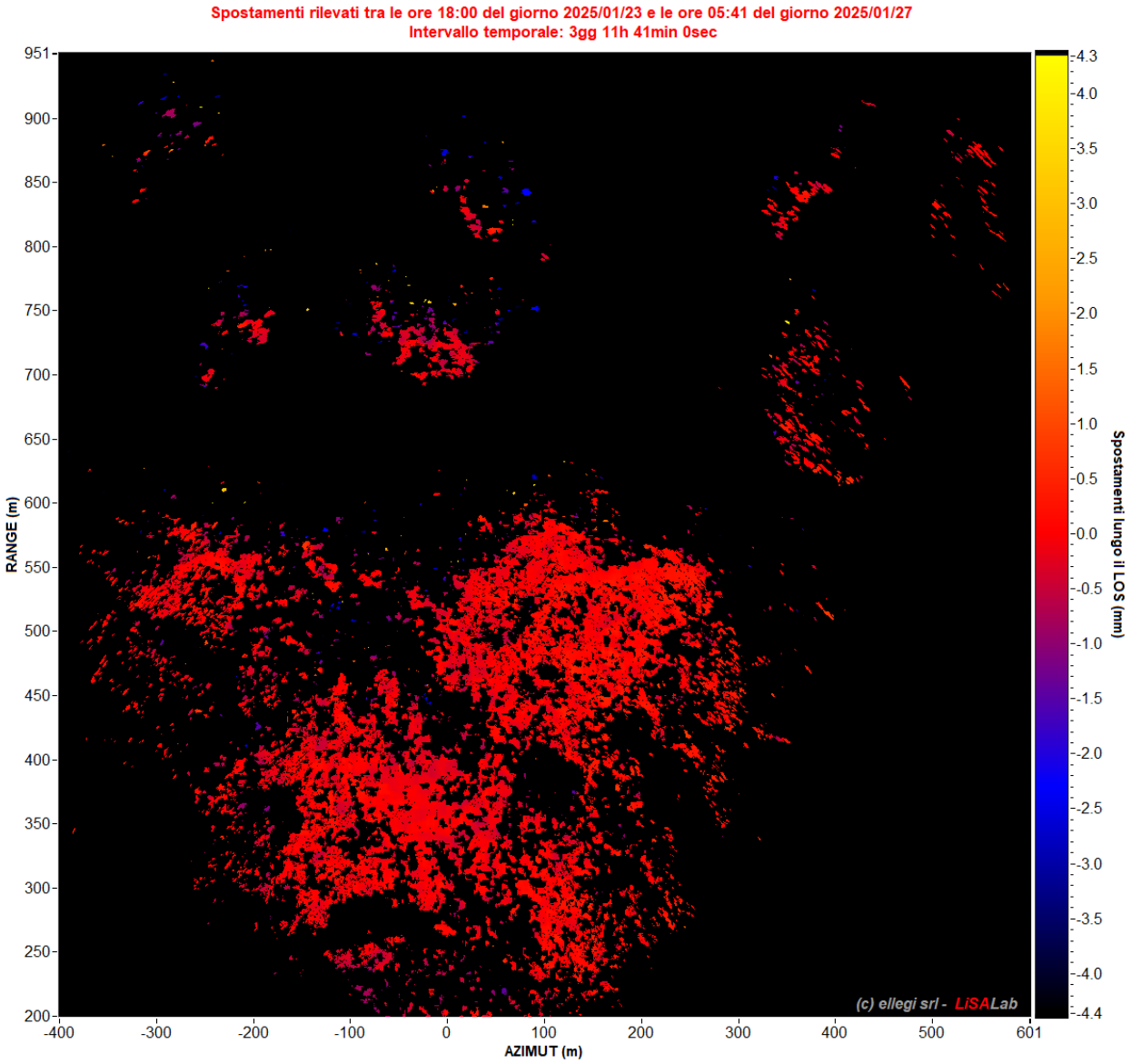


Figura 26: Mappa di spostamento 2D per il periodo 23-27 gennaio 2025. Postazione *Est*, sottofinestra *Near*.

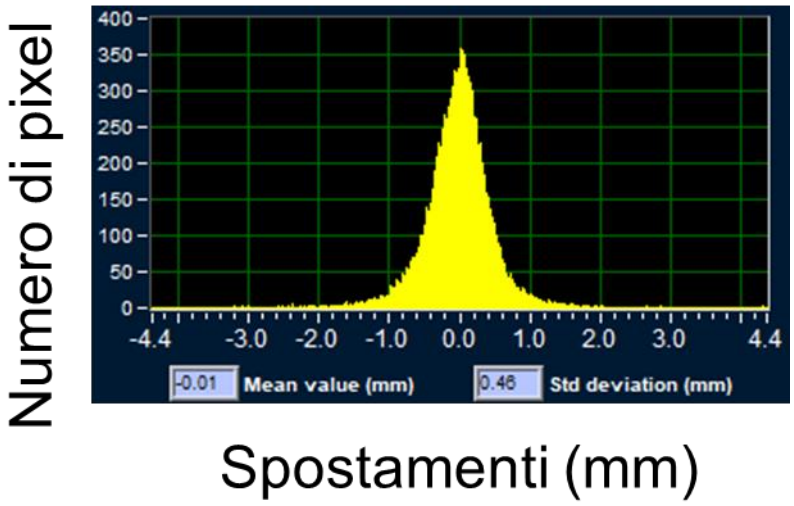


Figura 27: Istogramma della distribuzione degli spostamenti della mappa relativa alla postazione *Est*, sottofinestra *Near*. Valor medio degli spostamenti: 0.0, Deviazione Standard: 0.5 mm.

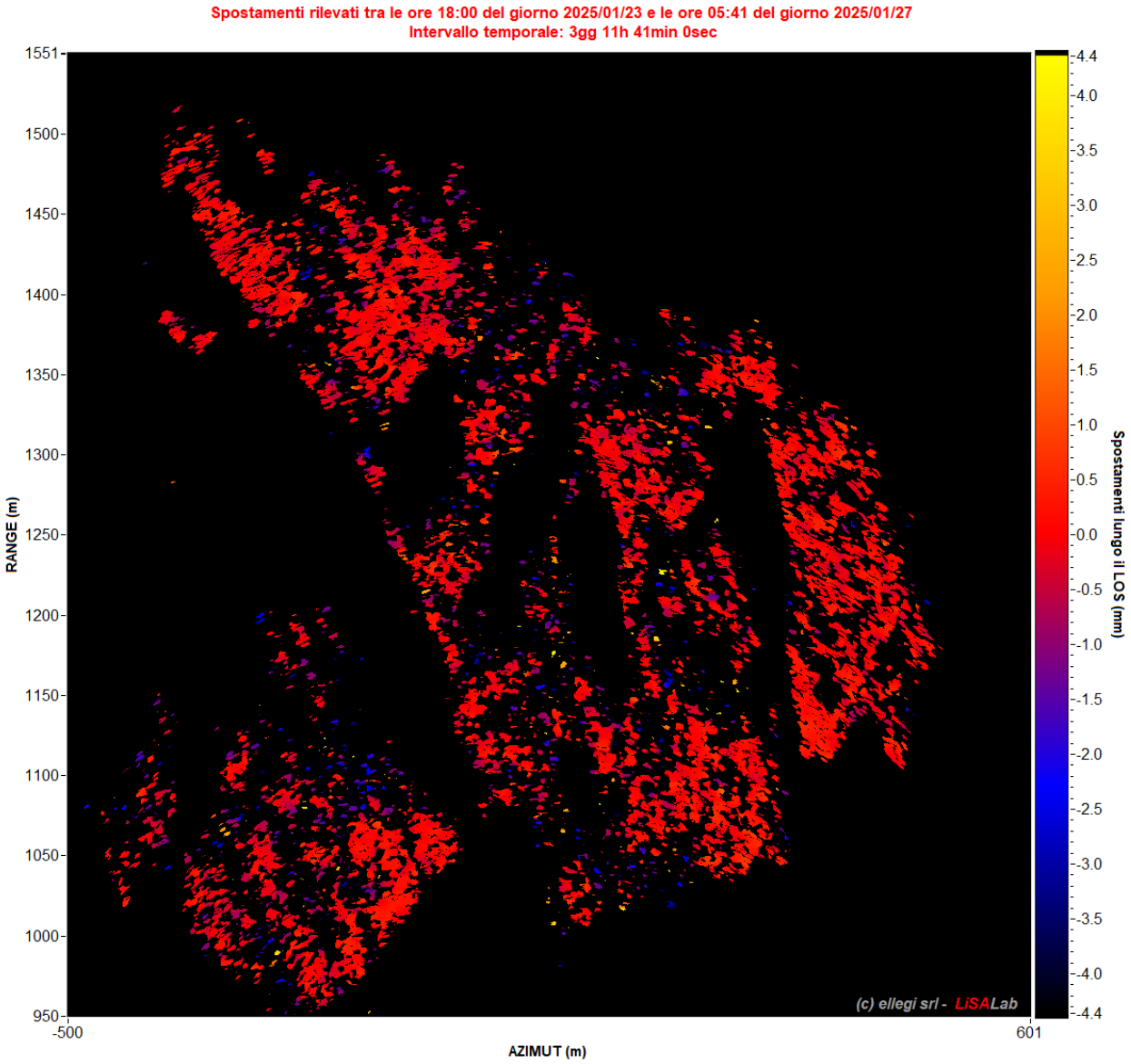


Figura 28: Mappa di spostamento 2D per il periodo 23-27 gennaio 2025. Postazione *Est*, sottofinestra *Far*.

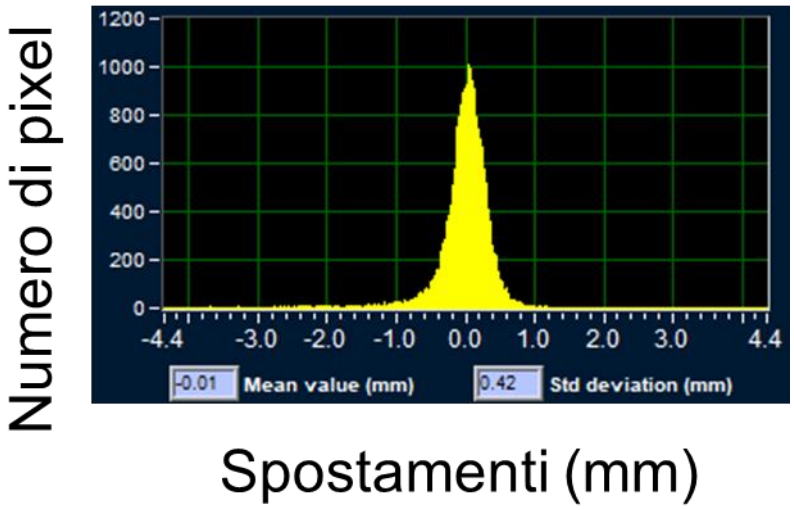


Figura 29: Istogramma della mappa degli spostamenti. Postazione *Est*, sottofinestra *Far*. Valor medio degli spostamenti: 0.0, Deviazione Standard: 0.4.

Le mappe di spostamento appena mostrate, che forniscono una analisi del Monte Avedèe nel breve termine, 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 e 11 ore rimangono stabili sul valore di 0.0 mm, con deviazione standard compresa rispettivamente tra 0.3 mm e 0.5 mm circa. Con l'analisi dei dati della IX campagna periodica di gennaio 2025 confermiamo la situazione di stabilità del versante del Monte Avedèe nel breve termine.

LISALAB

Analisi degli spostamenti a lungo termine

In questa sezione saranno analizzati i risultati ottenuti confrontando i dati acquisiti in questa campagna con le campagne di misura precedenti al fine di rilevare l'eventuale presenza di spostamenti nell'intervallo di tempo intercorso tra le diverse campagne (analisi di lungo termine).

Di seguito verranno analizzati prima gli spostamenti relativi all'intervallo tra la IX campagna e la campagna di misura precedente (quella di settembre 2024 per la postazione *Est* e quella di gennaio 2024 per la postazione *Ovest*. In seguito verrà effettuata inoltre una analisi di lungo termine confrontando i dati di questa campagna di misura con quelli della prima rilevazione del maggio 2022.

L'analisi incrociata dei diversi intervalli temporali permette di studiare l'evoluzione del fenomeno nel tempo, anche rispetto all'eventuale effetto delle oscillazioni termiche che rappresentano dei possibili fattori di influenza sugli spostamenti rilevati.

Per ognuna delle due postazioni (postazione *Est* e postazione *Ovest*) e delle due sotto-finestre analizzate (*Near* e *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, generalmente 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 compresi tra +2 mm e +4 mm nell'intervallo di tempo considerato. In alcuni casi (es. area C e C1 analizzate successivamente), 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.

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 solo 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 sotto-campionati 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-campionandolo 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 complessivi dall'inizio del monitoraggio, sarà invece riportata nel paragrafo finale denominato "analisi riassuntiva".

LISALAB

Postazione Ovest Near

Analisi per il periodo 13 gennaio 2024 – 25 gennaio 2025.

Di seguito vengono presentati i risultati ottenuti riferiti all'intervallo di tempo tra la VI e la IX campagna di misura. L'intervallo di tempo analizzato da questa postazione è diverso da quello della postazione *Est*. Questo perché, a causa delle operazioni di monitoraggio permanente (si veda nostro report *rep.cvc.240918* per maggiori informazioni), le misure periodiche dalla postazione *Ovest* hanno avuto una interruzione.

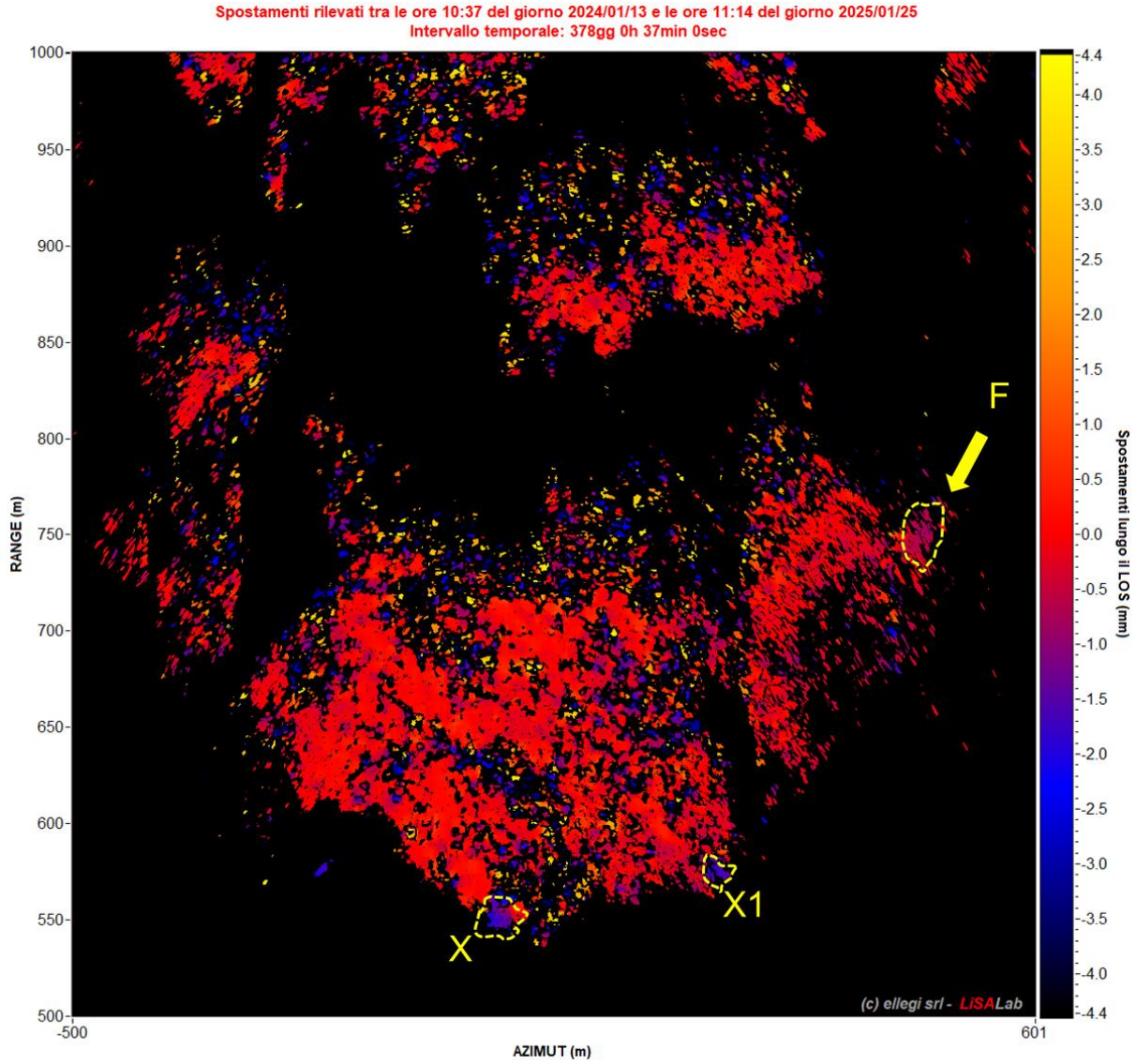


Figura 30: Mappa di spostamento 2D per il periodo 13 gennaio 2024 – 25 gennaio 2025. Postazione *Ovest*, sottofinestra *Near*. In giallo sono identificate le aree che presentano spostamenti superiori alla precisione strumentale nell'intervallo di tempo

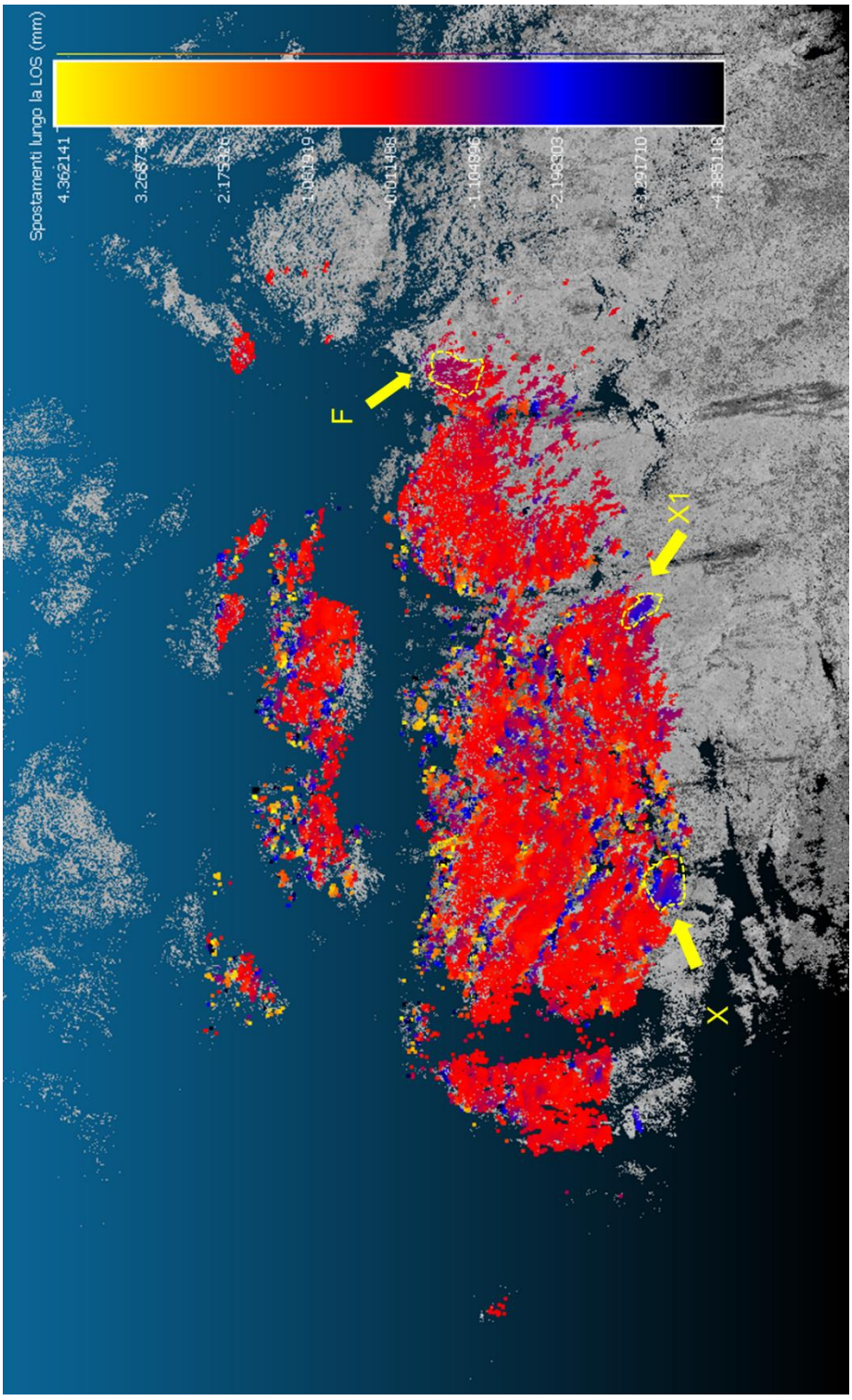


Figura 31: Mappa di spostamento 3D per il periodo 13 gennaio 2024 – 25 gennaio 2025 su Point Cloud. Postazione *Ovest*, sottofinestra *Near*.

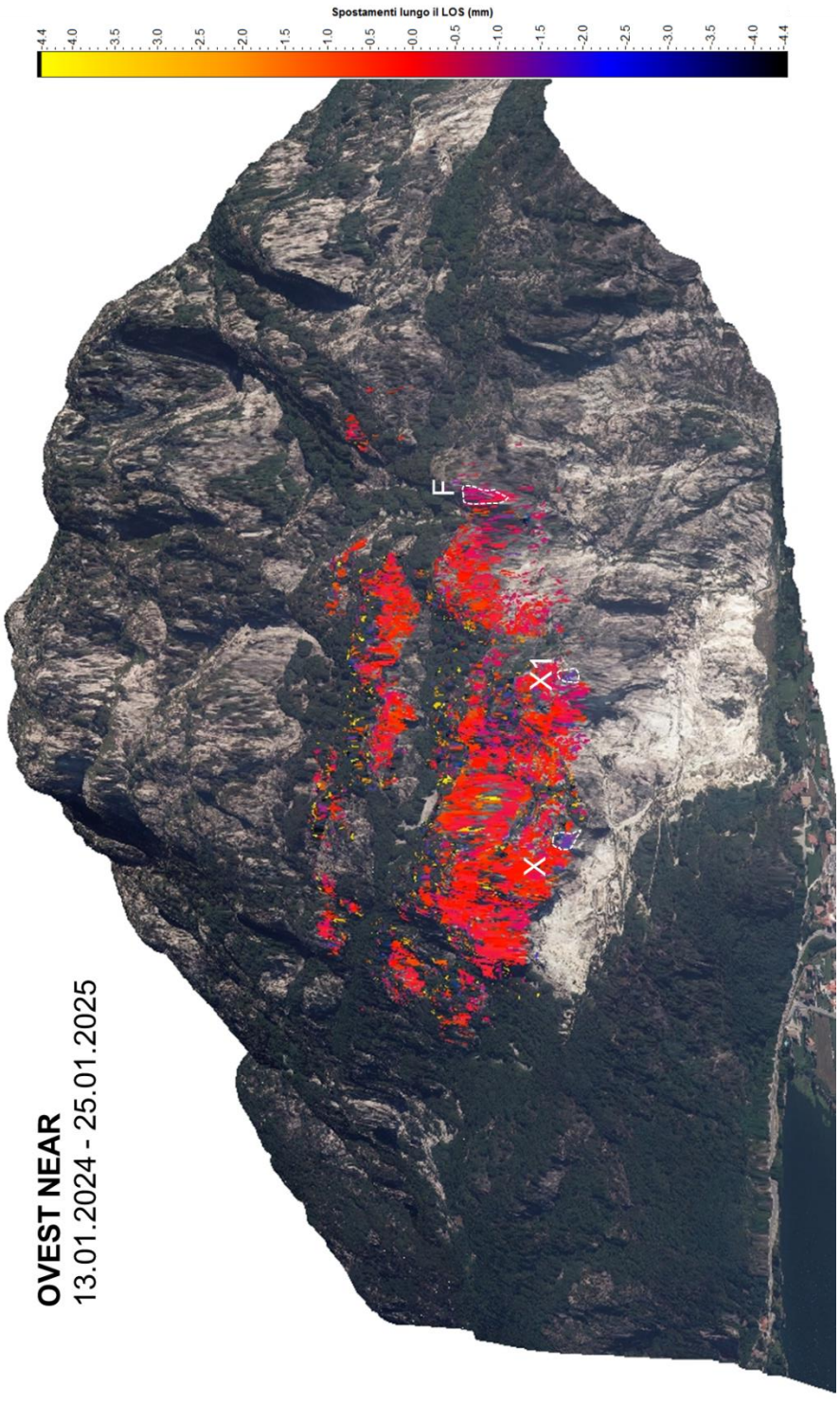


Figura 32: Mappa di spostamento 3D per il periodo 13 gennaio 2024 – 25 gennaio 2025 su DEM del versante. Postazione *Ovest*, sottofinestra *Near*. In bianco sono rappresentate le aree in movimento nell'intervallo considerato.

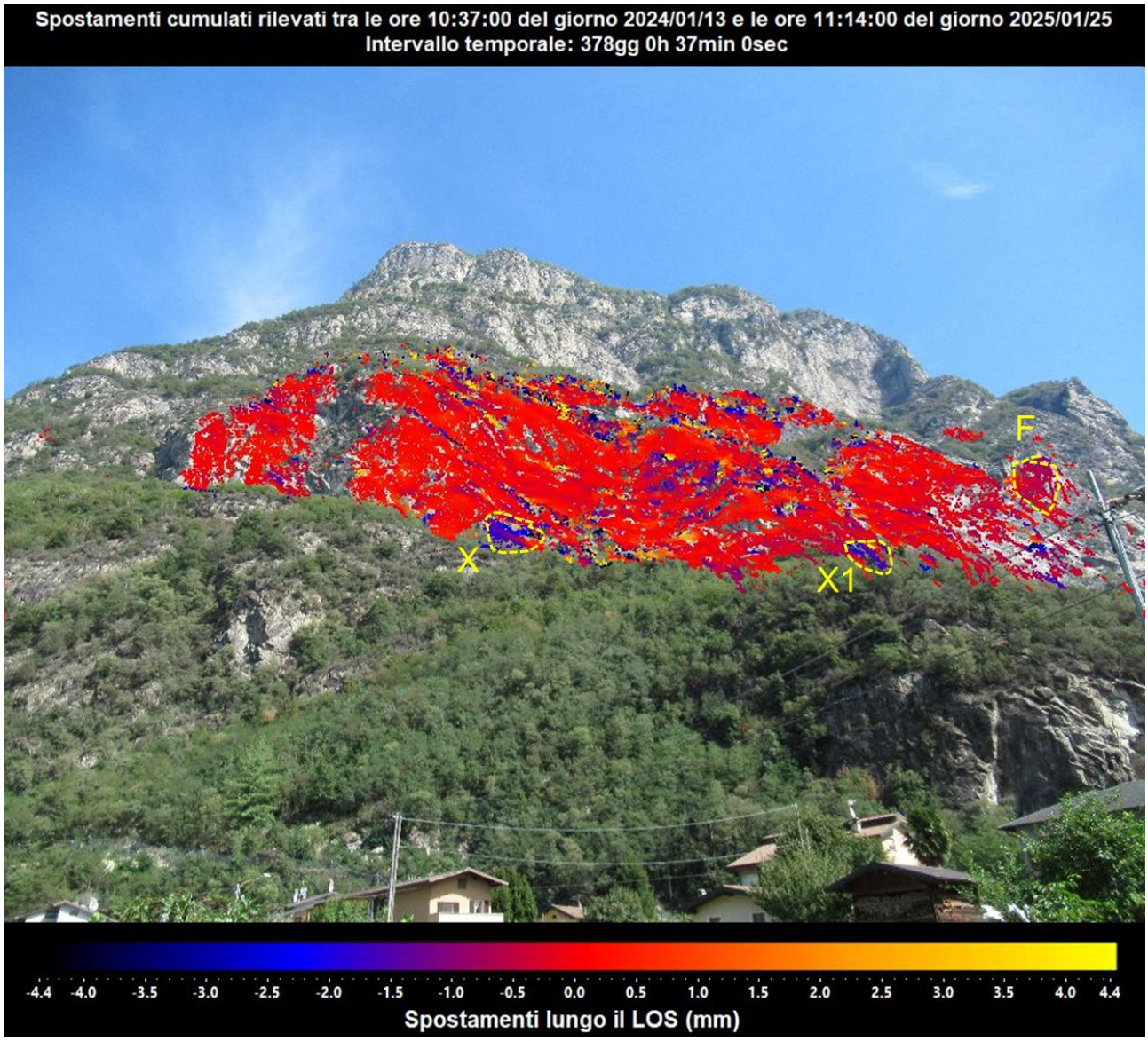


Figura 33: Mappa di spostamento per il periodo 13 gennaio 2024 – 25 gennaio 2025 proiettata sull'immagine ottica del versante. Postazione *Ovest*, sottofinestra *Near*.

Dall'analisi sul lungo termine eseguita tra la campagna di gennaio 2024 e la campagna di gennaio 2025 per la postazione *Ovest Near* si rileva la presenza di tre aree in movimento durante il periodo di osservazione di circa 378 giorni.

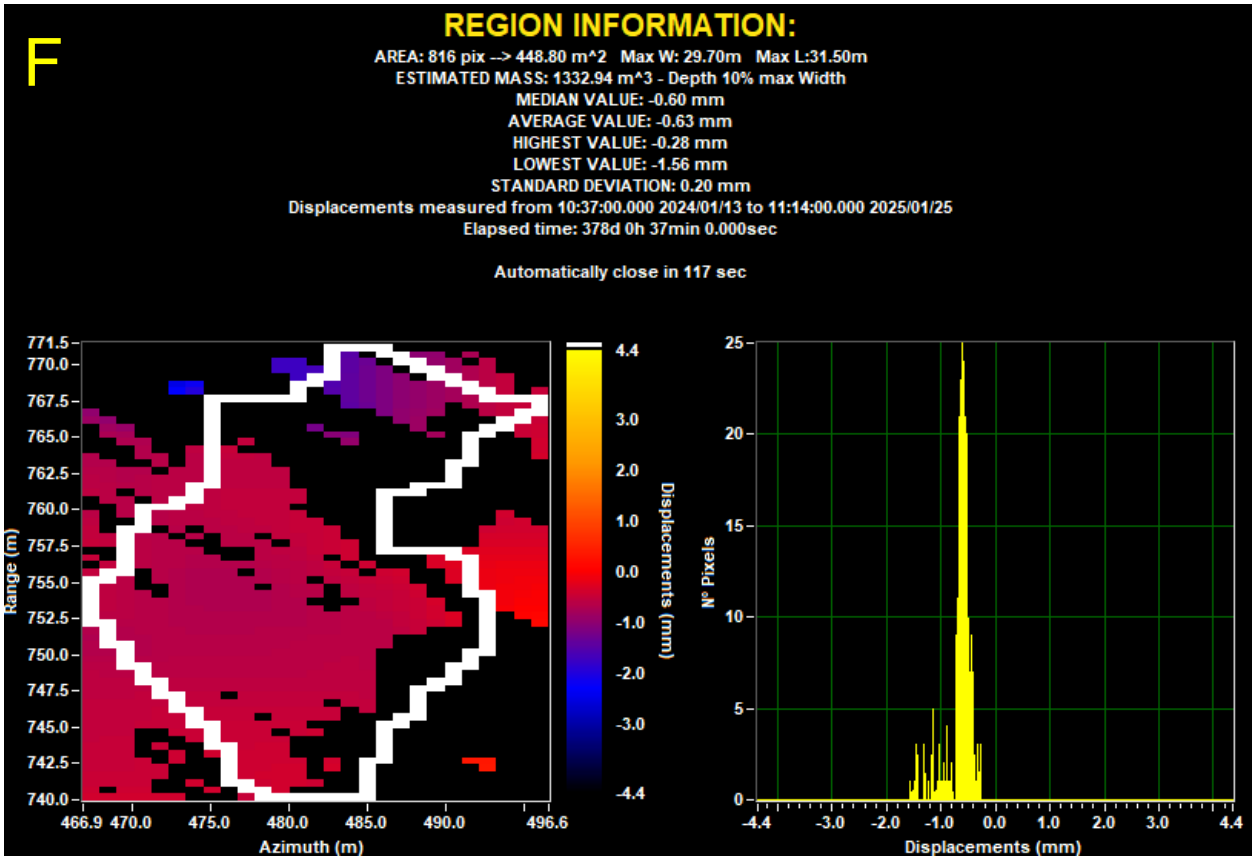
Le tre aree, in linea con la nomenclatura utilizzata nei precedenti report, sono indicate con delle lettere alfabetiche e segnalate in tutte le rappresentazioni dei dati. Nel trittico di

Figura 34 vengono inoltre riportate analisi statistiche per ciascuna area.

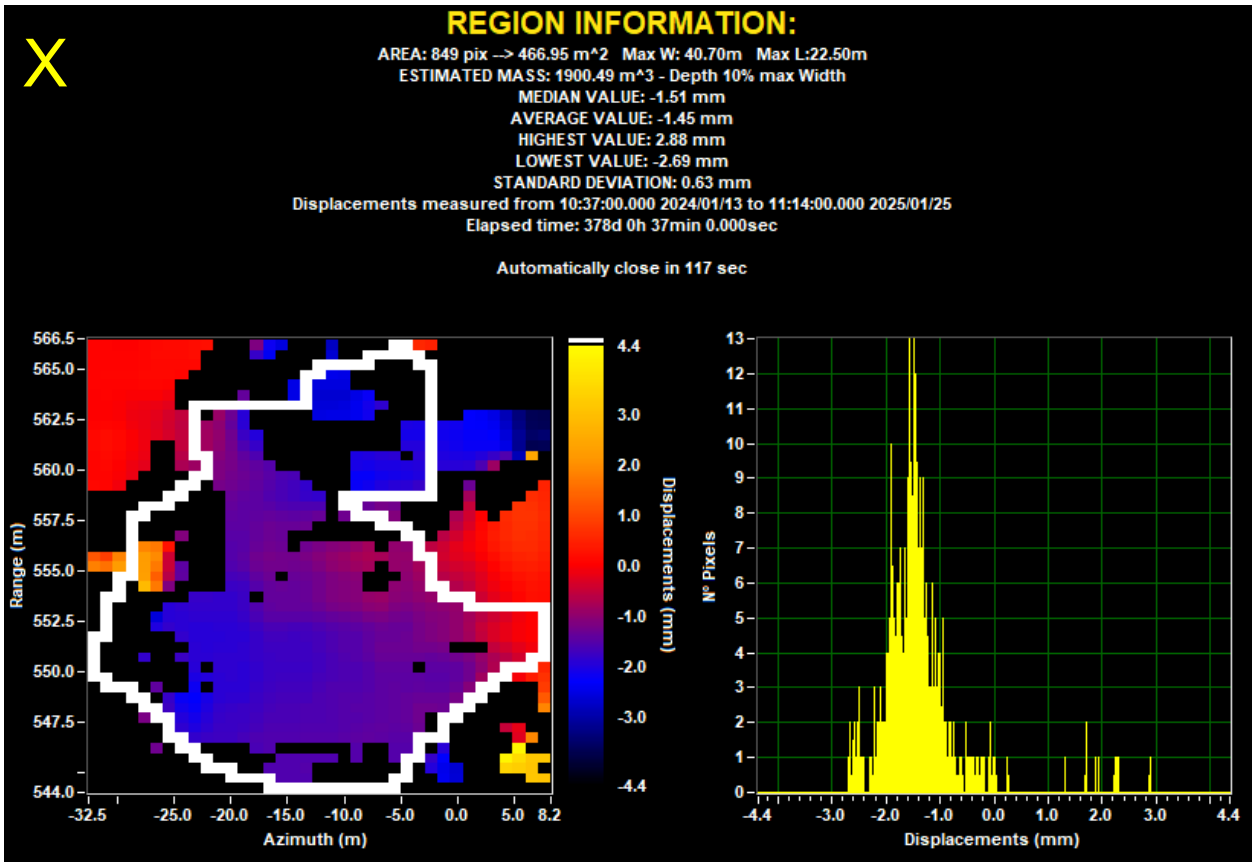
La prima area corrisponde alla regione F che mostra spostamenti medi pari a circa -0.6 mm in avvicinamento rispetto al sistema durante questa misura. La zona F, dal punto di vista storico, ha

generalmente mostrato un comportamento caratterizzato da una alternanza di stili deformativi (allontanamenti fra estate ed autunno, avvicinamento durante i mesi più freddi). Tale comportamento ricalca la storia termica della parete rocciosa ed è visibile molto chiaramente nei dati di temperatura mostrati in Figura 12.

Le altre aree da segnalare in questo periodical check si trovano nella porzione inferiore dello scenario. L'area X, mostra spostamenti medi in avvicinamento di circa -1.5 mm e quest'area venne già rilevata in movimento nel V periodical check del mese di ottobre 2023; durante quel controllo infatti, vennero misurati spostamenti nell'area X di circa -1.8 mm in avvicinamento. Al contrario, l'area X1 non era mai stata rilevata in movimento e, in questo periodical check, ha avuto spostamenti medi piuttosto simili a quelli dell'area X con un valore medio di circa -1.4 mm in avvicinamento nei 378 giorni considerati.



LISALAB


REGION INFORMATION:
AREA: 849 pix --> 466.95 m^2 Max W: 40.70m Max L:22.50m
ESTIMATED MASS: 1900.49 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: -1.51 mm
AVERAGE VALUE: -1.45 mm
HIGHEST VALUE: 2.88 mm
LOWEST VALUE: -2.69 mm
STANDARD DEVIATION: 0.63 mm
Displacements measured from 10:37:00.000 2024/01/13 to 11:14:00.000 2025/01/25
Elapsed time: 378d 0h 37min 0.000sec
Automatically close in 117 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
N° Pixels
Displacements (mm)

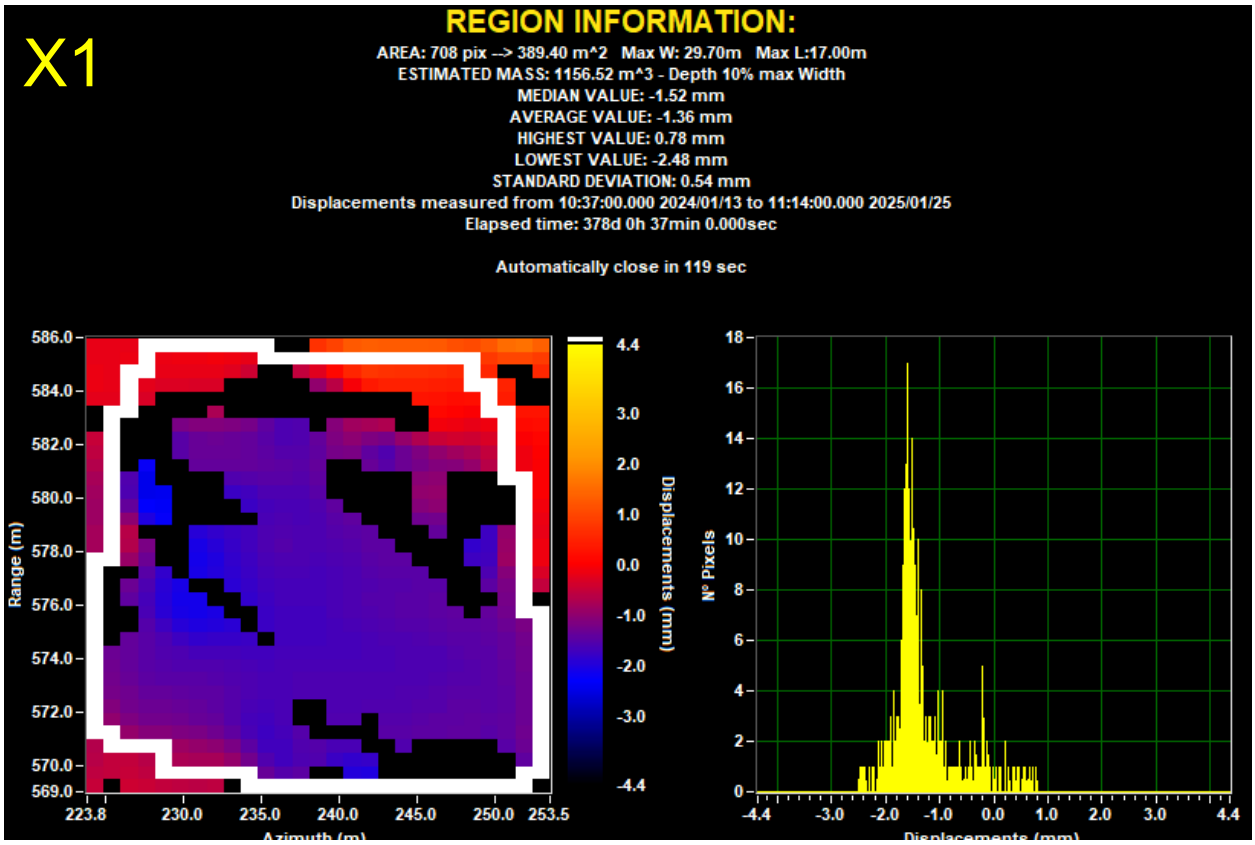


Figura 34: Analisi statistica eseguita sulle aree in movimento riconosciute in movimento nel periodo 13 gennaio 2024 – 25 gennaio 2025. Postazione *Ovest*, sottofinestra *Near*.

LISALAB

Analisi per il periodo 22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025

Da Figura 35 a Figura 39 vengono presentati i risultati ottenuti per la postazione *Ovest Near* riferiti all'intervallo di tempo tra la I e la IX campagna di misura (22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025, intervallo temporale 979 giorni, 9 ore e 9 minuti).

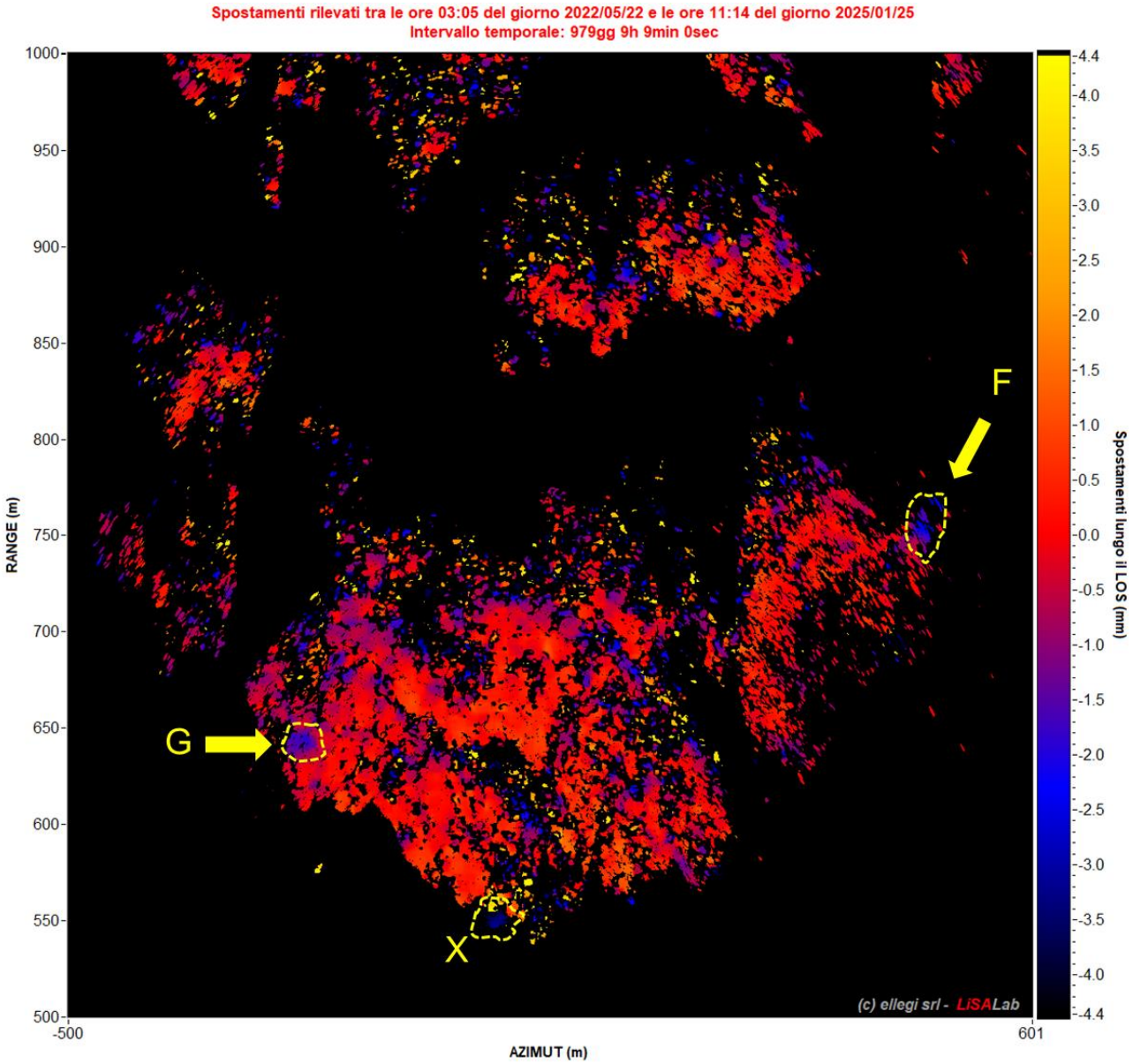


Figura 35: Mappa di spostamento 2D per il periodo 22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025. Postazione *Ovest*, sottofinestra *Near*. In giallo sono identificate le aree in movimento.

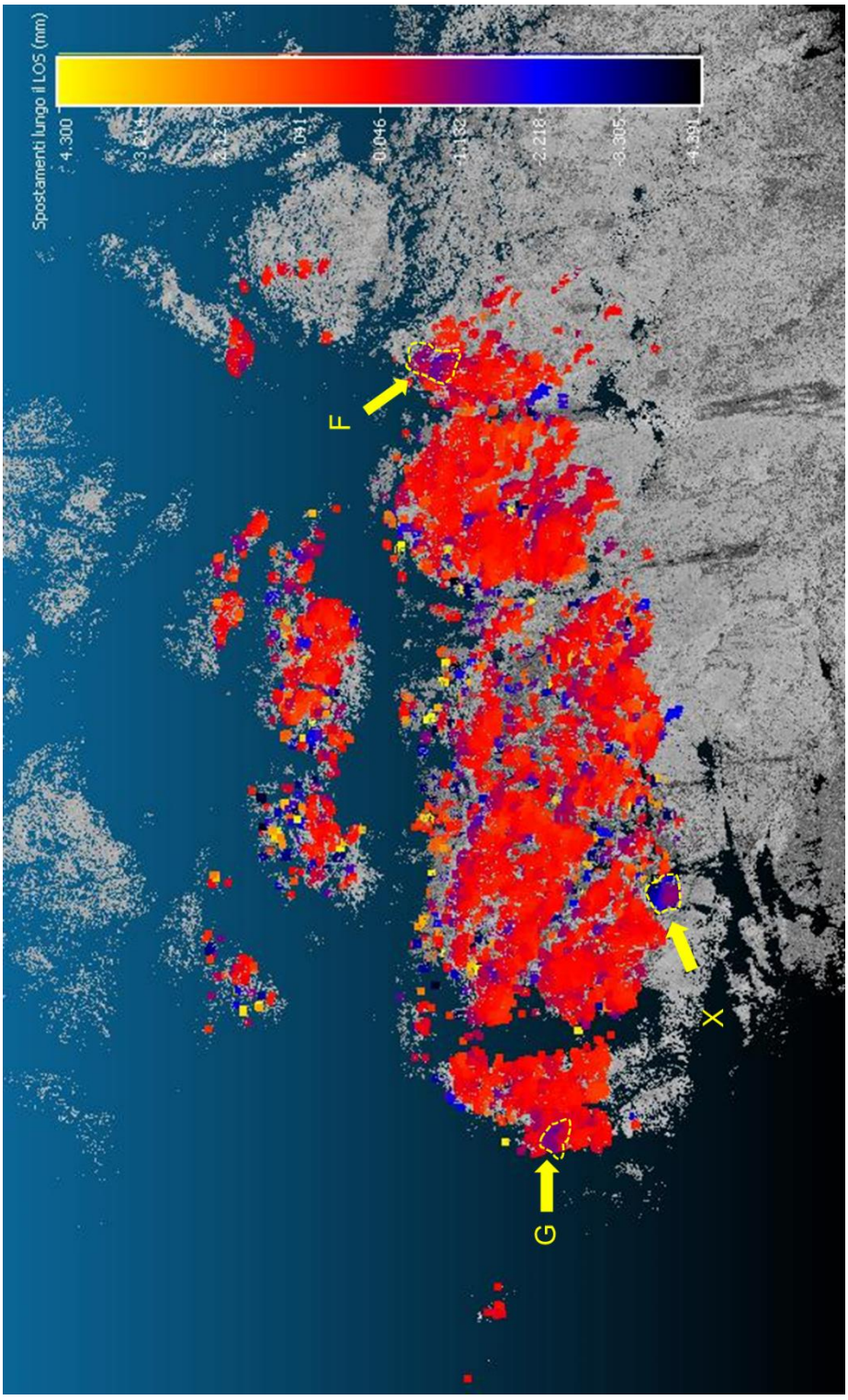


Figura 36: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025 su Point Cloud. Postazione *Ovest*, sottofinestra *Near*.

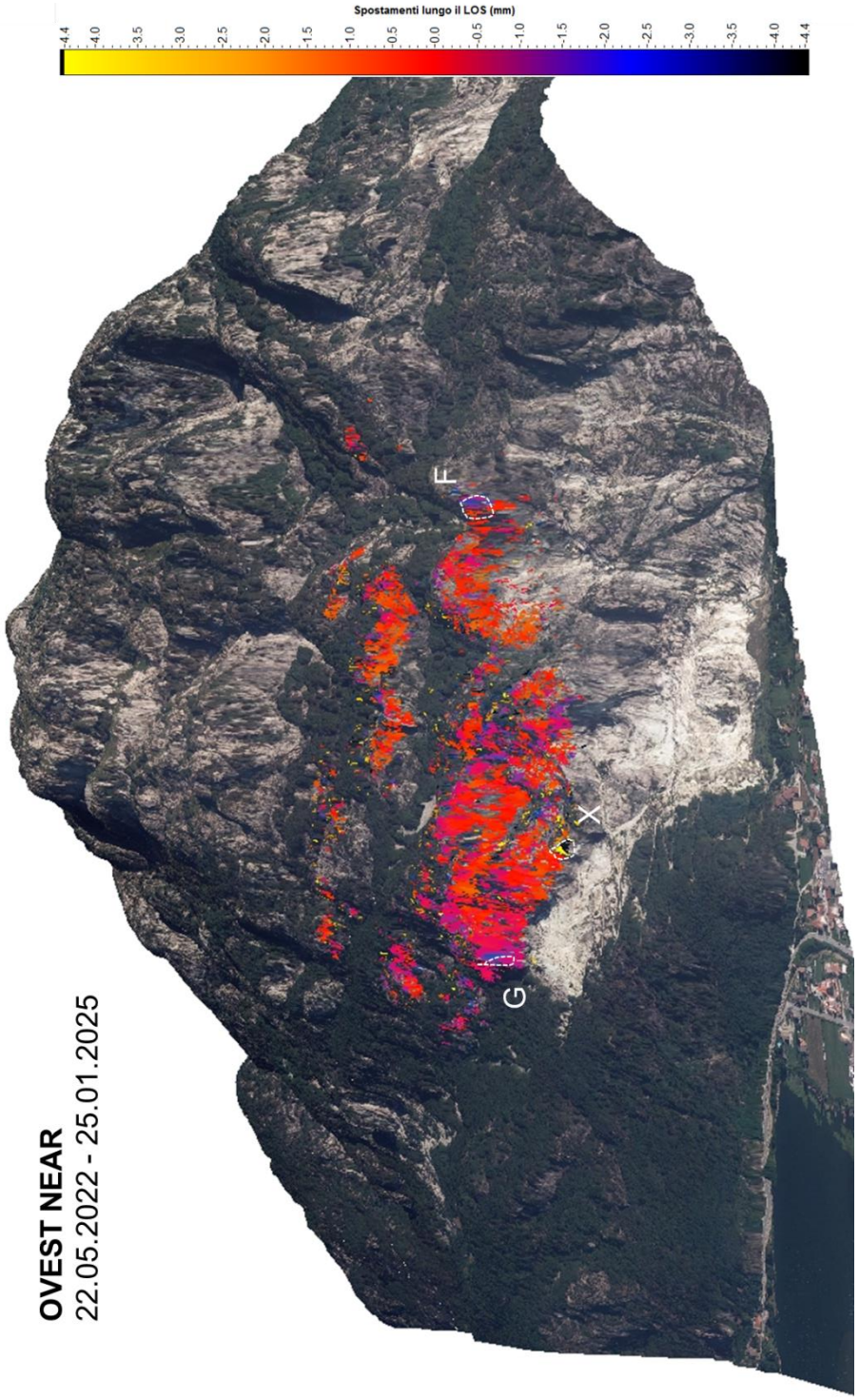


Figura 37: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025 su DEM del versante. Postazione *Ovest*, sottofinestra *Near*. In bianco sono rappresentate le aree in movimento nell'intervallo considerato.

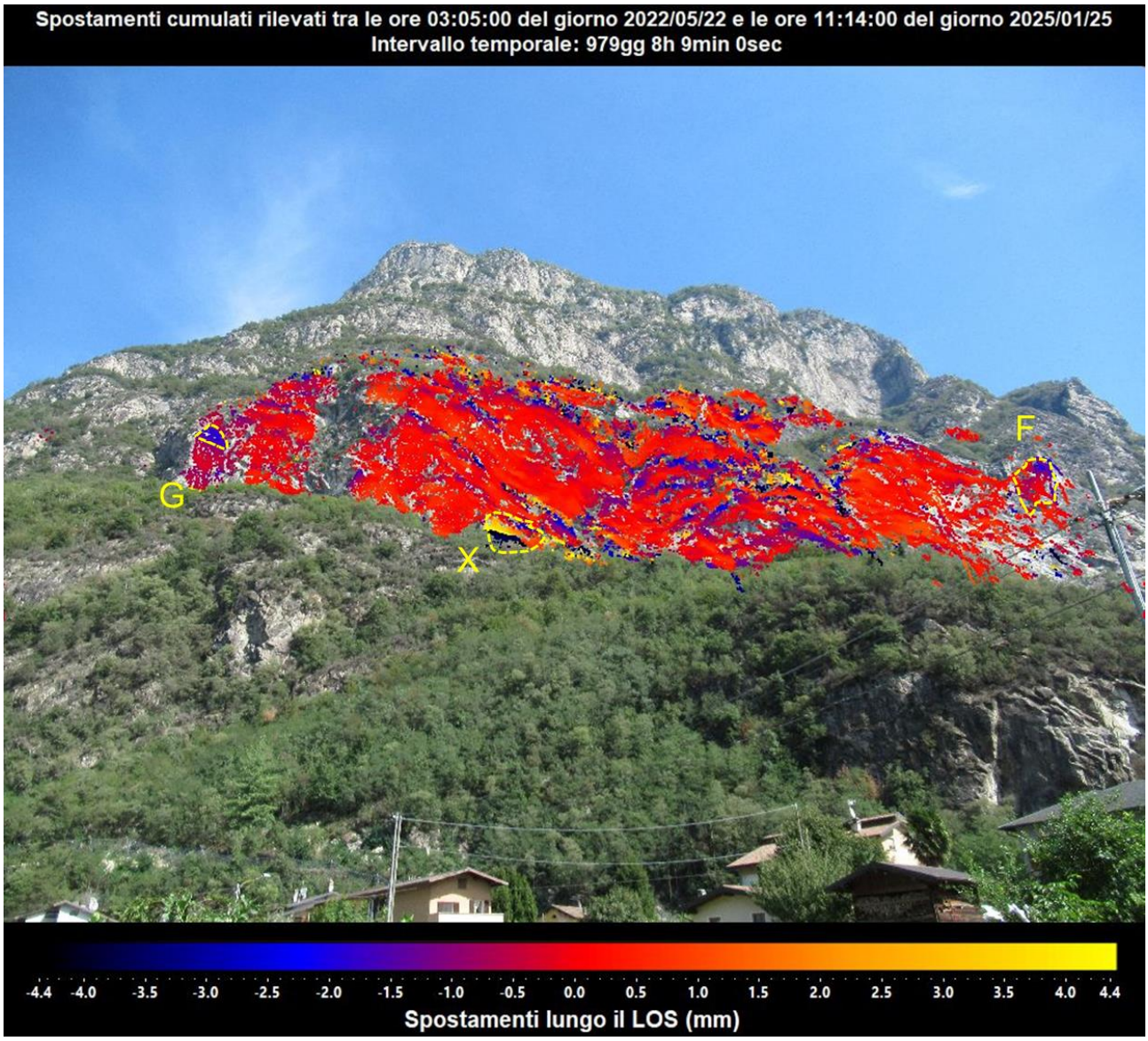


Figura 38: Mappa di spostamento per il periodo 22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025. Proiettata sull'immagine ottica del versante. Postazione *Ovest*, sottofinestra *Near*.

Dall'analisi sul lungo termine eseguita tra la campagna di maggio 2022 e la campagna di gennaio 2025 per la postazione *Ovest Near* si osservano movimenti all'interno delle tre aree F, G ed X. La prima area corrisponde alla regione F che mostra spostamenti medi pari a circa -1.5 mm in avvicinamento rispetto al sistema; la seconda area corrisponde alla regione G che mostra spostamenti differenziali pari a circa -1.2 mm in avvicinamento al sistema; infine, la terza area corrisponde alla regione X che mostra spostamenti medi pari a circa -3.2 mm in avvicinamento al sistema con valori di picco di circa -6 mm. I dati statistici

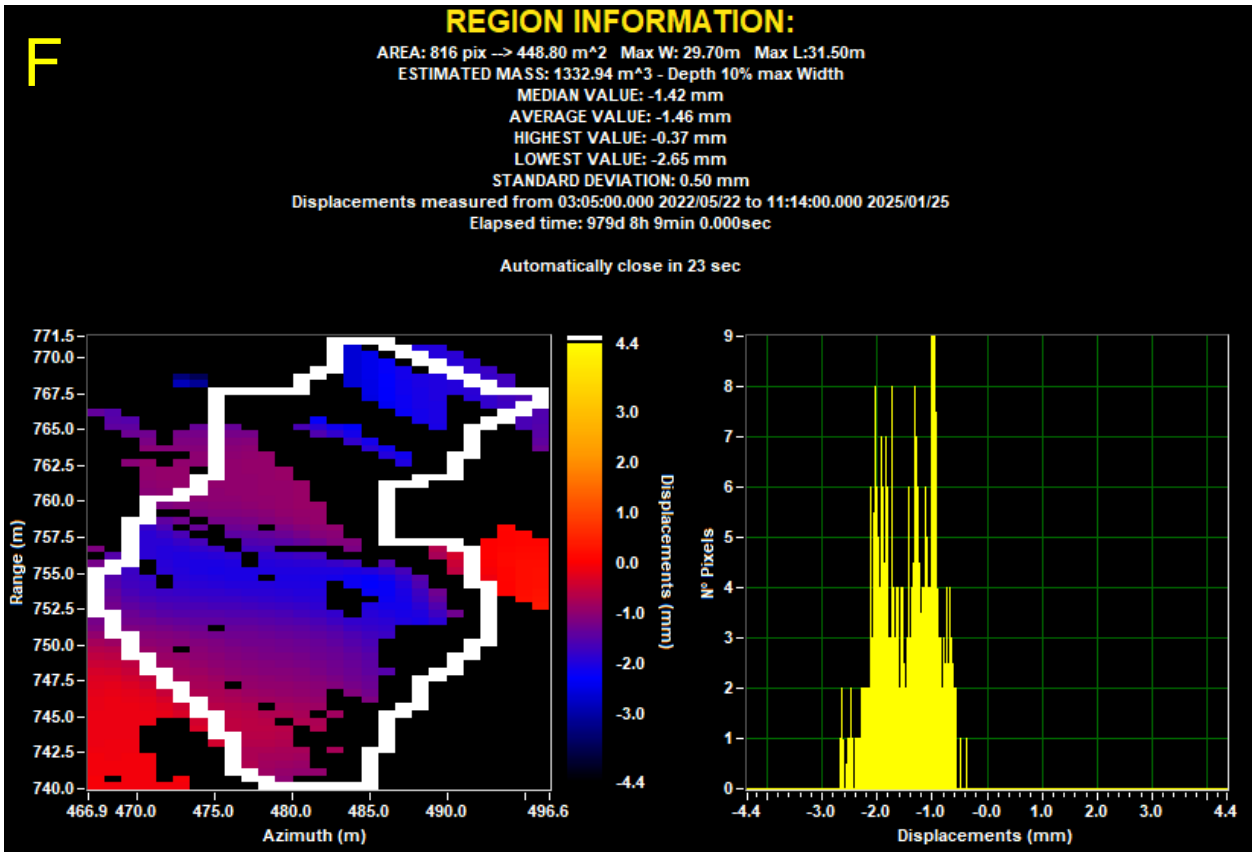
relativi alle tre aree sono elencati nel trittico di Figura 39 e si riferiscono ad un intervallo temporale di 978 giorni.

Quest'ultima analisi afferisce ad un periodo molto più lungo rispetto al minore intervallo di 120 giorni coperto dall'analisi fra le ultime due campagne di misura. Il maggiore intervallo temporale offre quindi un mezzo per valutare la permanenza o meno degli spostamenti nella casistica in cui siano ciclici e influenzati dalle variazioni termiche. È infatti evidente come gli spostamenti rilevabili in tutte e tre le zone aumentino estendendo il periodo di osservazione.

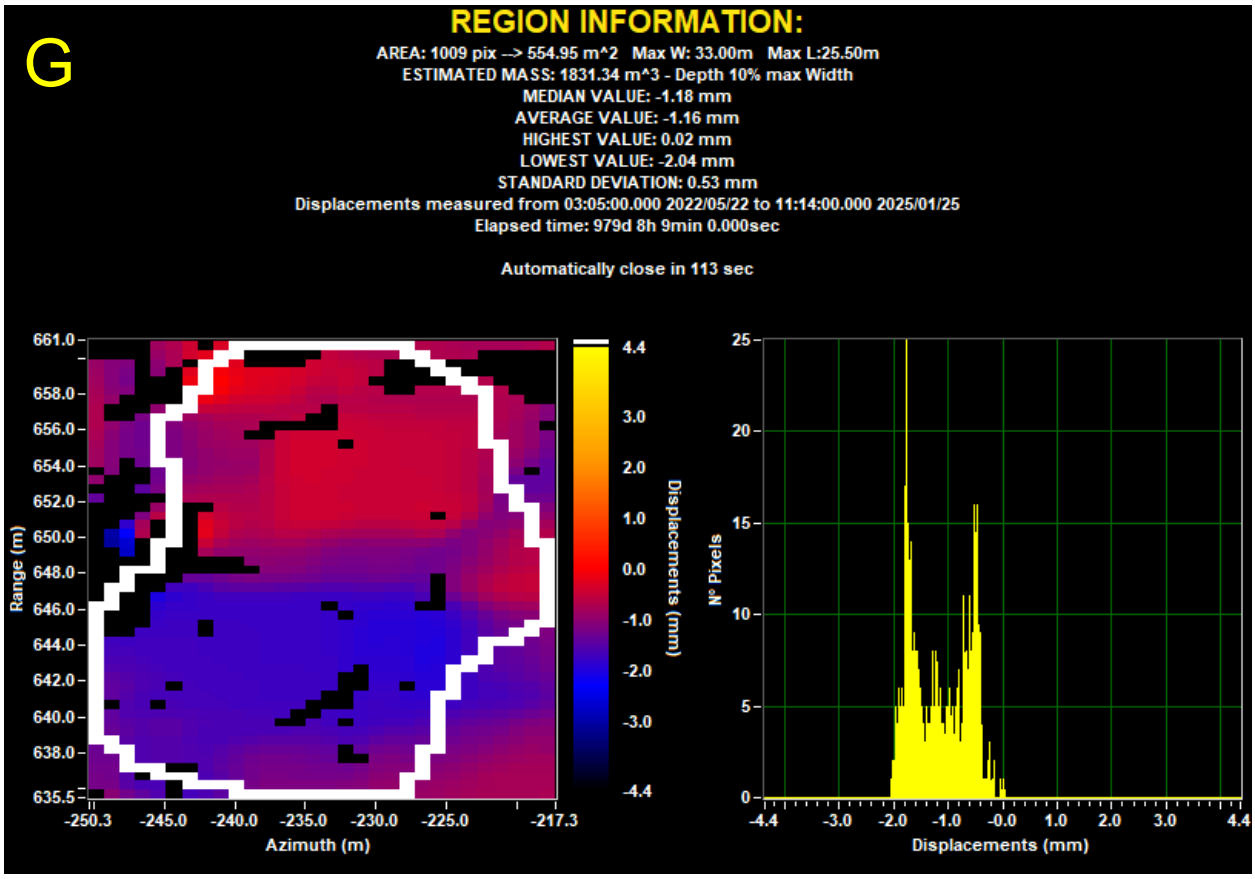
Come detto in precedenza, in particolare per le zone F e G, si è osservato nei report precedenti uno stile deformativo non lineare ma caratterizzato da fluttuazioni sia positive che negative con spostamenti in avvicinamento rilevabili al termine di un periodo di raffreddamento. Anche in questo caso, avendo fatto la misura a gennaio, gli spostamenti netti nelle due zone sono in avvicinamento ma tale comportamento potrà essere seguito da degli spostamenti in allontanamento in primavera.

In contrasto, la zona X non appare affetta da fluttuazioni. Le sue deformazioni sembrano infatti seguire una modalità a gradini di tipo crescente (spostamenti maggio 2022 – gennaio 2025 > spostamenti maggio 2022 – ottobre 2023). A questo proposito, uno degli obiettivi delle future analisi potrebbe essere verificare la natura degli spostamenti nella zona X che, sottolineiamo, è quella che ha registrato complessivamente più spostamenti in tutto il monitoraggio del Monte Avedeè.

LISALAB


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: -1.42 mm
AVERAGE VALUE: -1.46 mm
HIGHEST VALUE: -0.37 mm
LOWEST VALUE: -2.65 mm
STANDARD DEVIATION: 0.50 mm
Displacements measured from 03:05:00.000 2022/05/22 to 11:14:00.000 2025/01/25
Elapsed time: 979d 8h 9min 0.000sec
Automatically close in 23 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
N° Pixels
Displacements (mm)

LISALAB


REGION INFORMATION:
G
AREA: 1009 pix --> 554.95 m^2 Max W: 33.00m Max L:25.50m
ESTIMATED MASS: 1831.34 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: -1.18 mm
AVERAGE VALUE: -1.16 mm
HIGHEST VALUE: 0.02 mm
LOWEST VALUE: -2.04 mm
STANDARD DEVIATION: 0.53 mm
Displacements measured from 03:05:00.000 2022/05/22 to 11:14:00.000 2025/01/25
Elapsed time: 979d 8h 9min 0.000sec
Automatically close in 113 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
N° Pixels
Displacements (mm)

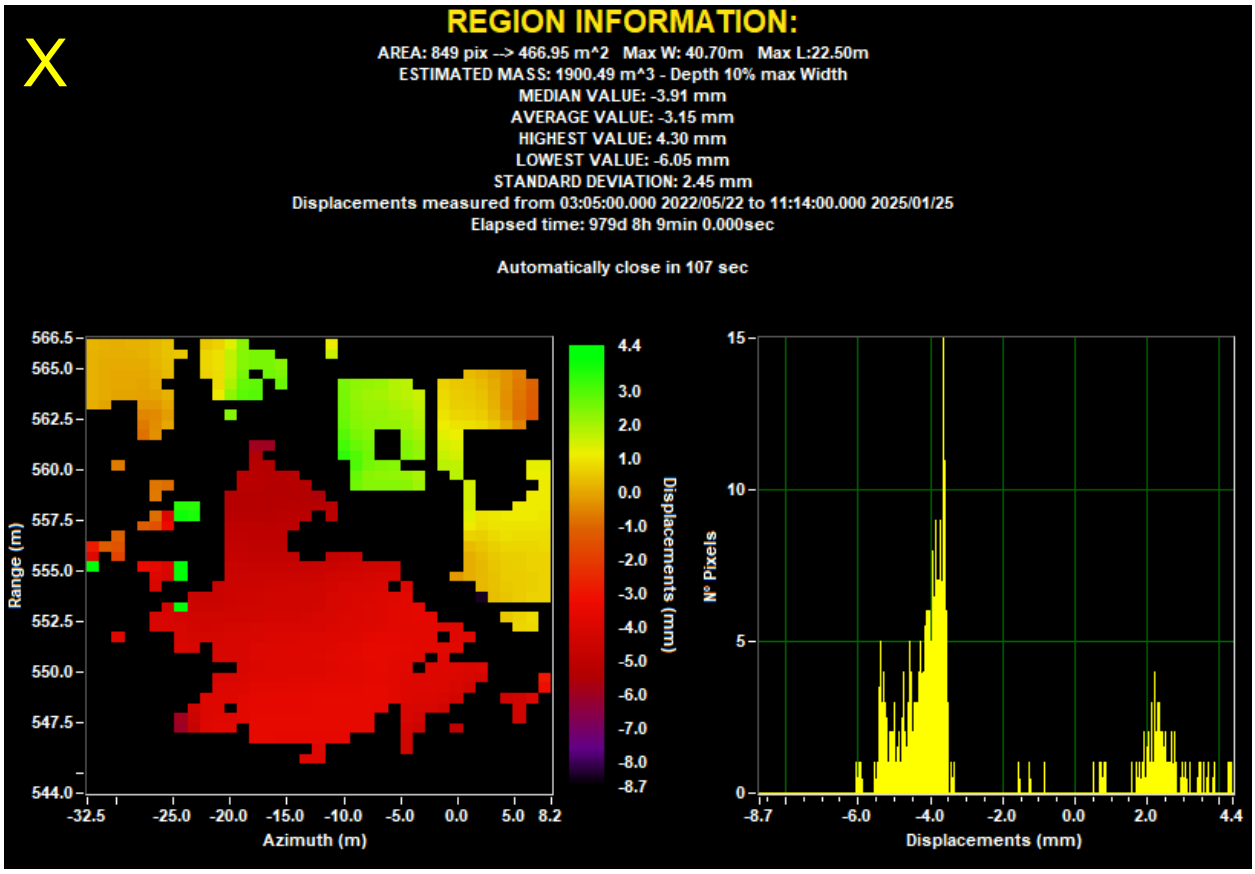


Figura 39: Analisi statistica eseguita sulle aree in movimento riconosciute in movimento nel periodo 22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025. Postazione *Ovest*, sottofinestra *Near*.

LISALAB

Postazione Ovest Far

Analisi per il periodo 13 gennaio 2024 – 25 gennaio 2025

Di seguito , da Figura 40 a Figura 43, vengono presentati i risultati ottenuti per la postazione *Ovest Far* riferiti all'intervallo di tempo di circa 378 giorni tra la VI e la IX campagna di misura.

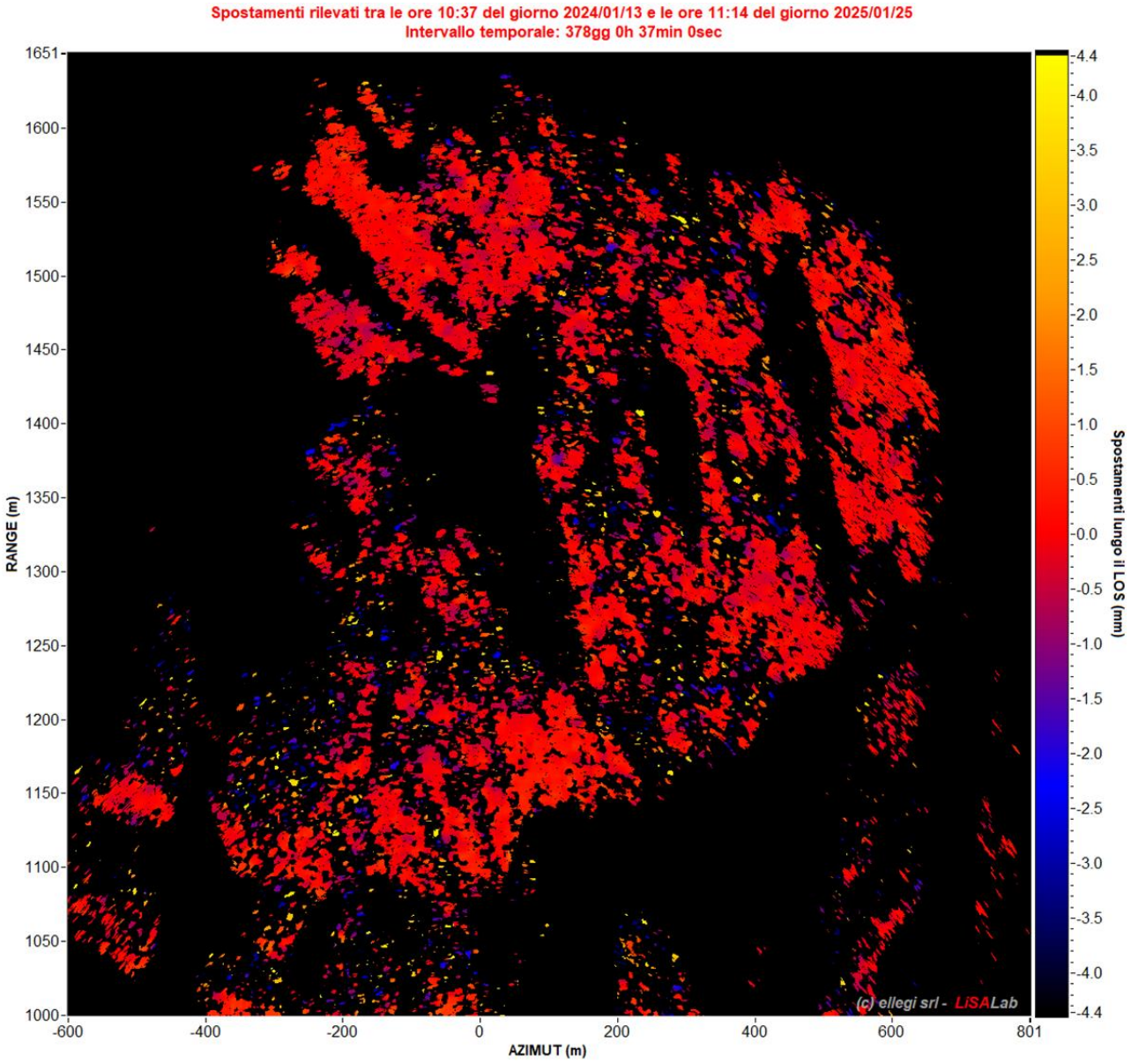


Figura 40: Mappa di spostamento 2D per il periodo 13 gennaio 2024 – 25 gennaio 2025. Postazione *Ovest*, sottofinestra *Far*.

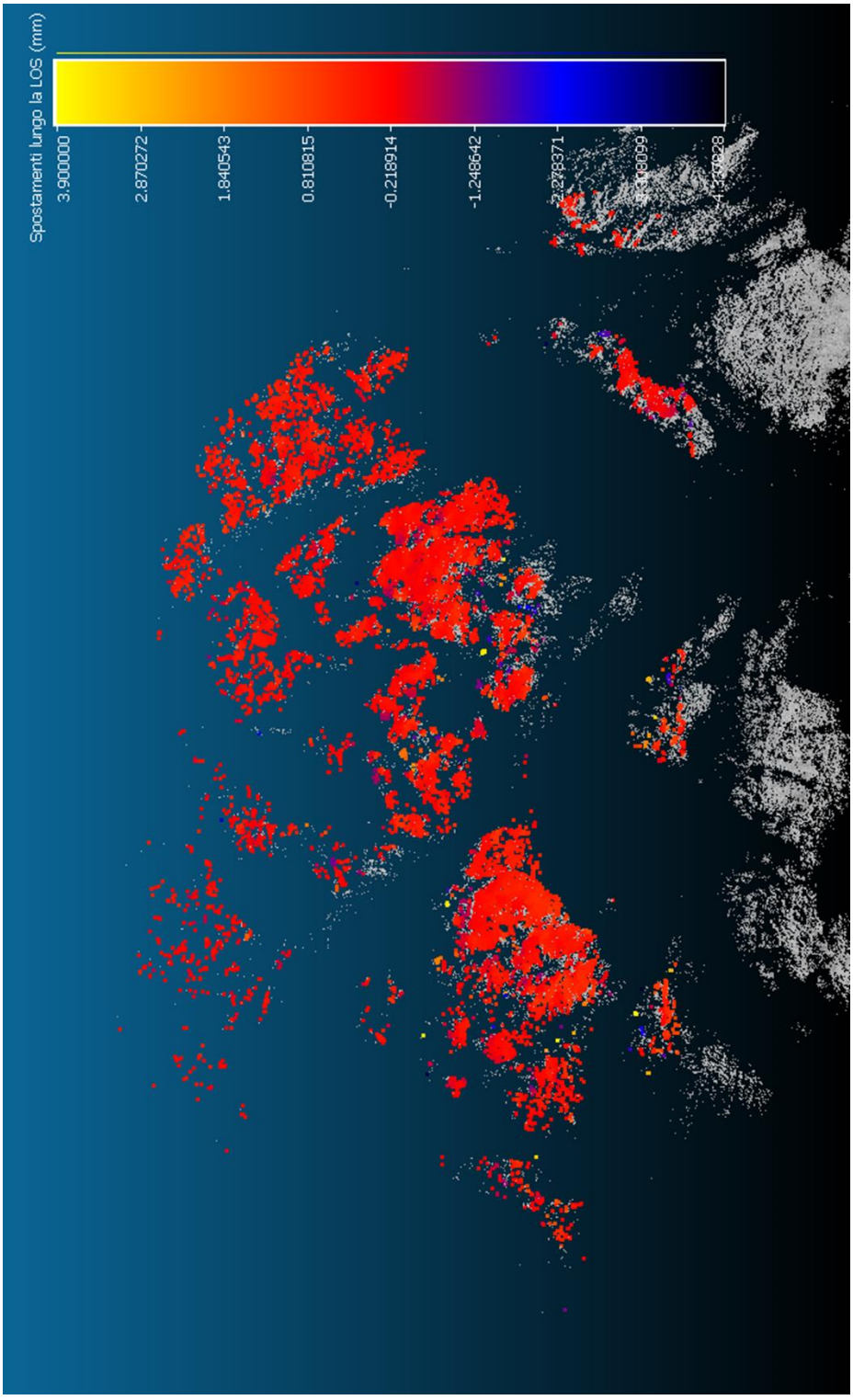


Figura 41: Mappa di spostamento 3D per il periodo 13 gennaio 2024 – 25 gennaio 2025 su Point Cloud. Postazione *Ovest*, sottofinestra *Far*.

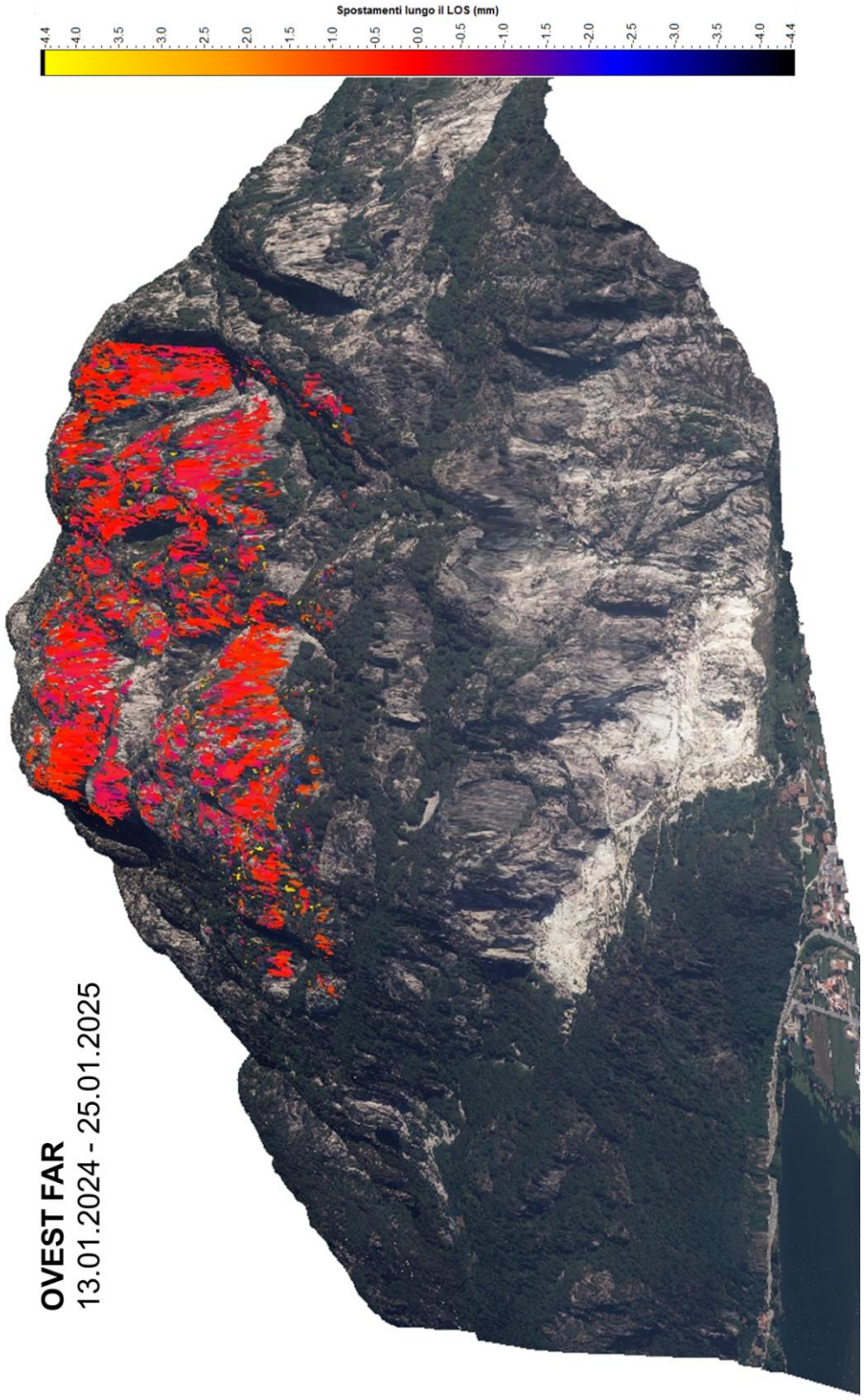


Figura 42: Mappa di spostamento 3D per il periodo 13 gennaio 2024 – 25 gennaio 2025 su DEM del versante. Postazione *Ovest*, sottofinestra *Far*.

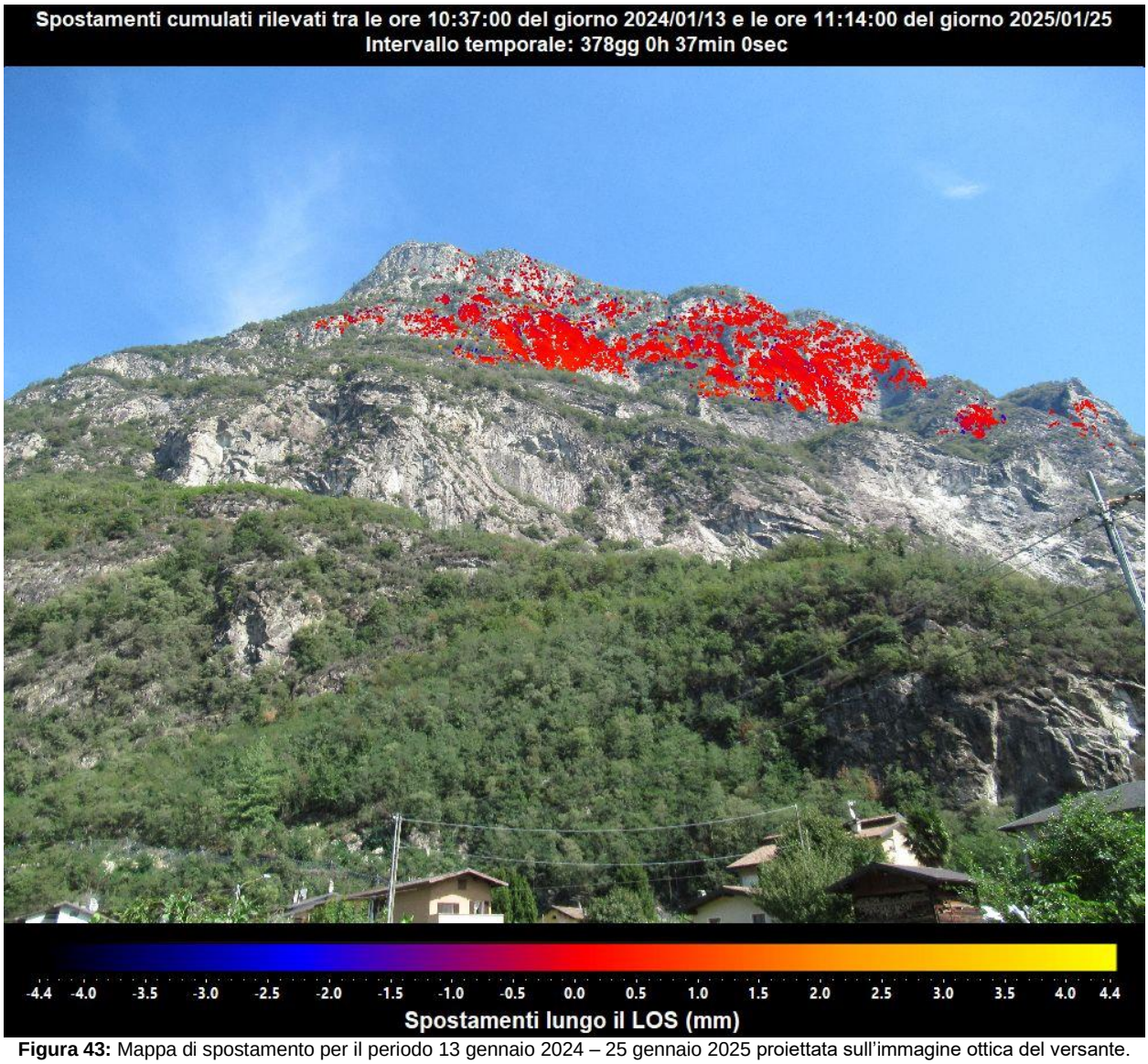


Figura 43: Mappa di spostamento per il periodo 13 gennaio 2024 – 25 gennaio 2025 proiettata sull'immagine ottica del versante. Postazione *Ovest*, sotto finestra *Far*.

Dall'analisi sul lungo termine eseguita tra la campagna di gennaio 2024 e quella di gennaio 2025 per la postazione *Ovest Far* non si evidenziano aree con spostamenti superiori alla precisione strumentale.

LISALAB

Analisi per il periodo 22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025

Di seguito vengono presentati i risultati ottenuti per la postazione *Ovest Far* (da Figura 44 a Figura 47) riferiti all'intervallo di tempo tra la I e la IX campagna di misura (22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025). L'intervallo di tempo qui considerato è di 979 giorni, 9 ore e 36 minuti.

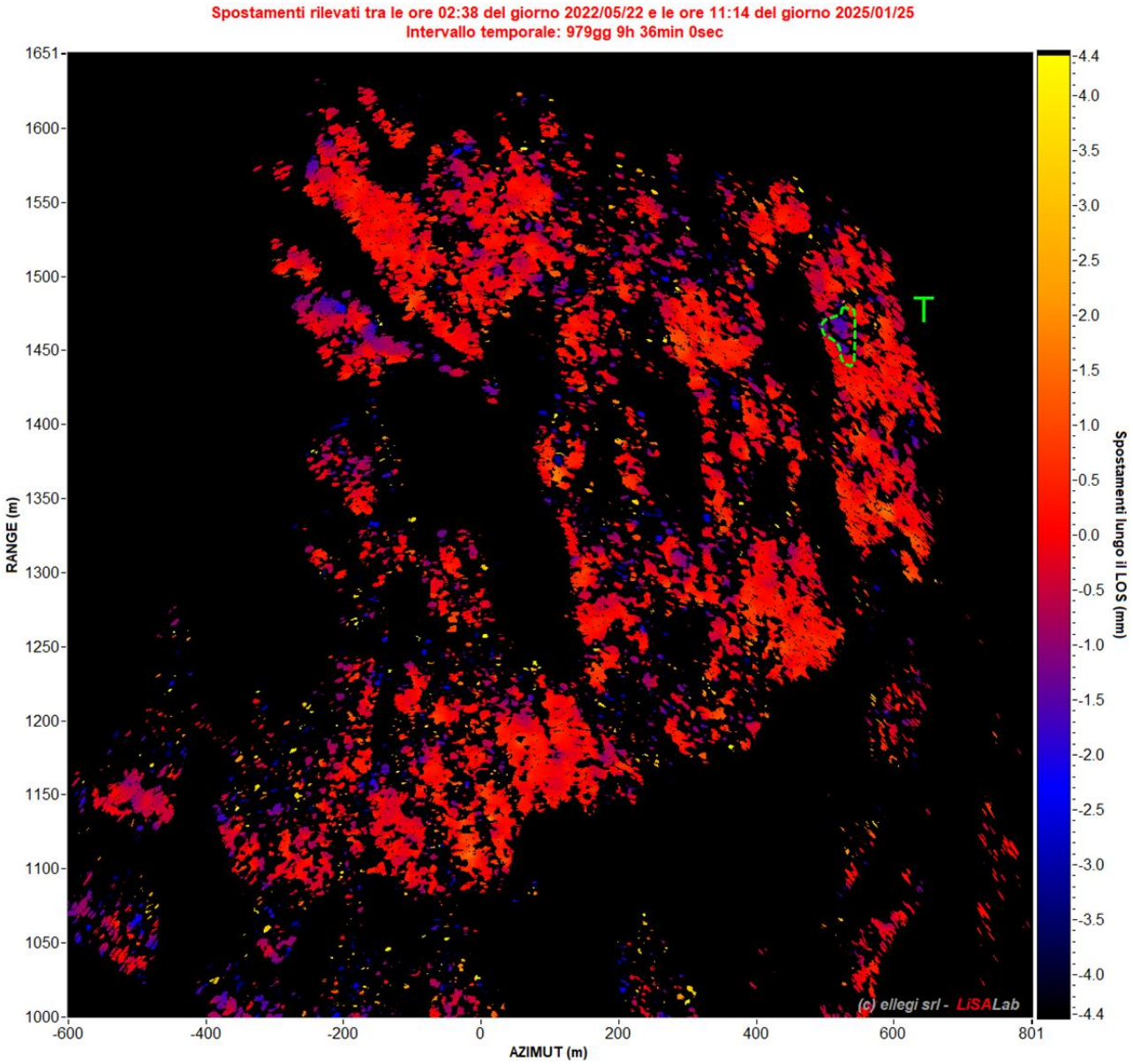


Figura 44: Mappa di spostamento 2D per il periodo 22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025. Postazione *Ovest*, sottofinestra *Far*.

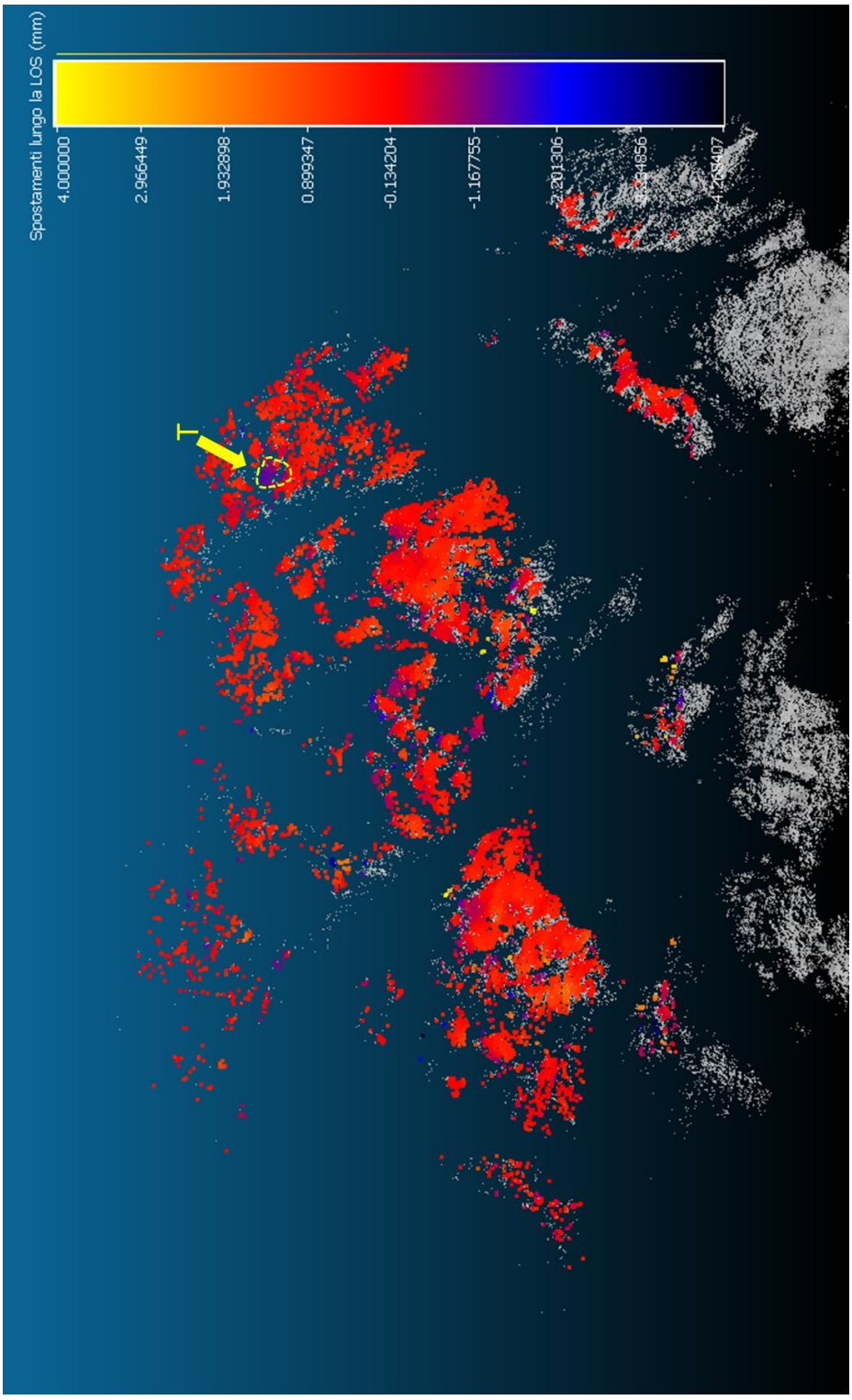


Figura 45: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025. su Point Cloud. Postazione *Ovest*, sottofinestra *Far*.

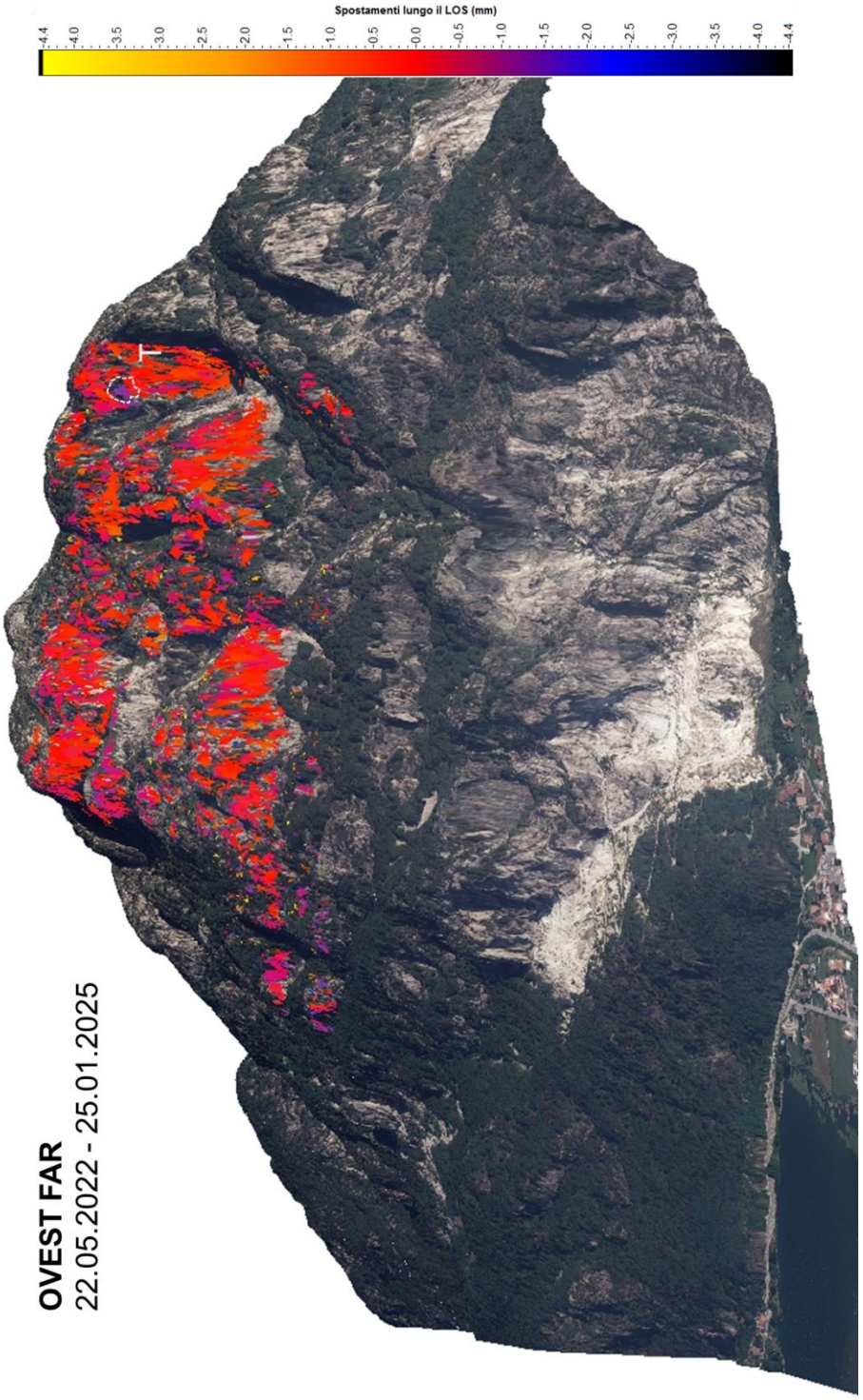


Figura 46: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025 su DEM del versante. Postazione *Ovest*, sottofinestra *Far*.

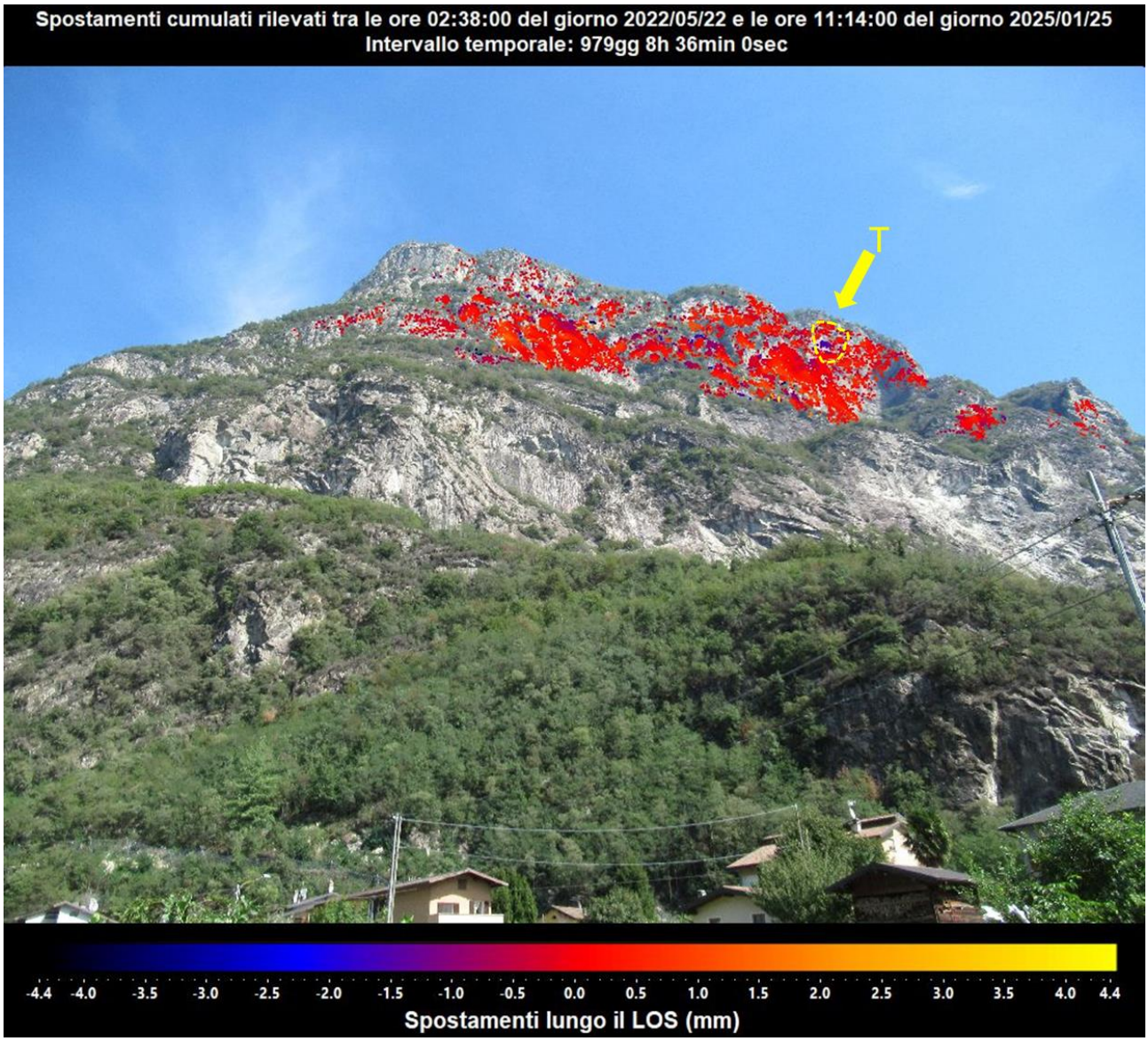


Figura 47: Mappa di spostamento per il periodo 22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025 proiettata sull'immagine ottica del versante. Postazione *Ovest*, sottofinestra *Far*.

Dall'analisi di lungo termine eseguita tra la campagna di maggio 2022 e quella di gennaio 2025 per la postazione *Ovest Far* in generale non si evidenziano aree con spostamenti superiori alla precisione strumentale in 601 giorni circa di monitoraggio. Persistono tuttavia lievi spostamenti nell'area T (-1.1 mm in avvicinamento) e le statistiche riguardanti quest'area vengono sotto riportate (Figura 48).

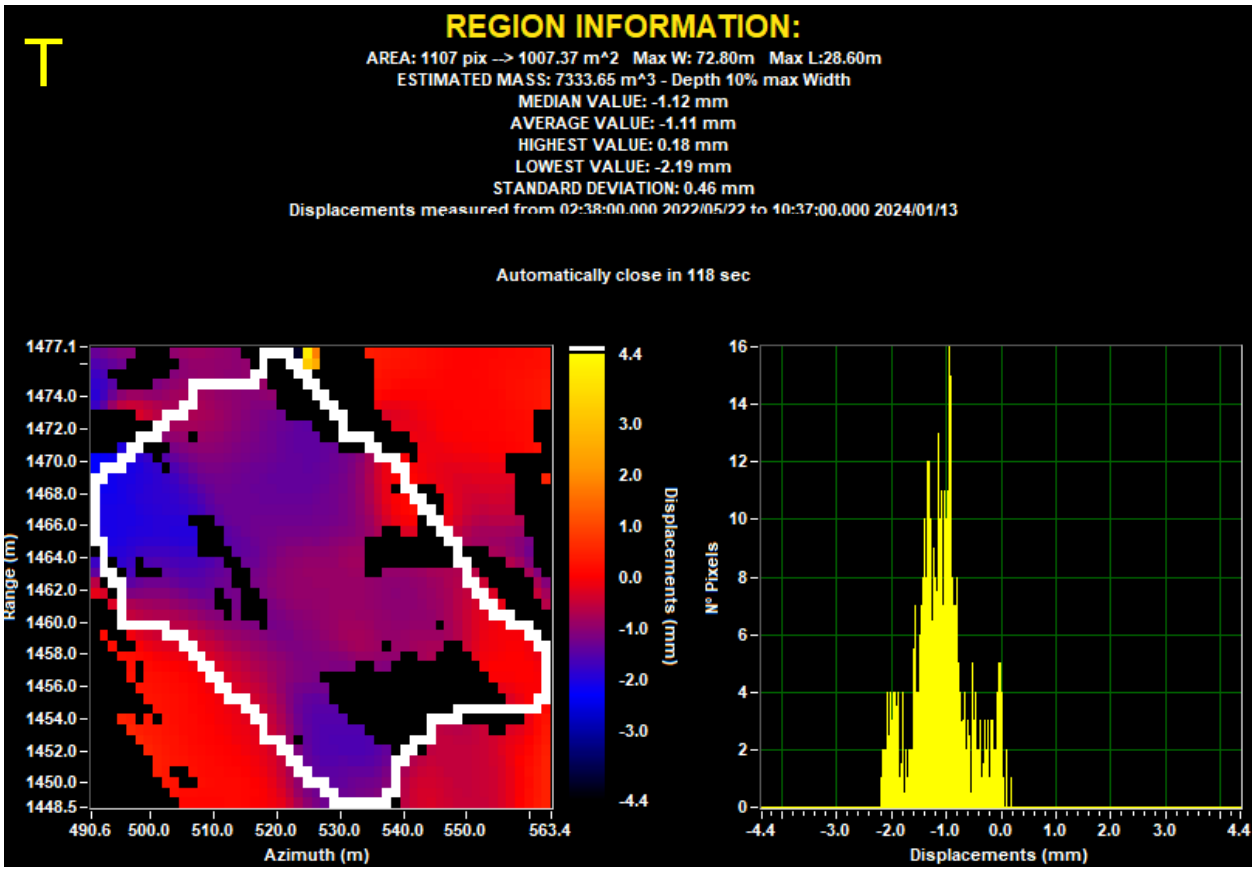


Figura 48: Mappa di spostamento per il periodo 22 Maggio 2022 – 25 Gennaio 2025 proiettata sull'immagine ottica del versante. Postazione *Ovest*, sottofinestra *Far*.

LISALAB

Postazione Est Near

Analisi per il periodo 26 settembre 2024 – 25 gennaio 2025

Di seguito vengono presentati i risultati ottenuti per la postazione Est Near riferiti all'intervallo di tempo di circa 120 giorni tra la VIII e la IX campagna di misura (da Figura 49 a Figura **52**).

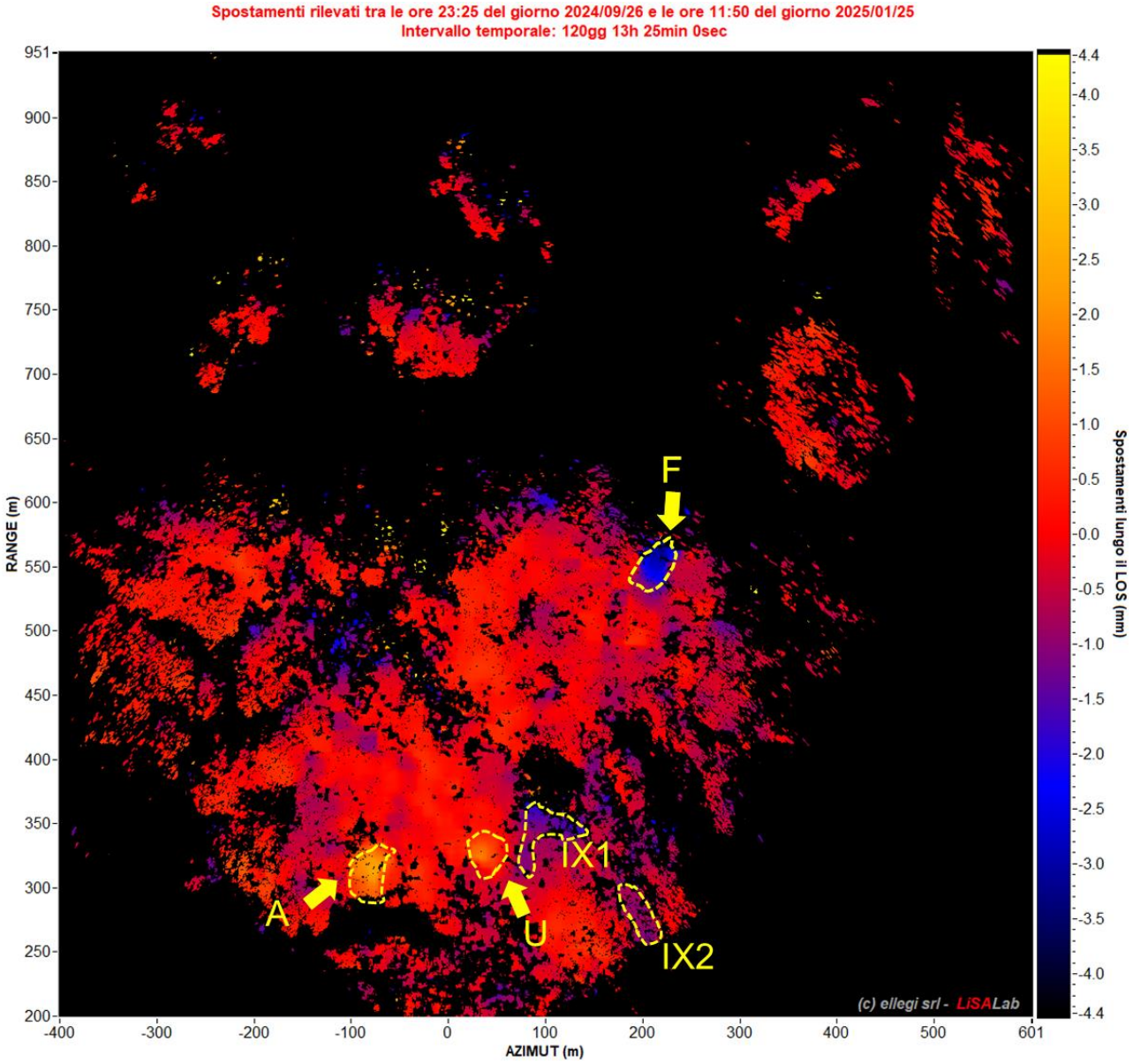


Figura 49: Mappa di spostamento 2D per il periodo 26 settembre 2024 – 25 gennaio 2025. Postazione *Est*, sottofinestra *Near*. In giallo sono identificate le aree in movimento.

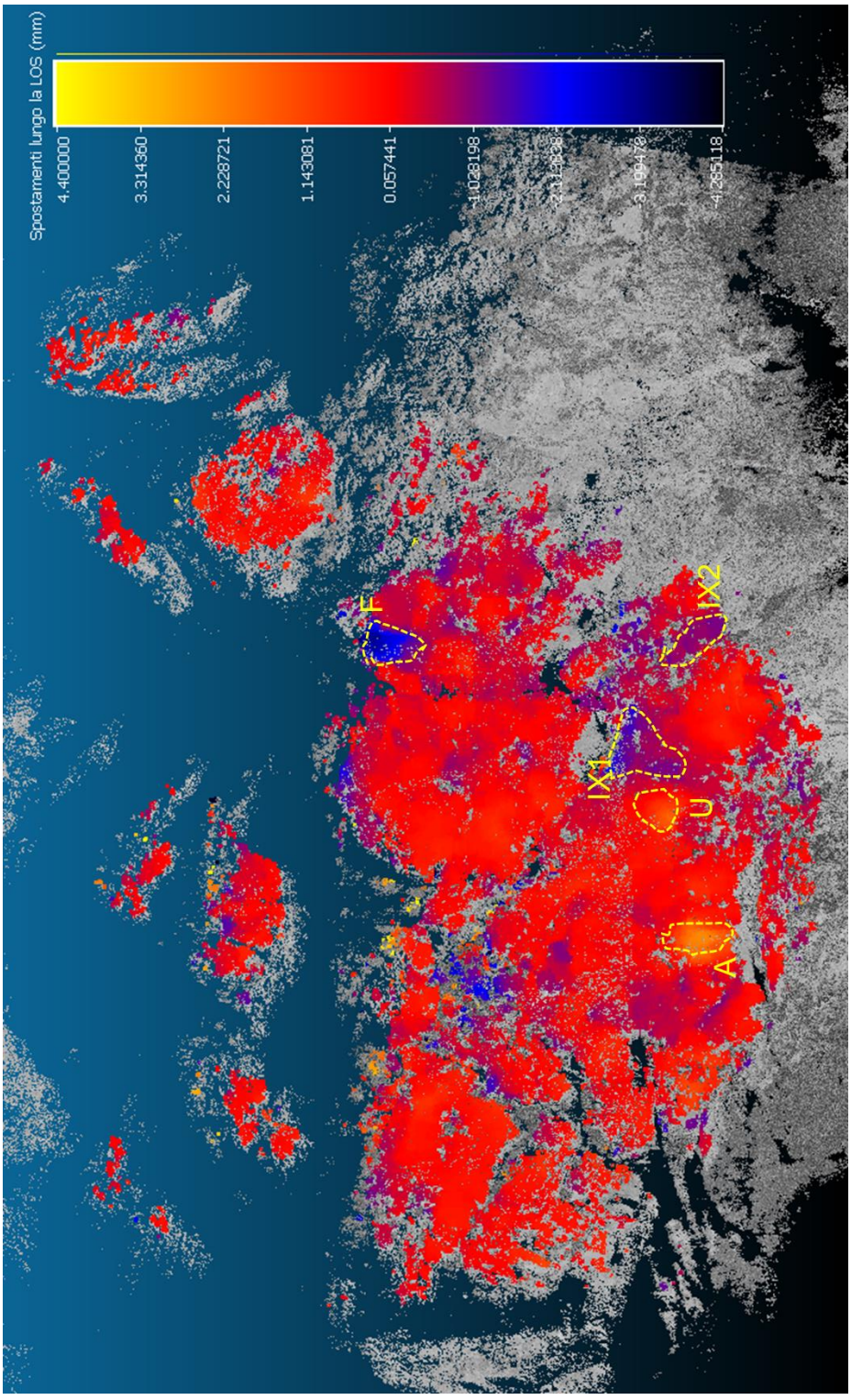


Figura 50: Mappa di spostamento 3D per il periodo 26 settembre 2024 – 25 gennaio 2025 su Point Cloud. Postazione *Est*, sottofinestra *Near*.

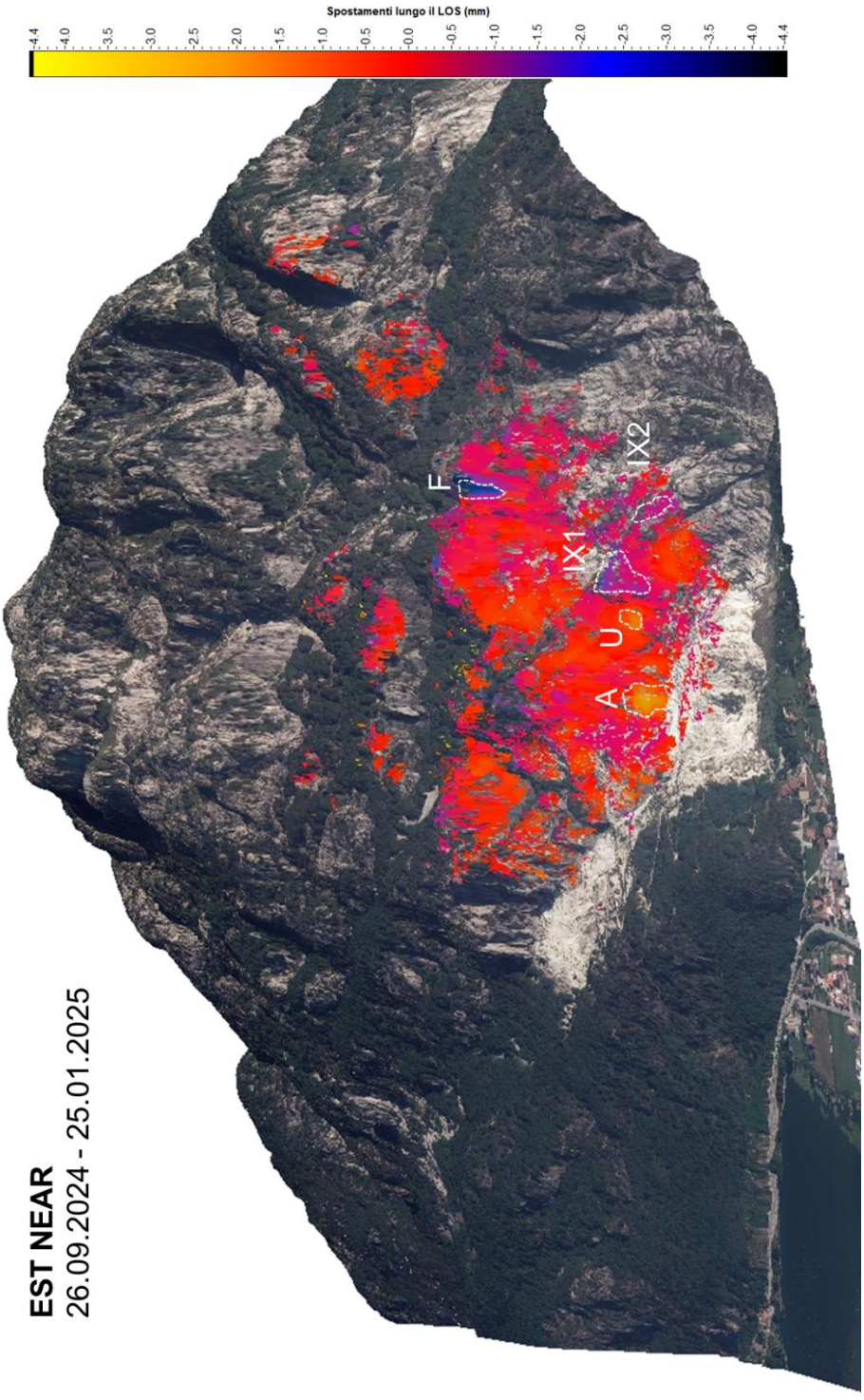


Figura 51: Mappa di spostamento 3D per il periodo 26 settembre 2024 – 25 gennaio 2025 su DEM del versante. Postazione *Est*, sottofinestra *Near*. In giallo sono rappresentate le aree in movimento nell'intervallo considerato.

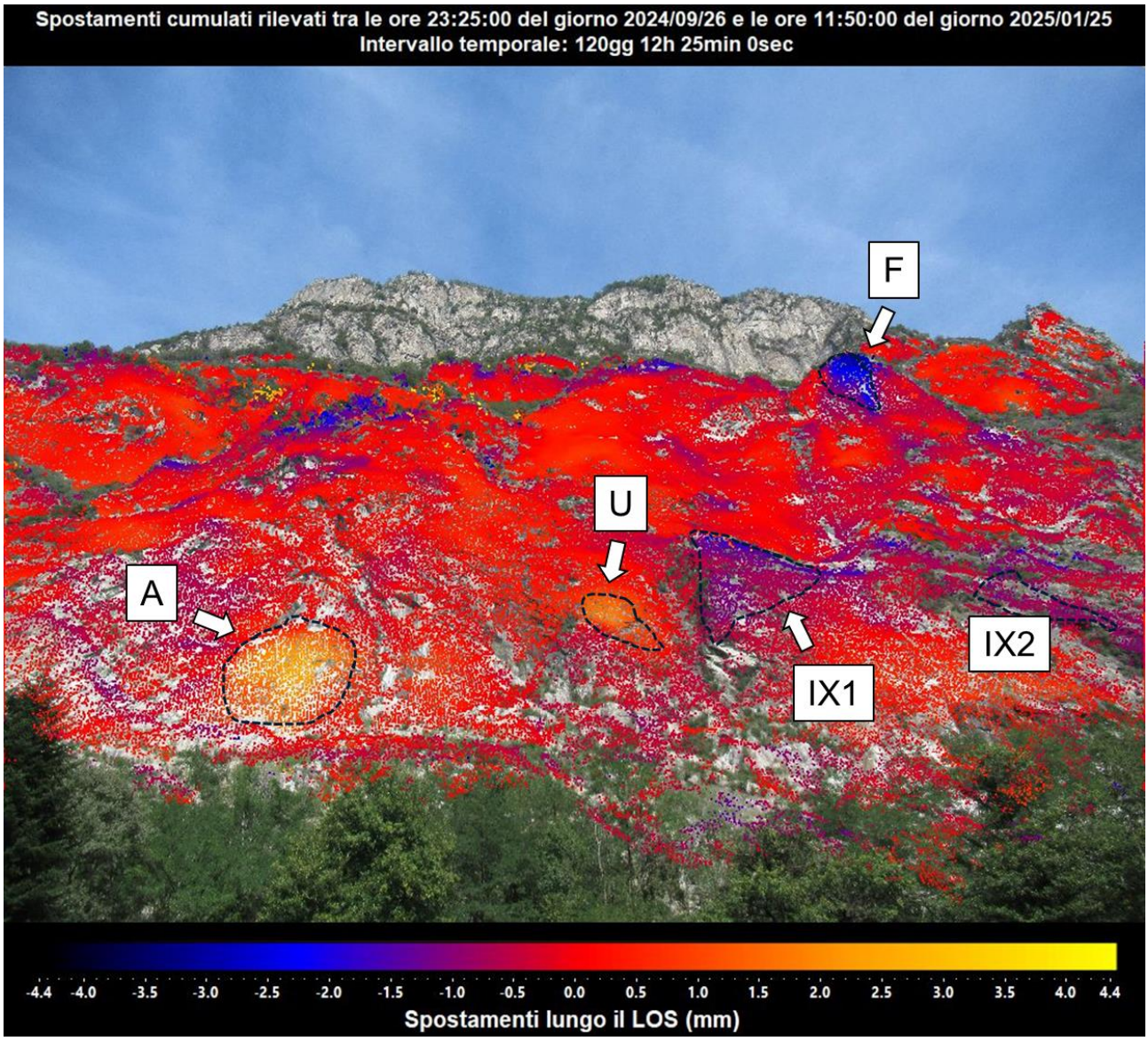


Figura 52: Mappa di spostamento per il periodo 26 settembre 2024 – 25 gennaio 2025 proiettata sull'immagine ottica del versante. Postazione *Est*, sottofinestra *Near*.

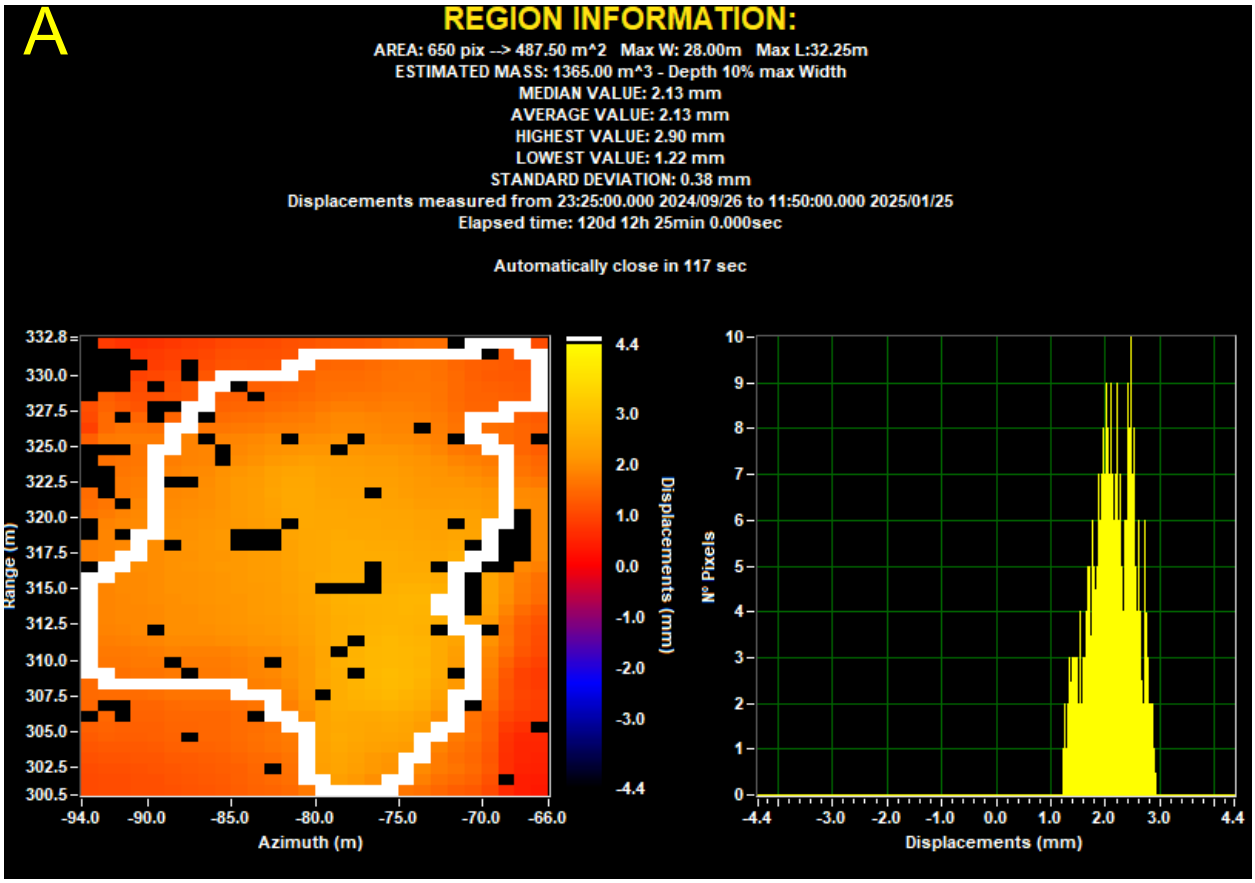
Dall'analisi sul lungo termine eseguita tra la campagna di settembre 2024 e quella di gennaio 2025 per la postazione *Est Near* si rileva la presenza di cinque aree in movimento durante il periodo di osservazione di circa 120 giorni.

Fra queste cinque aree, tre (A, U ed F) sono in generale conosciute e caratterizzate da fluttuazioni di tipo termico di segno opposto ovvero positivo nei periodi di raffreddamento per A ed U e negativo nei periodi di raffreddamento per F. Le restanti due zone IX1 e IX2 non erano mai state osservate prima, ma il loro comportamento non appare particolarmente allarmante in quanto, come vedremo nella prossima analisi,

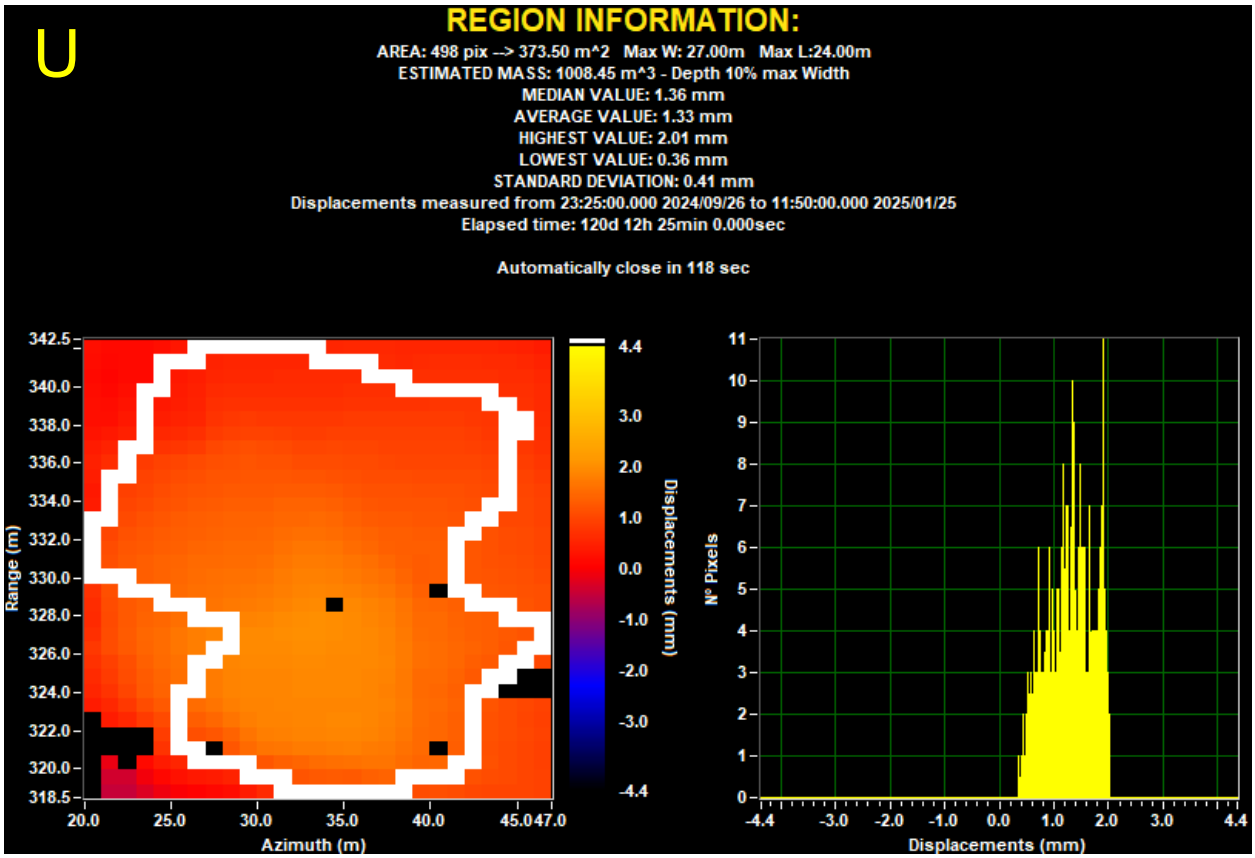
gli spostamenti in queste due zone sono legate a dinamiche termiche e tendono a riassorbirsi aumentando l'intervallo di osservazione.

Le cinque aree, in linea con la nomenclatura utilizzata nei precedenti report, sono indicate con delle lettere alfabetiche e segnalate in tutte le rappresentazioni dei dati.

Nella prossima collezione di cinque immagini (Figura 53) vengono mostrati i risultati dell'analisi statistica condotta per le aree in movimento con indicata anche la loro estensione espressa in m^2 calcolati in coordinate radar.

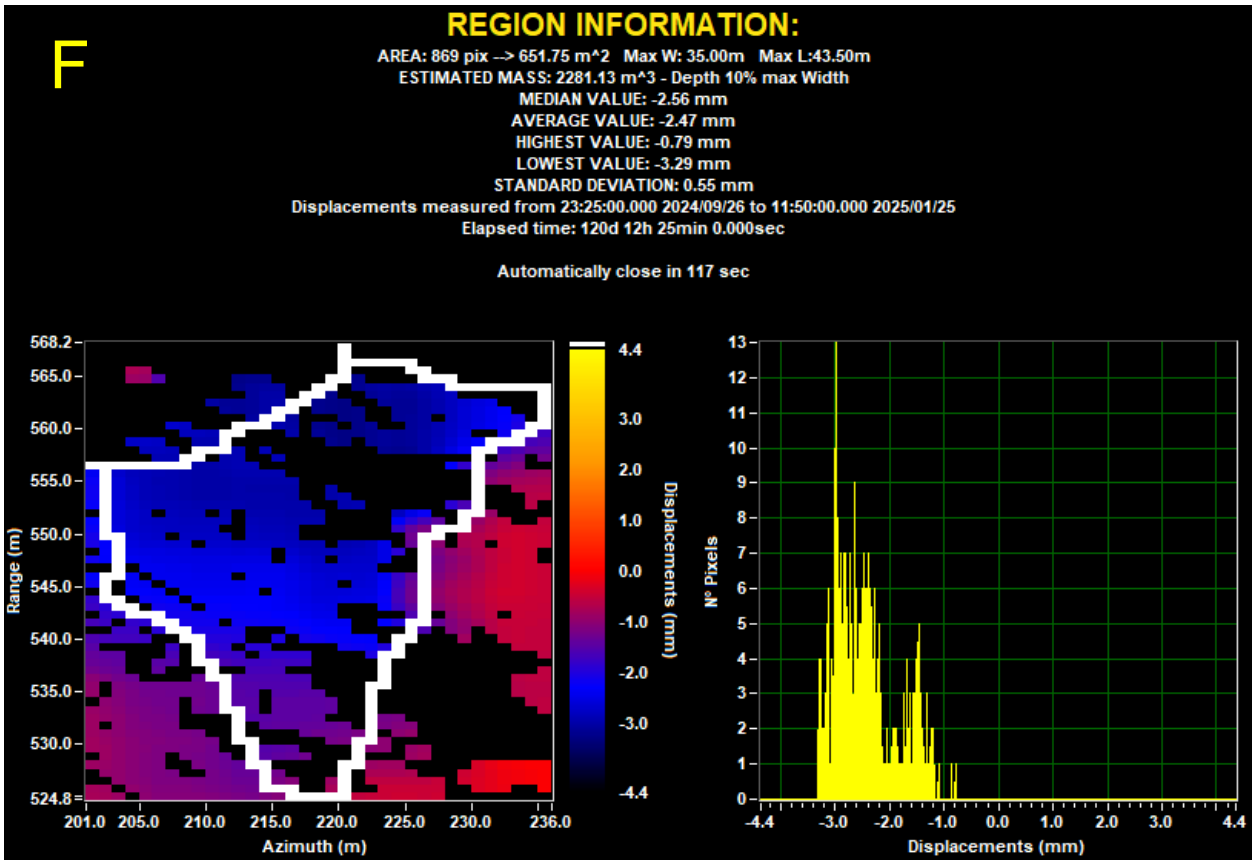


LISALAB

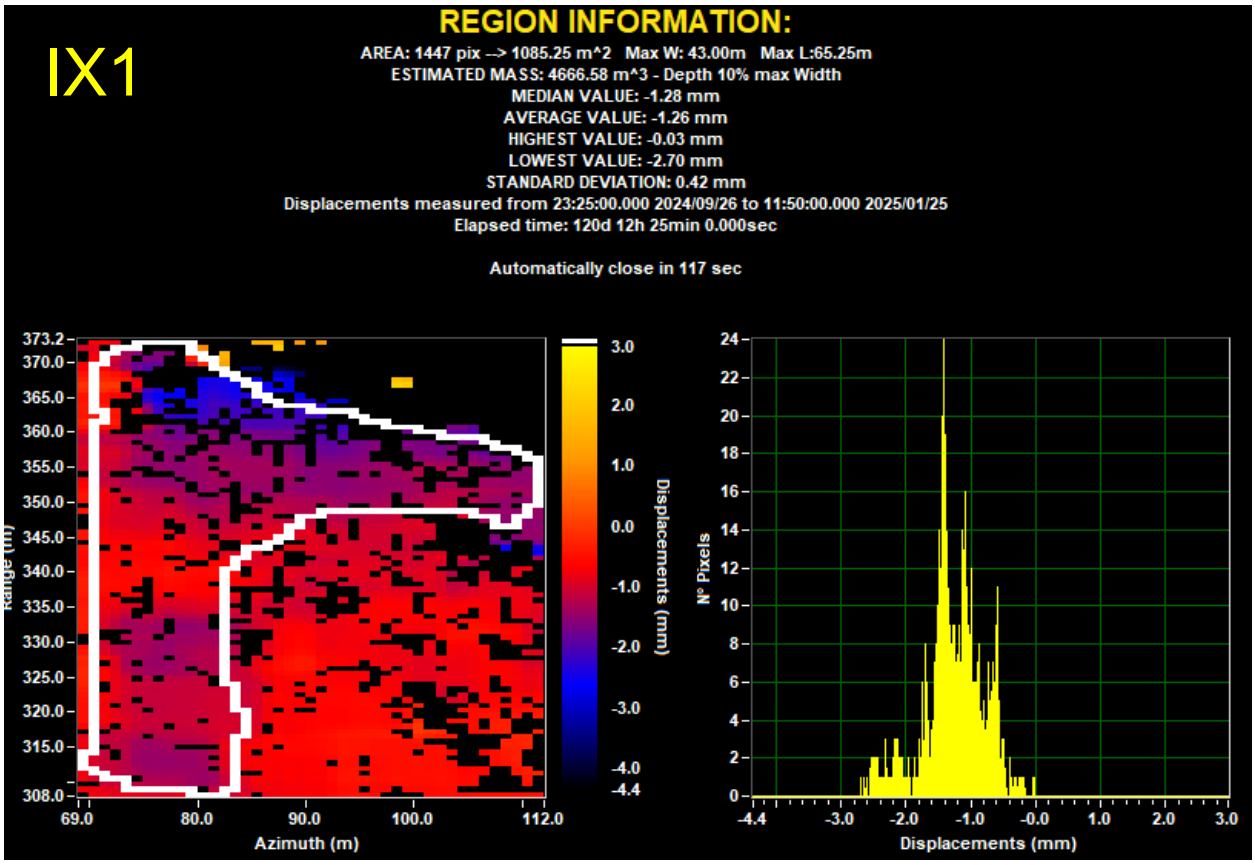


ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	**Argomento:**	**IX PC monitoraggio pareti rocciose del Monte Avedèe nel Comune di Novate Mezzola (SO) – Gennaio 2025**					**Data di creazione:**	**10 Febbraio 2025**
	Riferimento Cliente:	**Comunità Montana Valchiavenna**	**Rif. int.:**	**AG**	**Rev.:**	**00**	**Data di revisione:**	**-**
	File:	**rep.cvc.250210.ag.00**	**Note:**	**CONFIDENZIALE**			**Page:**	**71**

LISALAB


REGION INFORMATION:
F
AREA: 869 pix --> 651.75 m^2 Max W: 35.00m Max L:43.50m
ESTIMATED MASS: 2281.13 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: -2.56 mm
AVERAGE VALUE: -2.47 mm
HIGHEST VALUE: -0.79 mm
LOWEST VALUE: -3.29 mm
STANDARD DEVIATION: 0.55 mm
Displacements measured from 23:25:00.000 2024/09/26 to 11:50:00.000 2025/01/25
Elapsed time: 120d 12h 25min 0.000sec
Automatically close in 117 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
N° Pixels
Displacements (mm)

LISALAB


IX1
REGION INFORMATION:
AREA: 1447 pix --> 1085.25 m^2 Max W: 43.00m Max L:65.25m
ESTIMATED MASS: 4666.58 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: -1.28 mm
AVERAGE VALUE: -1.26 mm
HIGHEST VALUE: -0.03 mm
LOWEST VALUE: -2.70 mm
STANDARD DEVIATION: 0.42 mm
Displacements measured from 23:25:00.000 2024/09/26 to 11:50:00.000 2025/01/25
Elapsed time: 120d 12h 25min 0.000sec
Automatically close in 117 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
N° Pixels
Displacements (mm)

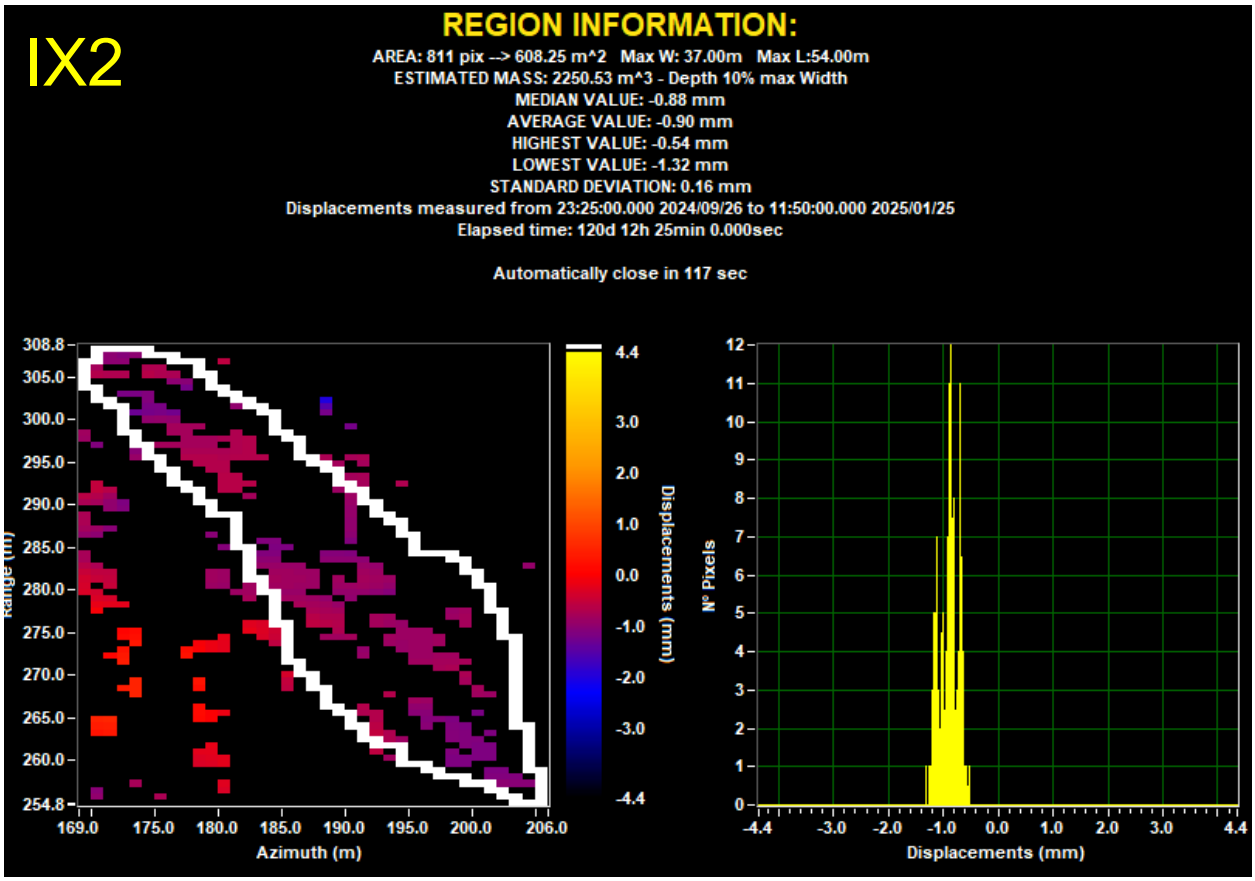


Figura 53: Analisi statistica eseguita sulle aree in movimento per il periodo 26 settembre 2024 – 25 gennaio 2025. Postazione *Est*, sottofinestra *Near*.

Analisi per il periodo 22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025

Da Figura 54 a Figura 57 vengono presentati i risultati ottenuti per la postazione *Est Near* riferiti all'intervallo di tempo tra la I e la IX campagna di misura (22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025). L'intervallo considerato è di 979 giorni 9 ore e 29 minuti.

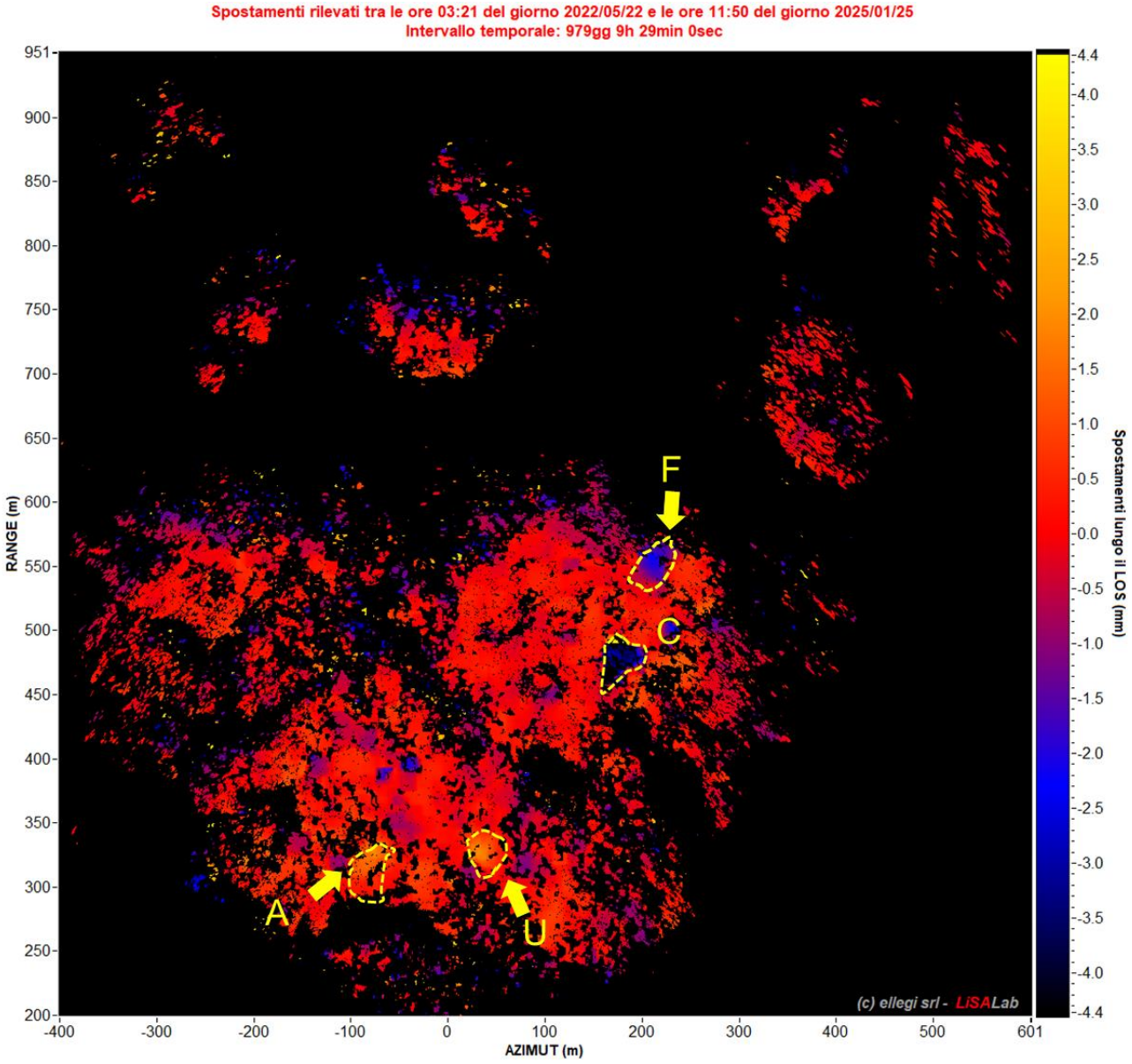


Figura 54: Mappa di spostamento 2D per il periodo 22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025. Postazione *Est*, sottofinestra *Near.* In giallo sono rappresentate le aree riconosciute in movimento.

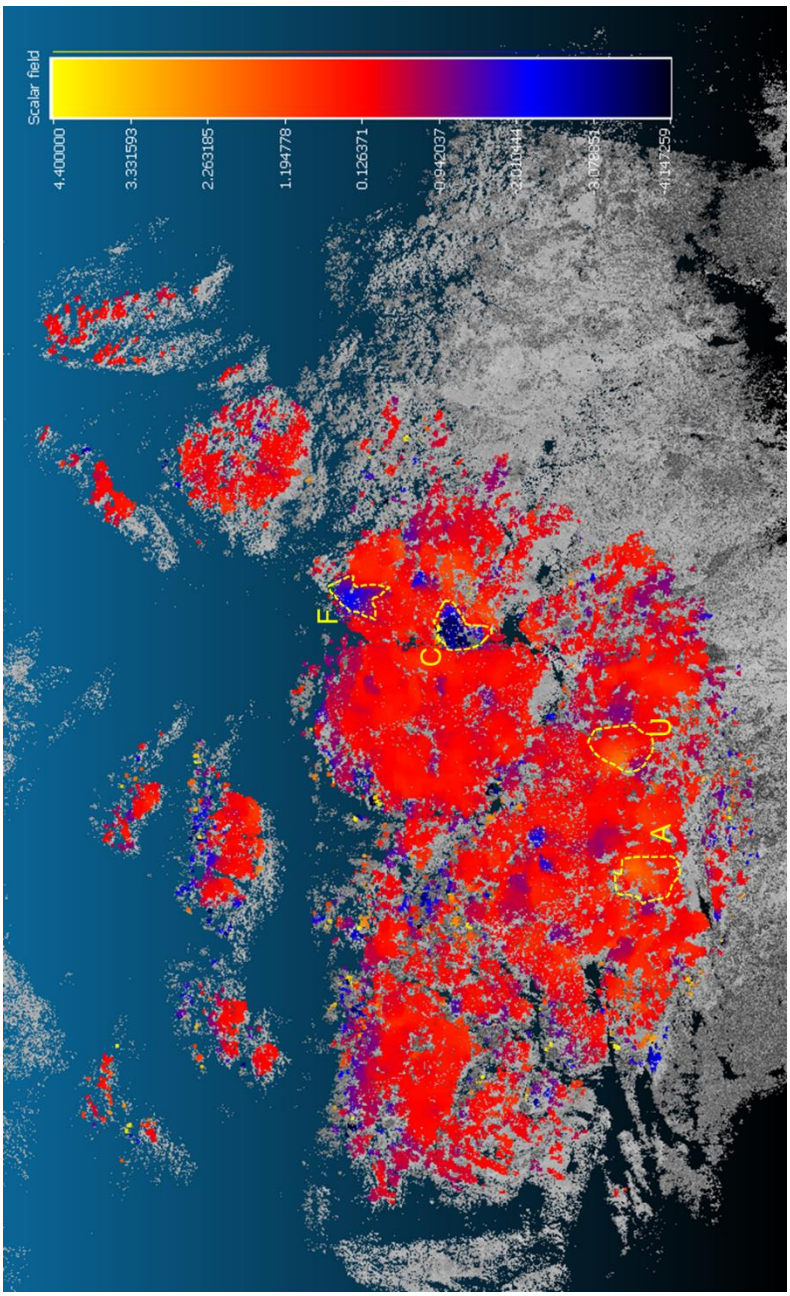


Figura 55: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025 su Point Cloud. Postazione *Est*, sottofinestra *Near*.

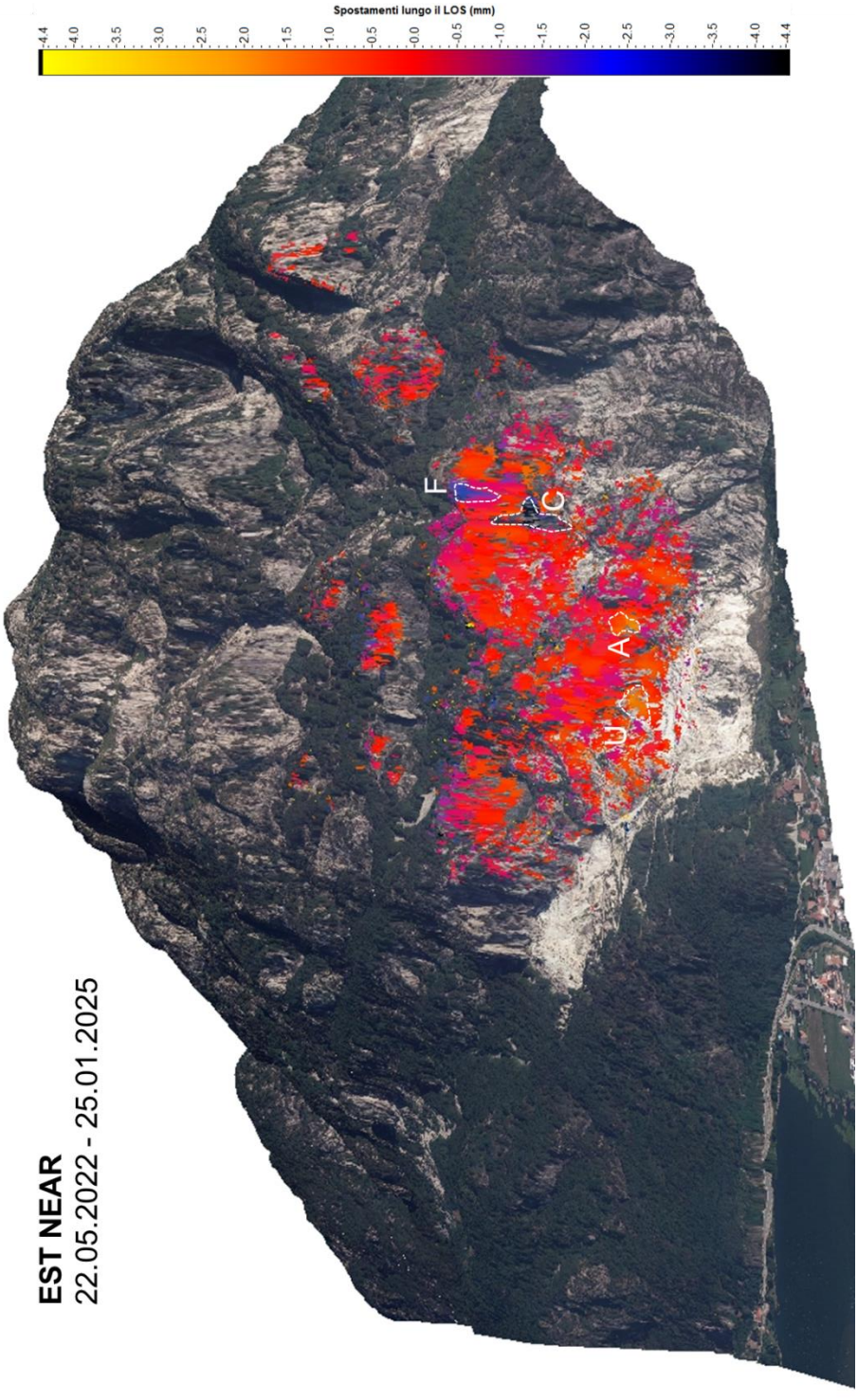


Figura 56: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025 su DEM del versante. Postazione *Est*, sottofinestra *Near*. In bianco sono rappresentate le aree in movimento nell'intervallo considerato.

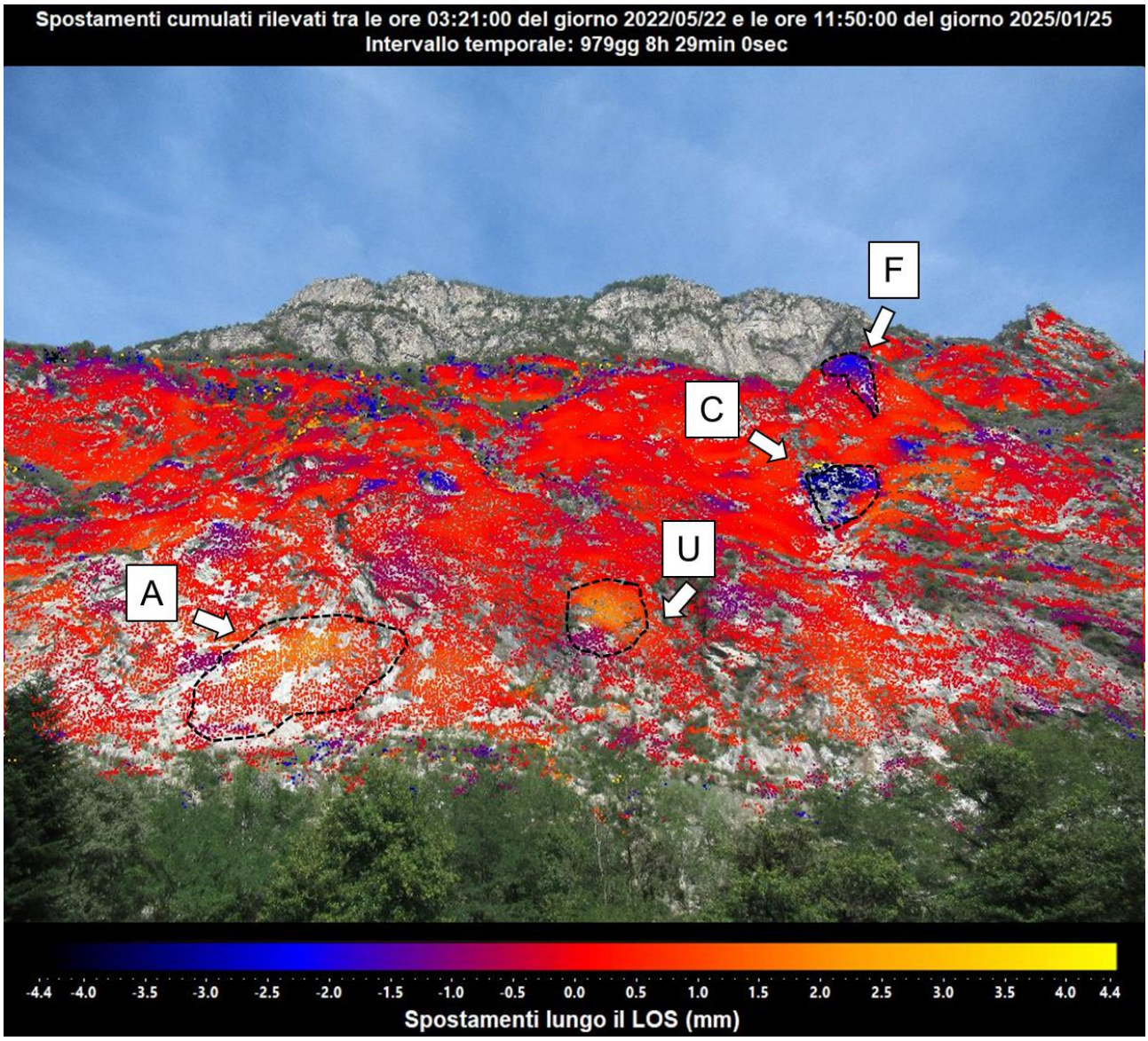


Figura 57: Mappa di spostamento per il periodo 22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025. Proiettata sull'immagine ottica del versante. Postazione *Est*, sottofinestra *Near*.

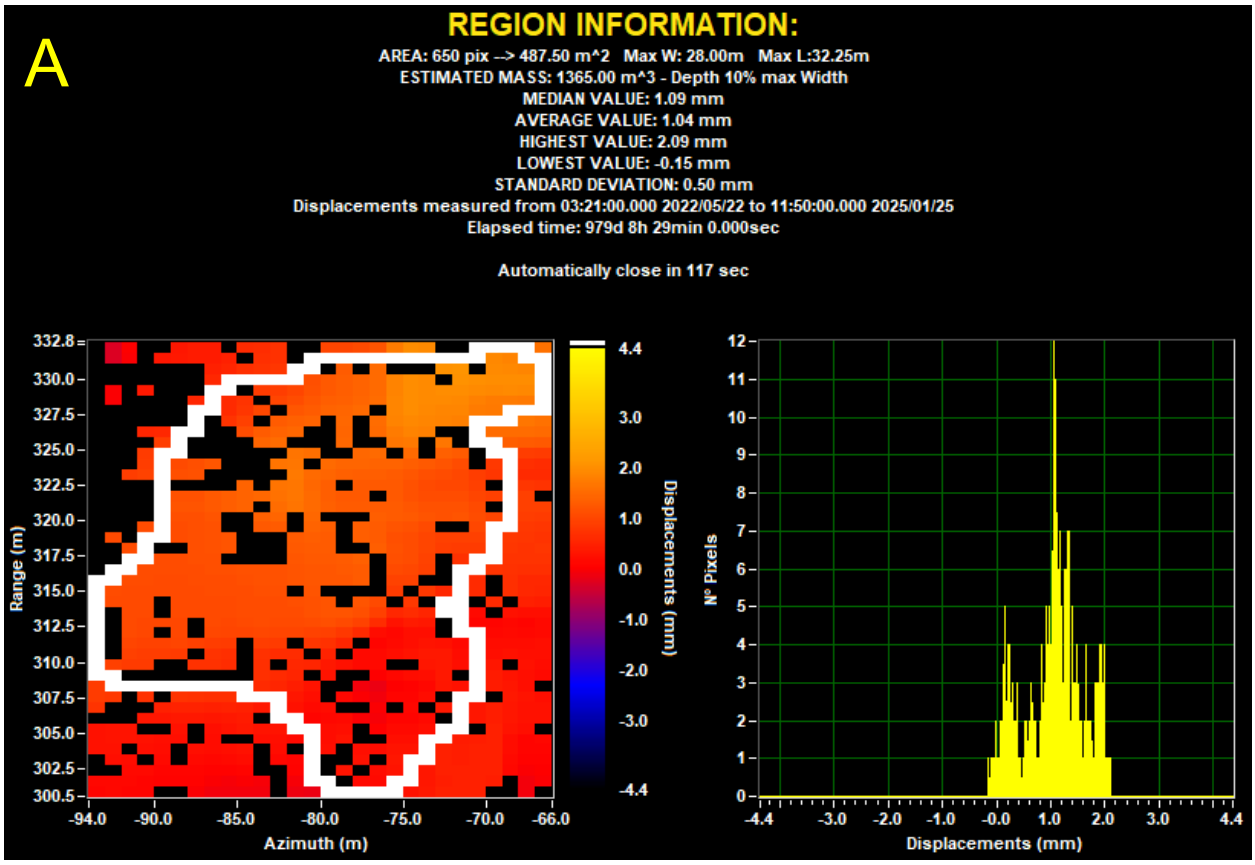
Dall'analisi di lungo termine eseguita tra la campagna di maggio 2022 e la campagna di gennaio 2025 per la postazione *Est Near* si osserva la presenza di quattro aree in movimento. La mappa è infatti piuttosto simile a quella presentata in precedente e afferente il periodo settembre 2024 – gennaio 2024. Si nota in fatti il pattern tipico dei mesi freddi con lievi spostamenti in allontanamento nelle zone A ed U e spostamenti in avvicinamento nella zona F.

Ci sono però delle differenze importanti. In primis, le zone IX1 e IX2 non appaiono in movimento, supportando la conclusione che queste due zone abbiano avuto una lieve deformazione di tipo termico fra settembre 2024 e gennaio 2025 e che tale deformazione tenda però a riassorbirsi estendendo il periodo di osservazione.

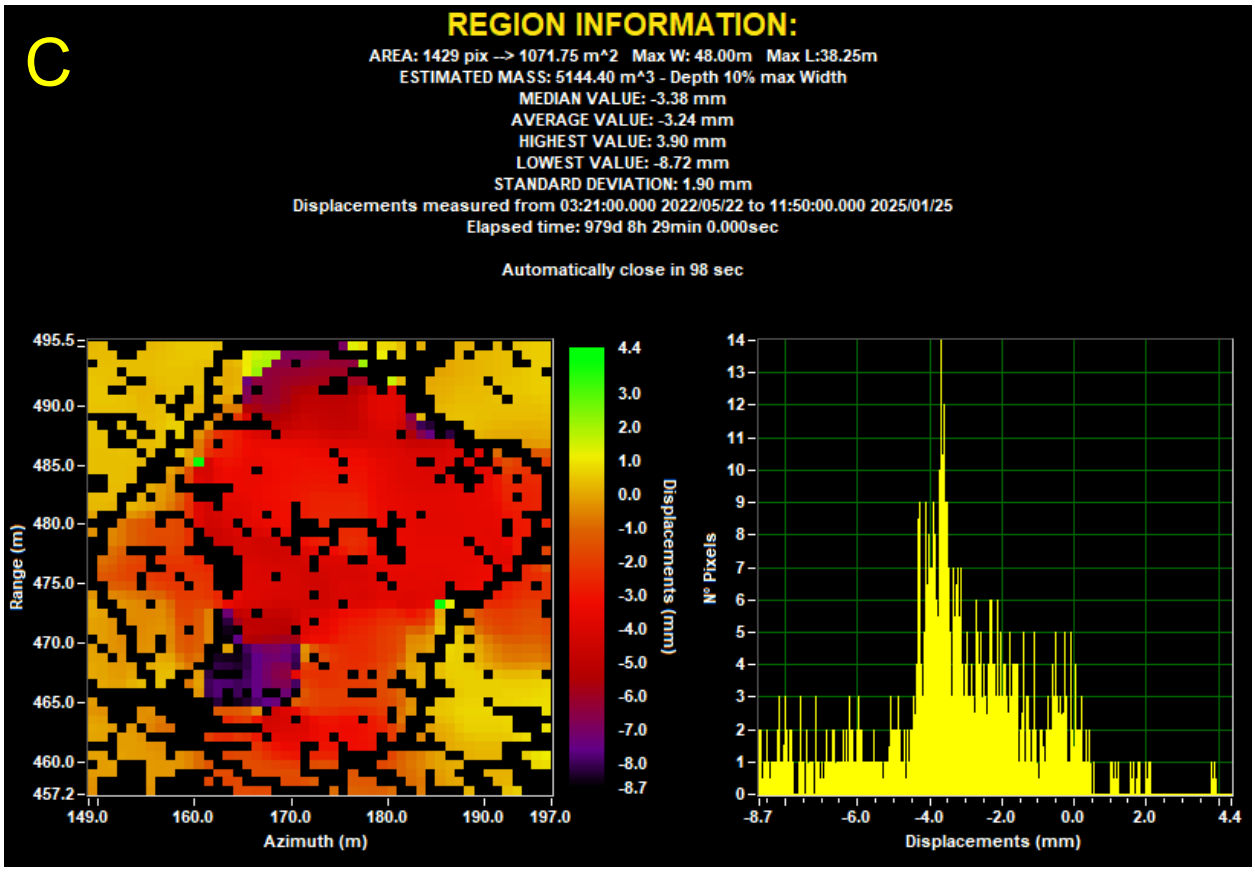
La seconda differenza importante riguarda la zona C in prossimità della cascata. Questa zona, già discussa nei nostri report precedenti, ha accumulato nel corso dei 979 giorni presi in esame spostamenti medi di circa -3.2 mm con picchi localizzati anche di -8 mm.

Il gruppo di immagini in Figura 58 mostra i risultati dell'analisi statistica condotta per le aree in movimento.

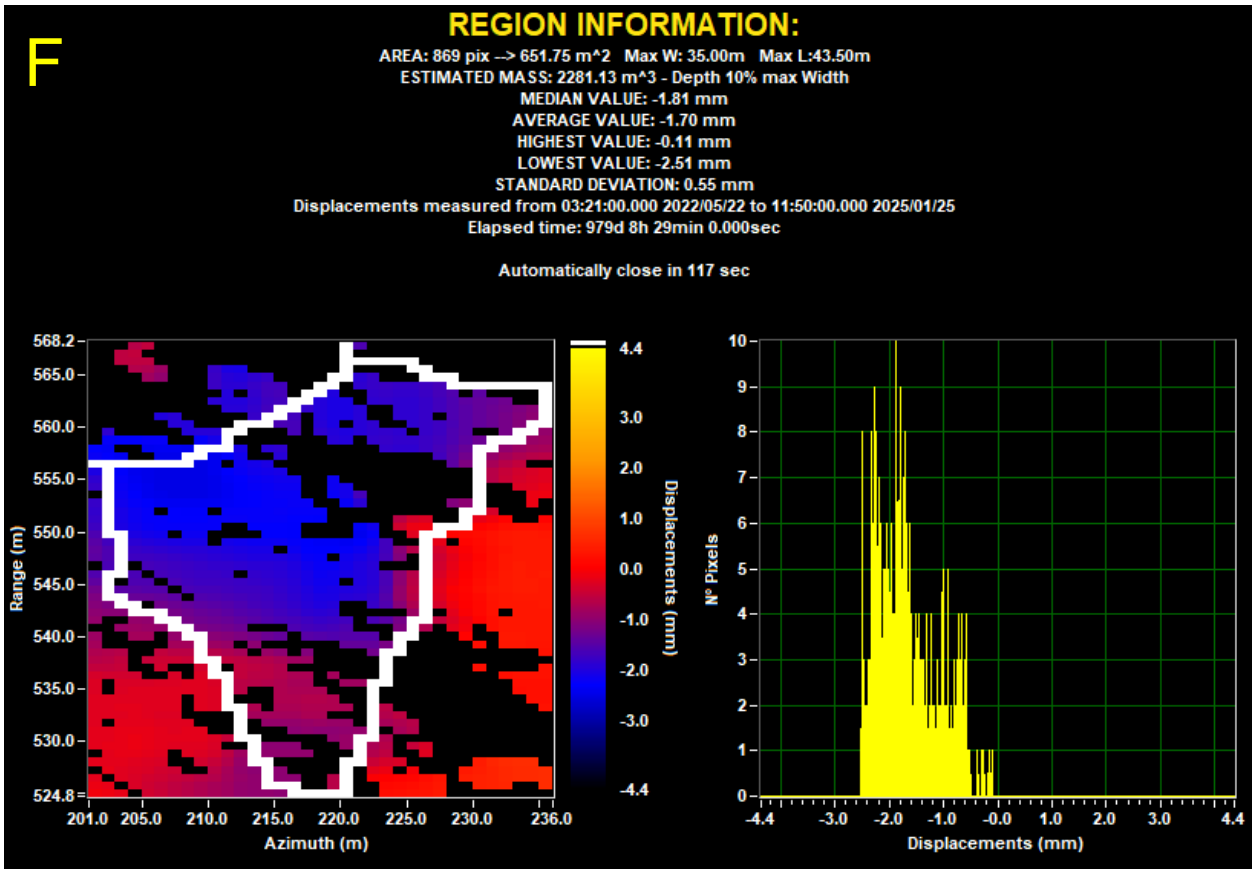
LISALAB



ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	IX PC monitoraggio pareti rocciose del Monte Avedèe nel Comune di Novate Mezzola (SO) – Gennaio 2025					Data di creazione:	10 Febbraio 2025
	Riferimento Cliente:	Comunità Montana Valchiavenna	Rif. int.:	AG	Rev.:	00	Data di revisione:	-
	File:	rep.cvc.250210.ag.00	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	80


C
REGION INFORMATION:
AREA: 1429 pix --> 1071.75 m^2 Max W: 48.00m Max L:38.25m
ESTIMATED MASS: 5144.40 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: -3.38 mm
AVERAGE VALUE: -3.24 mm
HIGHEST VALUE: 3.90 mm
LOWEST VALUE: -8.72 mm
STANDARD DEVIATION: 1.90 mm
Displacements measured from 03:21:00.000 2022/05/22 to 11:50:00.000 2025/01/25
Elapsed time: 979d 8h 29min 0.000sec
Automatically close in 98 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
N° Pixels
Displacements (mm)

LISALAB



ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	**Argomento:**	**IX PC monitoraggio pareti rocciose del Monte Avedèe nel Comune di Novate Mezzola (SO) – Gennaio 2025**					**Data di creazione:**	**10 Febbraio 2025**
	Riferimento Cliente:	**Comunità Montana Valchiavenna**	**Rif. int.:**	**AG**	**Rev.:**	**00**	**Data di revisione:**	**-**
	File:	**rep.cvc.250210.ag.00**	**Note:**	**CONFIDENZIALE**			**Page:**	**82**

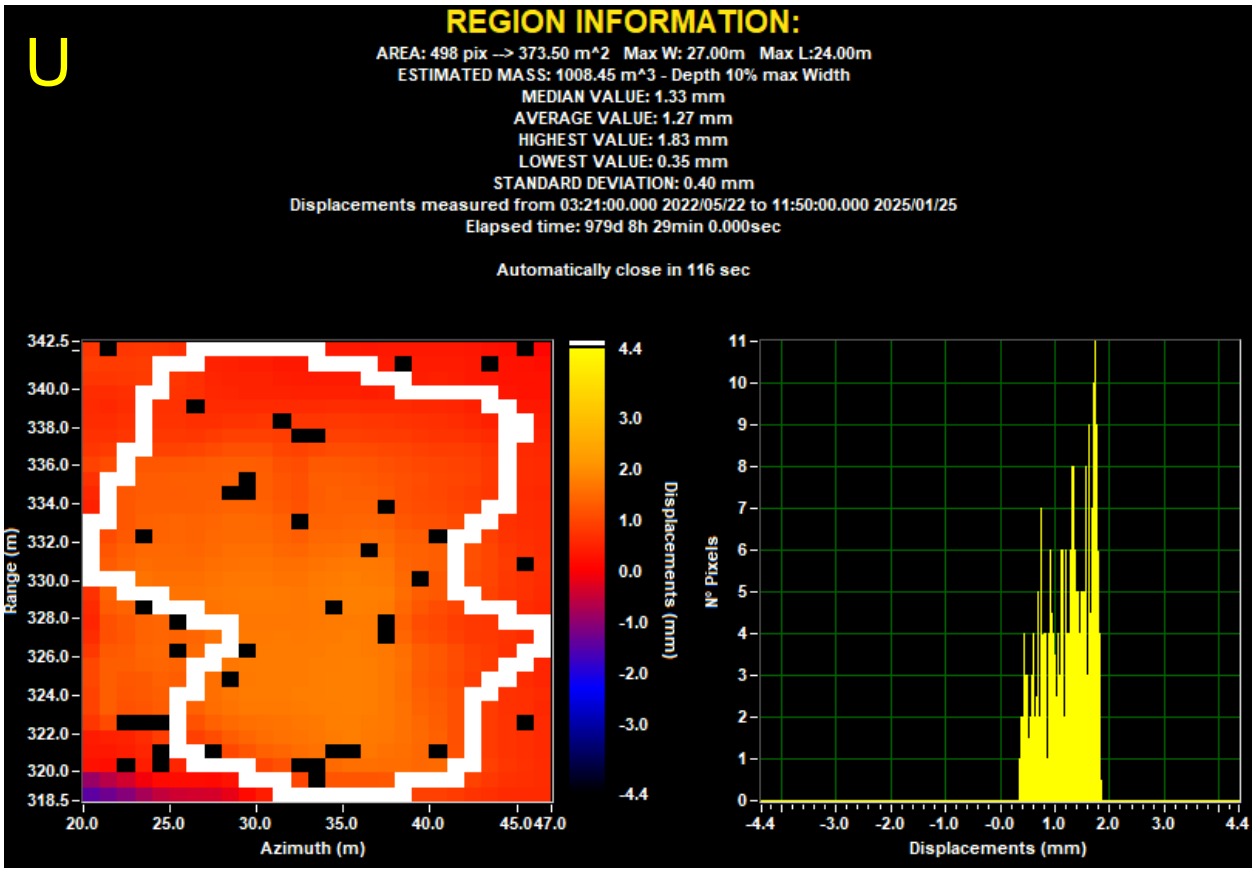


Figura 58: Analisi statistica eseguita sulle aree in movimento per il periodo 22 maggio 2023 – 13 gennaio 2024. Postazione *Est*, sottofinestra *Near*.

LISALAB

Postazione Est Far

Analisi per il periodo 26 settembre 2024 – 25 gennaio 2025

Da Figura 59 a

Figura **62** vengono presentati i risultati ottenuti per la postazione *Est Far* riferiti all'intervallo di tempo di circa 120 giorni tra la V e la VI campagna di misura.

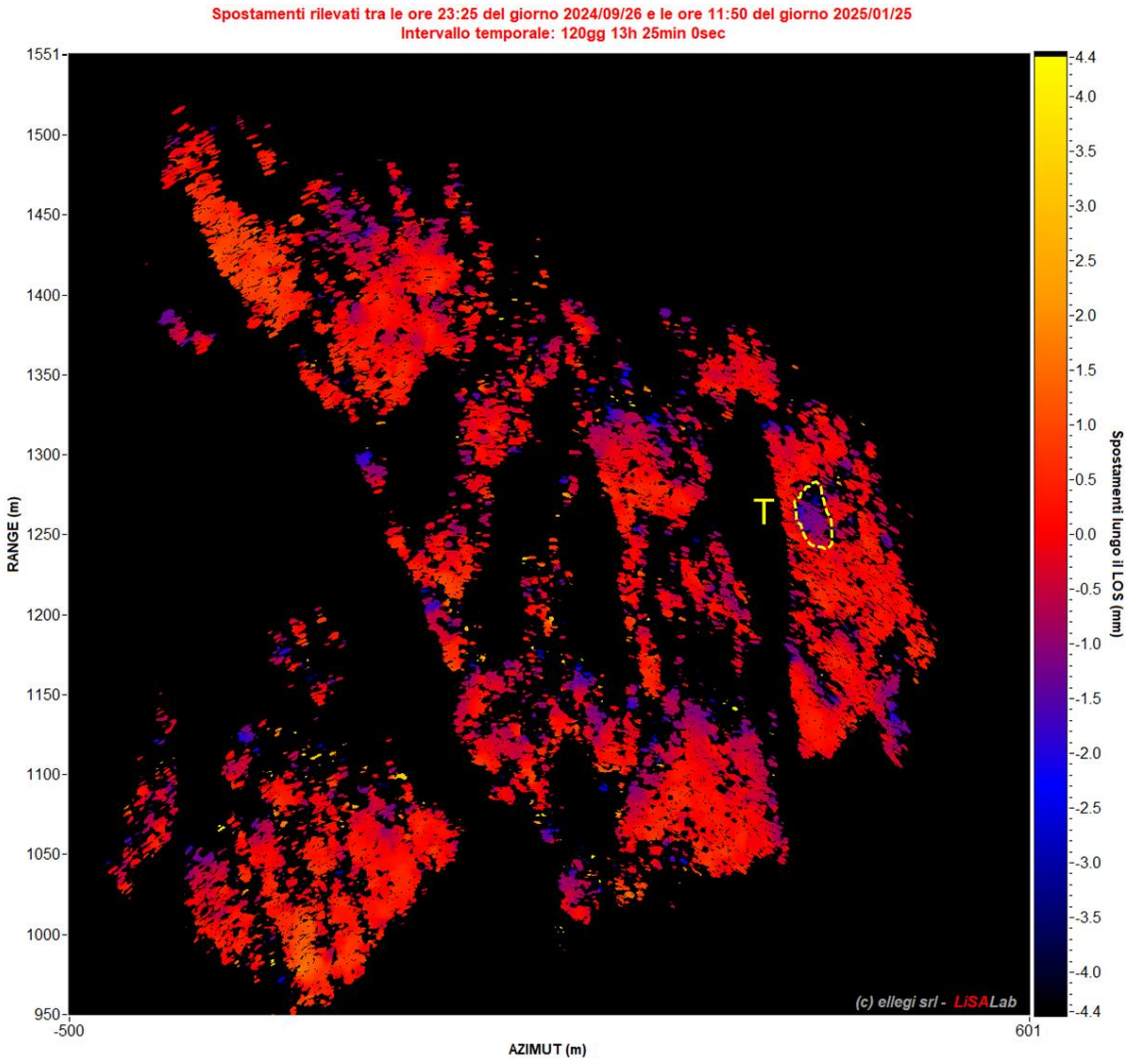


Figura 59: Mappa di spostamento 2D per il periodo 26 settembre 2024 – 25 gennaio 2025 – rappresentazione classica. Postazione *Est*, sottofinestra *Far*.



Figura 60: Mappa di spostamento 3D per il periodo 26 settembre 2024 – 25 gennaio 2025. Su Point Cloud. Postazione *Est*, sottofinestra *Far*.

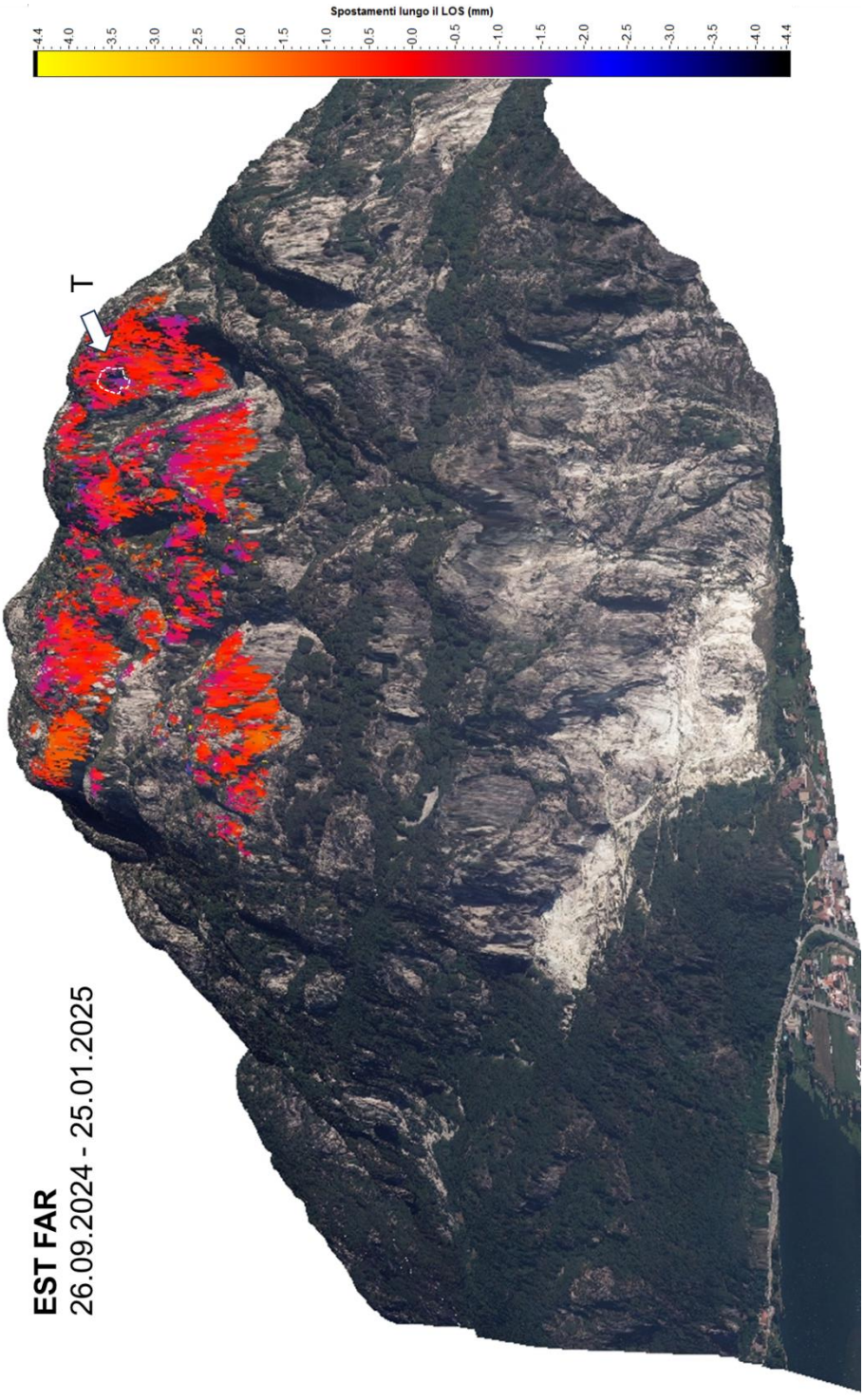


Figura 61: Mappa di spostamento 3D per il periodo 26 settembre 2024 – 25 gennaio 2025 su DEM del versante. Postazione *Est*, sottofinestra *Far*.

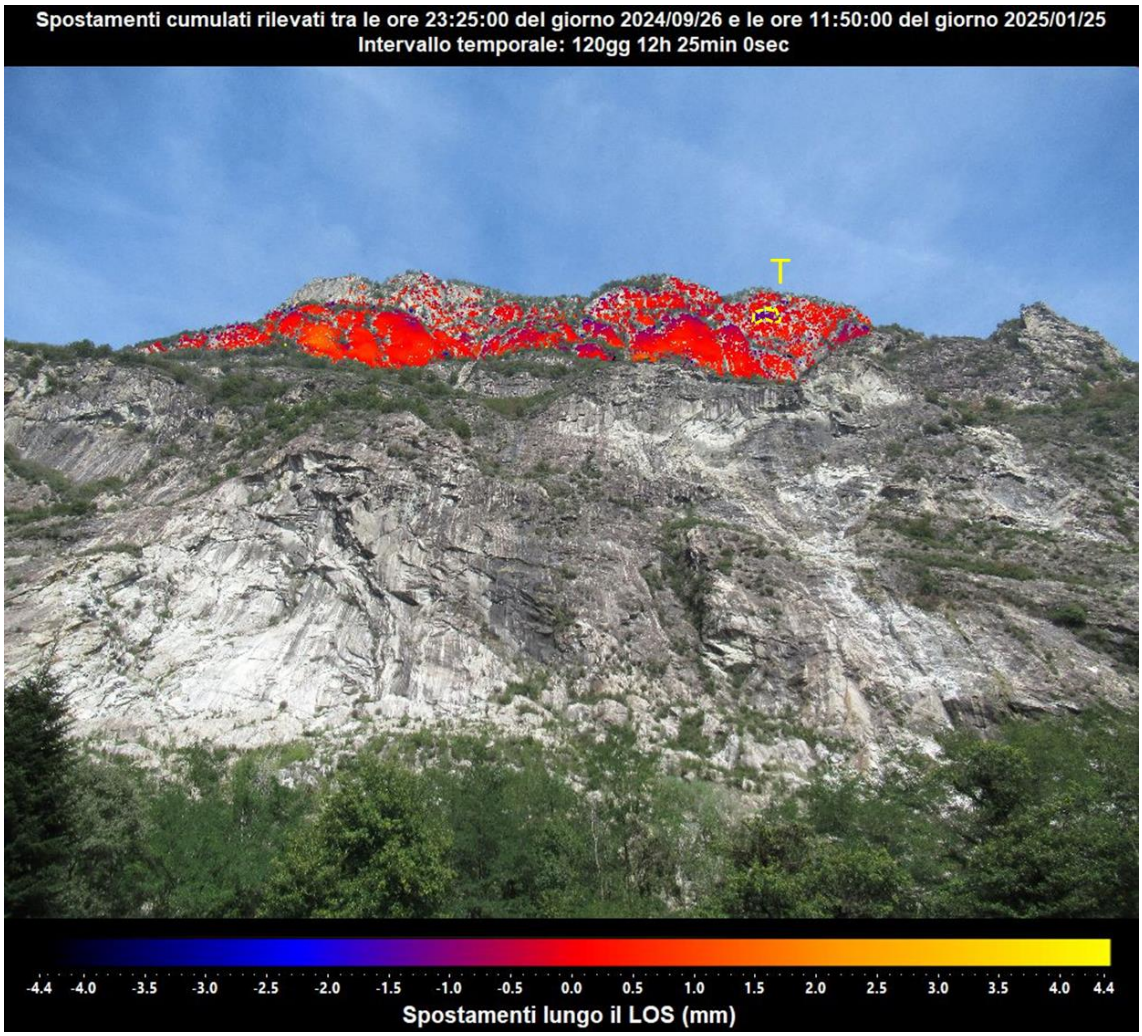


Figura 62: Mappa di spostamento per il periodo 26 settembre 2024 – 25 gennaio 2025 proiettata sull'immagine ottica del versante. Postazione *Est*, sottofinestra *Far*.

Dall'analisi di lungo termine eseguita tra la campagna di settembre 2024 e quella di gennaio 2025 per la postazione Est Far dal punto di vista generale non si evidenziano aree con spostamenti superiori alla precisione strumentale in 120 giorni di monitoraggio. Permangono tuttavia lievi spostamenti di circa -1.3 mm nella zona T. L'analisi statistica degli spostamenti è mostrata in Figura 63.

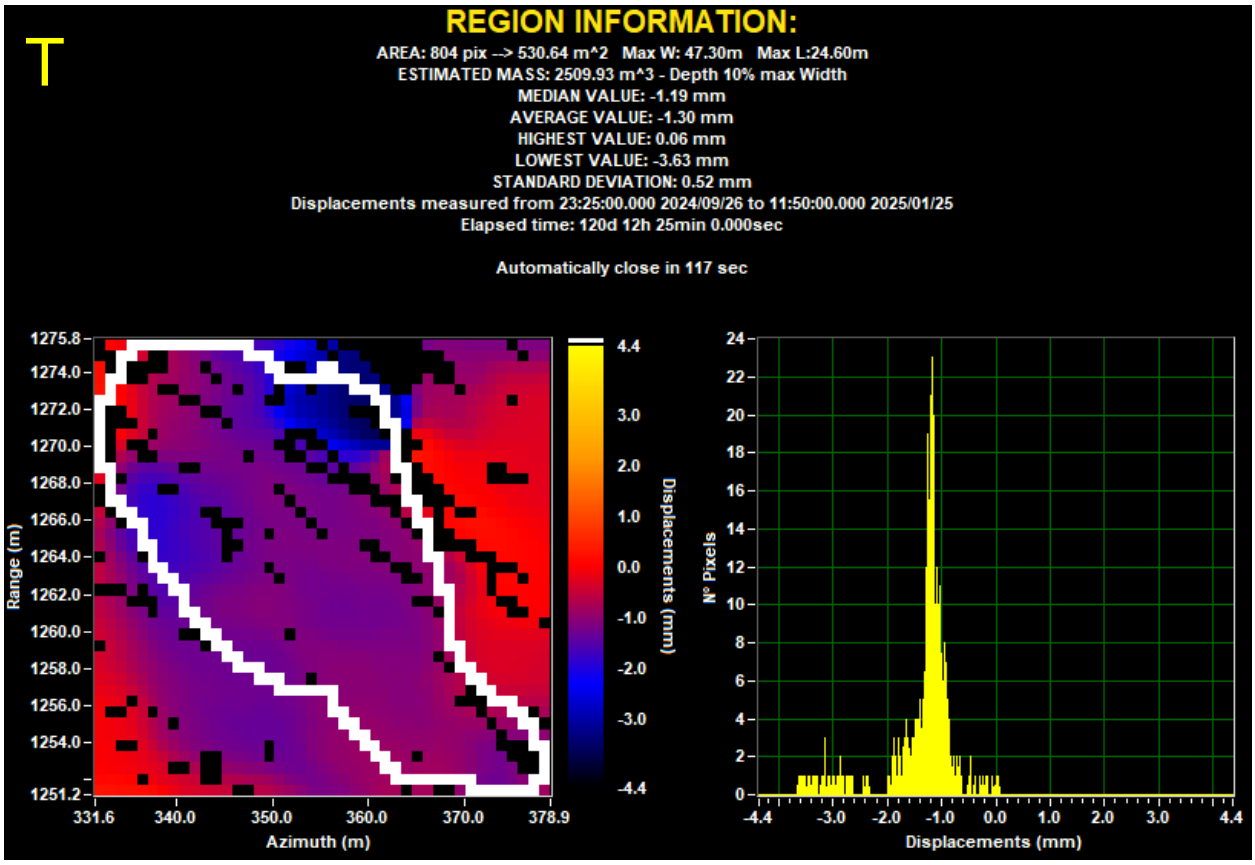


Figura 63: Analisi statistica eseguita sull'area T per il periodo 26 settembre 2025 – 25 gennaio 2025. Postazione *Est*, sottofinestra *Far*.

LISALAB

Analisi per il periodo 22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025

In questa sezione vengono presentati i risultati ottenuti per la postazione *Est Far* riferiti all'intervallo di tempo di circa 979 giorni tra la I e la IX campagna di misura (da Figura 64 a Figura 67).

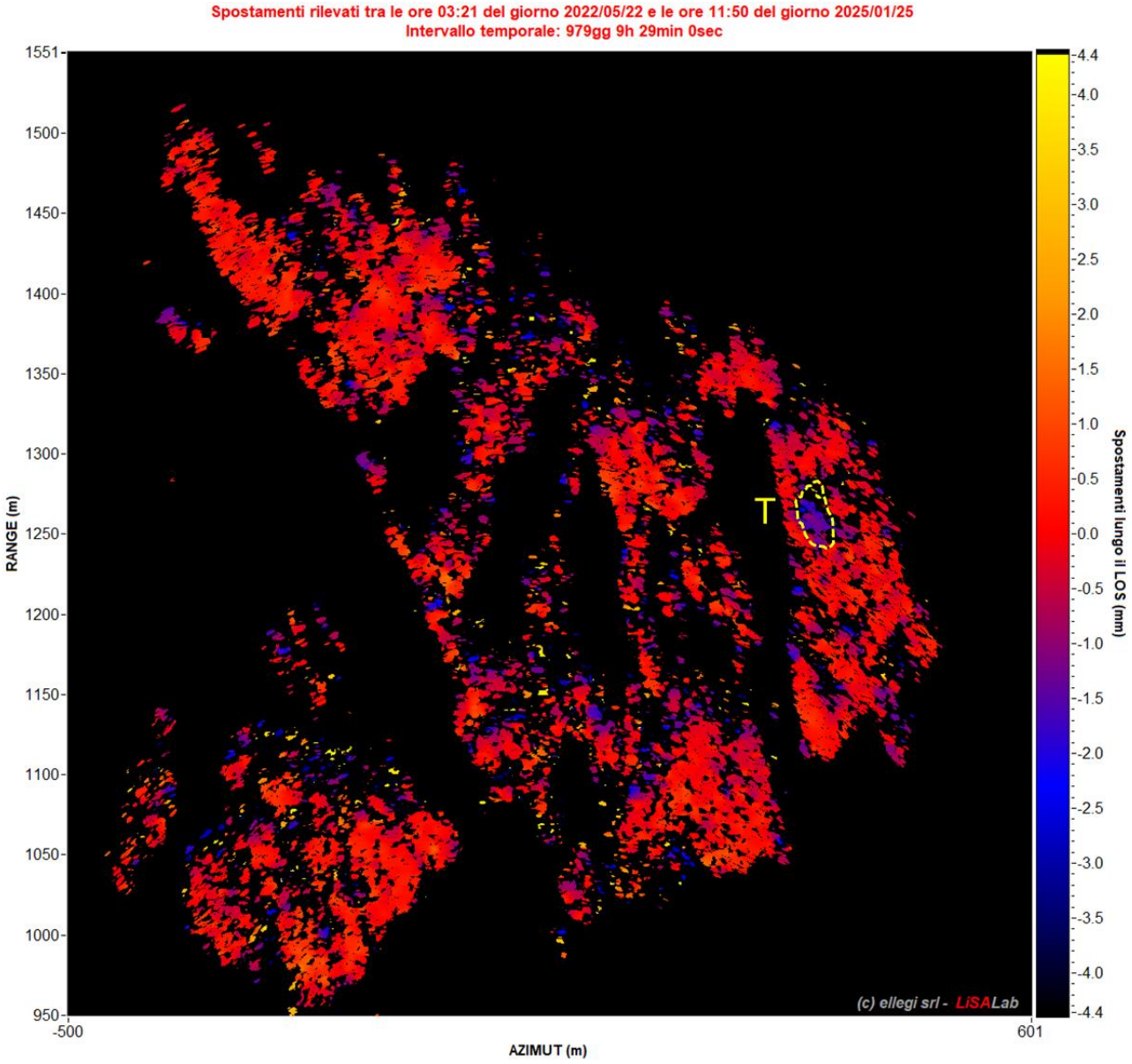


Figura 64: Mappa di spostamento 2D per il periodo 22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025 – rappresentazione classica. Postazione *Est*, sottofinestra *Far*.



Figura 65: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025 su Point Cloud. Postazione *Est*, sottofinestra *Far*.

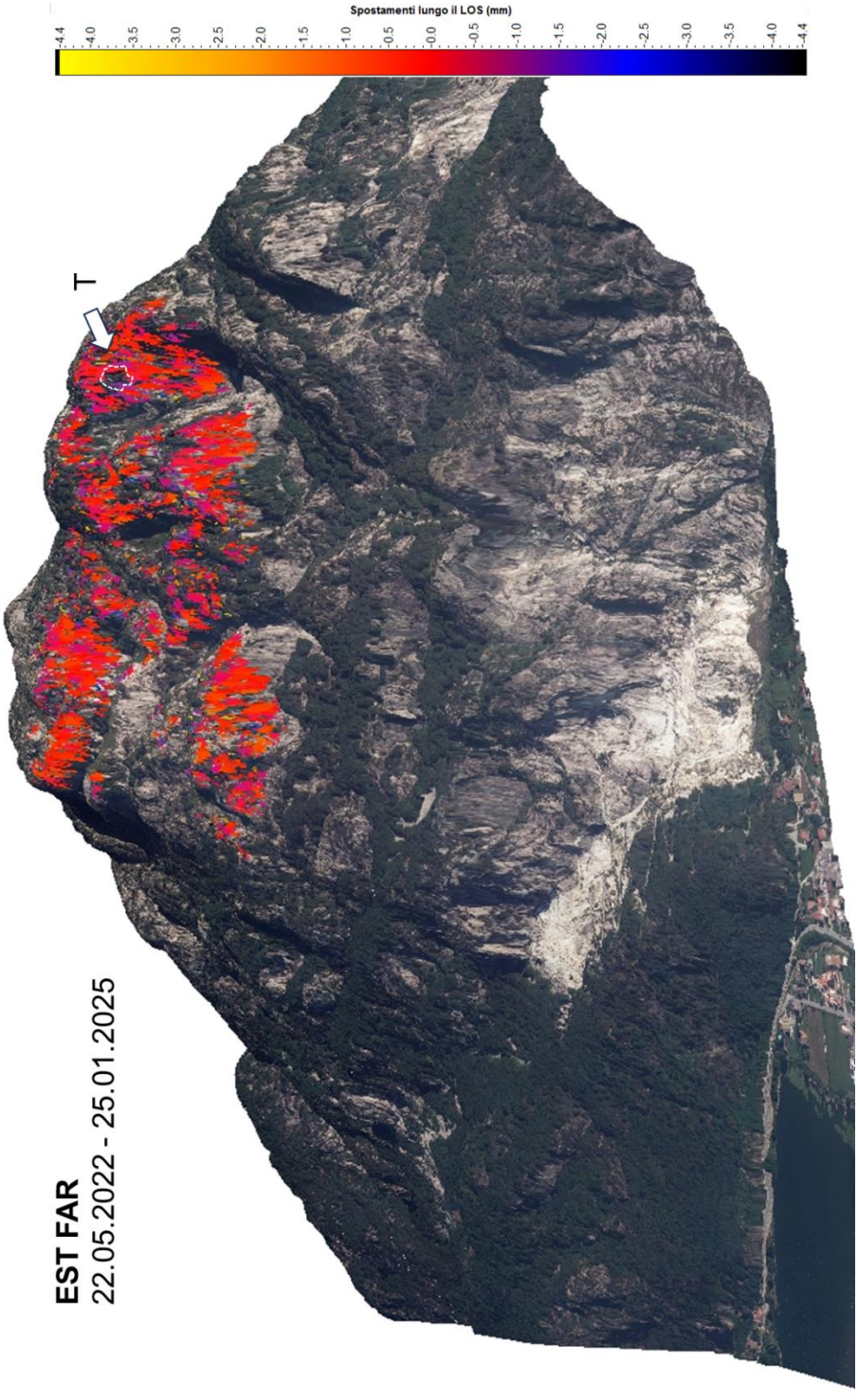


Figura 66: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025 su DEM del versante. Postazione *Est*, sottofinestra *Far*.

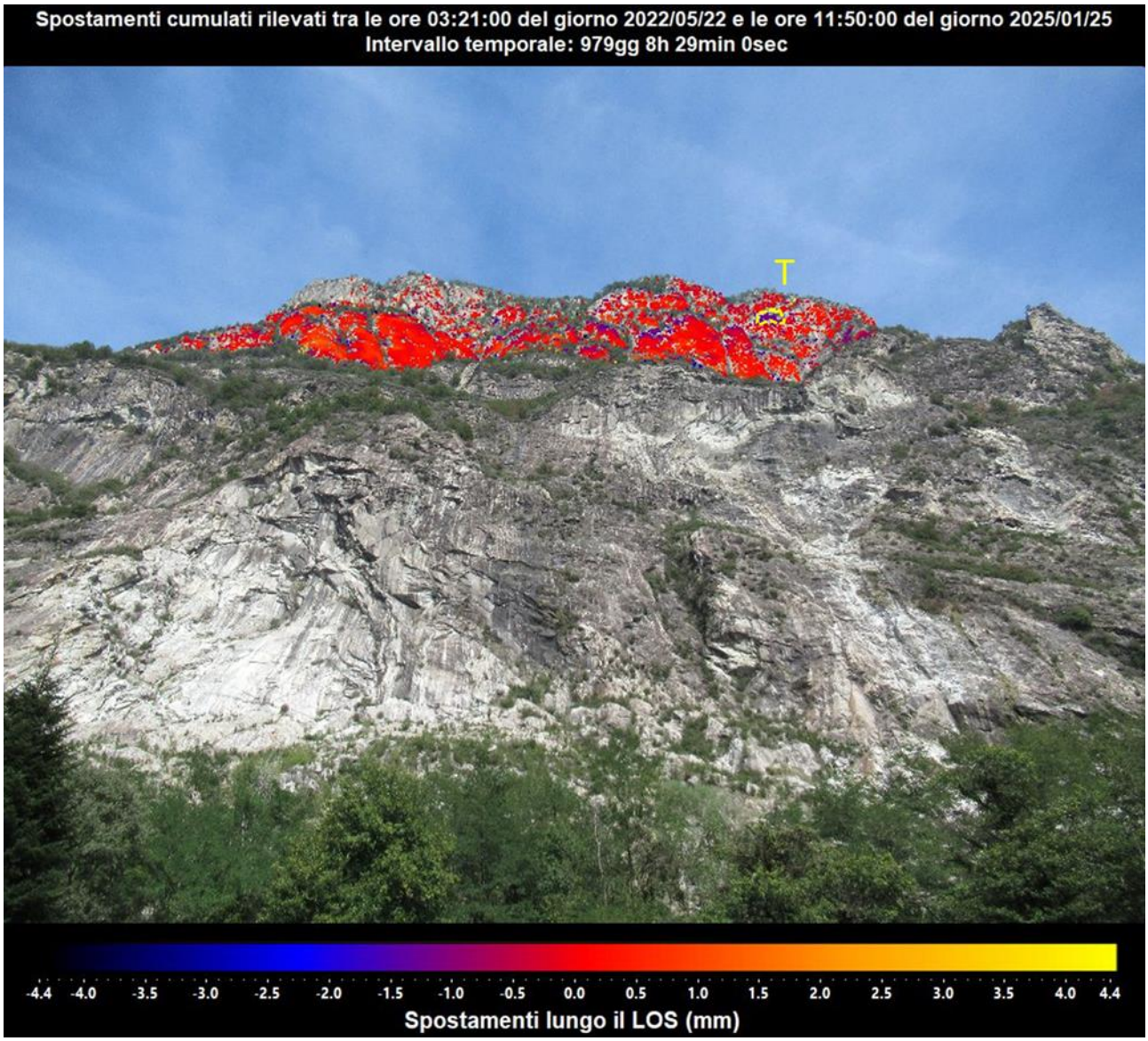


Figura 67: Mappa di spostamento per il periodo 22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025 proiettata sull'immagine ottica del versante. Postazione *Est*, sottofinestra *Far*.

Dall'analisi di lungo termine eseguita tra la campagna di maggio 2022 e la campagna di gennaio 2024 per la postazione *Est Far* emerge una chiave di lettura molto simile a quella già fornita nell'analisi precedente in quanto l'unica area che presenta spostamenti degni di nota è la zona T che ha accumulato circa -1.5 mm (cfr. Figura 68 per l'analisi statistica) in avvicinamento in questo lungo intervallo temporale di circa 979 giorni.

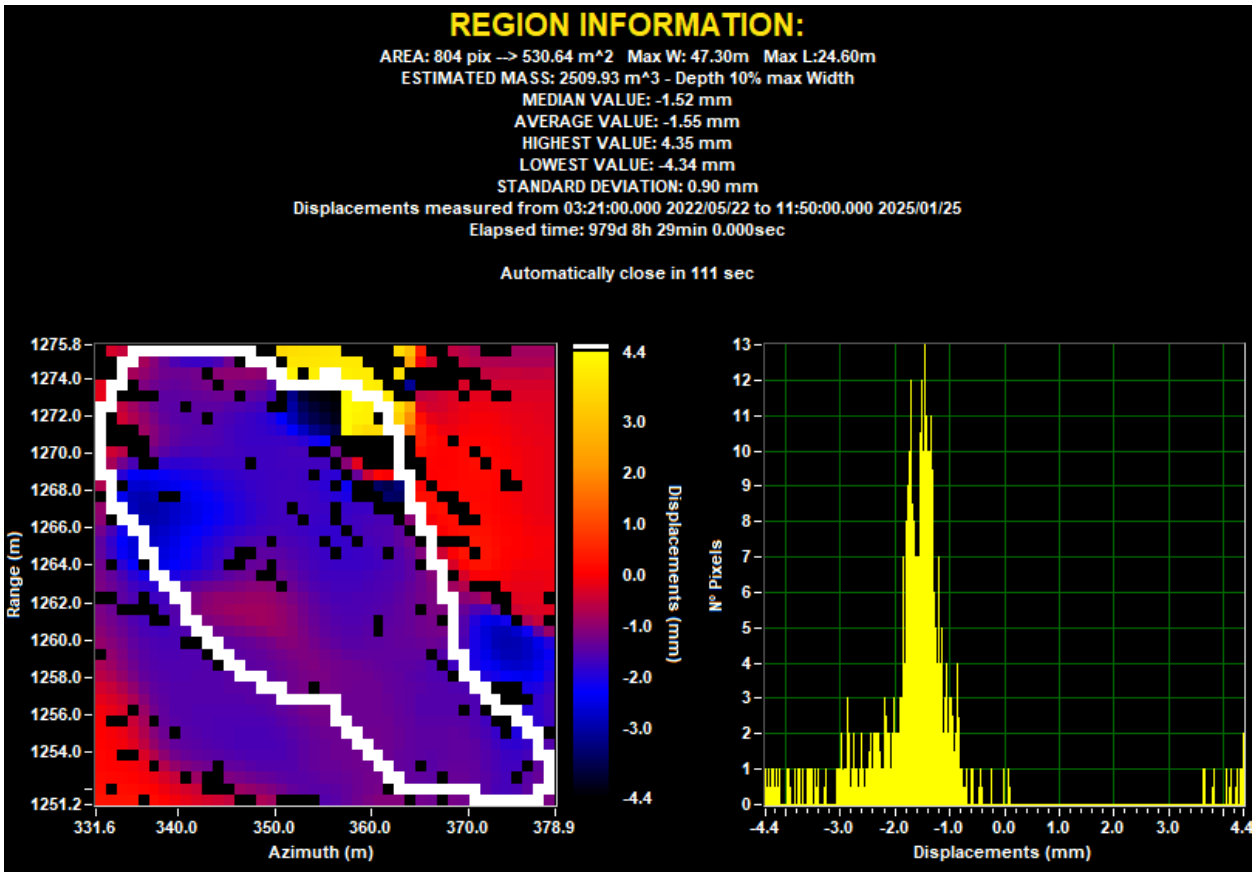


Figura 68: Analisi statistica eseguita sull'area T per il periodo 22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025. Postazione *Est*, sottofinestra *Far*.

Analisi puntuale

Per migliorare la comprensione del fenomeno sono stati scelti 16 Punti di Interesse (POI) distribuiti lungo lo scenario osservato ed in particolare all'interno delle aree individuate in movimento nel corso dell'intero periodo di monitoraggio finora eseguito per il sito di Novate Mezzola (SO).

È importante sottolineare che le serie temporali dei POI danno un'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 della rispettiva area in movimento.

AREA	Est [m]	Nord [m]	Quota [m]
A	534885,50	5119369,50	359
B	535008,73	5120061,82	1293
C	535154,06	5119326,00	531
D	535367,00	5119292,50	678
F	535193,18	5119306,50	623
G	534601,31	5119706,00	563
I	534496,63	5119914,65	588
L	534908,87	5119399,50	480
M	535570,37	5119267,50	771
N	534618,13	5120126,84	872
O	535514,62	5119623,50	1082
R	535584,67	5119524,76	1049
S	534956,15	5120075,97	1243
T	535541,31	5119628,00	1176
U	534982,62	5119316,00	388
X	534730,31	5119528,00	463

Tabella 1: Coordinate geografiche espresse nel sistema UTM-WGS84 dei POI individuati sulle 16 aree in movimento.

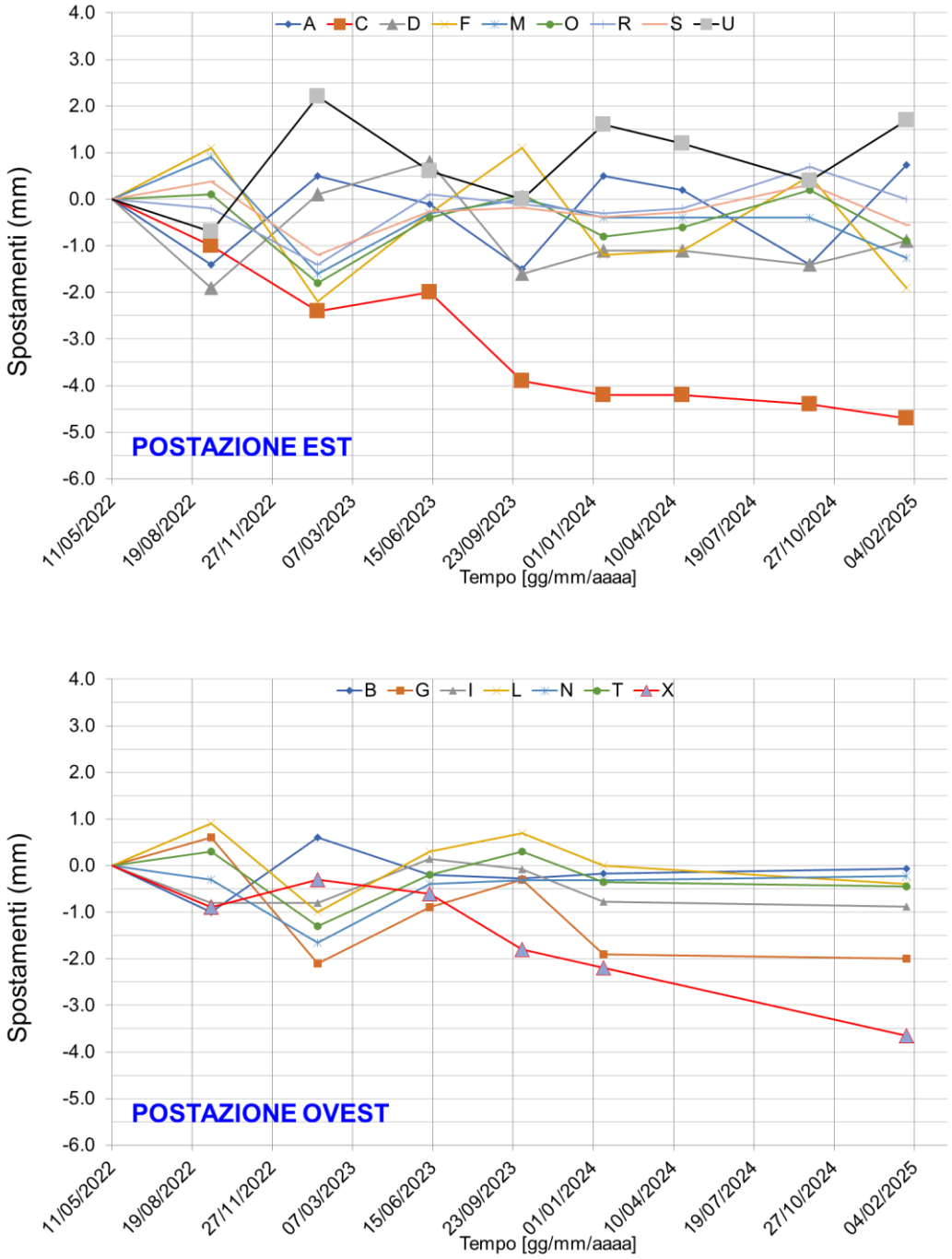


Figura 69: Serie temporali delle aree d'interesse nel periodo tra maggio 2022 (I PC) e gennaio 2025 (IX PC) per le due postazioni di misura a Novate Mezzola.

Nel grafico di Figura 69 sono mostrate le serie temporali degli spostamenti a partire dall'inizio del monitoraggio nel maggio 2022. Dalla figura è possibile osservare come la maggior parte dei punti abbiano uno spread numerico di valori che rientra nell'esiguo delta di ± 2 mm. Dal punto di vista generale è quindi possibile osservare come per queste aree non vi siano spostamenti significativi nel corso del monitoraggio.

Vi sono tuttavia due zone che nelle serie temporali qui mostrate mostrano una lieve fuoriuscita dalla forbice di ± 2 mm sopra enunciata. Queste due aree sono l'area C, influenzata dalla presenza di fuoriuscite d'acqua, e la zona X che, come osservato in precedenza, accumula deformazioni lineari che aumentano con il tempo.

È utile infine sottolineare come le fluttuazioni di pochi millimetri che interessano i punti d'interesse siano in un certo modo correlabili con le ciclicità termiche che si osservano nell'ammasso roccioso. Tale correlazione è apparente ma non è univoca per tutti i punti in quanto la risposta è decisamente diversa a seconda delle zone considerate.

A titolo esemplificativo si menziona il comportamento molto diverso fra la zona A e la zona F. Queste due aree mostrano infatti un comportamento sostanzialmente opposto. Se la zona A, durante i periodi di riscaldamento della parete rocciosa, mostra spostamenti in avvicinamento, la zona F mostra spostamenti in lieve allontanamento (Figura 69 in alto). Risulta quindi evidente la complessità della fisica delle relazioni fra stato termico della parete e deformazioni cicliche degli ammassi rocciosi e si rimanda il lettore ai lavori di *Gischigh et al., 2011* per eventuali approfondimenti.

Gischig, V. S., J. R. Moore, K. F. Evans, F. Amann, and S. Loew (2011), Thermomechanical forcing of deep rock slope deformation: 1. Conceptual study of a simplified slope, J. Geophys. Res., 116, F04010, doi:10.1029/2011JF002006.

Gischig, V. S., J. R. Moore, K. F. Evans, F. Amann, and S. Loew (2011), Thermomechanical forcing of deep rock slope deformation: 2. The Randa rock slope instability, J. Geophys. Res., 116, F04011, doi:10.1029/2011JF002007.

Analisi riassuntiva

Si conclude questo report relativo al monitoraggio delle pareti rocciose del monte Avedèe con una analisi riassuntiva delle mappe interferometriche presentate nelle sezioni precedenti.

In linea con quanto fatto anche nei report precedenti viene presentata una mappa complessiva degli spostamenti afferente all'intero periodo di osservazione di circa 979 giorni. Questa mappa è presentata in Figura 70 e in questa vista d'insieme sono state indicate le aree che hanno presentato nell'arco di tempo considerato degli spostamenti degni di nota al di sopra della precisione strumentale (Figura 71). Le aree sono state introdotte nelle precedenti sezioni e si rimanda al lettore ai grafici precedenti riportanti le loro statistiche sia areali che di deformazione.

Si traggono pertanto le seguenti conclusioni:

per il periodo complessivo fra il 22 maggio 2022 e il 25 gennaio 2025 si sono osservate alcune zone degne di nota e aventi deformazioni al di sopra della precisione strumentale. Queste zone hanno i seguenti valori medi: zona A (+1.0 mm), zona C (-3.2 mm), zona F (-1.6 mm), zona G (-1.2 mm), zona T (-1.1 mm), zona U (+1.3 mm) e zona X (-3.2 mm).

Le coordinate generali del baricentro delle sei zone enunciate sono:

AREA	Est [m]	Nord [m]	Quota [m]
A	534885,50	5119369,50	359
C	535154,06	5119326,00	531
F	535193,18	5119306,50	623
G	534601,31	5119706,00	563
N	534618,13	5120126,84	872
T	535541,31	5119628,00	1176
U	534982,62	5119316,00	388
X	534730,31	5119528,00	463

Fra queste sei regioni, quattro di esse (A, F, G, T ed U) hanno uno stile deformativo caratterizzato da fluttuazioni sia positive che negative e sincrone ai cambiamenti dello stato termico della parete. Le due restanti regioni (C e X) hanno registrato nel corso dei tre anni e mezzo di monitoraggio un graduale incremento degli spostamenti in avvicinamento, tipico quindi di una cinematica gravitativa.

Future indagini di monitoraggio potrebbero avere come obiettivo il controllo e la verifica della natura degli spostamenti in queste due zone. In particolare rimane da investigare l'effetto delle fuoriuscite d'acqua dalla parete sugli spostamenti della zona C.

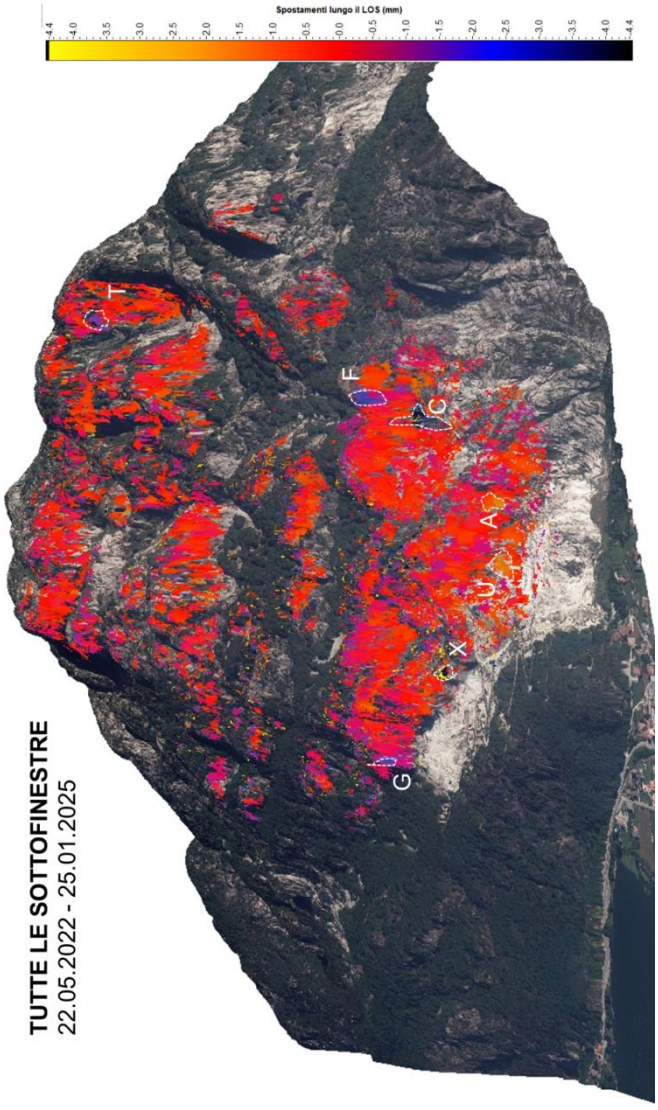


Figura 70: Visione d'insieme delle quattro mappe di spostamento (entrambe le postazioni, tutte le sottofinestre) per il periodo 4 ottobre 2023 - 13 gennaio 2024 su DEM del versante



Figura 71: Vista d'insieme del versante monitorato con indicazione delle sei aree aventi spostamenti nel lungo termine.

LISALAB

Conclusioni

Dopo aver analizzato i dati acquisiti nell'ultima campagna di misura (gennaio 2025), che rappresenta il IX Periodical Check ed ultimo 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. I due sistemi GBInSAR LiSALab installati nel comune di Novate Mezzola (SO) hanno funzionato correttamente e continuativamente dal 23 al 27 gennaio 2025, acquisendo un totale di 666 dalla postazione *Est* e 653 immagini dalla postazione *Ovest*.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. L'analisi a breve termine, che copre l'intervallo temporale dal 23 al 27 gennaio 2025 ha evidenziato l'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.

6. Per l'analisi sul lungo termine sono stati analizzate diversi intervalli temporali per le due postazioni. La causa di questa differenza sta nel fatto che le misure periodiche alla postazione hanno subito una interruzione nel 2024 per via di un monitoraggio di tipo permanente. Si sono quindi effettuate le seguenti analisi a medio-lungo termine:

a. POSTAZIONE *OVEST*: a copertura del periodo 13 gennaio 2024 – 25 gennaio 2025 e del periodo 22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025.
b. POSTAZIONE *EST*: a copertura del periodo 26 settembre 2024 – 25 gennaio 2025 e del periodo 22 maggio 2022 – 25 gennaio 2025.

7. Per il periodo complessivo fra il 22 maggio 2022 e il 25 gennaio 2025 si sono osservate alcune zone degne di nota e aventi deformazioni al di sopra della precisione strumentale. Queste zone hanno i seguenti valori medi: zona A (+ 1.0 mm), zona C (-3.2 mm), zona F (-1.6 mm), zona G (-1.2 mm), zona T (-1.1 mm), zona U (+1.3 mm) e zona X (-3.2 mm).

8. Fra queste sei regioni, quattro di esse (A, F, G, T ed U) hanno uno stile deformativo caratterizzato da fluttuazioni sia positive che negative e sincrone ai cambiamenti dello stato termico della parete. Le due restanti regioni (C e X) hanno registrato nel corso dei tre anni e mezzo di monitoraggio un graduale incremento degli spostamenti in avvicinamento, tipico quindi di una cinematica gravitativa.

9. Una delle aree riscontrate in movimento, l'area C, coincide con la porzione da cui si è generato il crollo dell'8 settembre 2023. Questa zona corrisponde ad una zona particolarmente umida caratterizzata dalla presenza di acqua a seguito di precipitazioni.

10. L'analisi dei dati di questa campagna di misura mostra la presenza di spostamenti superiori alla precisione strumentale nell'area G, che corrisponde al pilastro roccioso sopra Località Foppa. I valori di spostamento qui rilevati sono entro la precisione strumentale per il periodo gennaio 2024 – gennaio 2025 e -1.2 mm in avvicinamento per il periodo maggio 2022 – gennaio 2025.

11. È stata infine presentata l'analisi puntuale delle serie temporali delle 17 aree di interesse segnalate nei nostri report. L'analisi mostra come i valori deformativi totali dei punti siano inclusi in un esiguo spread numerico di $\pm$ 2 mm. Le uniche eccezioni sono le aree C, che appare però influenzata dalla presenza di acque superficiali, e la zona X.

LISALAB

Allegati

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

a) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione per il periodo 23-27 gennaio 2025 ottenuta dalla postazione *Ovest*, finestra *Near*;
b) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione per il periodo 23-27 gennaio 2025 ottenuta dalla postazione *Ovest*, finestra *Far*;
c) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione per il periodo 23-27 gennaio 2025 ottenuta dalla postazione *Est*, finestra *Near*;
d) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione per il periodo 23-27 gennaio 2025 ottenuta dalla postazione *Est*, finestra *Far*;
e) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 13 gennaio 2024 e il 25 gennaio 2025 ottenuta dalla postazione *Ovest*, finestra *Near;*
f) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 13 gennaio 2024 e il 25 gennaio 2025 ottenuta dalla postazione *Ovest*, finestra *Far;*
g) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 26 settembre 2024 e il 25 gennaio 2024 ottenuta dalla postazione *Est*, finestra *Near;*
h) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 26 settembre 2024 e il 25 gennaio 2025 ottenuta dalla postazione *Est*, finestra *Far;*
i) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 22 maggio 2022 e il 25 gennaio 2025 ottenuta dalla postazione *Ovest*, finestra *Near;*
j) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 22 maggio 2022 e il 25 gennaio 2025 ottenuta dalla postazione *Ovest*, finestra *Far;*
k) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 22 maggio 2022 e il 25 gennaio 2025 ottenuta dalla postazione *Est*, finestra *Near;*
l) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 22 maggio 2022 e il 25 gennaio 2025 ottenuta dalla postazione *Est*, finestra *Far;*
m) File Excel contenente i grafici delle serie temporali dei punti di interesse e tabella con loro coordinate geografiche. Documento “analisi_POI_20250125”.

LISALAB

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.



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

LISALAB

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.