LISALAB

REPORT

VI PERIODICAL CHECK

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

11 – 15 GENNAIO 2024

Cliente: Comunità Montana Valchiavenna

Località: Novate Mezzola (SO)

Contract #: 182204cvc

CUP: B11B21004540002

CIG: 91968611CA

STRICTLY CONFIDENTIAL DOCUMENT

9					
8					
7					
6					
5					
4					
3					
2					
1					
0	16 Febbraio 2024	Emissione	AG	CR	DL
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 6

La tecnica SAR interferometrica 9

Specifiche del servizio 9

Punto d'installazione del sistema GBInSAR LiSALab 10

Descrizione del servizio 11

Parametri di misura e caratteristiche dell'immagine SAR 16

Elaborazione dei risultati della campagna di misura di Gennaio 2024 20

Mappe di potenza 20

Mappe di spostamento 27

Analisi degli spostamenti a breve termine: 11 – 15 Gennaio 2024 27

Analisi degli spostamenti a lungo termine 34

Postazione Ovest Near 36

Analisi per il periodo 4 Ottobre 2023 – 13 Gennaio 2024 36

Analisi per il periodo 22 Maggio 2022 – 13 Gennaio 2024 44

Postazione Ovest Far 51

Analisi per il periodo 4 Ottobre 2023 – 13 Gennaio 2024 51

Analisi per il periodo 22 Maggio 2022 – 13 Gennaio 2024 55

Postazione Est Near 60

Analisi per il periodo 4 Ottobre 2023 – 13 Gennaio 2024 60

Analisi per il periodo 22 Maggio 2022 – 13 Gennaio 2024 69

Postazione Est Far 78

Analisi per il periodo 4 Ottobre 2023 – 13 Gennaio 2024 78

Analisi per il periodo 22 Maggio 2022 – 13 Gennaio 2024 82

Analisi puntuale 86

Analisi riassuntiva 89

Conclusioni 93

Allegati 94

Note, Avvertenze e Limitazioni di Responsabilità 96

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.

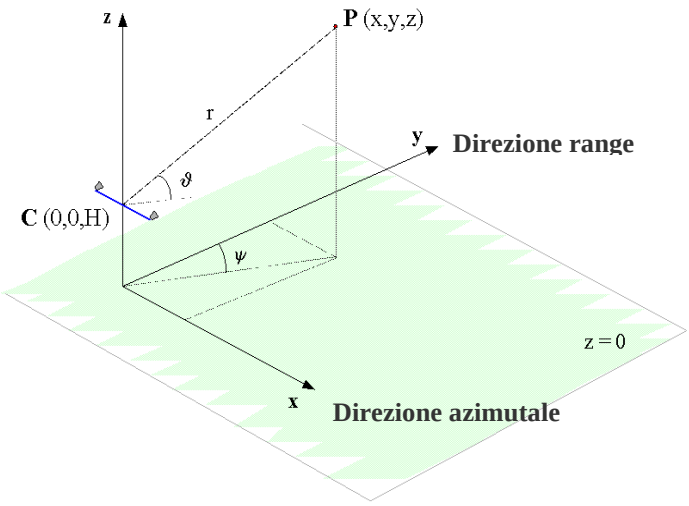


Figura 1: Sistema di riferimento utilizzato

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 2022-2024 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).

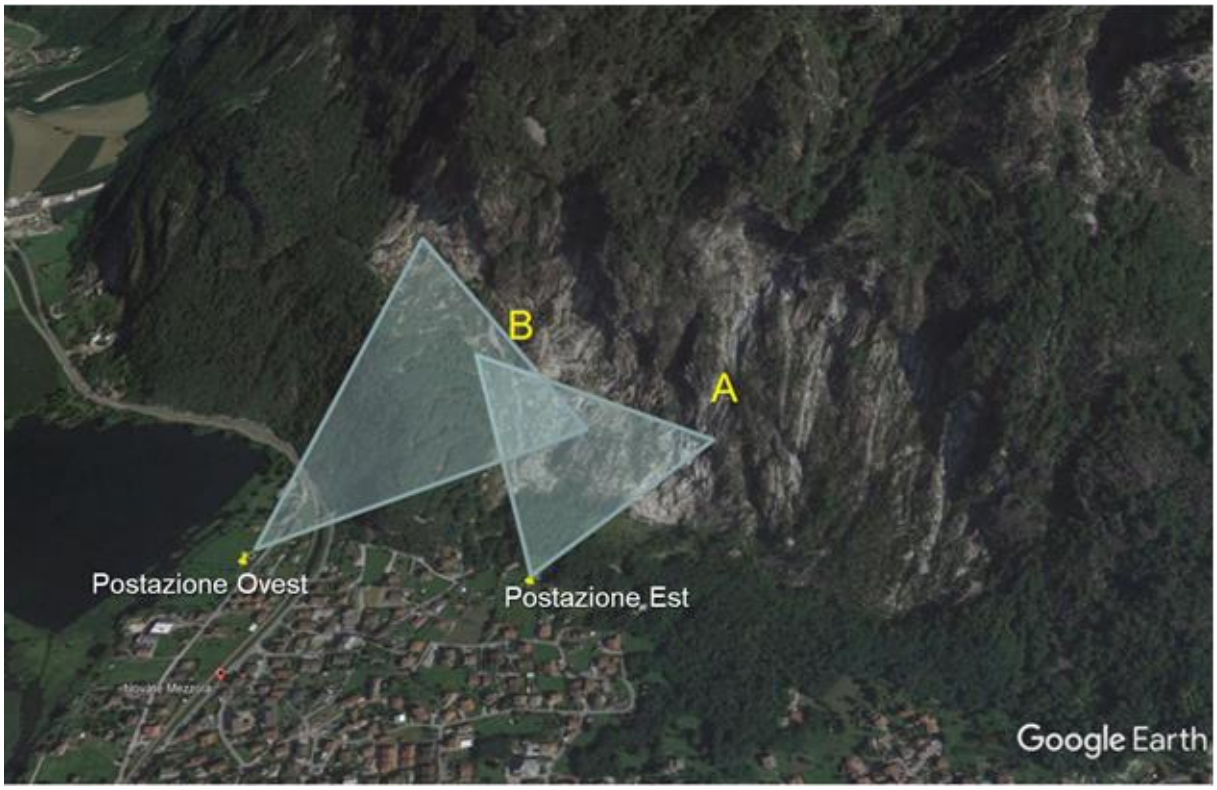


Figura 2: Ubicazione delle due postazioni di misura. La Postazione Ovest, situata in vicinanza del Lago di Novate Mezzola, permette di ottimizzare le misure nell'area B mentre la Postazione Est, prossima al versante, permette una buona copertura dell'area A.

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).

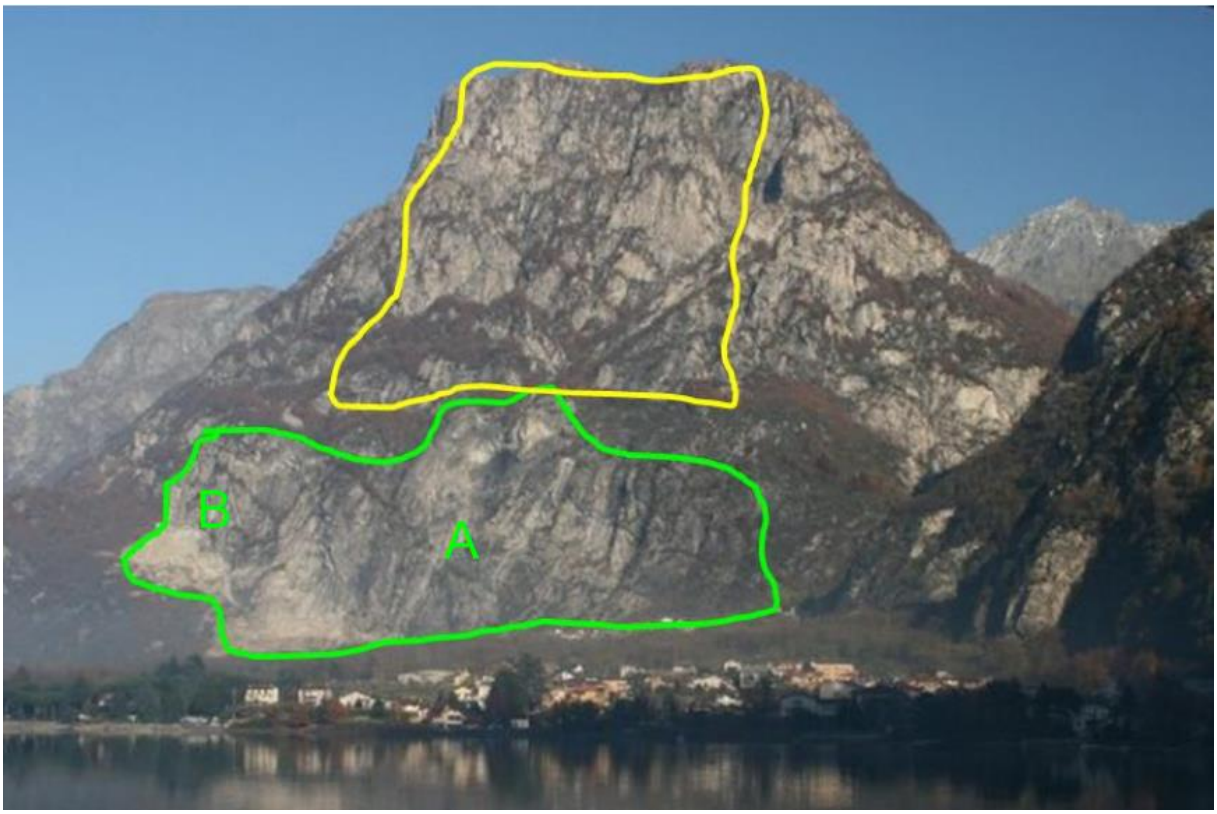


Figura 3: Fotografia del versante meridionale del Monte Avedèe, sopra Novate Mezzola, con circoscritte in verde le aree di primario interesse per il monitoraggio con tecnologia SAR terrestre (GBInSAR). In giallo sono evidenziate invece le pareti rocciose a quote più elevate e considerate obiettivo secondario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

In Figura 3 sono 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.

Il presente report, che rappresenta l'ultima campagna di misura a conclusione del contratto, 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.

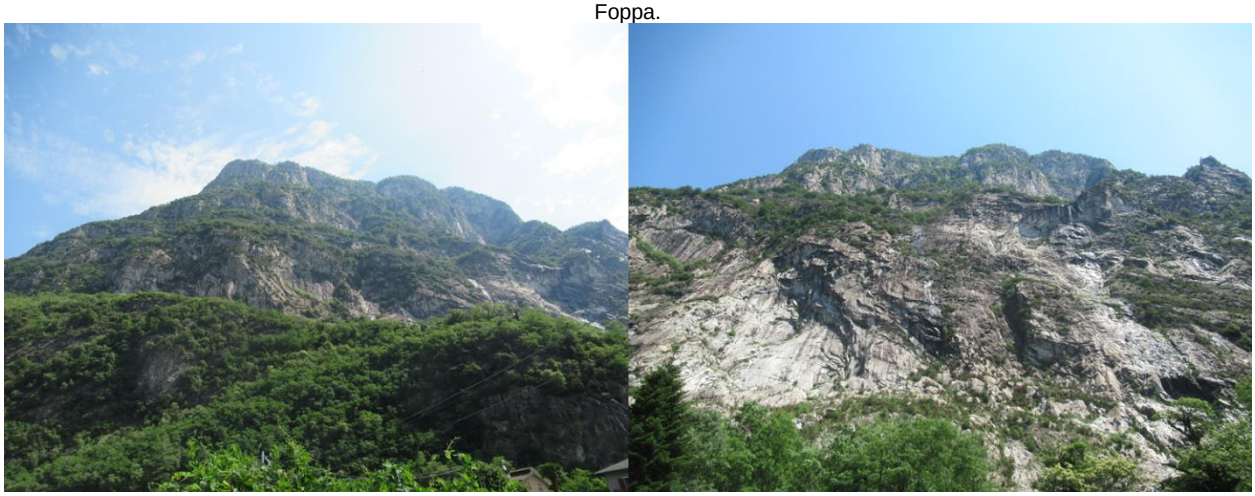


Figura 5: Scenario osservato dal sistema di monitoraggio LiSAmobile nella campagna di monitoraggio della parete del Monte Avedèe. Pannello di sx: versante inquadrato dalla postazione Ovest. Pannello di dx: versante inquadrato dalla postazione Est.

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.

Il VI PC si è svolto dal 11 al 15 Gennaio 2024 ed ha permesso di acquisire un totale di 658 immagini dalla Postazione *Est* e di 674 immagini dalla Postazione *Ovest*. In Figura 8, Figura 9, Figura 10, Figura 11 sono

riportate delle riprese fotografiche sia del versante monitorato che delle postazioni di misura durante la campagna di Gennaio 2024.

Come spiegato ed illustrato nei precedenti report, per quanto riguarda le deformazioni del Monte Avedèe, si è osservata una correlazione con il segno delle deformazioni millimetriche (positive in allontanamento e negative in avvicinamento) con la storia termica della parete rocciosa. Questa ciclicità è stata illustrata con dettaglio nei precedenti report a cui si rimanda. Si riportano tuttavia i dati meteorologici per permettere di contestualizzare eventuali interpretazioni delle deformazioni rilevate e descritte in questo report. In sede di valutazione sulla presenza di eventuali spostamenti sul versante è infatti importante considerare le condizioni ambientali.

Viene quindi riportato 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 provengono dalla stazione di Samolaco (SO) di ARPA Lombardia.

I dati di temperatura vengono mostrati nel grafico seguente come media mobile calcolata su 7 giorni (curva rossa) e su 30 giorni (curva blu) (Figura 12). I dati delle precipitazioni vengono invece rappresentati come valori cumulati giornalieri (istogramma blu) e come curva cumulata totale di tutto il periodo di monitoraggio (Figura 13).

Nel corso della presente campagna di misura (VI PC) si può osservare come, nell'intervallo di tempo intercorso fra le due campagne di Ottobre 2023 e Gennaio 2024, si rileva una condizione di raffreddamento significativo della temperatura atmosferica. In particolare la temperatura durante la campagna di misura di Ottobre 2023 era di circa 15°C superiore alla temperatura rilevata durante la campagna di Gennaio 2024. Un simile excursus termico venne osservato fra il II e il III PC (Settembre 2022 – Gennaio 2023).

Dal punto di vista pluviometrico (Figura 9) il periodo coperto dal presente report è stato discretamente piovoso. In dettaglio si possono osservare molto chiaramente delle precipitazioni piuttosto intense durante il mese di Novembre 2023. Complessivamente le precipitazioni cadute durante il periodo di questo periodical check sono a grandi linee dello stesso ordine di grandezza rispetto a quelle cadute durante il periodo coperto dal precedente periodical check. Significativo è infine l'evento meteorologico del 1° dicembre 2023; in questa giornata infatti, si sono registrati circa 80 mm di pioggia, il valore giornaliero più alto sin dall'inizio del monitoraggio.

Tutte queste osservazioni saranno utili nell'interpretazione dei risultati dell'analisi di lungo termine che verrà presentata nei prossimi capitoli.



Figura 8: Postazione Est, ripresa fotografica del versante durante l'installazione del sistema del 11 Gennaio 2024.



Figura 9: Postazione Est, sistema LiSAmobile ad installazione ultimata il 11 Gennaio 2024.



Figura 10: Postazione *Ovest*, ripresa fotografica del versante durante l'installazione del 11 Gennaio 2024.



Figura 11: Postazione *Ovest*, sistema LiSAmobile ad installazione ultimata (11 Gennaio 2024).

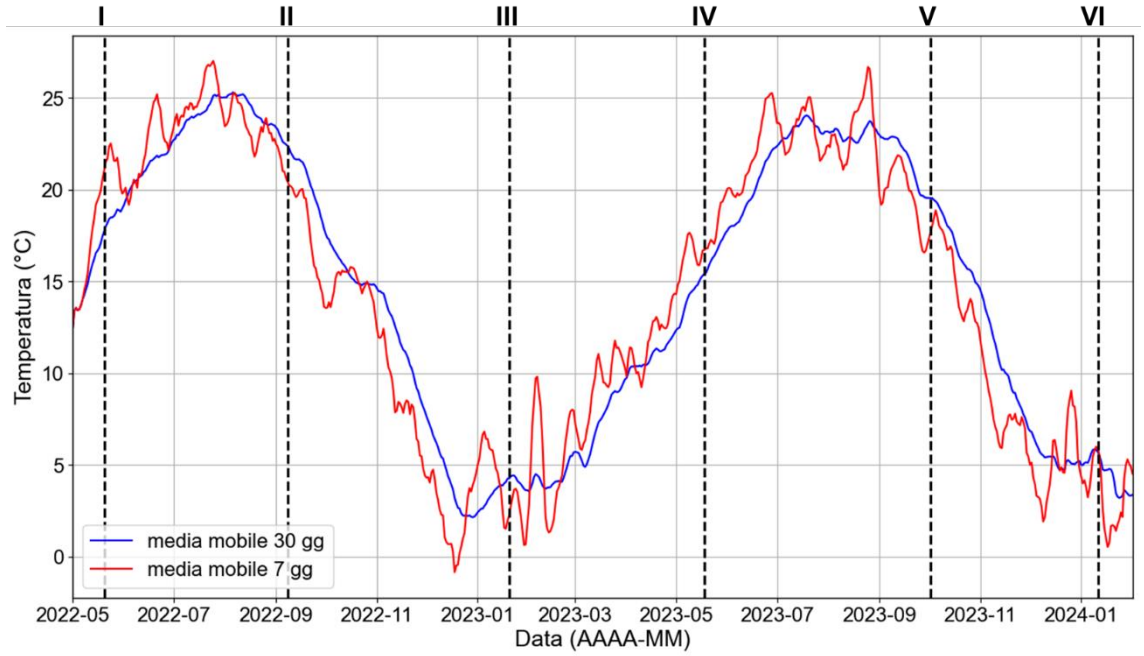


Figura 12: Media mobile calcolata su 7 giorni (curva rossa) e 30 giorni (curva blu) relativa ai valori di temperatura registrati presso la stazione meteo di Samolaco (SO). Con i numeri romani progressivi sono indicate le campagne di misura.

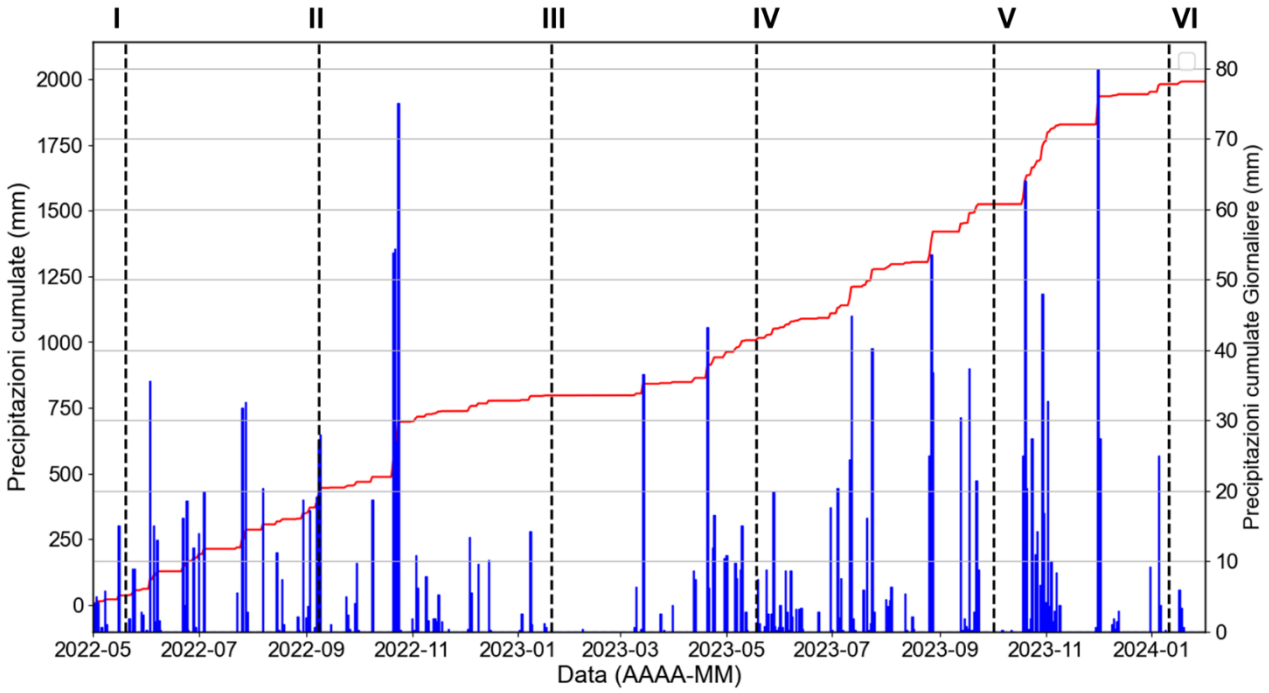


Figura 13: Valori cumulati giornalieri e curva cumulata sull'intero periodo di monitoraggio delle precipitazioni registrate presso la stazione meteo di Samolaco (SO). Con i numeri romani progressivi sono indicate le campagne di misura.

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 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 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*.
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

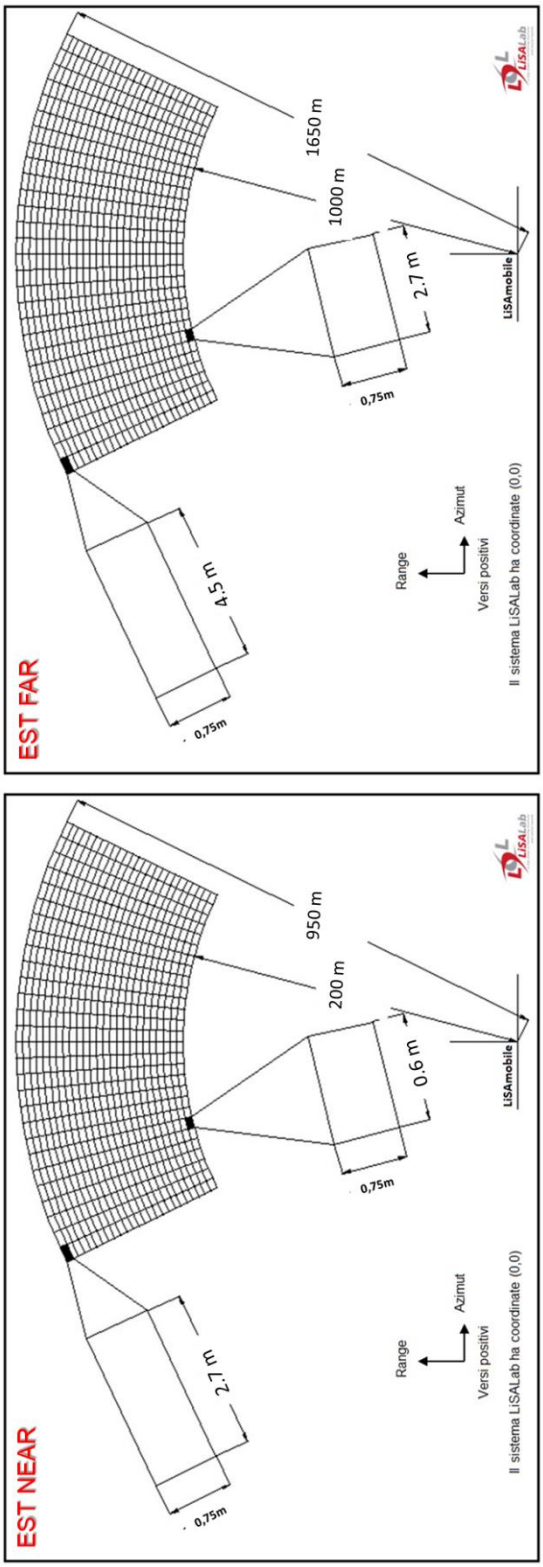


Figura 14: griglia di risoluzione del sistema GBInSAR LiSALab per la campagna in oggetto, Postazione *Est*.

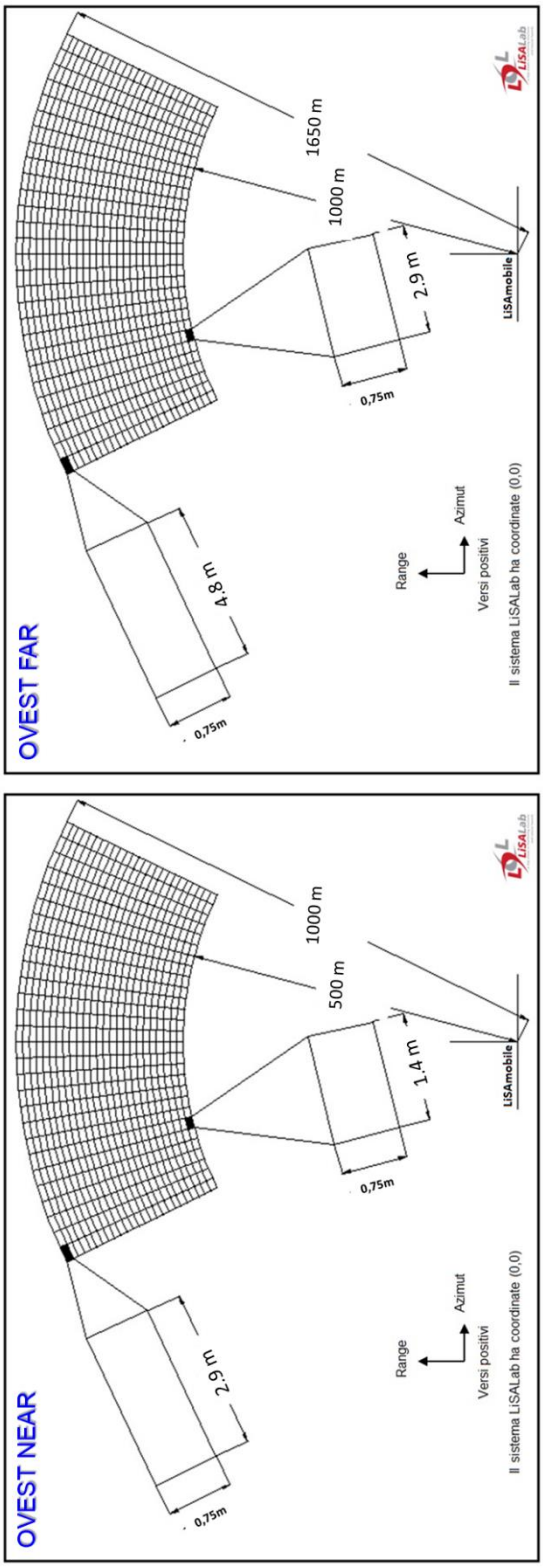


Figura 15: griglia di risoluzione del sistema GBInSAR LiSALab per la campagna in oggetto. Postazione *Ovest*.

LISALAB

Elaborazione dei risultati della campagna di misura di Gennaio 2024

In questa sezione saranno presentati i risultati della presente campagna di misura, effettuata tra l'11 ed il 15 Gennaio 2024, che rappresenta il VI 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 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 dell'area monitorata recuperando così le distorsioni tipiche delle misure radar ed ottenendo una relazione univoca tra pixel radar e punto "fisico" osservato.

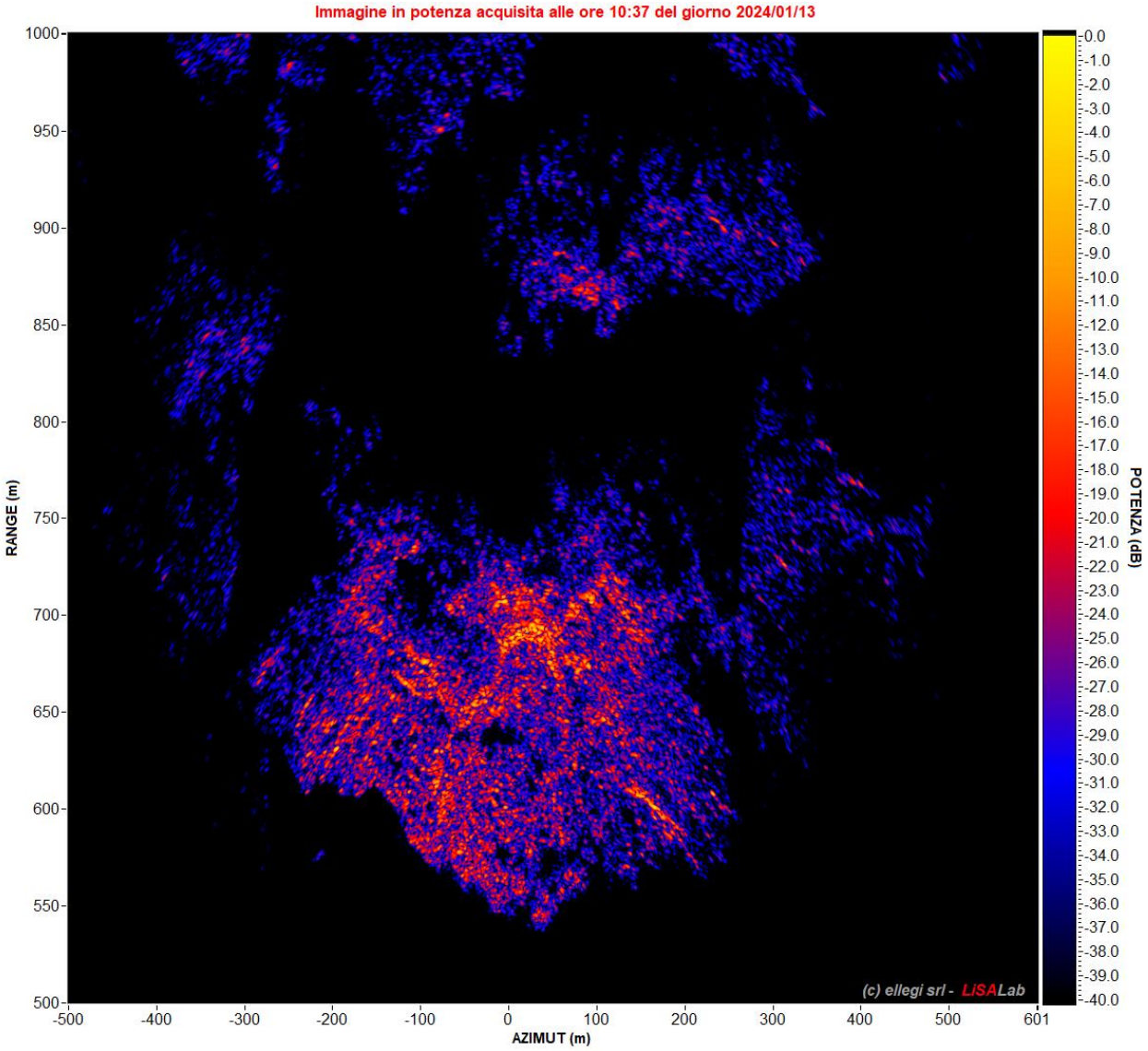


Figura 16: Immagine SAR in potenza in 2D dello scenario osservato dal sistema GBInSAR LiSALab, Gennaio 2024. Postazione *Ovest*, sottofinestra *Near*.

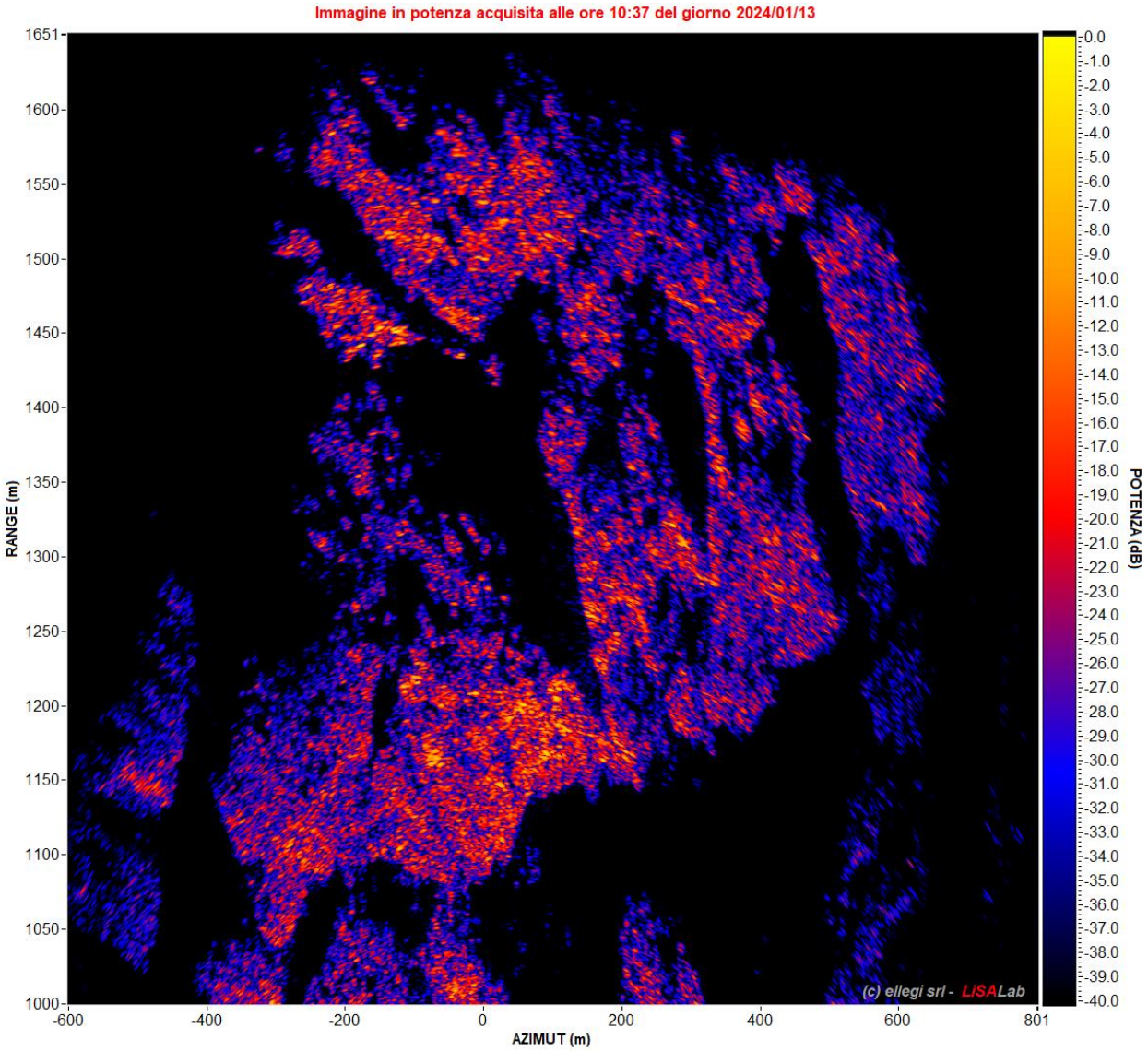


Figura 17: Immagine SAR in potenza in 2D dello scenario osservato dal sistema GBInSAR LiSALab, Gennaio 2024. Postazione *Ovest*, sottofinestra *Far*.

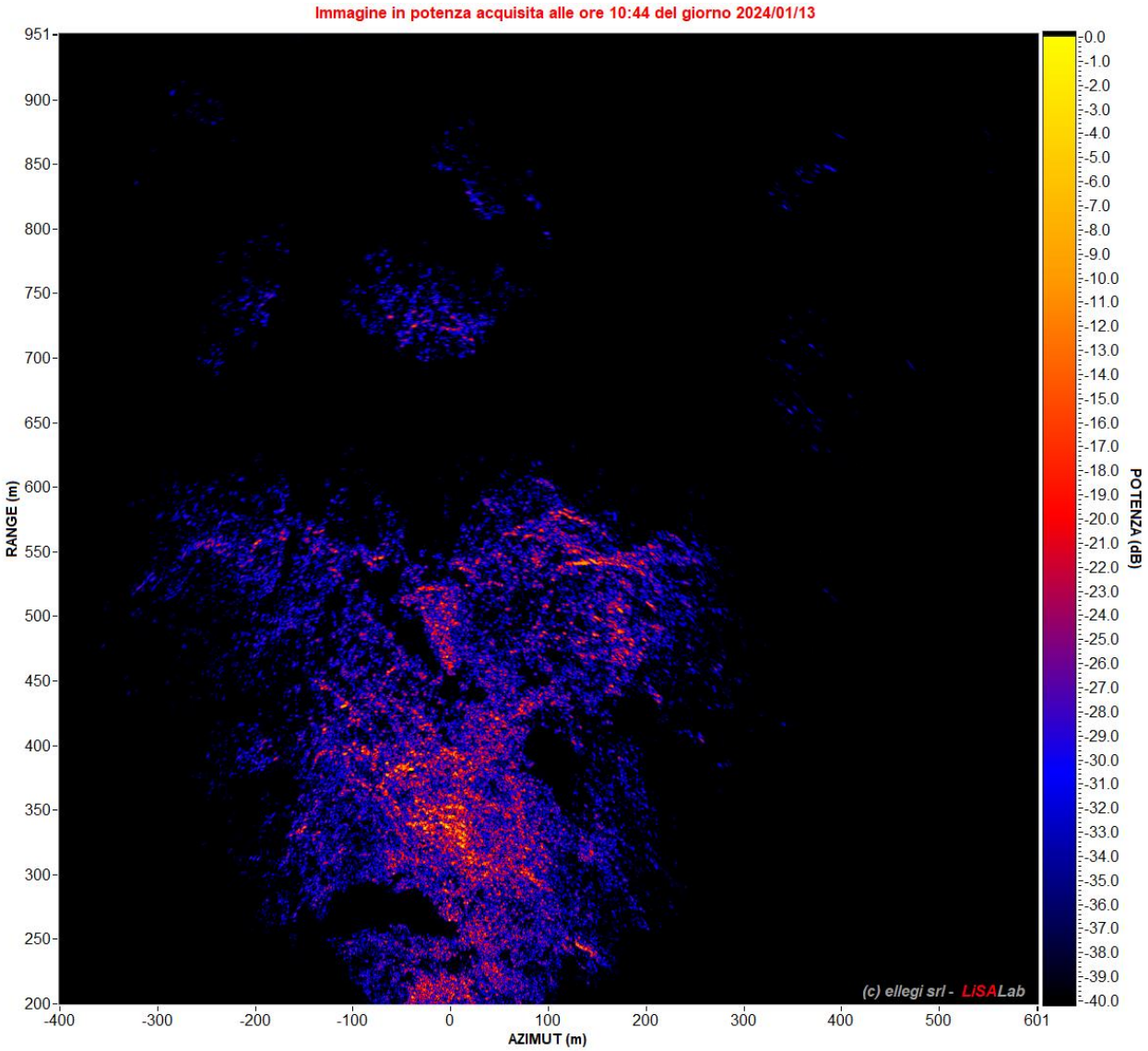


Figura 18: Immagine SAR in potenza in 2D dello scenario osservato dal sistema GBInSAR LiSALab, Gennaio 2024. Postazione *Est*, sottofinestra *Near*.

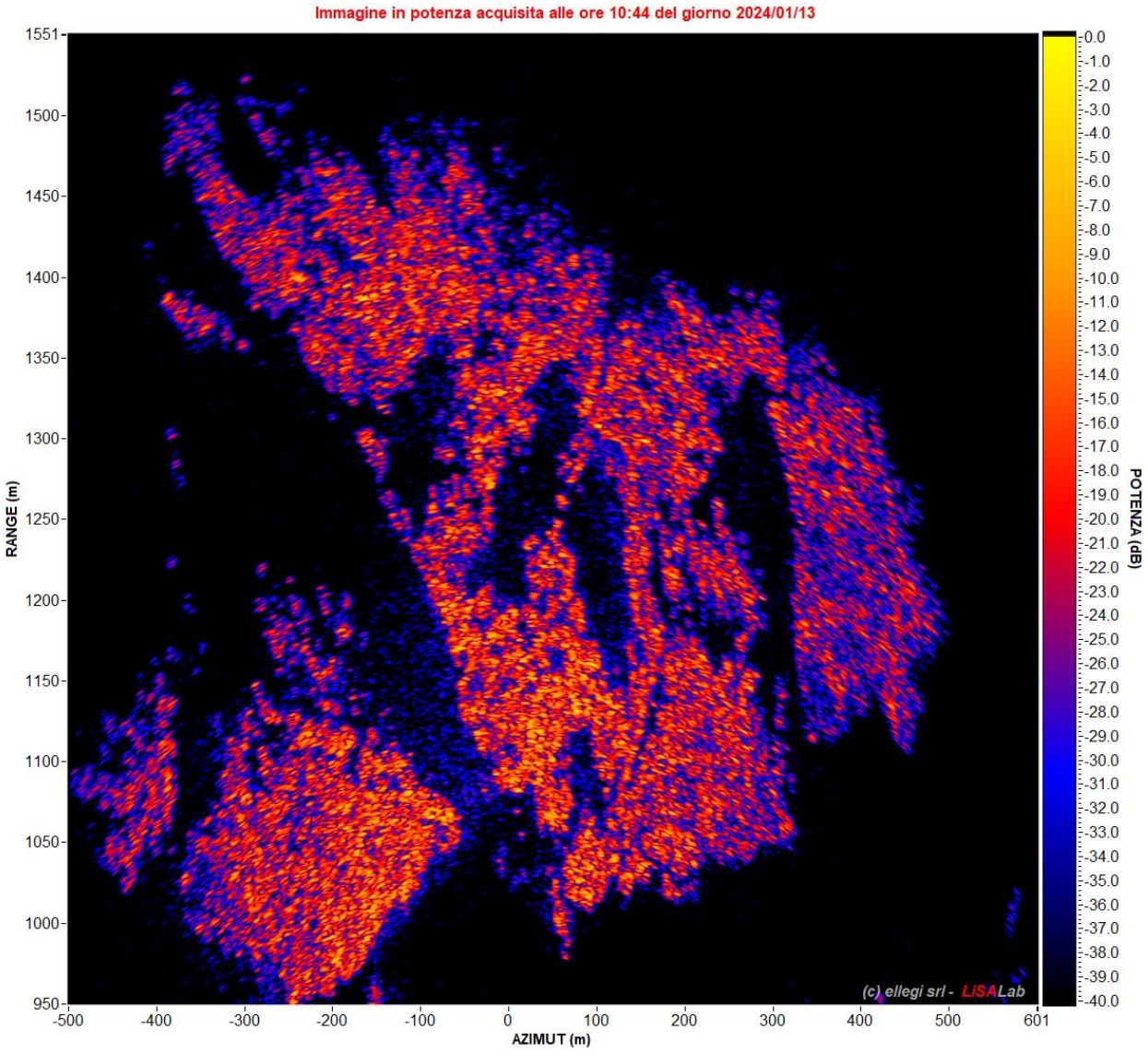


Figura 19: immagine SAR in potenza in 2D dello scenario osservato dal sistema GBInSAR LiSALab, Gennaio 2024. Postazione *Est*, sottofinestra *Far*.

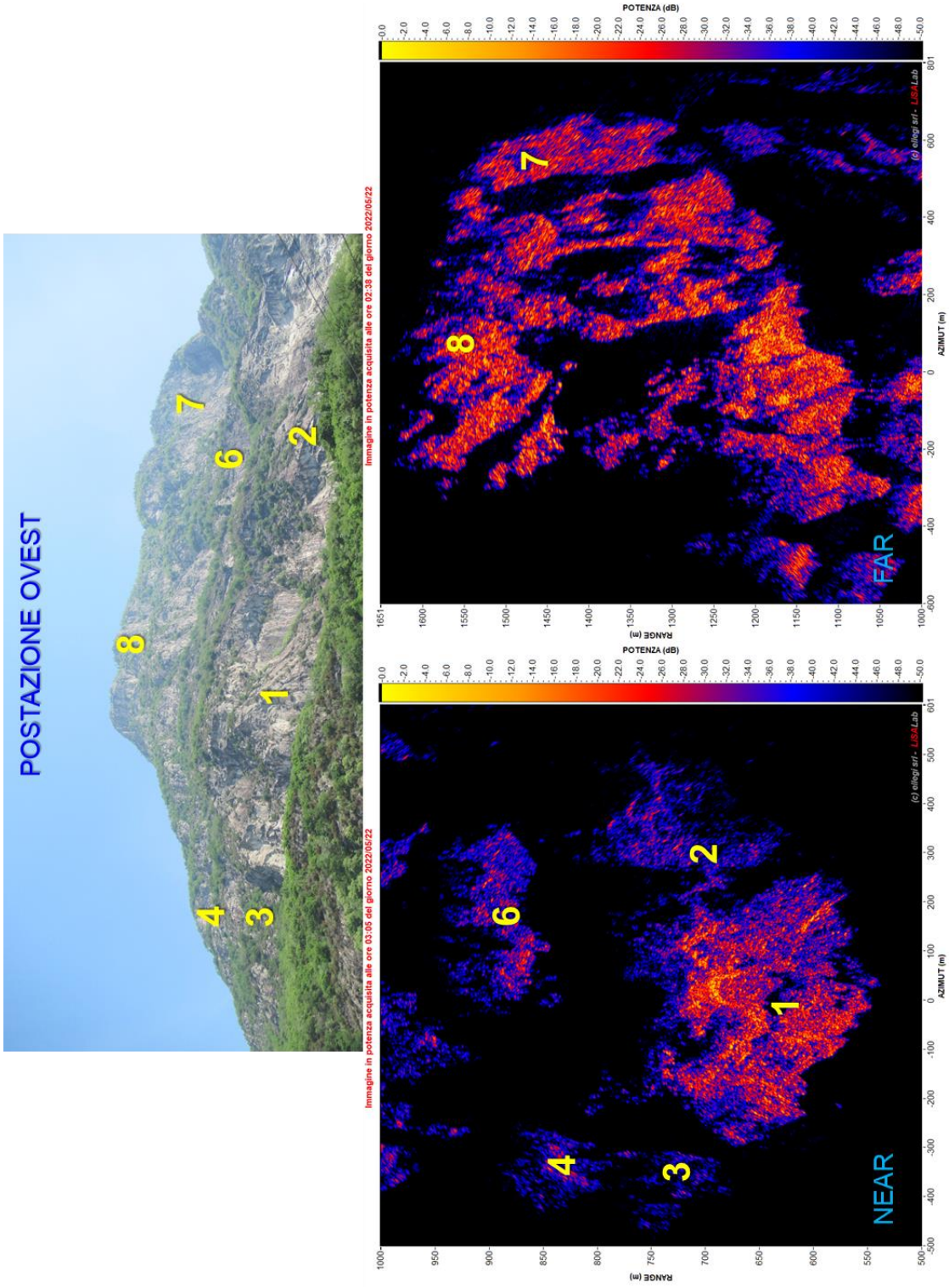


Figura 20: Georeferenziazione qualitativa delle immagini radar in potenza sulla fotografia del versante. Postazione *Ovest*, sottofinestre *Near* e *Far*.

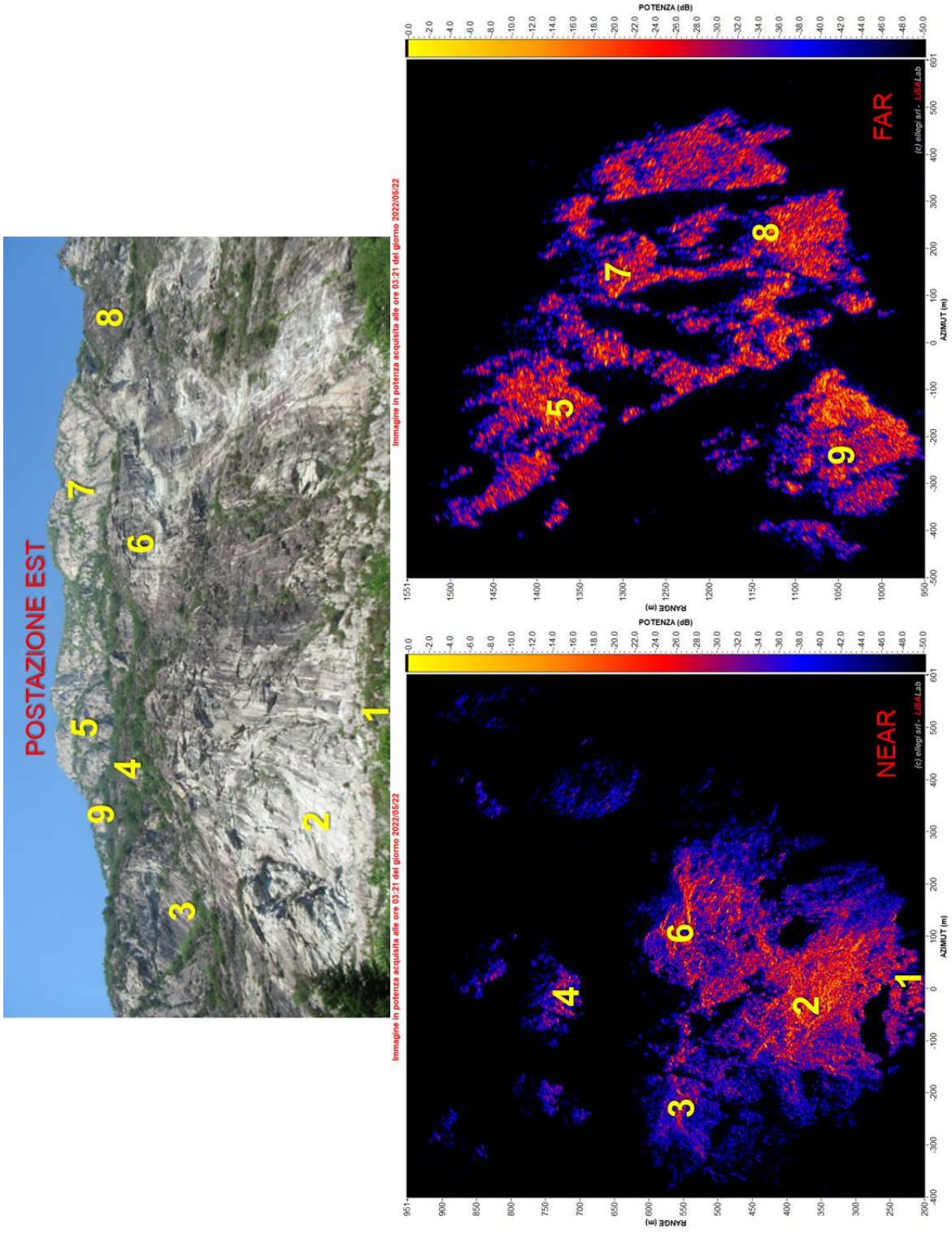


Figura 21: Georeferenziazione qualitativa delle immagini radar in potenza sulla fotografia del versante. Postazione *Est*, sottofinestre *Near* e *Far*.

Mappe di spostamento

Analisi degli spostamenti a breve termine: 11 – 15 Gennaio 2024

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 l'11 e il 15 Gennaio 2024, 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 22 a Figura 28).

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. 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.

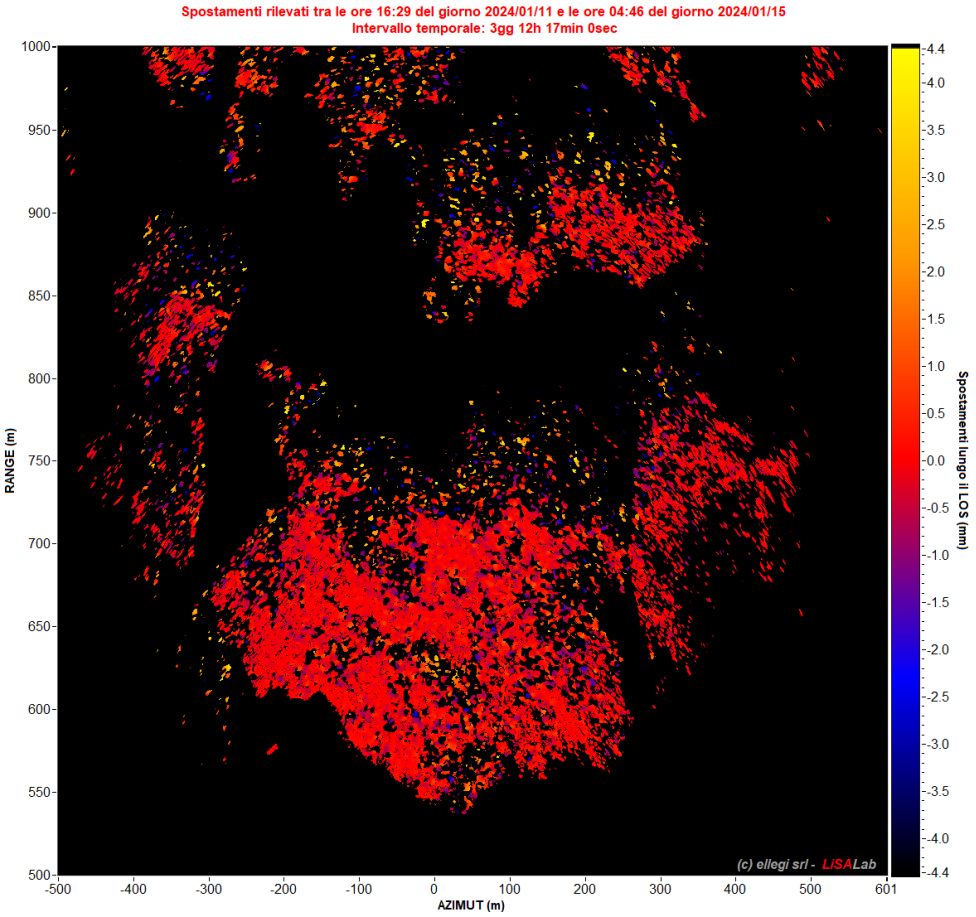


Figura 22: Mappa di spostamento 2D per il periodo 11 – 15 Gennaio 2024 (3 giorni 12 ore e 17 minuti) – rappresentazione classica. Postazione *Ovest*, sottofinestra *Near*.

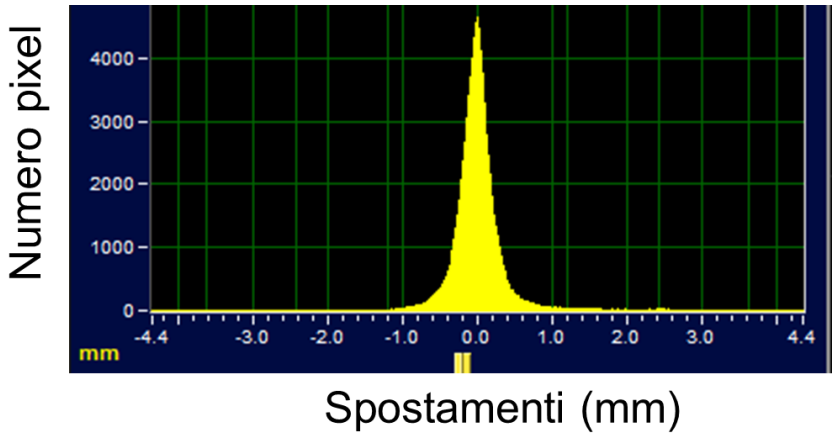


Figura 23: Istogramma della distribuzione degli spostamenti della mappa relativa alla postazione *Ovest*, sottofinestra *Near*. Valor medio degli spostamenti: 0.0, Deviazione Standard: 0.5.

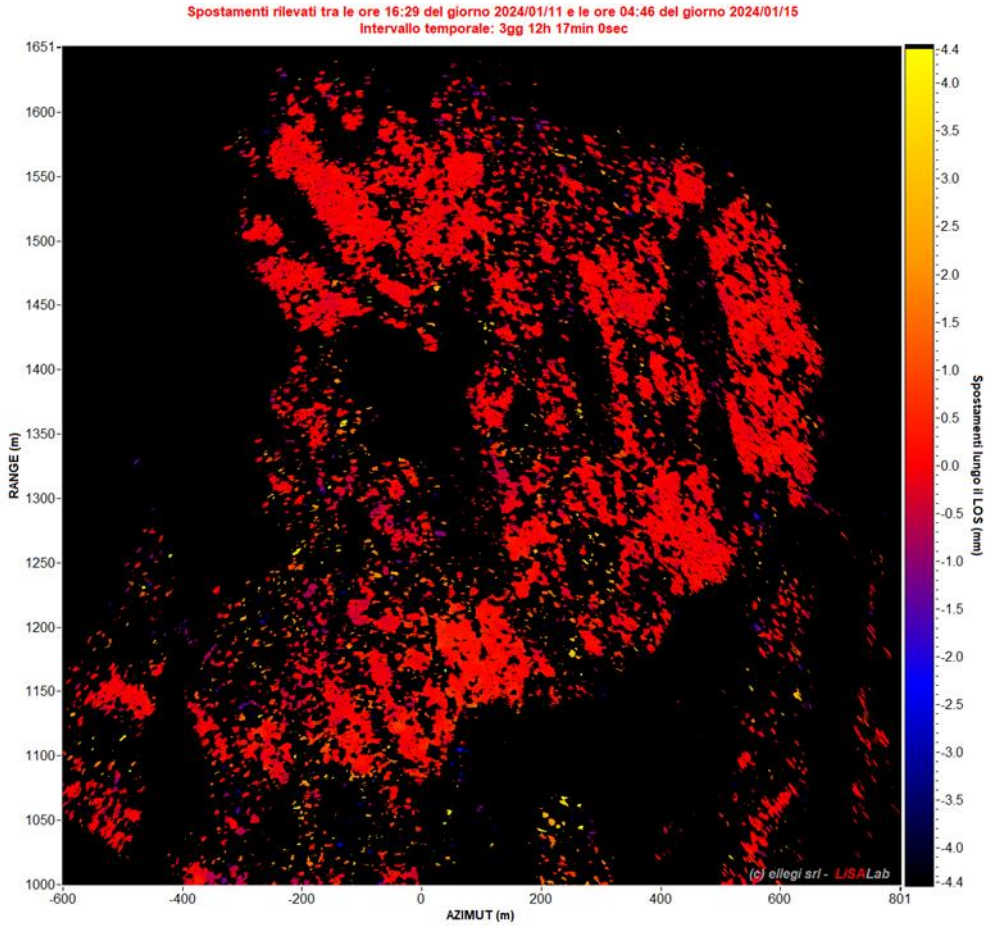


Figura 24: Mappa di spostamento 2D per il periodo 11 – 15 Gennaio 2024 (3 giorni 12 ore e 17 minuti) – rappresentazione classica. Postazione *Ovest*, sottofinestra *Far*.

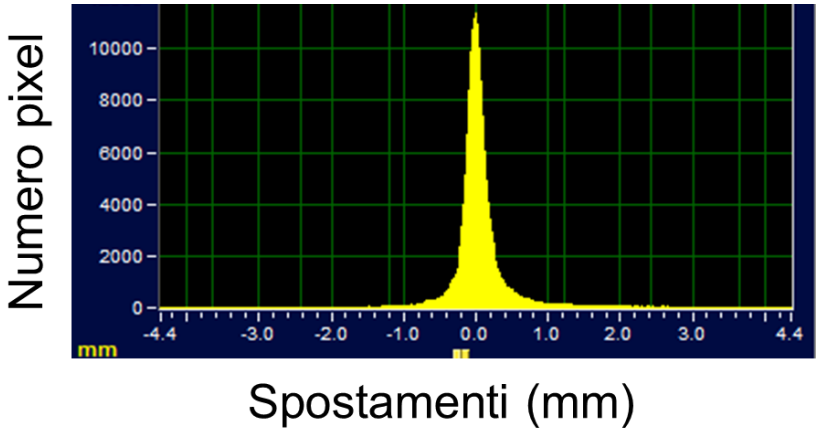


Figura 25: Istogramma della distribuzione degli spostamenti della mappa relativa alla postazione *Ovest*, sottofinestra Far. Valor medio degli spostamenti: -0.0, Deviazione Standard: 0.3.

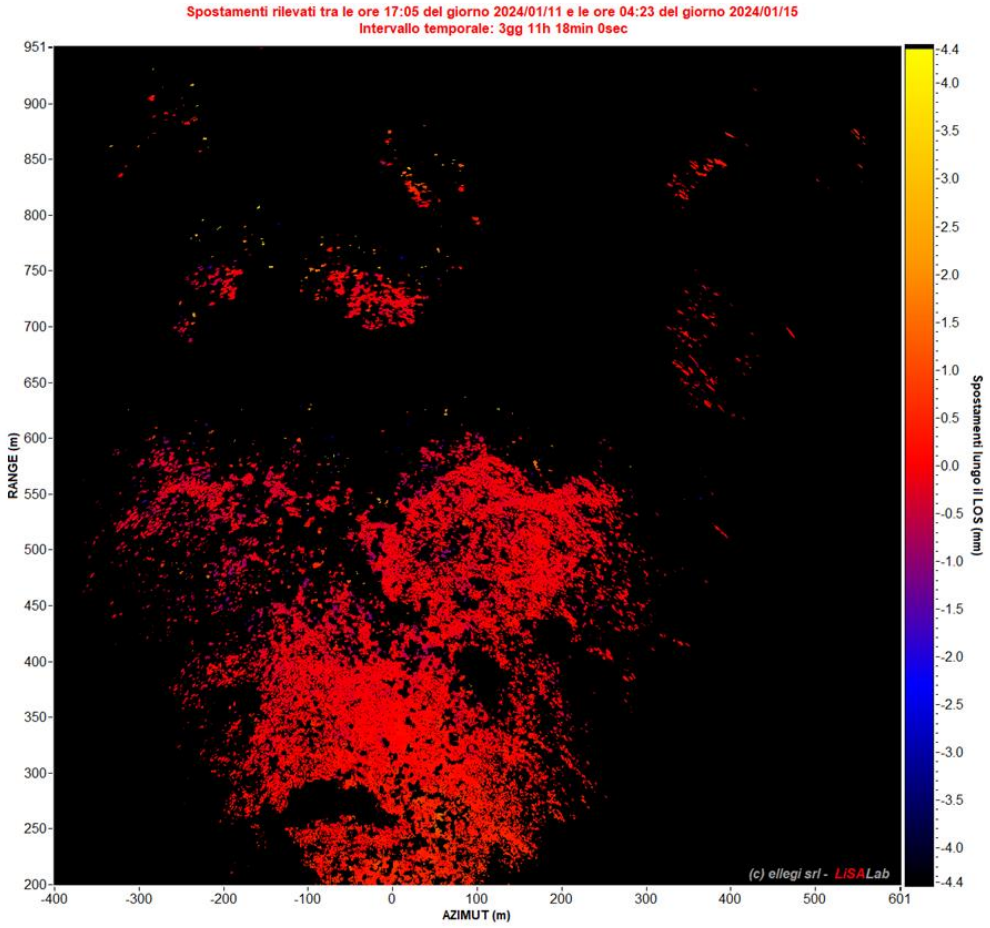


Figura 26: Mappa di spostamento 2D per il periodo 11-15 Gennaio 2024. Postazione *Est*, sottofinestra *Near*.

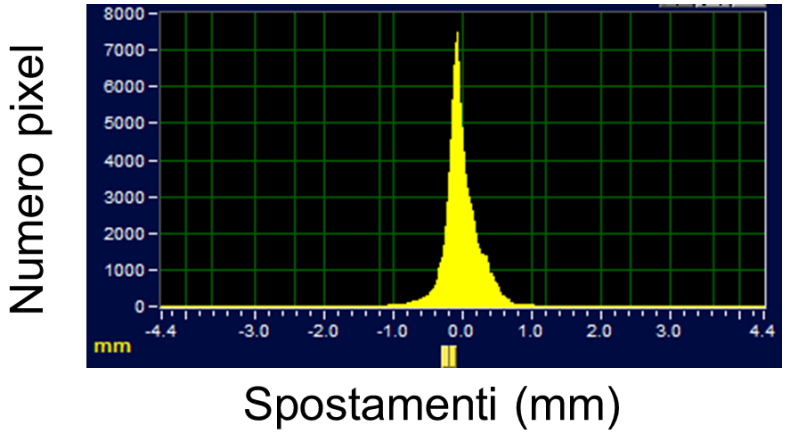


Figura 27: Istogramma della distribuzione degli spostamenti della mappa relativa alla postazione *Est*, sottofinestra *Near*. Valor medio degli spostamenti: 0.0, Deviazione Standard: 0.3 mm.

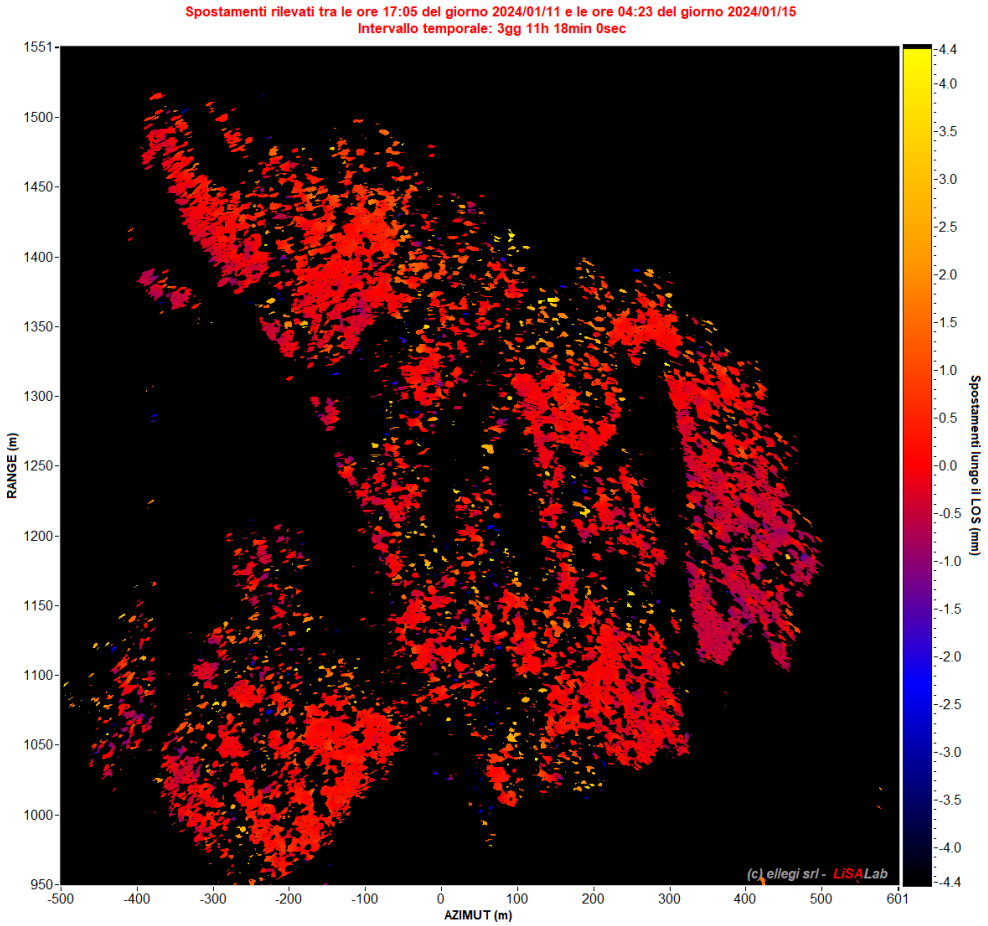


Figura 28: Mappa di spostamento 2D per il periodo 11 –15 Gennaio 2024. Postazione *Est*, sottofinestra *Far*.

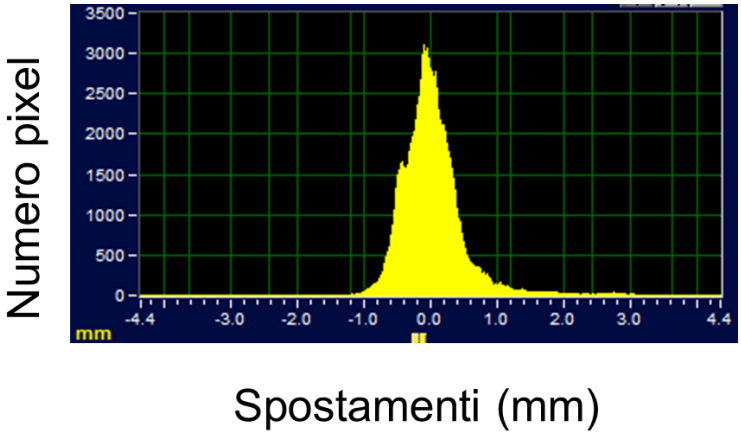


Figura 29: Istogramma della mappa degli spostamenti. Postazione *Est*, sottofinestra *Far*. Valor medio degli spostamenti: 0.1, Deviazione Standard: 0.6.

Le mappe di spostamento ottenute per il periodo 11-15 Gennaio 2024, che forniscono una analisi del Monte Avedèe nel breve termine (da Figura 22 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 -0.1 mm e +0.0 mm, con deviazione standard compresa rispettivamente tra 0.5 mm e 0.6 mm circa (da Figura 23 a Figura 29).

Con l'analisi dei dati della VI campagna periodica di Gennaio 2024 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, Ottobre 2023 e Gennaio 2024, 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 V campagna e la VI campagna di misura e poi quelli tra la I (misura di zero) e la VI 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 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, 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 caratterizzati da spostamenti 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.

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 Ottobre 2023 e la campagna di Gennaio 2024 e tra la campagna di Maggio 2022 e la campagna di Gennaio 2024. 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".

LISALAB

Postazione Ovest Near

Analisi per il periodo 4 Ottobre 2023 – 13 Gennaio 2024

Di seguito vengono presentati i risultati ottenuti per la postazione *Ovest Near* riferiti all'intervallo di tempo tra la V e la VI campagna di misura.

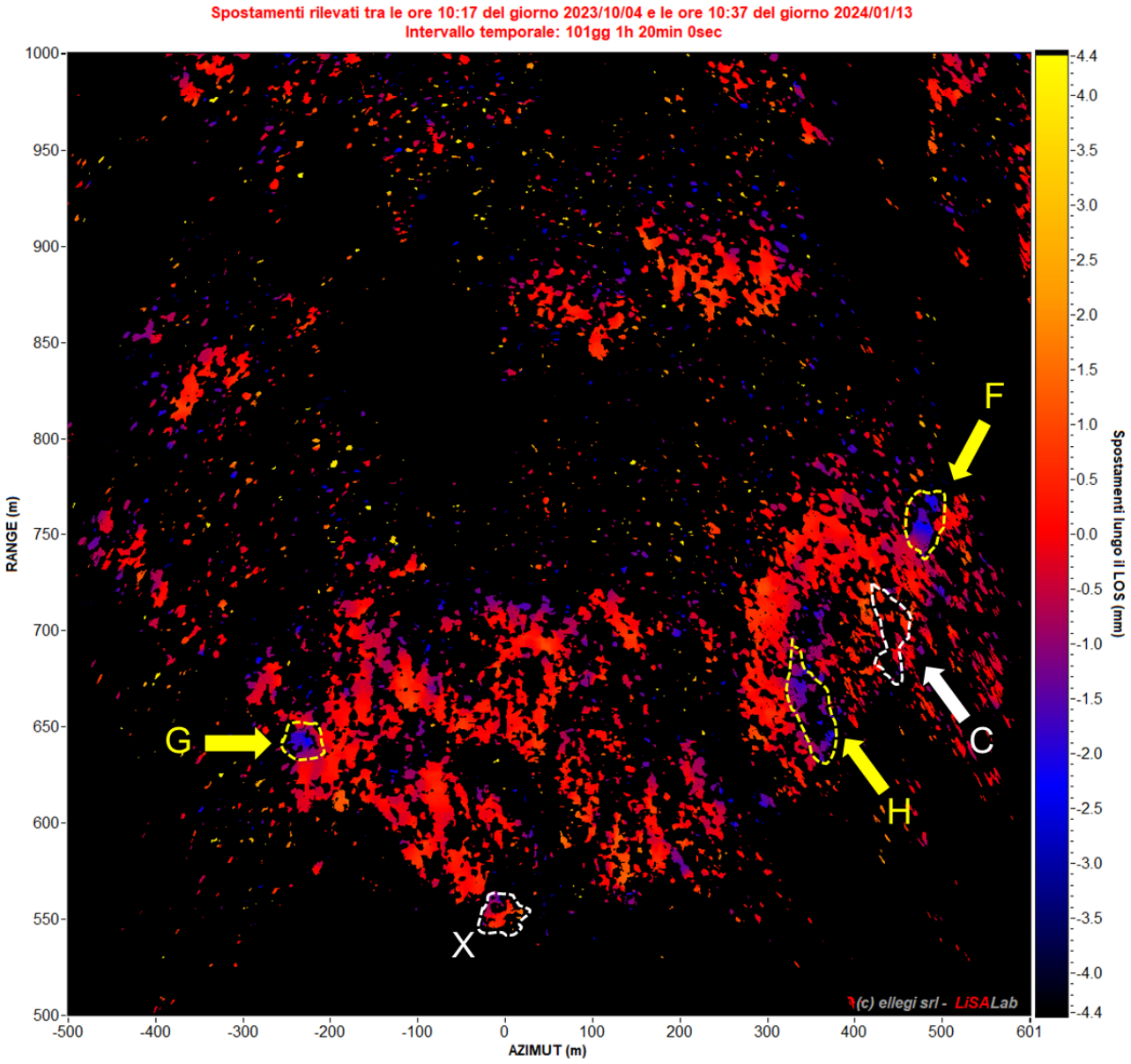


Figura 30: Mappa di spostamento 2D per il periodo 4 Ottobre 2023 – 13 Gennaio 2024. Postazione Ovest, sottofinestra Near. In giallo sono identificate le aree che presentano spostamenti superiori alla precisione strumentale nell'intervallo di tempo considerato mentre in bianche zone segnalate nel precedente report e prive di spostamenti nel presente report.

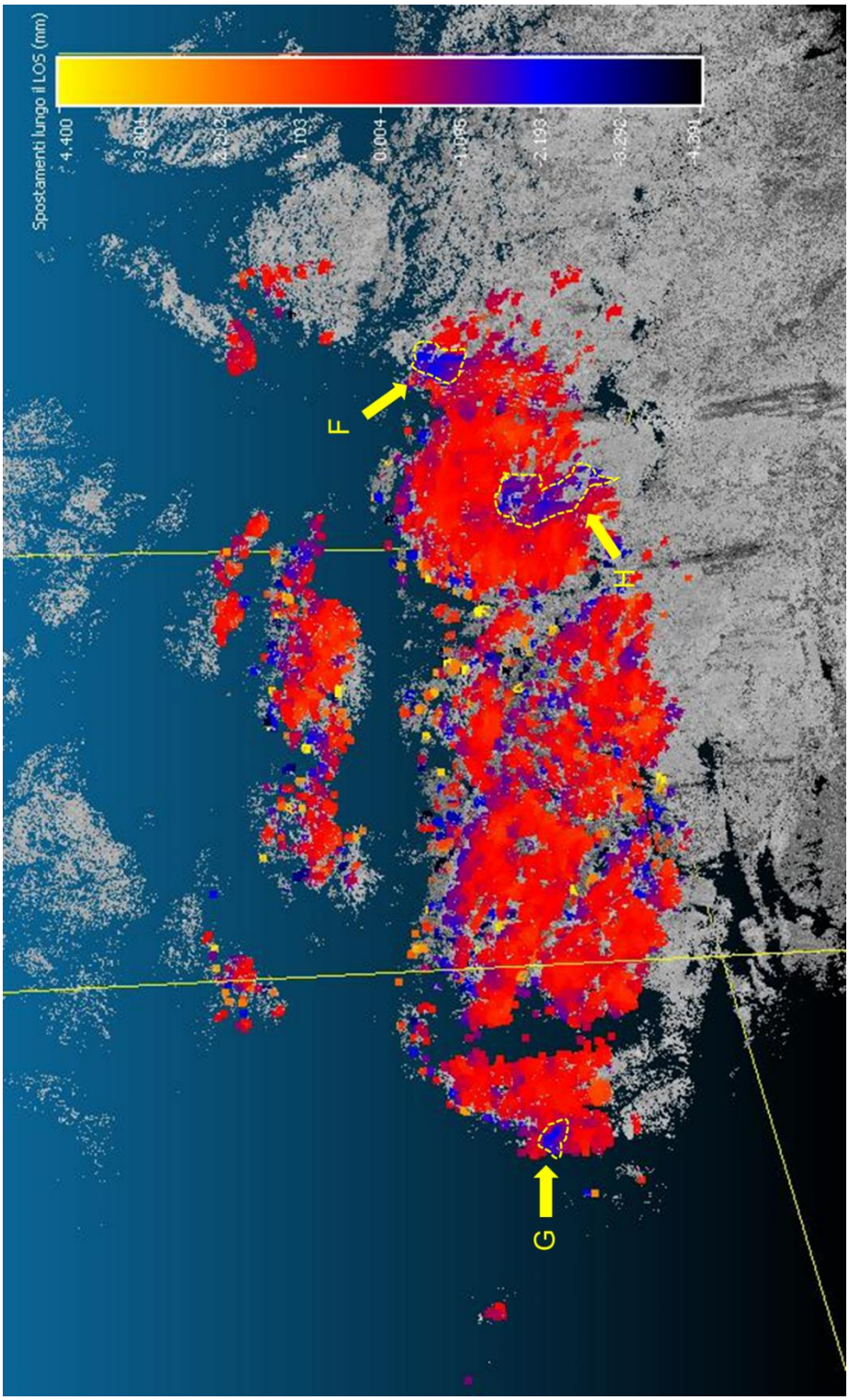


Figura 31: Mappa di spostamento 3D per il periodo 4 Ottobre 2023 – 13 Gennaio 2024 su Point Cloud. Postazione Ovest, sottofinestra Near.

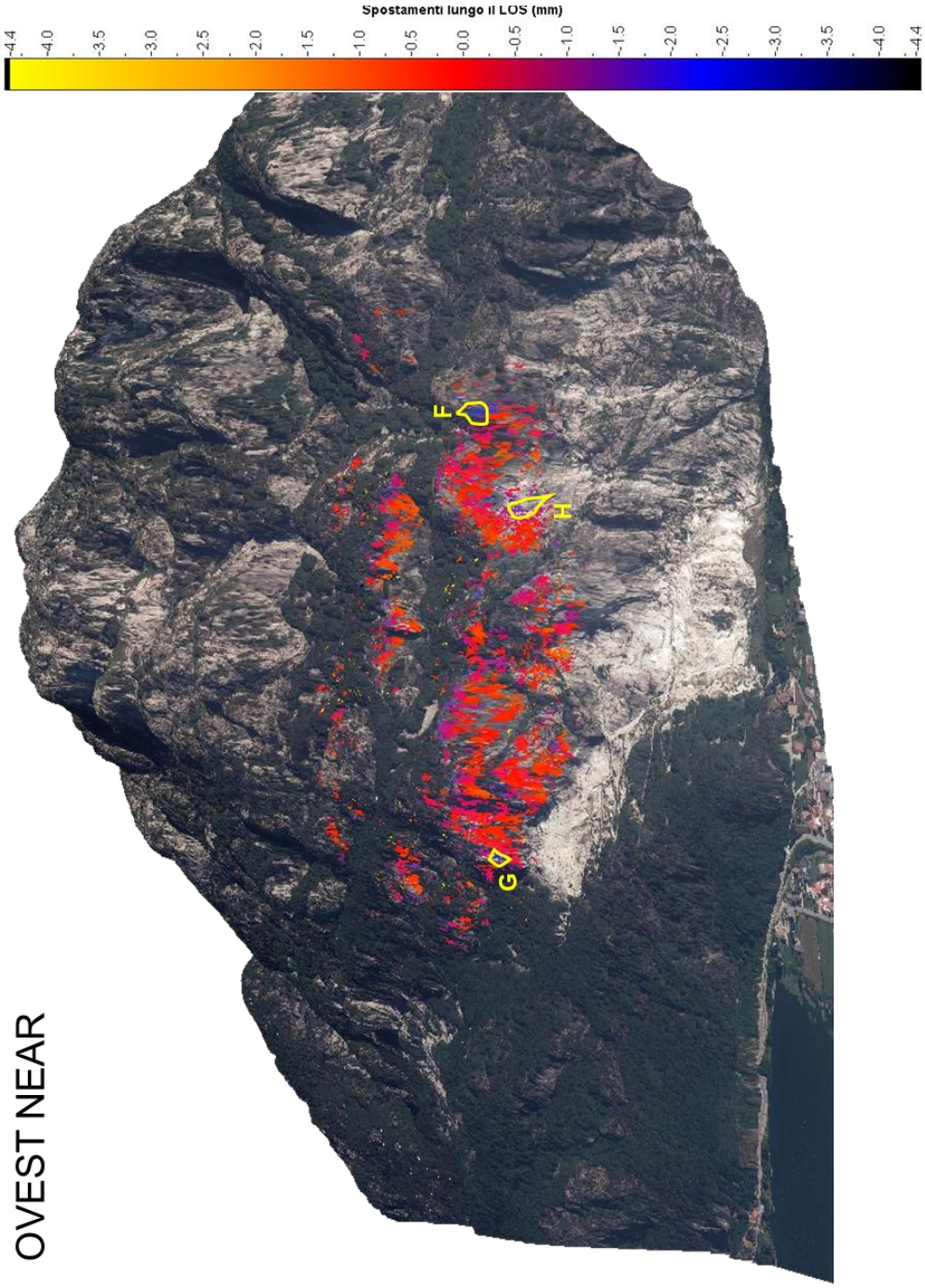


Figura 32: Mappa di spostamento 3D per il periodo 4 Ottobre 2023 – 13 Gennaio 2024 su DEM del versante. Postazione Ovest, sottofinestra Near. In giallo sono rappresentate le aree in movimento nell'intervallo considerato.

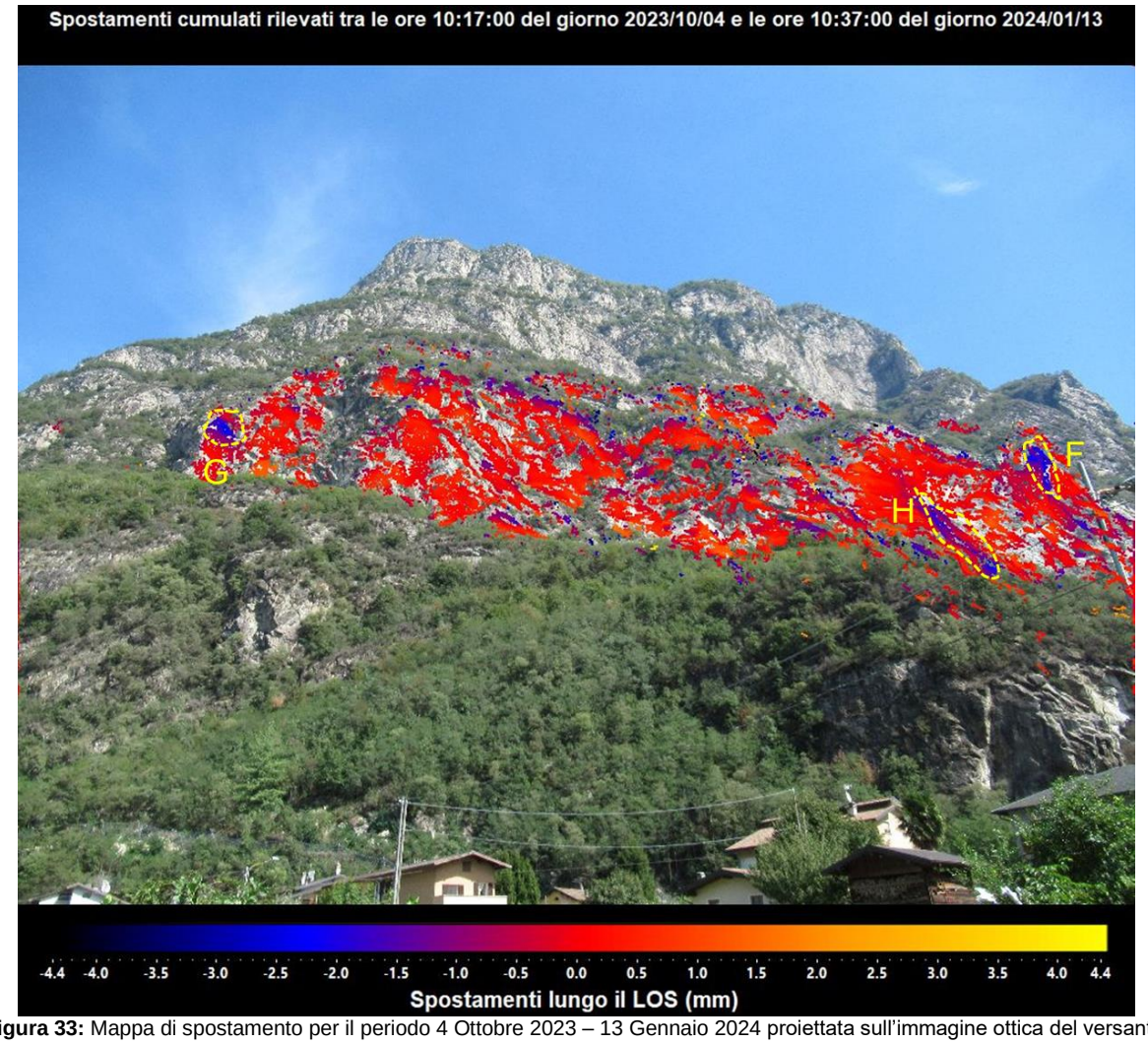


Figura 33: Mappa di spostamento per il periodo 4 Ottobre 2023 – 13 Gennaio 2024 proiettata sull'immagine ottica del versante. Postazione Ovest, sottofinestra Near.

Dall'analisi sul lungo termine eseguita tra la campagna di Ottobre 2023 e la campagna di Gennaio 2024 per la postazione *Ovest Near* si rileva la presenza di tre aree in movimento durante il periodo di osservazione di circa 101 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. Viene inoltre riportata una analisi statistica ed areale in Figura 34.

La prima area corrisponde alla regione F che mostra spostamenti differenziali pari a circa -1.7 mm in avvicinamento rispetto al sistema durante questa misura. La zona F era stata osservata in allontanamento durante il precedente periodical check (Periodo Giugno 2023 – Ottobre 2023). Questa alternanza di stili deformativi (allontanamenti fra Estate ed Autunno, avvicinamento durante i mesi più freddi) ricalca la storia termica della parete rocciosa ed è visibile molto chiaramente nei dati di temperatura mostrati in Figura 12.

Fra il IV e il V periodical check un periodo di riscaldamento della parete rocciosa ha corrisposto a degli spostamenti in allontanamento; viceversa per quanto riguarda la presente campagna di misura il corrispondente raffreddamento è correlabile con gli spostamenti in avvicinamento.

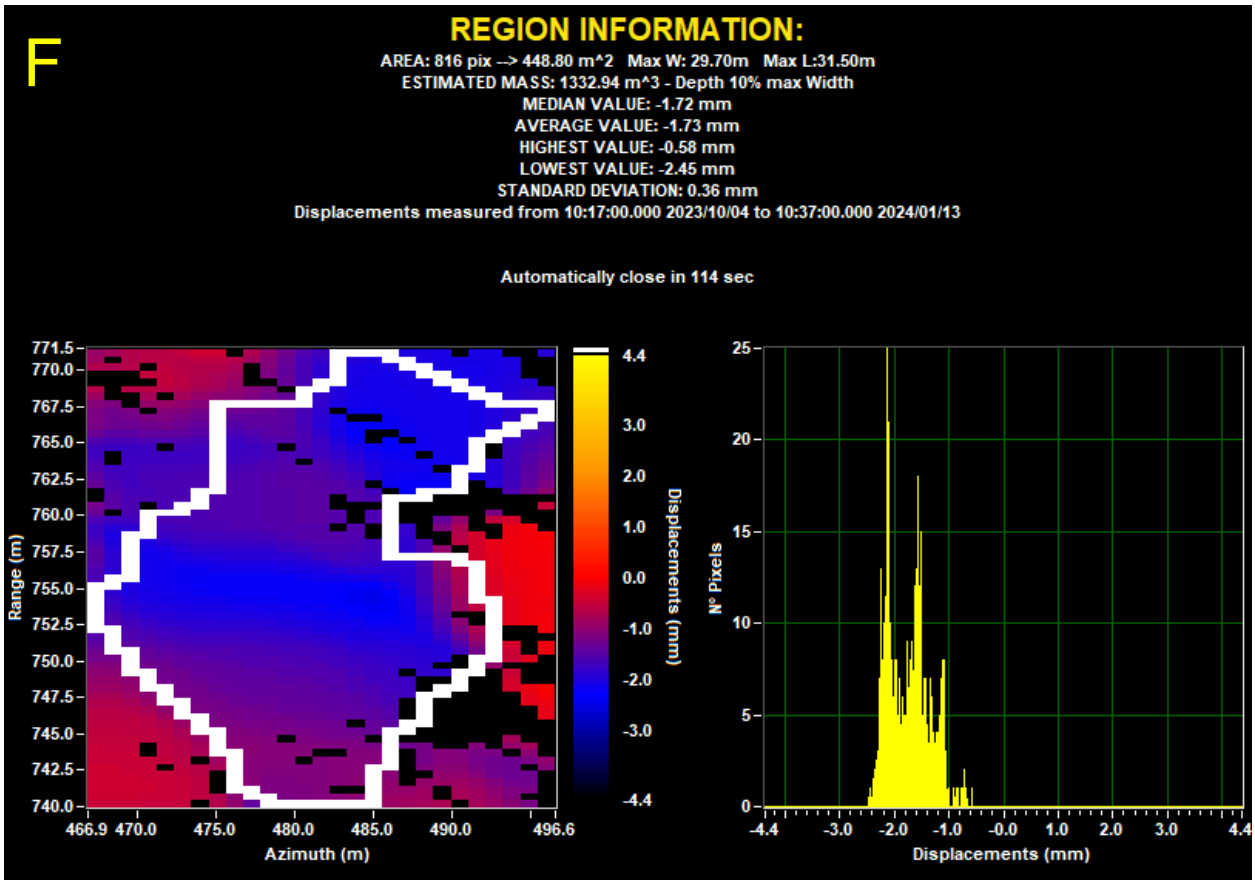
La seconda area corrisponde alla regione G, che corrisponde al pilastro roccioso sopra la località Foppa individuato come particolare obiettivo del monitoraggio. In questa zona si rilevano spostamenti medi di circa -1,5 mmm e, in linea con quanto osservabile anche nella zona F, gli spostamenti in avvicinamento sono maggiori rispetto a quelli del precedente periodical check.

La terza ed ultima zona segnalata nelle mappe fra il V e VI periodical check è la zona H. In quest'area, allungata verso il basso, si rilevano spostamenti medi di circa -1.4 mm.

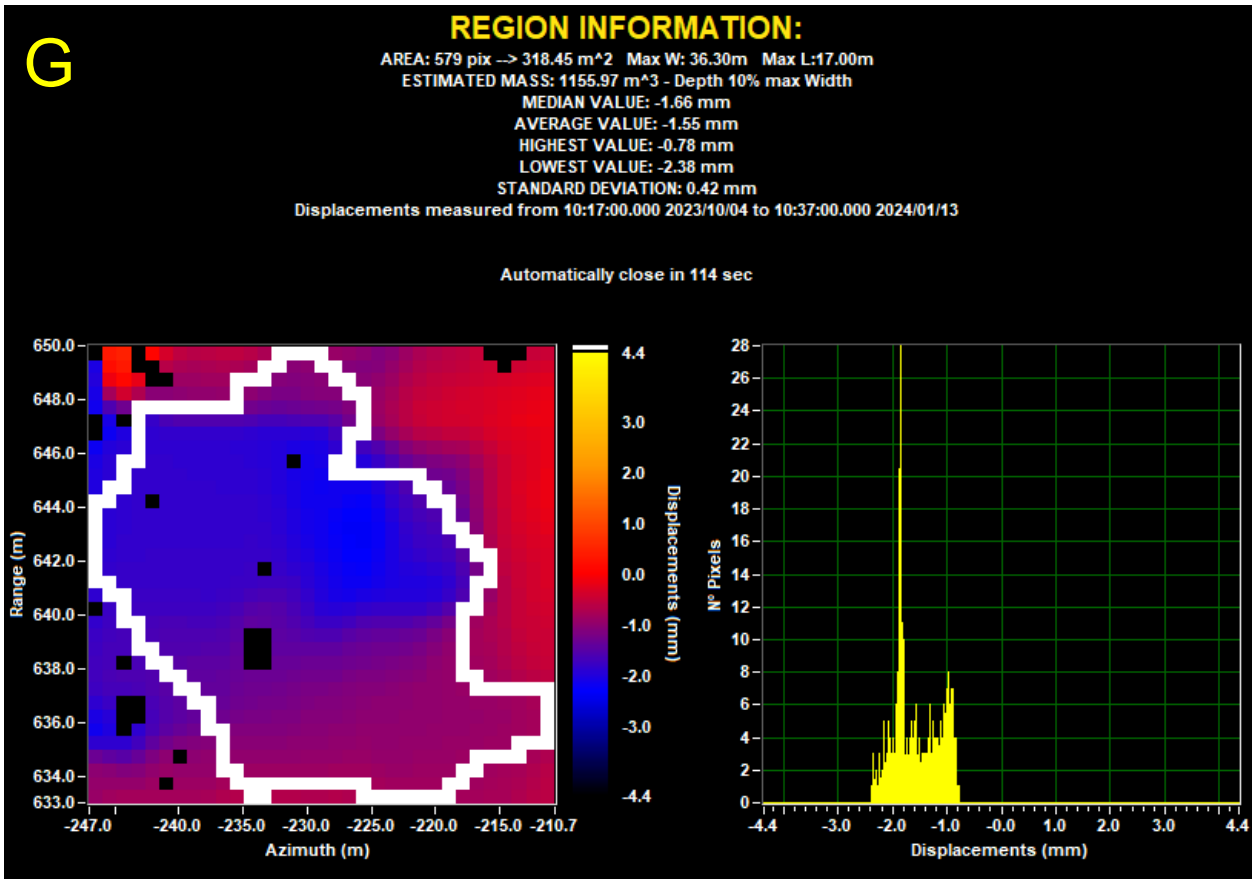
Di seguito vengono mostrati i risultati dell'analisi statistica condotta per le aree in movimento con indicata anche l'estensione ti tali aree in m^2 (calcolati in coordinate radar).

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

LISALAB


F
REGION INFORMATION:
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: -1.72 mm
AVERAGE VALUE: -1.73 mm
HIGHEST VALUE: -0.58 mm
LOWEST VALUE: -2.45 mm
STANDARD DEVIATION: 0.36 mm
Displacements measured from 10:17:00.000 2023/10/04 to 10:37:00.000 2024/01/13
Automatically close in 114 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
Nº Pixels
Displacements (mm)

LISALAB


G
REGION INFORMATION:
AREA: 579 pix --> 318.45 m^2 Max W: 36.30m Max L:17.00m
ESTIMATED MASS: 1155.97 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: -1.66 mm
AVERAGE VALUE: -1.55 mm
HIGHEST VALUE: -0.78 mm
LOWEST VALUE: -2.38 mm
STANDARD DEVIATION: 0.42 mm
Displacements measured from 10:17:00.000 2023/10/04 to 10:37:00.000 2024/01/13
Automatically close in 114 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
N° Pixels
Displacements (mm)

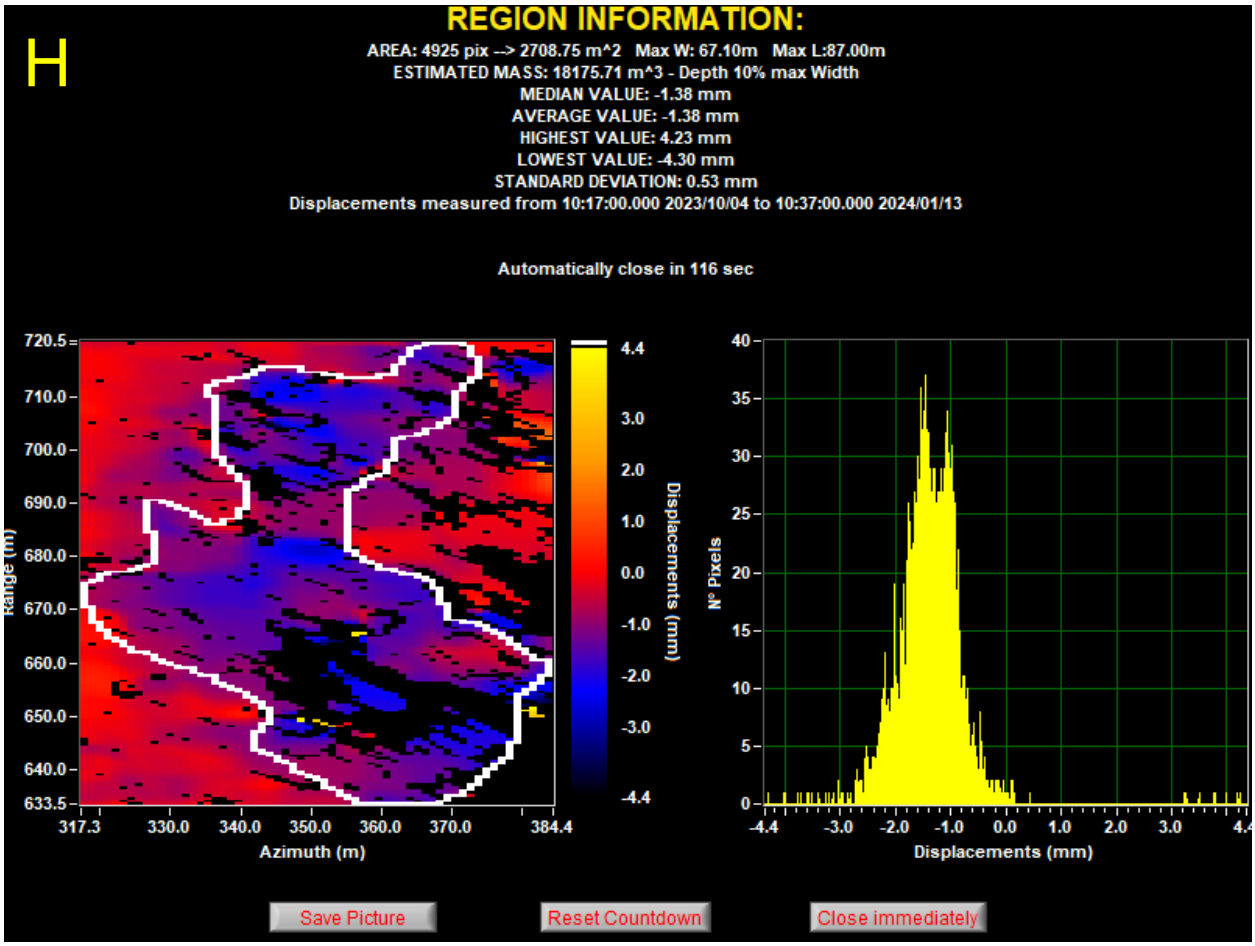


Figura 34: Analisi statistica eseguita sulle aree in movimento riconosciute in movimento nel periodo 4 Ottobre 2023 – 13 Gennaio 2024. Postazione Ovest, sottofinestra Near.

LISALAB

Analisi per il periodo 22 Maggio 2022 – 13 Gennaio 2024

Di seguito vengono presentati i risultati ottenuti per la postazione *Ovest Near* riferiti all'intervallo di tempo tra la I e la VI campagna di misura (22 Maggio 2022 – 13 Gennaio 2024, intervallo temporale 601 giorni, 8 ore e 32 minuti).

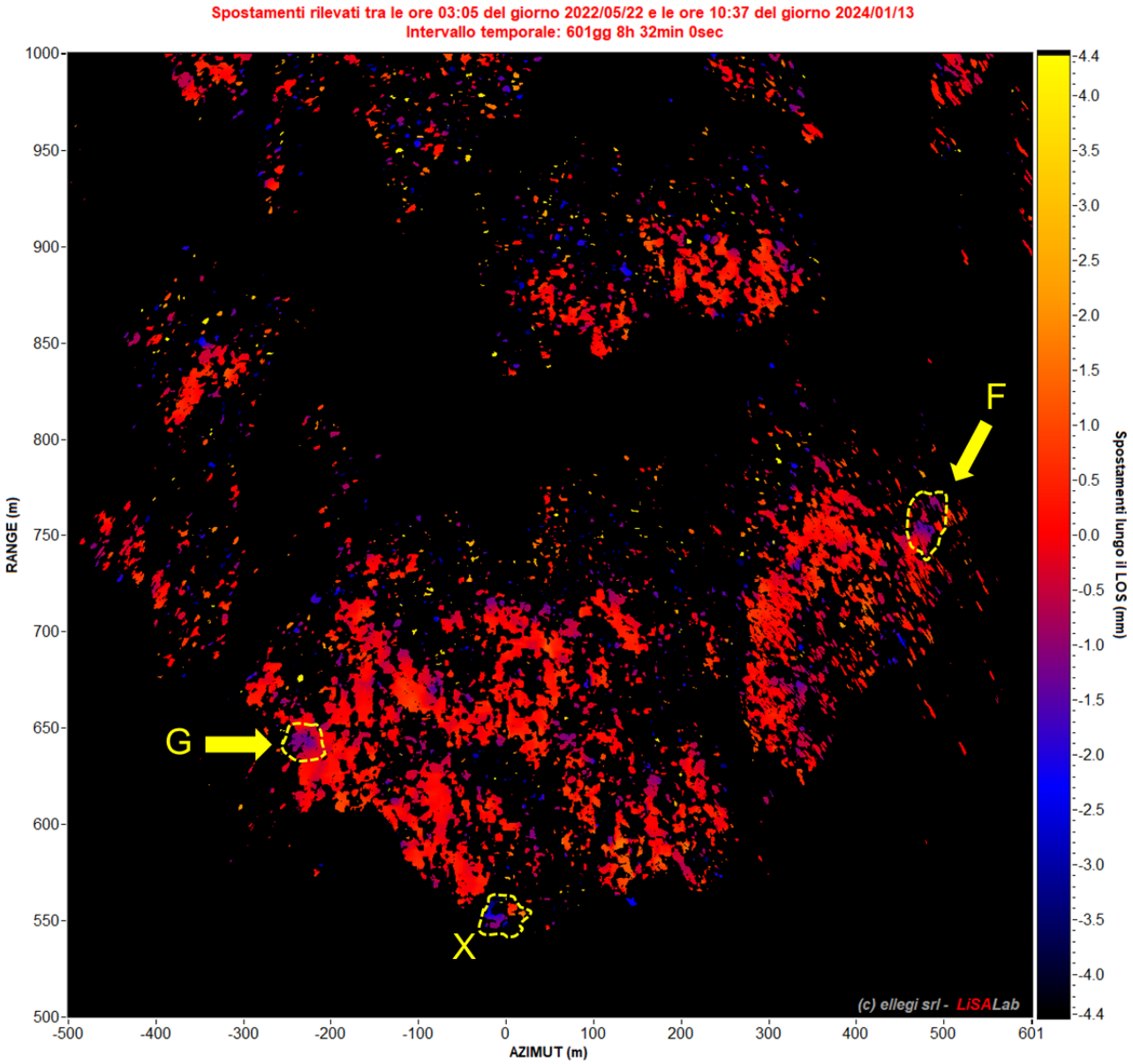


Figura 35: Mappa di spostamento 2D per il periodo 22 Maggio 2022 – 13 Gennaio 2024. Postazione Ovest, sottofinestra Near. In giallo sono identificate le aree in movimento.

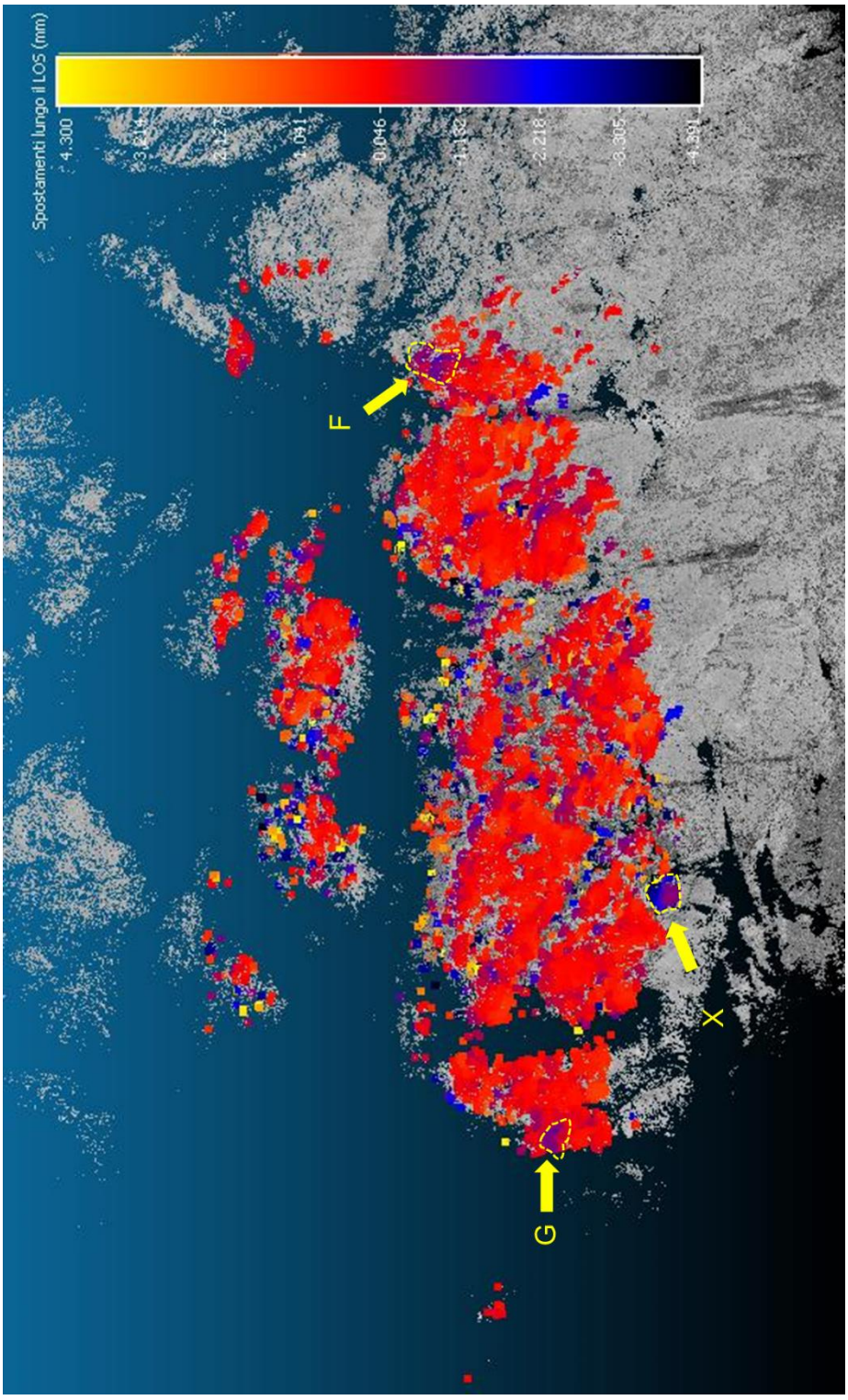


Figura 36: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 Maggio 2022 – 13 Gennaio 2024 (500 giorni 7 ore e 43 minuti) su Point Cloud. Postazione Ovest, sottofinestra Near.

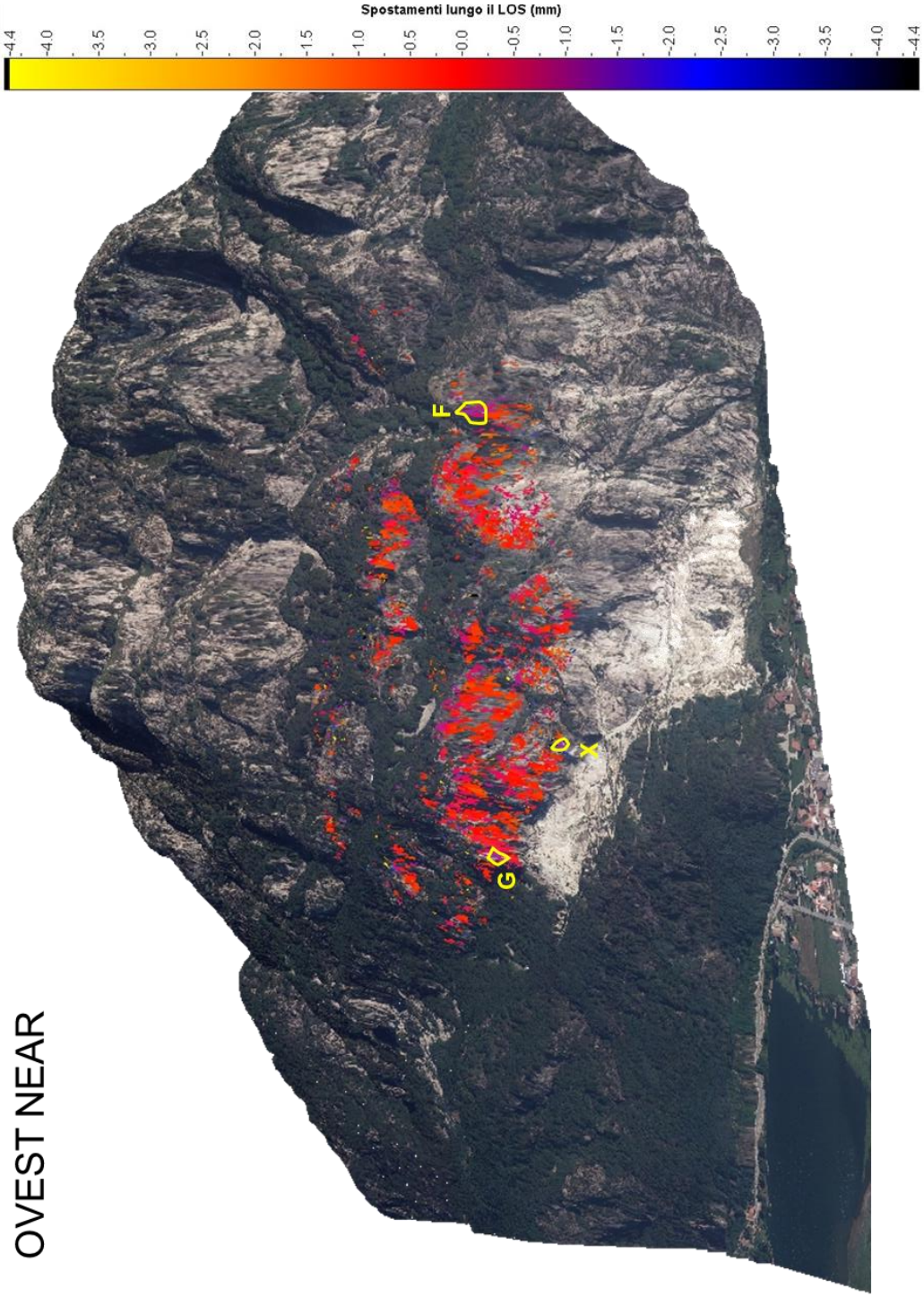


Figura 37: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 Maggio 2022 – 13 Gennaio 2024 (500 giorni 7 ore e 43 minuti) su DEM del versante. Postazione Ovest, sottofinestra Near. In giallo sono rappresentate le aree in movimento nell'intervallo considerato.

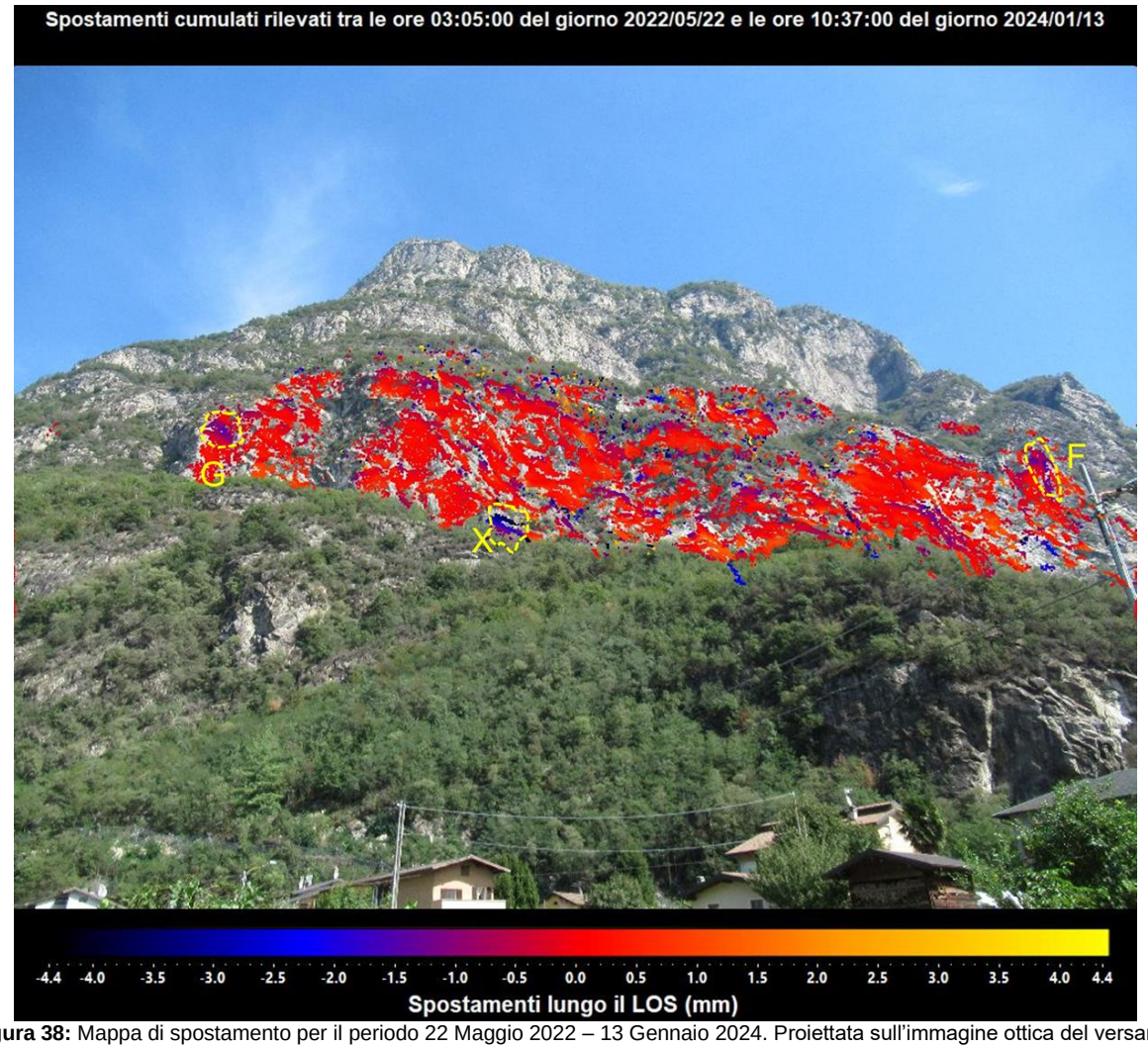
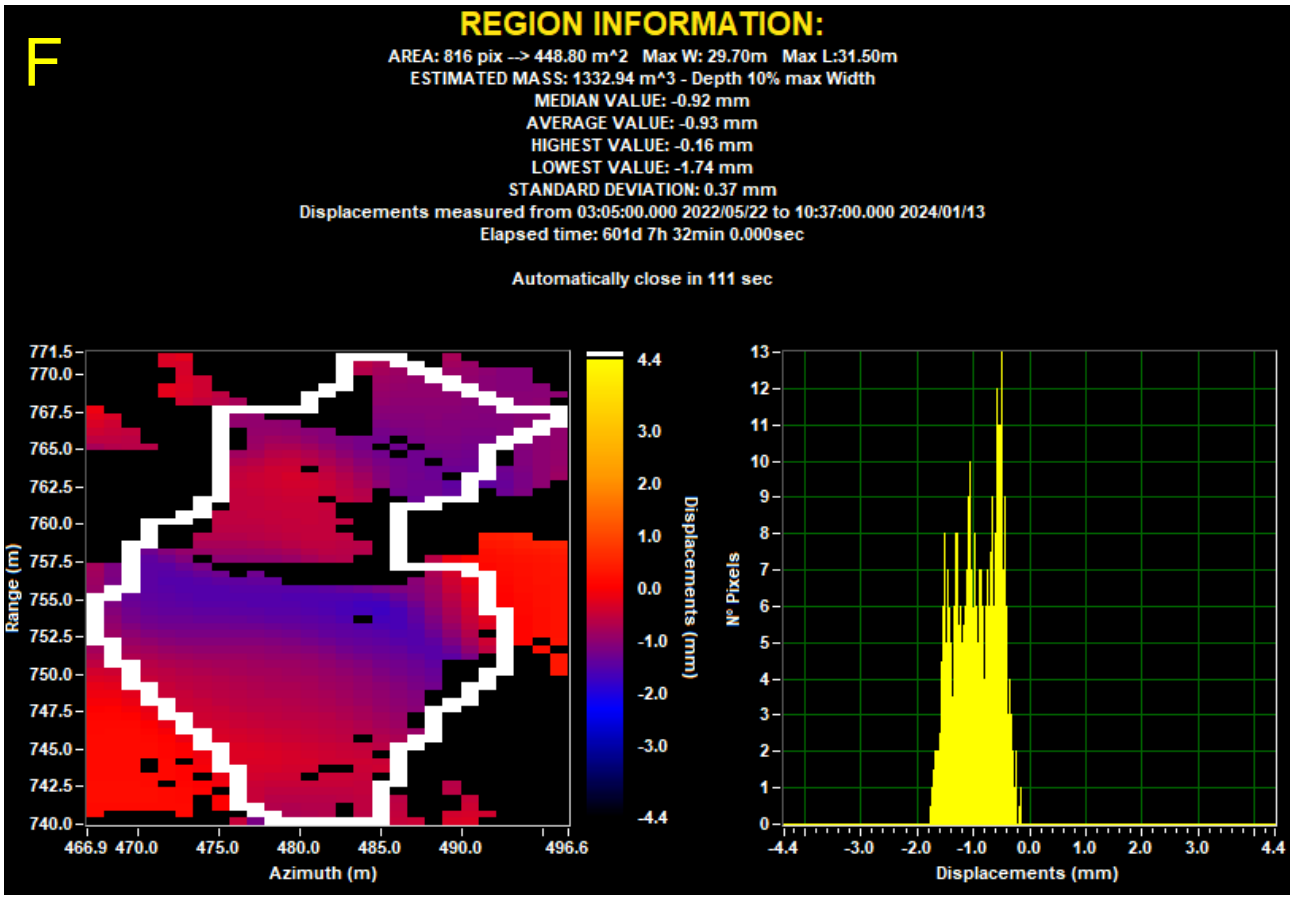


Figura 38: Mappa di spostamento per il periodo 22 Maggio 2022 – 13 Gennaio 2024. Proiettata sull'immagine ottica del versante. Postazione Ovest, sottofinestra Near.

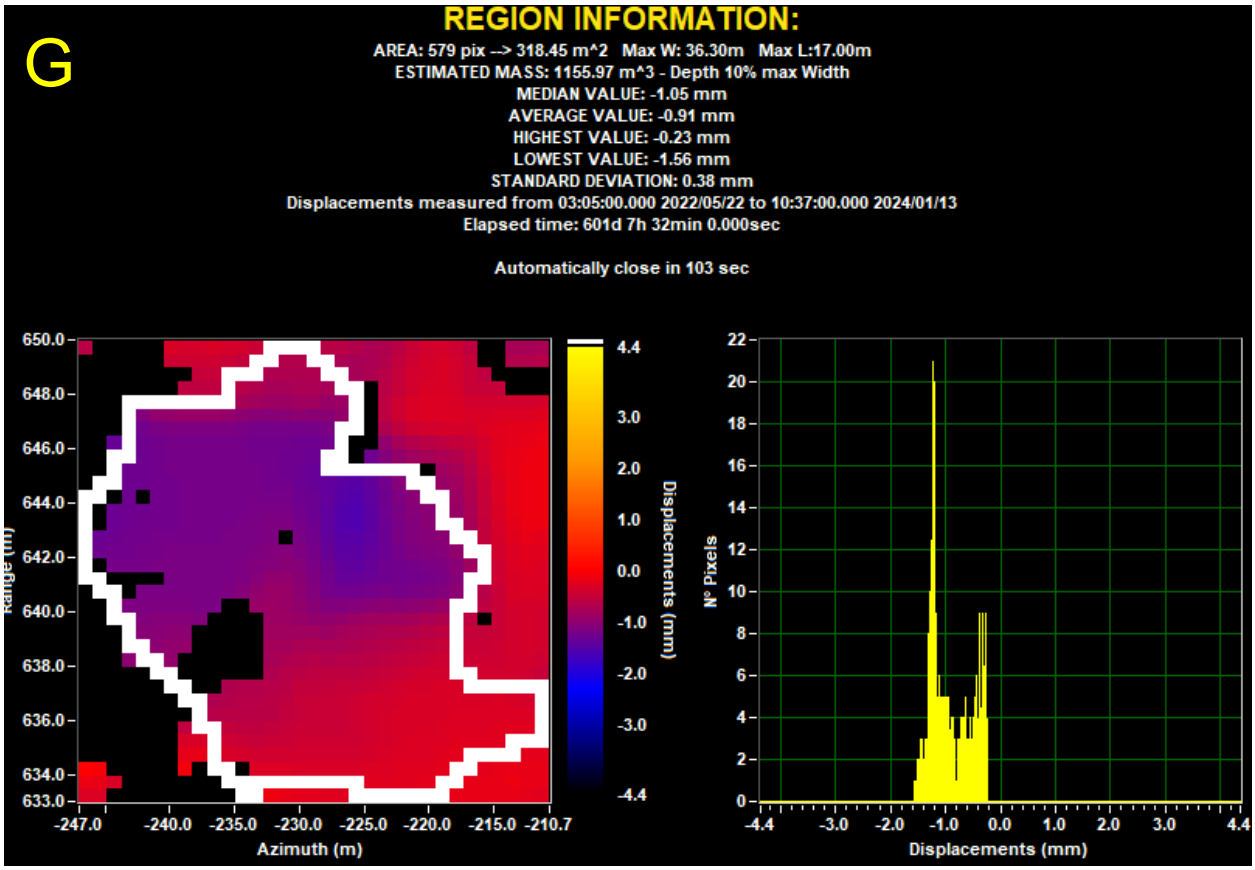
Dall'analisi sul lungo termine eseguita tra la campagna di Maggio 2022 e la campagna di Gennaio 2024 per la postazione *Ovest Near* si osservano movimenti all'interno delle tre aree F, G ed X. La prima area corrisponde alla regione F che mostra spostamenti differenziali pari a circa -0.9 mm in avvicinamento rispetto al sistema, la seconda area corrisponde alla regione G che mostra spostamenti differenziali pari a circa -0.9 mm in avvicinamento al sistema mentre la terza area corrisponde alla regione X che mostra spostamenti differenziali pari a circa -2.0 mm in avvicinamento al sistema. Tutti i valori enunciati in questo paragrafo si riferiscono ad un intervallo temporale di 601 giorni, 8 ore e 32 minuti.

Quest'ultima analisi afferisce ad un periodo molto più lungo (circa 601 giorni) rispetto al minore intervallo di 101 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, questi spostamenti, siano ciclici e influenzati da un forcing di tipo termico. È infatti evidente come gli spostamenti

rilevabili nelle zone F e G diminuiscano estendendo il periodo di osservazione. Questo comportamento è nuovamente in linea con gli effetti termici già enunciati in precedenza.



LISALAB



ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	**Argomento:**	**VI PC monitoraggio pareti rocciose del Monte Avedèe nel Comune di Novate Mezzola (SO) – Gennaio 2024**					**Data di creazione:**	**16 Febbraio 2024**
	Riferimento Cliente:	**Comunità Montana Valchiavenna**	**Rif. int.:**	**AG**	**Rev.:**	**00**	**Data di revisione:**	**-**
	File:	**rep.cvc.240216.ag.00**	**Note:**	**CONFIDENZIALE**			**Page:**	**49**

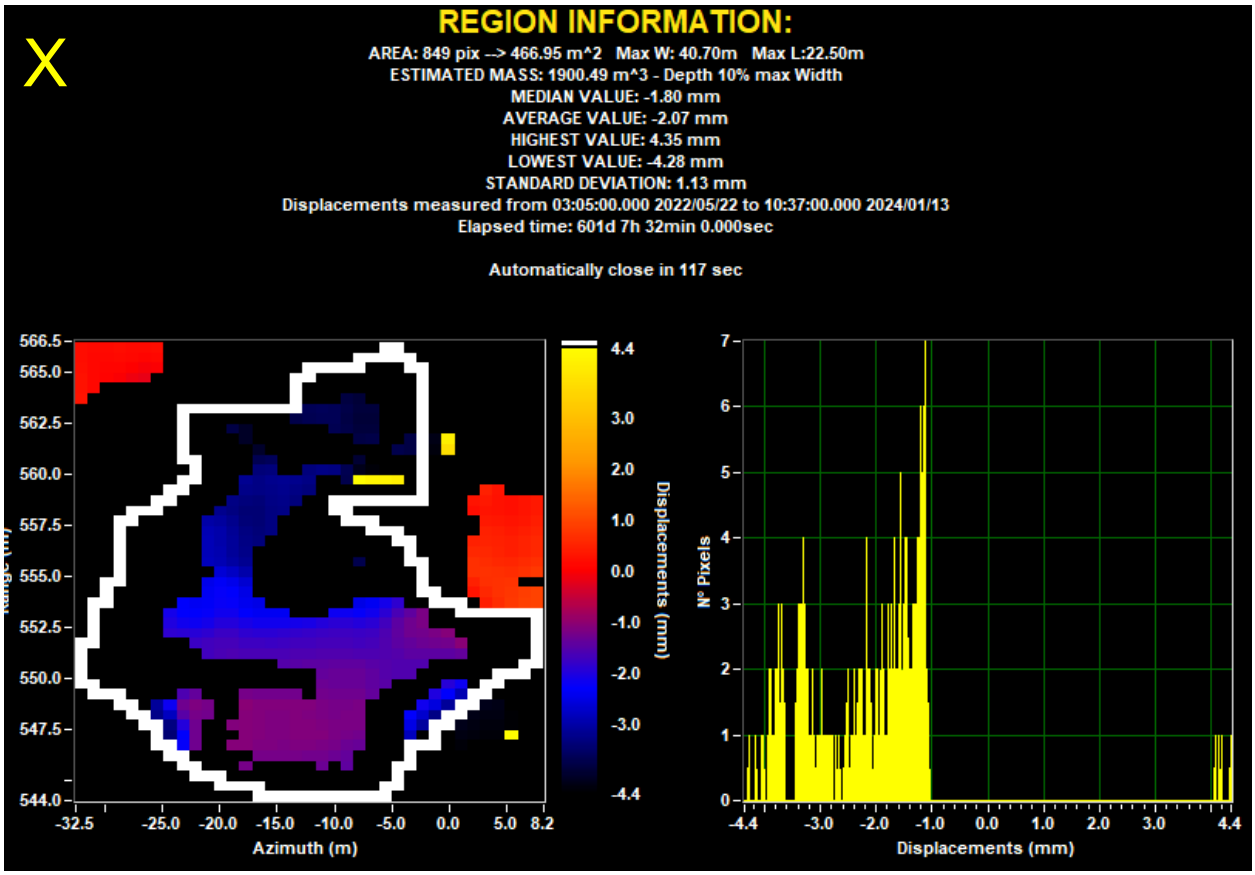


Figura 39: Analisi statistica eseguita sulle aree in movimento riconosciute in movimento nel periodo 22 Maggio 2022 – 13 Gennaio 2024. Postazione Ovest, sottofinestra Near.

LISALAB

Postazione Ovest Far

Analisi per il periodo 4 Ottobre 2023 – 13 Gennaio 2024

Di seguito vengono presentati i risultati ottenuti per la postazione *Ovest Far* riferiti all'intervallo di tempo di circa 101 giorni tra la V e la VI campagna di misura.

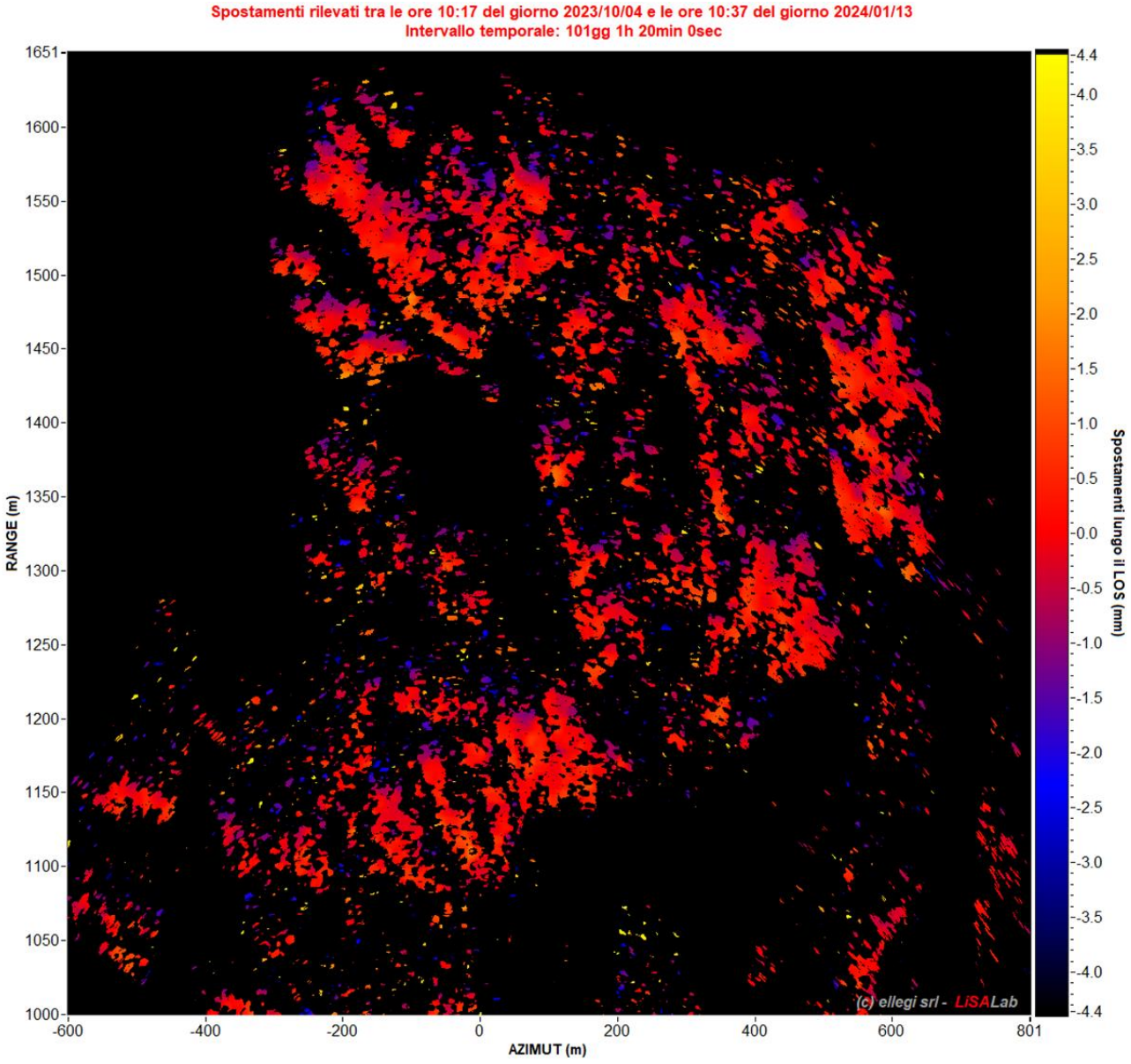


Figura 40: Mappa di spostamento 2D per il periodo 4 Ottobre 2023 – 13 Gennaio 2024. Postazione Ovest, sottofinestra Far.

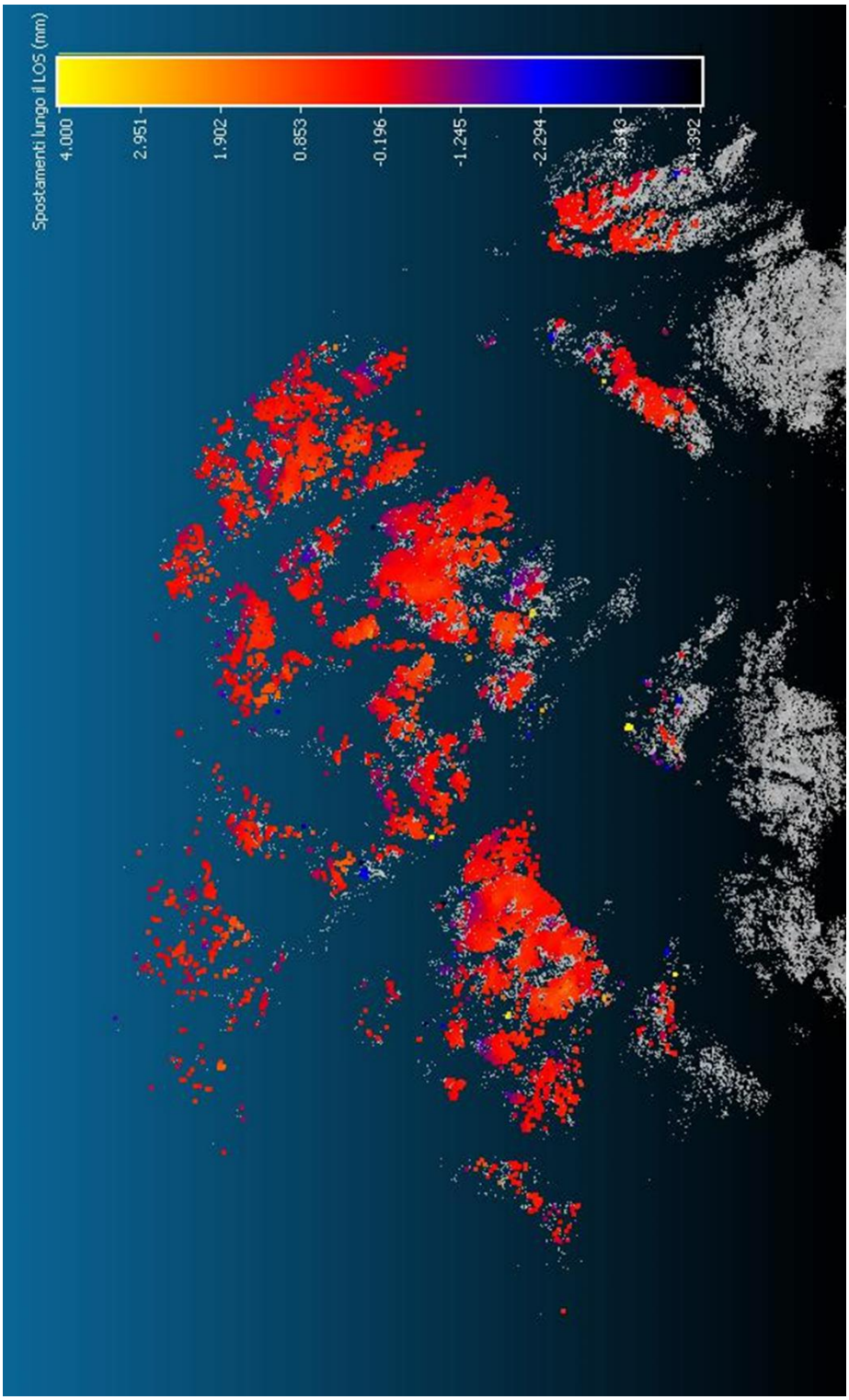


Figura 41: Mappa di spostamento 3D per il periodo 4 Ottobre 2023 – 13 Gennaio 2024 su Point Cloud. Postazione Ovest, sottofinestra Far.

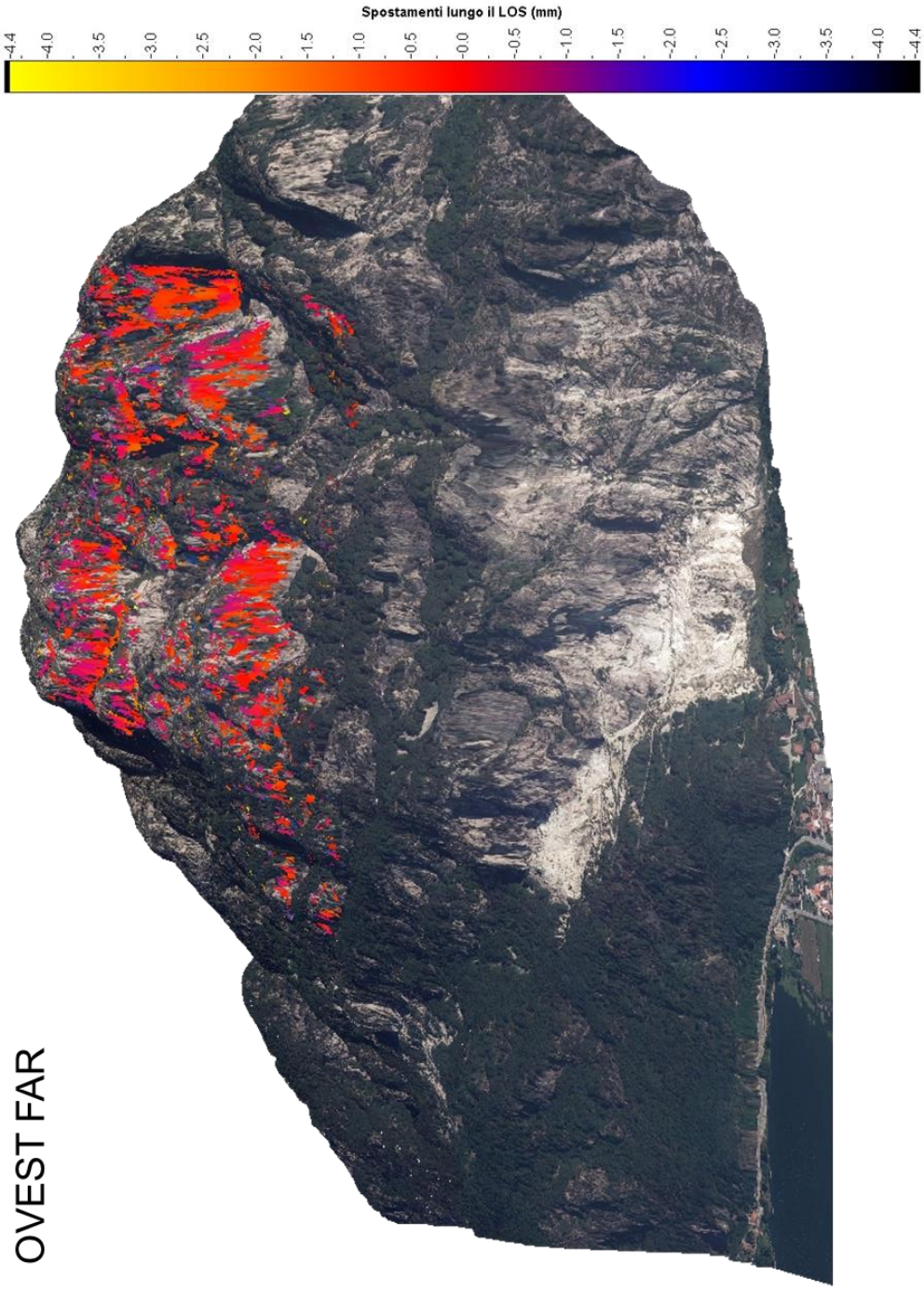


Figura 42: Mappa di spostamento 3D per il periodo 4 Ottobre 2023 – 13 Gennaio 2024 su DEM del versante. Postazione Ovest, sottofinestra Far.

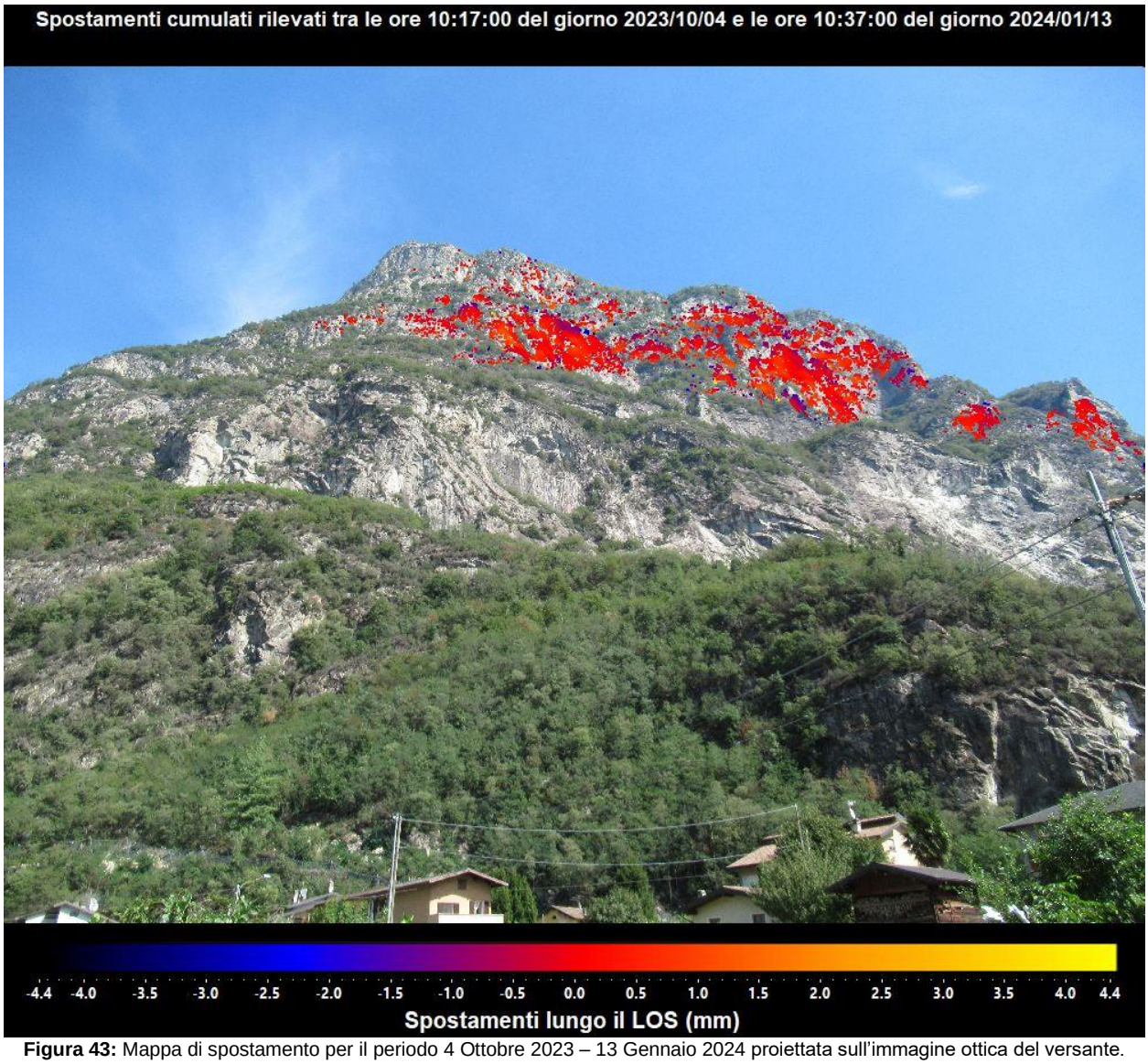


Figura 43: Mappa di spostamento per il periodo 4 Ottobre 2023 – 13 Gennaio 2024 proiettata sull'immagine ottica del versante. Postazione Ovest, sottofinestra Far.

Dall'analisi sul lungo termine eseguita tra la campagna di Giugno 2023 e la campagna di Gennaio 2024 per la postazione Ovest Far non si evidenziano aree con spostamenti superiori alla precisione strumentale. Anche l'area B, riconosciuta in movimento nel corso dei precedenti report periodici, mostra qui spostamenti inferiori alla precisione strumentale.

LISALAB

Analisi per il periodo 22 Maggio 2022 – 13 Gennaio 2024

Di seguito vengono presentati i risultati ottenuti per la postazione *Ovest Far* riferiti all'intervallo di tempo tra la I e la VI campagna di misura (22 Maggio 2022 – 13 Gennaio 2024). L'intervallo di tempo qui considerato è di 610 giorni, 8 ore e 59 minuti.

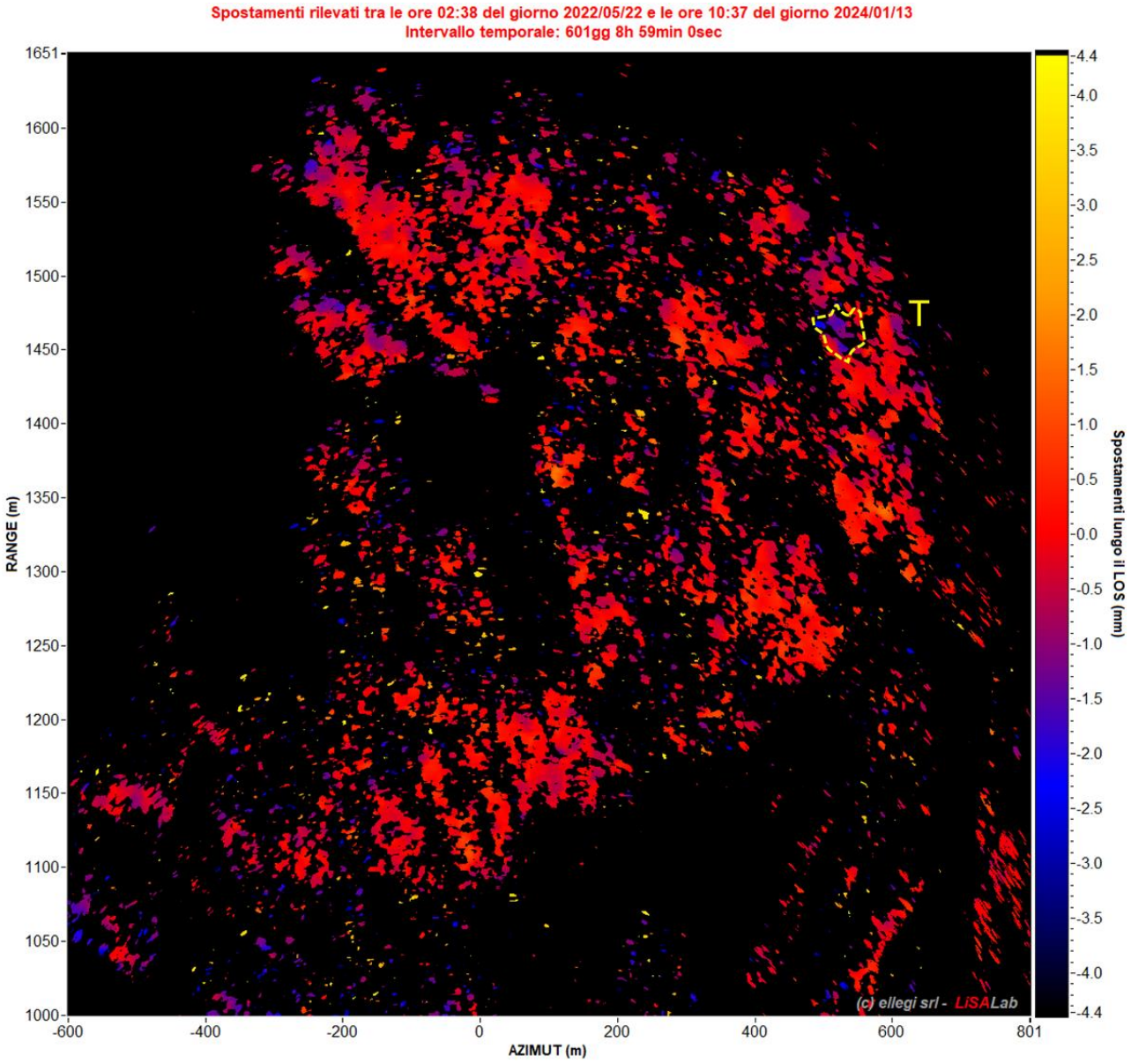


Figura 44: Mappa di spostamento 2D per il periodo 22 Maggio 2022 – 13 Gennaio 2024. Postazione Ovest, sottofinestra Far.

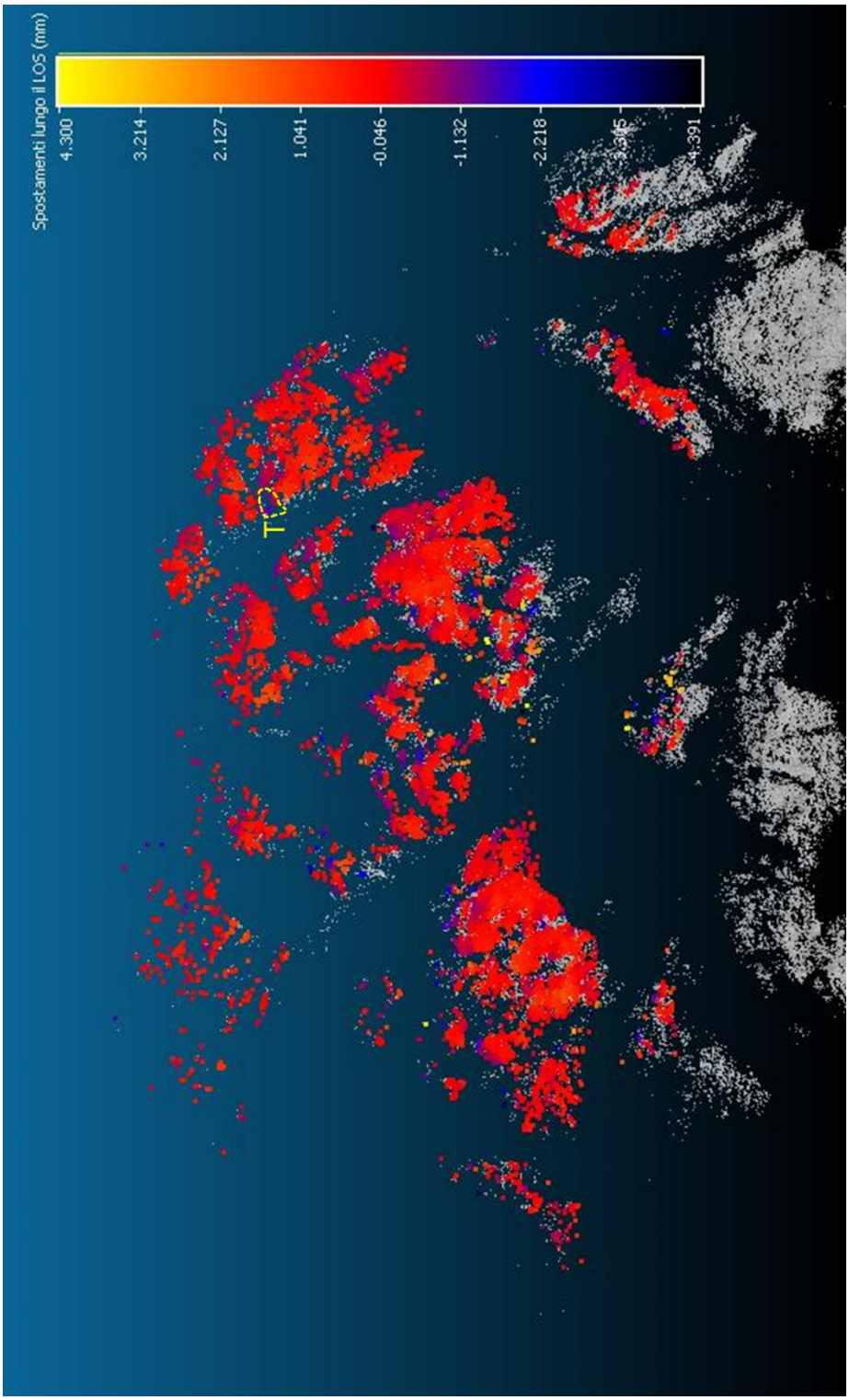


Figura 45: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 Maggio 2022 – 13 Gennaio 2024. su Point Cloud. Postazione Ovest, sottofinestra Far.

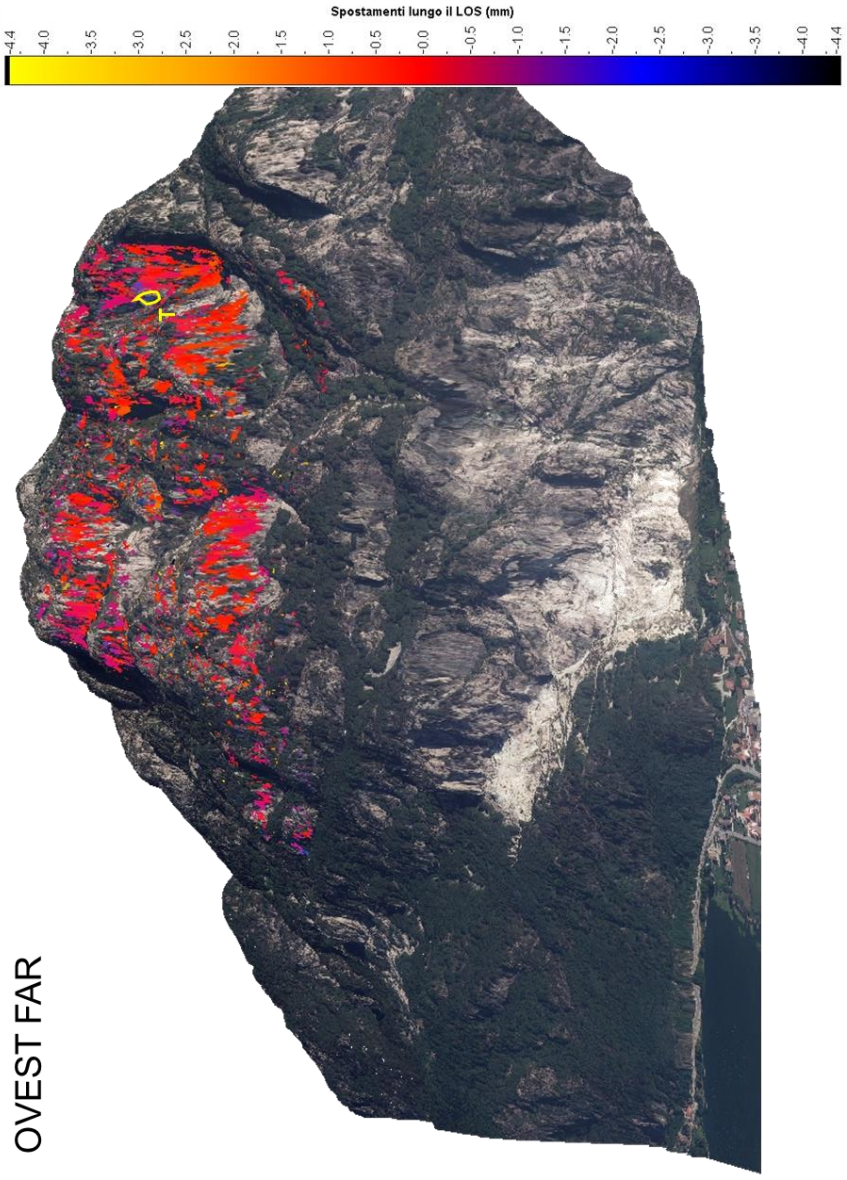


Figura 46: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 Maggio 2022 – 13 Gennaio 2024 su DEM del versante. Postazione Ovest, sottofinestra Far.

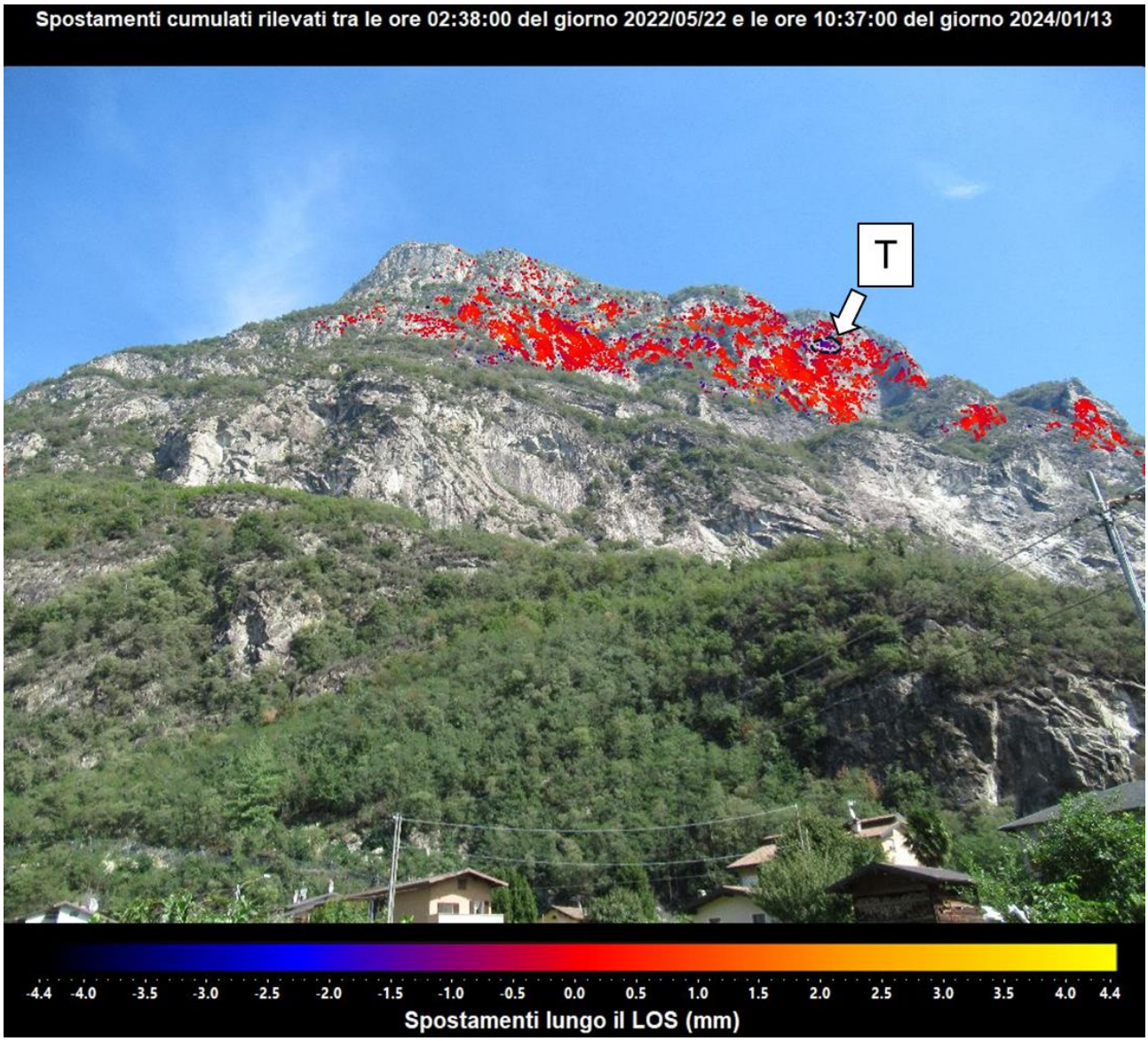


Figura 47: Mappa di spostamento per il periodo 22 Maggio 2022 – 13 Gennaio 2024 proiettata sull'immagine ottica del versante. Postazione Ovest, sottofinestra Far.

Dall'analisi di lungo termine eseguita tra la campagna di Maggio 2022 e la campagna di Gennaio 2024 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 (-1.2 mm in avvicinamento) e le statistiche riguardanti quest'area vengono sotto riportate.

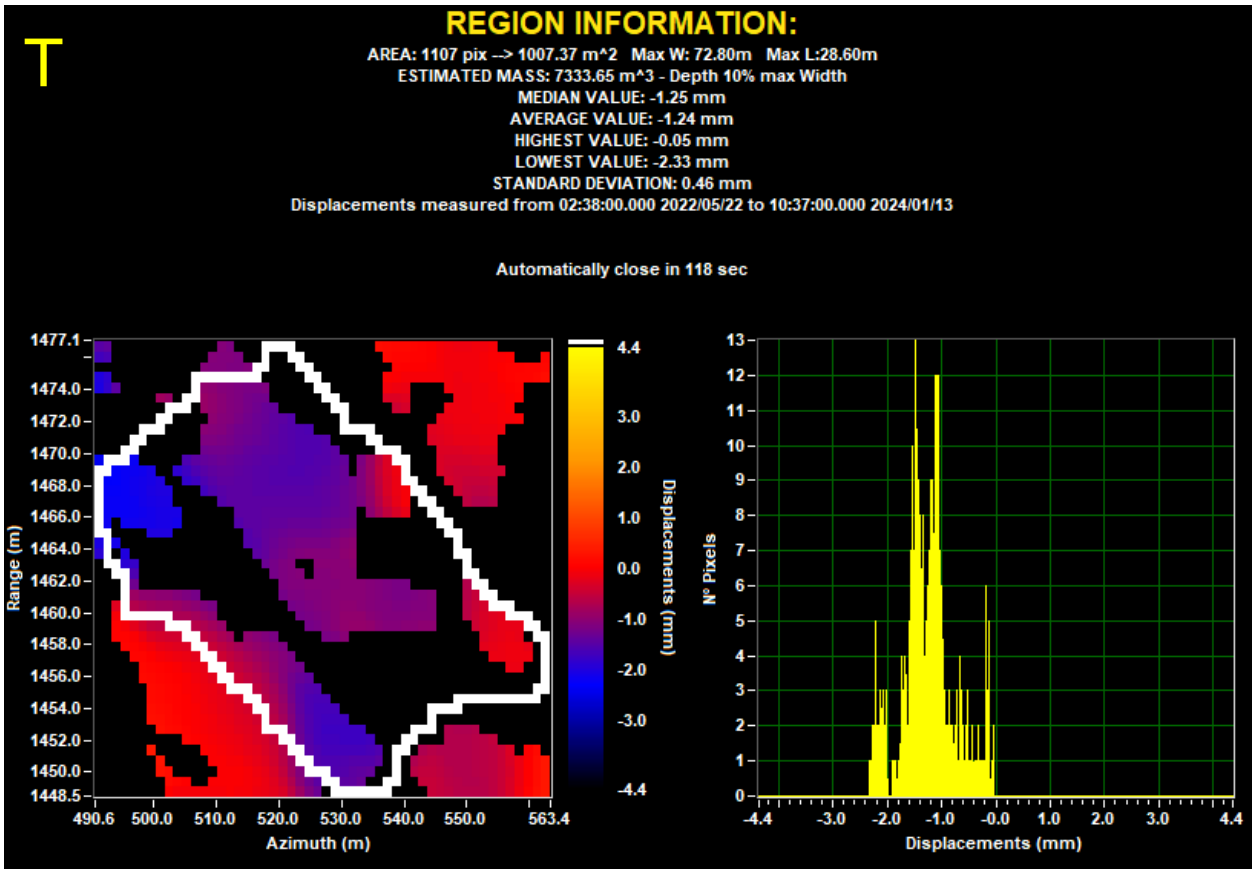


Figura 48: Mappa di spostamento per il periodo 22 Maggio 2022 – 13 Gennaio 2024 proiettata sull'immagine ottica del versante. Postazione Ovest, sottofinestra Far.

LISALAB

Postazione Est Near

Analisi per il periodo 4 Ottobre 2023 – 13 Gennaio 2024

Di seguito vengono presentati i risultati ottenuti per la postazione *Est Near* riferiti all'intervallo di tempo di circa 101 giorni tra la V e la VI campagna di misura.

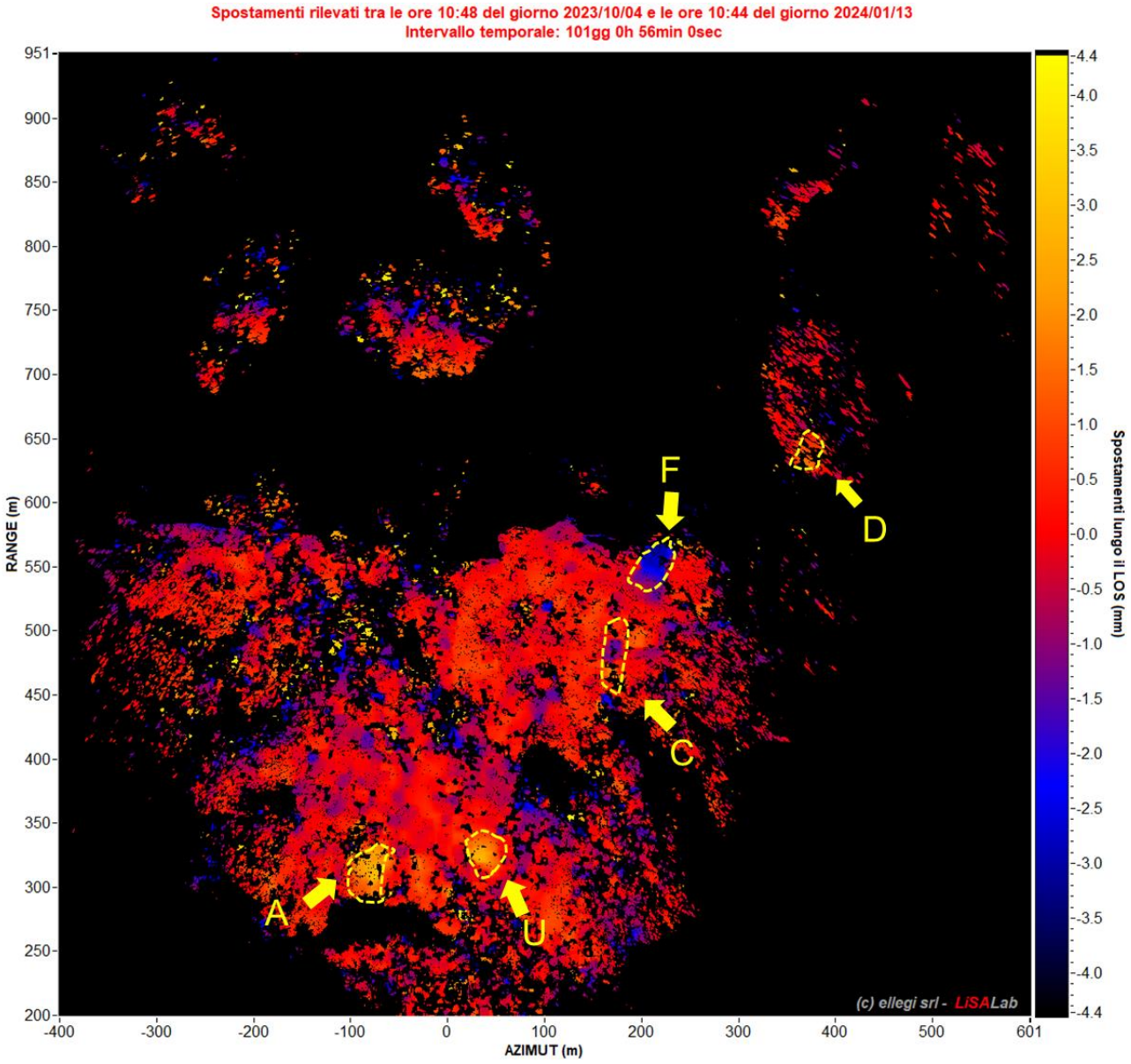


Figura 49: Mappa di spostamento 2D per il periodo 4 Ottobre 2023 – 13 Gennaio 2024. Postazione Est, sottofinestra Near. In giallo sono identificate le aree in movimento.

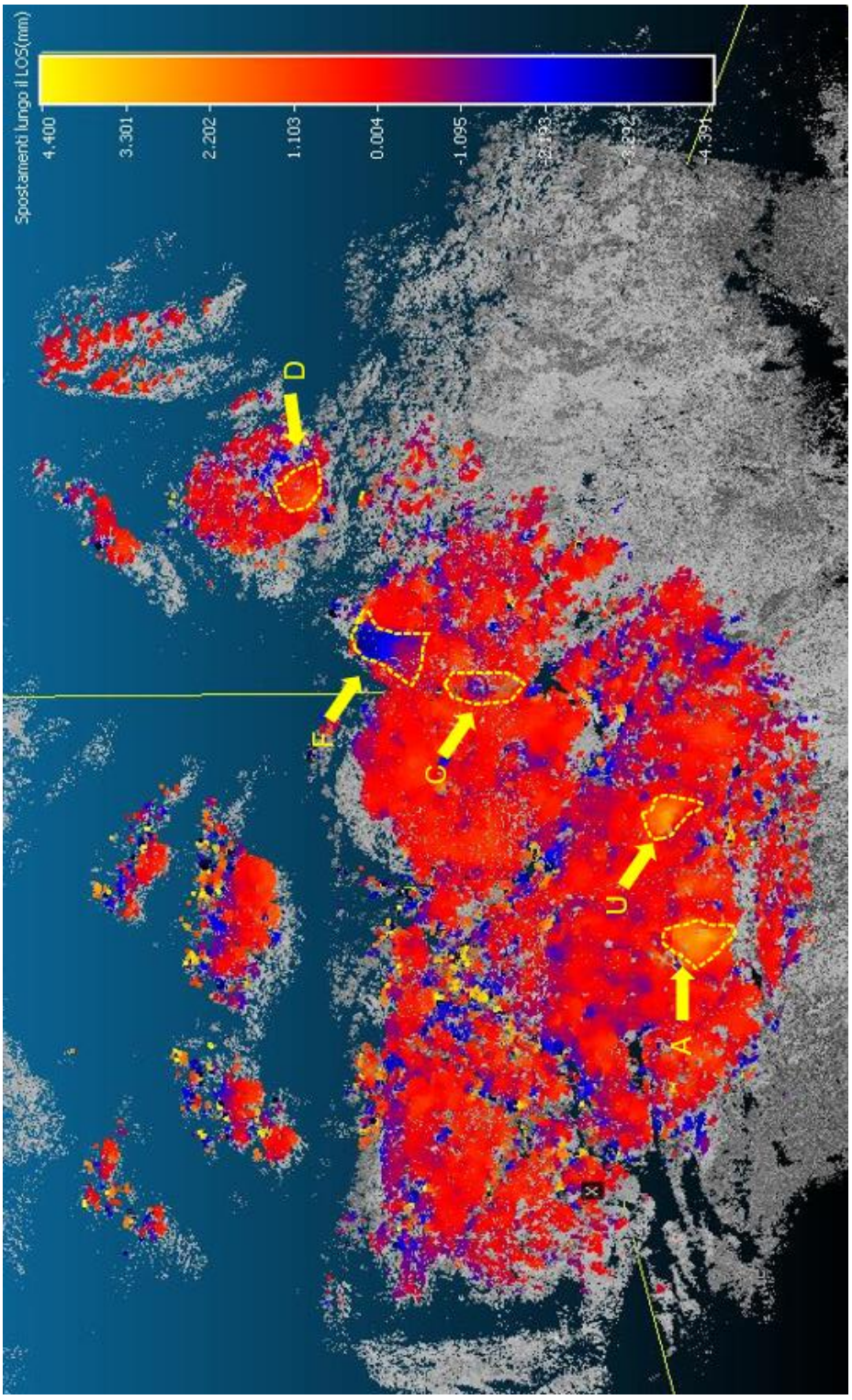


Figura 50: Mappa di spostamento 3D per il periodo 4 Ottobre 2023 – 13 Gennaio 2024 (114 giorni 23 ore e 48 minuti) su Point Cloud. Postazione Est, sottofinestra Near.

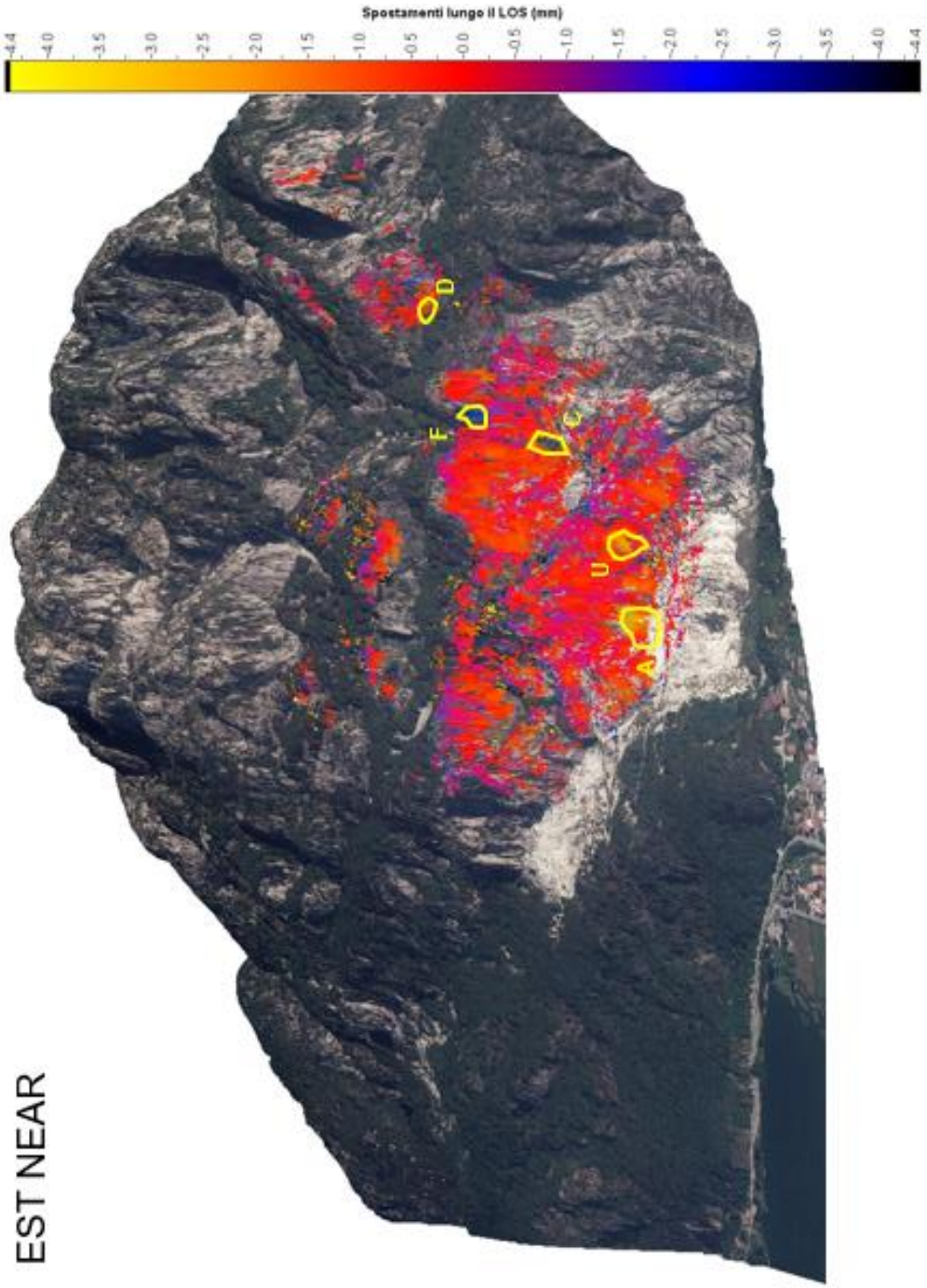


Figura 51: Mappa di spostamento 3D per il periodo 4 Ottobre 2023 – 13 Gennaio 2024 (114 giorni 23 ore e 48 minuti) su DEM del versante. Postazione Est, sottofinestra Near. In giallo sono rappresentate le aree in movimento nell'intervallo considerato.

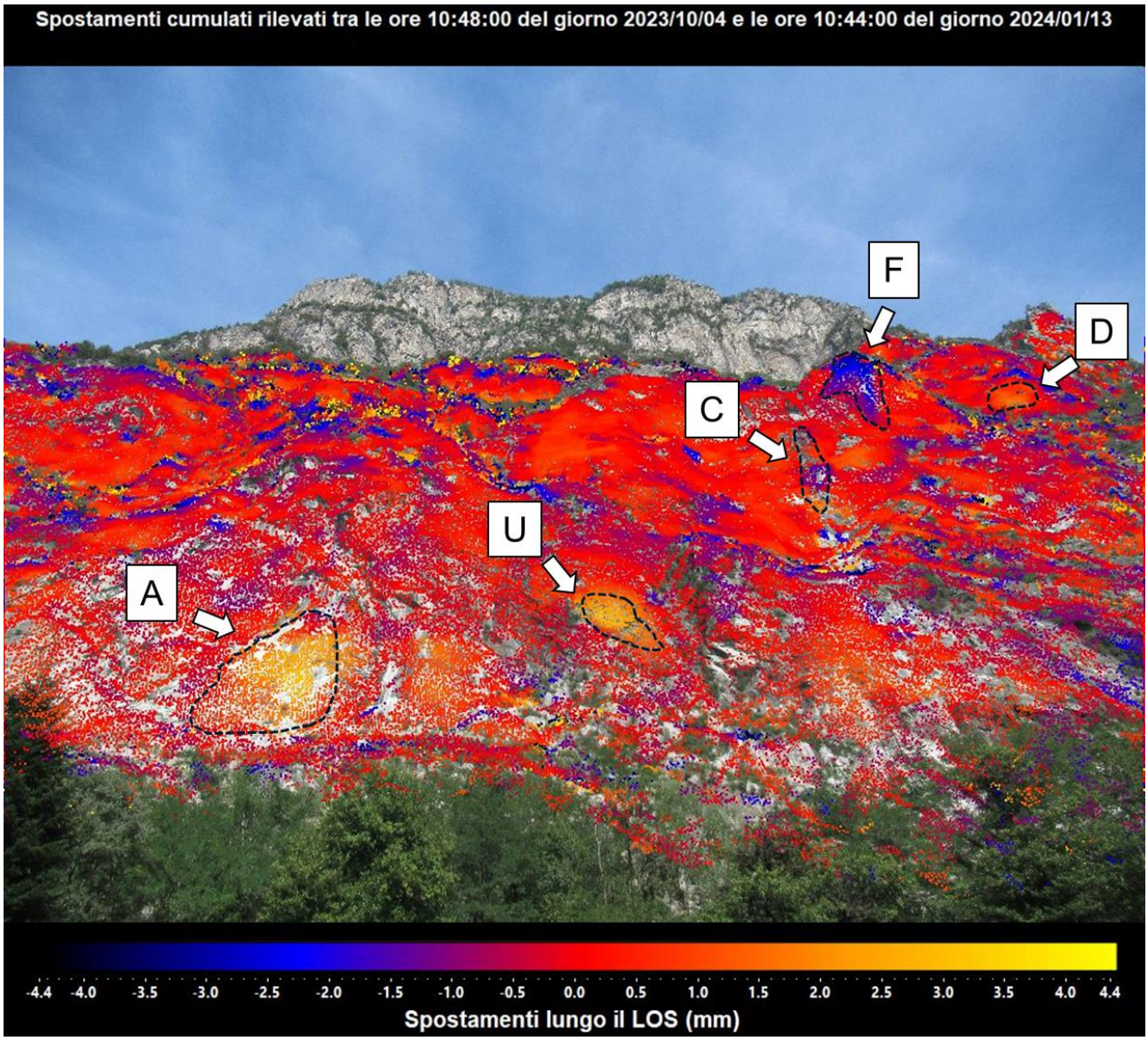


Figura 52: Mappa di spostamento per il periodo 4 Ottobre 2023 – 13 Gennaio 2024 (114 giorni 23 ore e 48 minuti) proiettata sull'immagine ottica del versante. Postazione Est, sottofinestra Near.

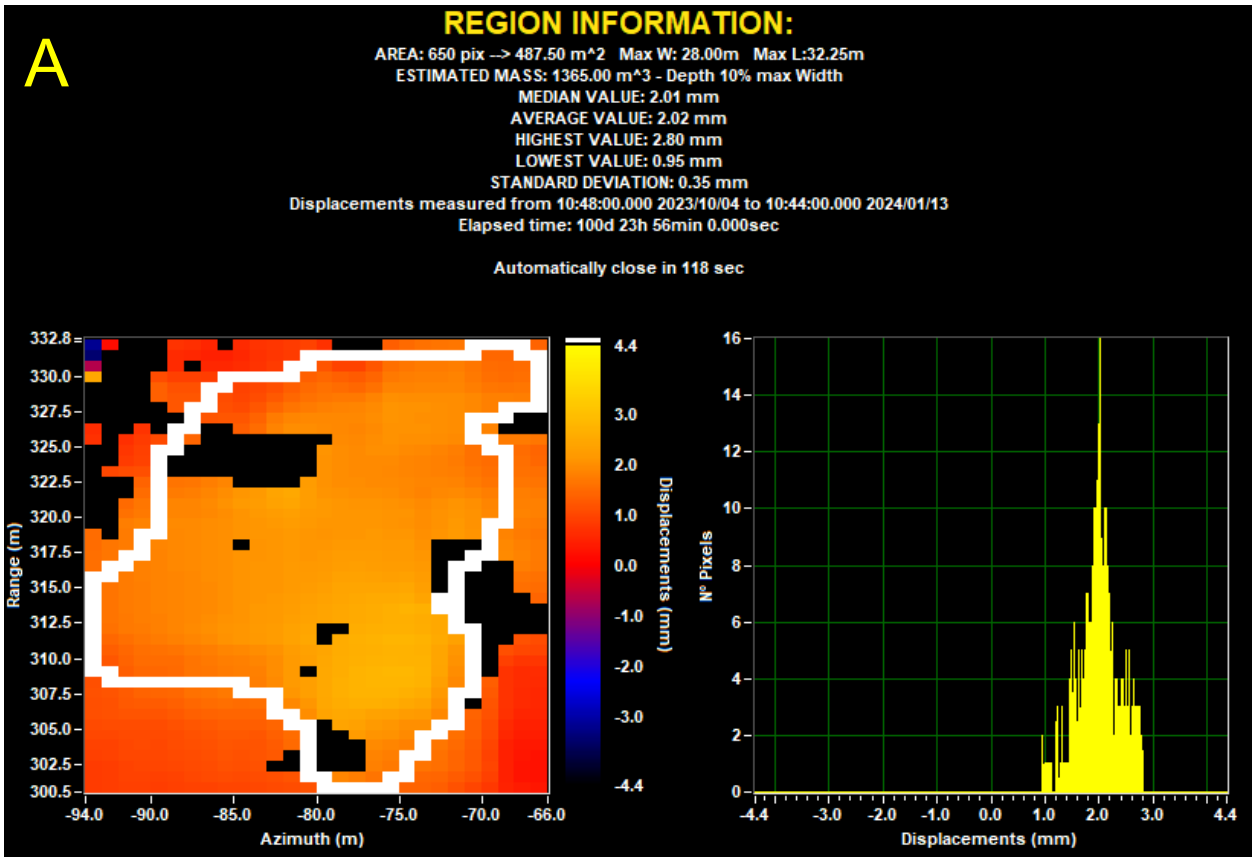
Dall'analisi sul lungo termine eseguita tra la campagna di Ottobre 2023 e la campagna di Gennaio 2024 per la postazione *Est Near* si rileva la presenza di cinque aree in movimento durante il periodo di osservazione di circa 101 giorni.

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. Viene inoltre riportata una analisi statistica ed areale in Figura 34.

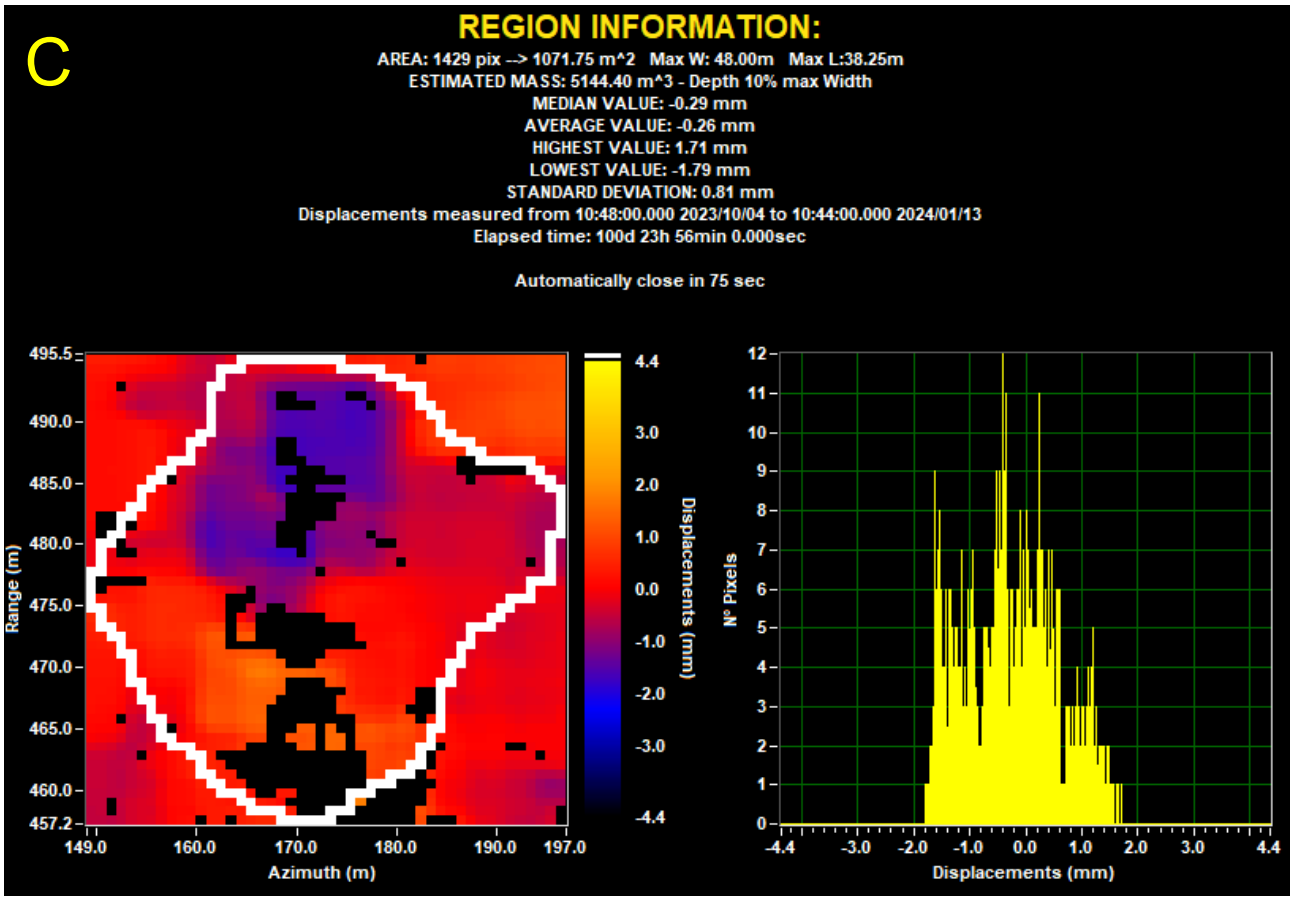
Di seguito vengono mostrati i risultati dell'analisi statistica condotta per le aree in movimento con indicata anche l'estensione ti tali aree in m^2 (calcolati in coordinate radar).

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

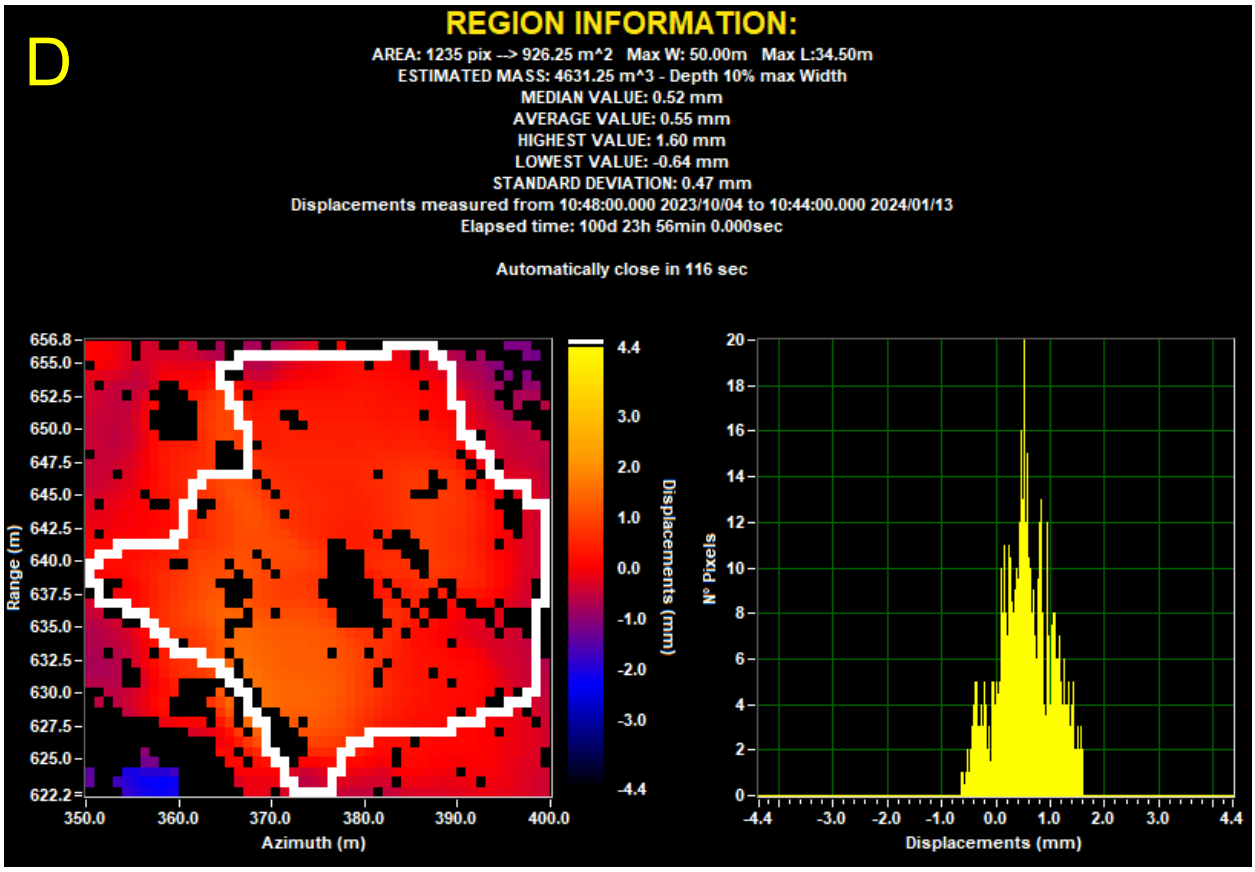
LISALAB


A
REGION INFORMATION:
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: 2.01 mm
AVERAGE VALUE: 2.02 mm
HIGHEST VALUE: 2.80 mm
LOWEST VALUE: 0.95 mm
STANDARD DEVIATION: 0.35 mm
Displacements measured from 10:48:00.000 2023/10/04 to 10:44:00.000 2024/01/13
Elapsed time: 100d 23h 56min 0.000sec
Automatically close in 118 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
Nº Pixels
Displacements (mm)

LISALAB

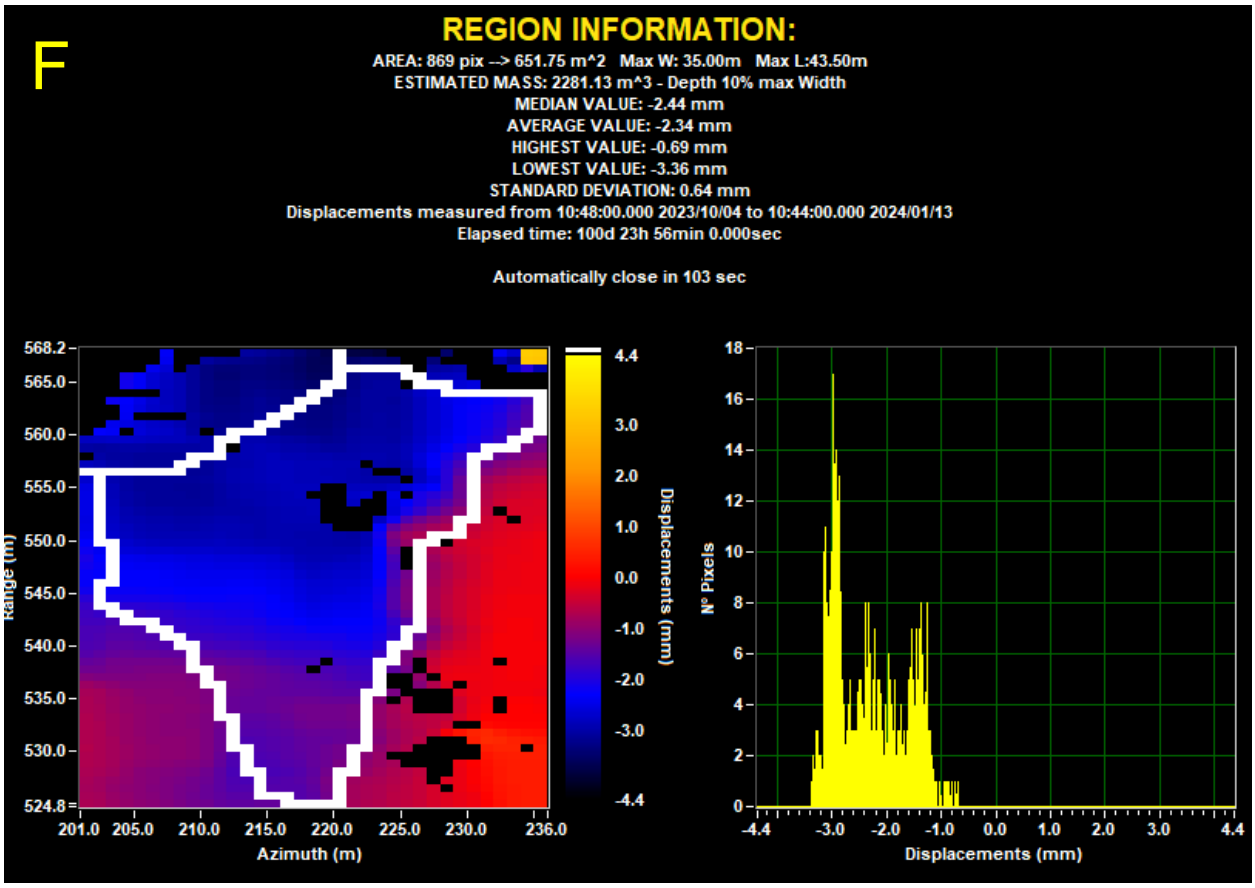

C
REGION INFORMATION:
AREA: 1429 pix --> 1071.75 m^2 Max W: 48.00m Max L:38.25m
ESTIMATED MASS: 5144.40 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: -0.29 mm
AVERAGE VALUE: -0.26 mm
HIGHEST VALUE: 1.71 mm
LOWEST VALUE: -1.79 mm
STANDARD DEVIATION: 0.81 mm
Displacements measured from 10:48:00.000 2023/10/04 to 10:44:00.000 2024/01/13
Elapsed time: 100d 23h 56min 0.000sec
Automatically close in 75 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:	VI PC monitoraggio pareti rocciose del Monte Avedèe nel Comune di Novate Mezzola (SO) – Gennaio 2024					Data di creazione:	16 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Comunità Montana Valchiavenna	Rif. int.:	AG	Rev.:	00	Data di revisione:	-
	File:	rep.cvc.240216.ag.00	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	66

LISALAB


F
REGION INFORMATION:
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: -2.44 mm
AVERAGE VALUE: -2.34 mm
HIGHEST VALUE: -0.69 mm
LOWEST VALUE: -3.36 mm
STANDARD DEVIATION: 0.64 mm
Displacements measured from 10:48:00.000 2023/10/04 to 10:44:00.000 2024/01/13
Elapsed time: 100d 23h 56min 0.000sec
Automatically close in 103 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
N° Pixels
Displacements (mm)

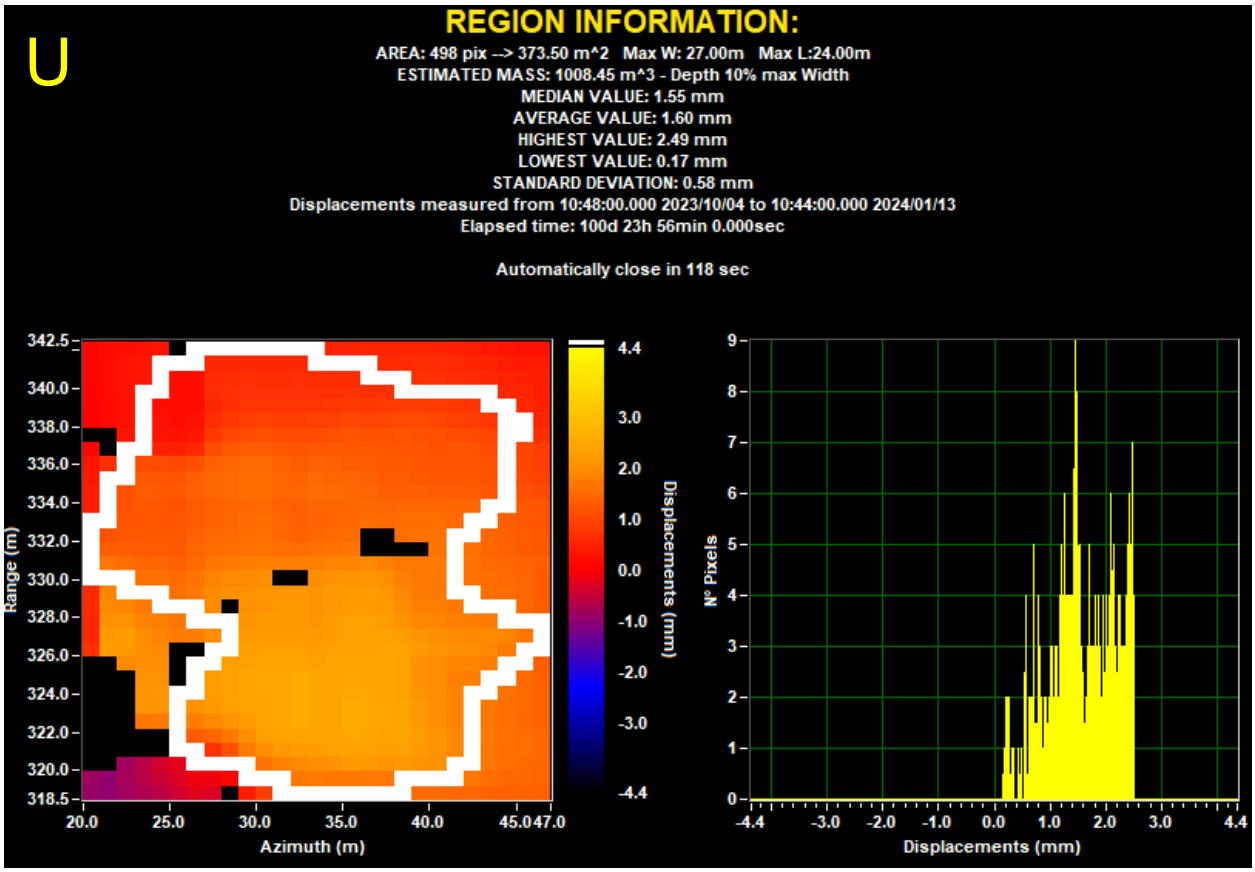


Figura 53: Analisi statistica eseguita sulle aree in movimento per il periodo 4 Ottobre 2023 – 13 Gennaio 2024. Postazione Est, sottofinestra Near.

LISALAB

Analisi per il periodo 22 Maggio 2022 – 13 Gennaio 2024

Di seguito vengono presentati i risultati ottenuti per la postazione *Est Near* riferiti all'intervallo di tempo tra la I e la VI campagna di misura (22 Maggio 2022 – 13 Gennaio 2024). L'intervallo considerato è di 601 giorni 8 ore e 23 minuti.

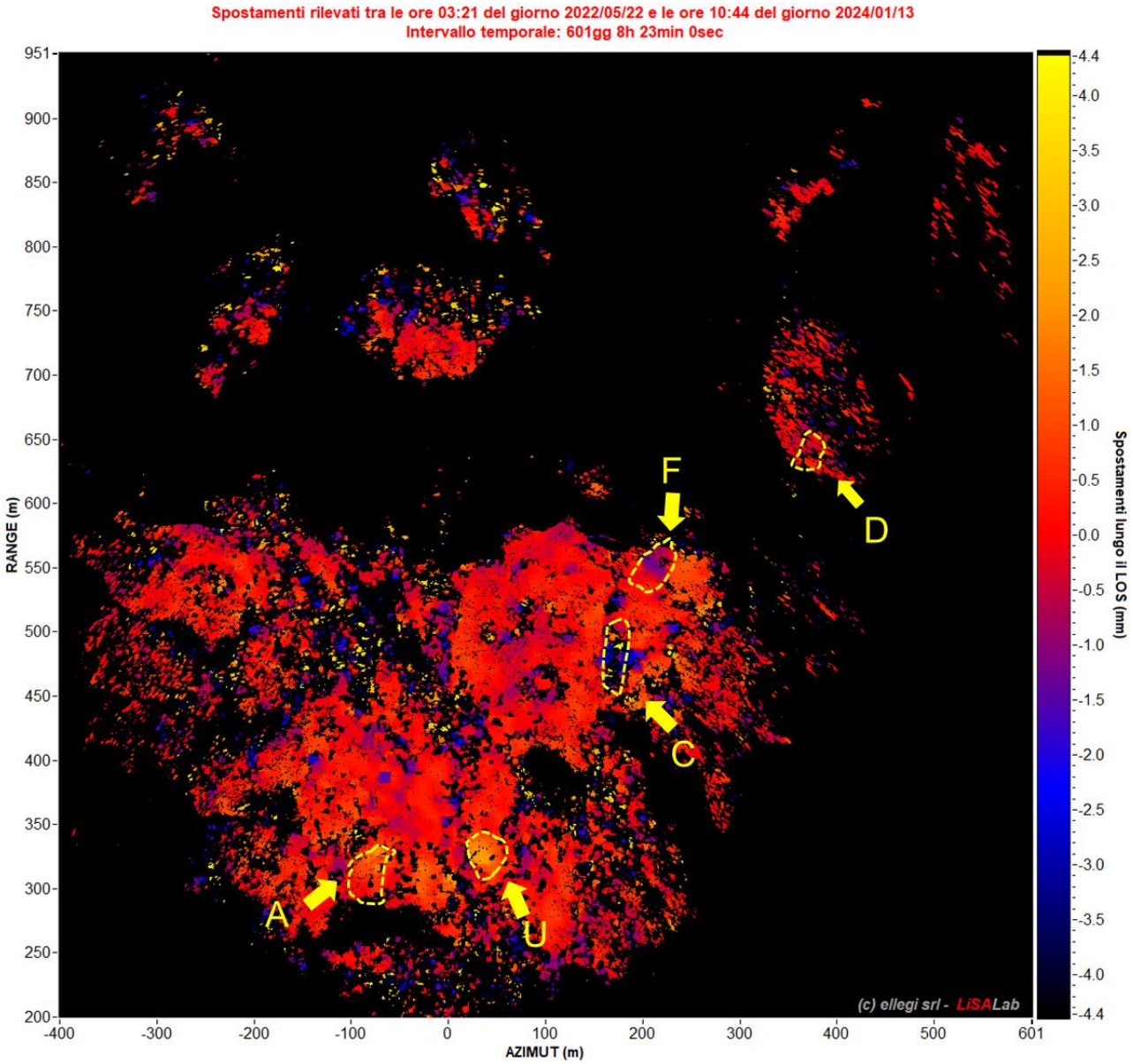


Figura 54: Mappa di spostamento 2D per il periodo 22 Maggio 2022 – 13 Gennaio 2024. Postazione Est, sottofinestra Near In giallo sono rappresentate le aree riconosciute in movimento.

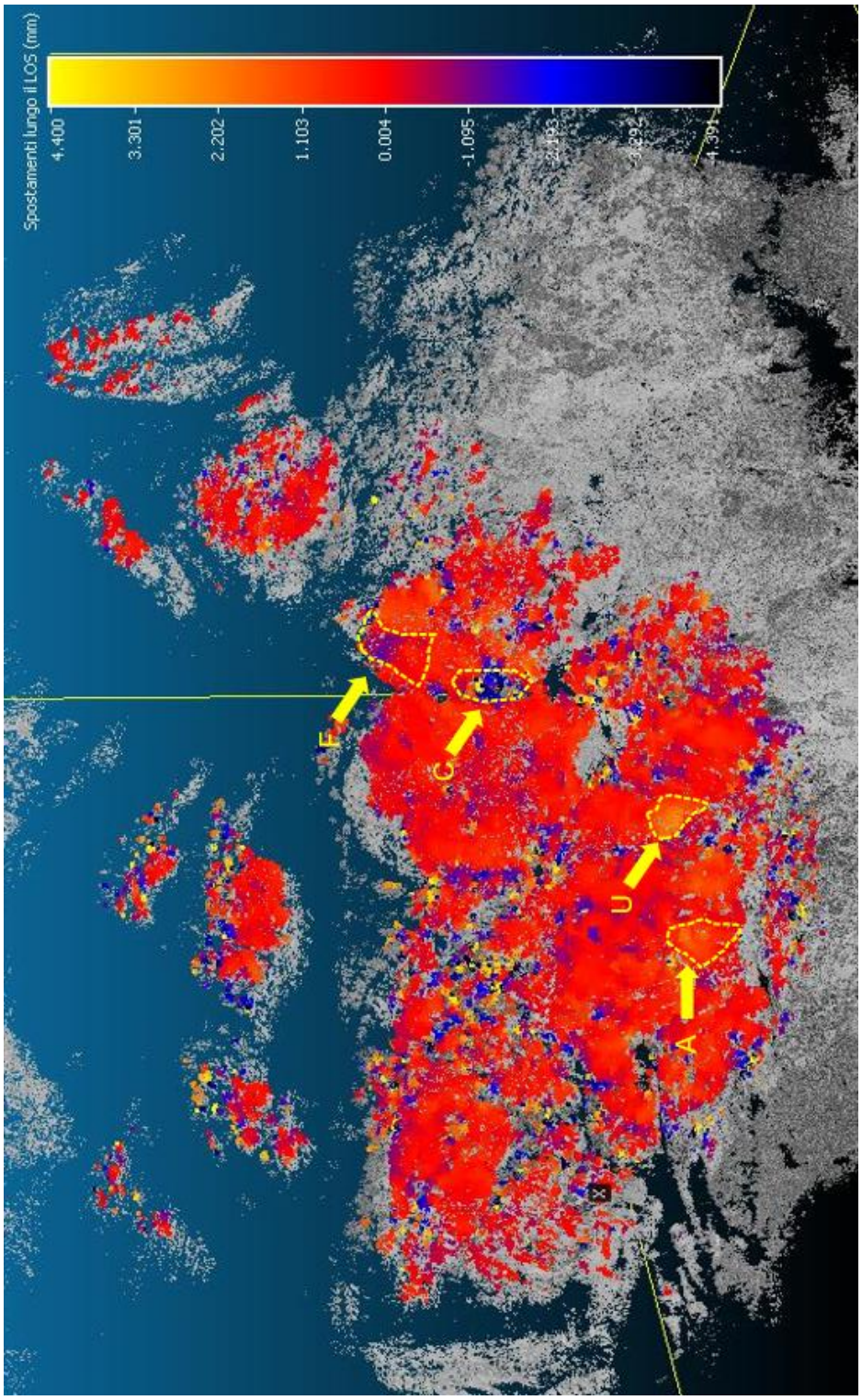


Figura 55: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 Maggio 2022 – 13 Gennaio 2024 su Point Cloud. Postazione Est, sottofinestra Near.

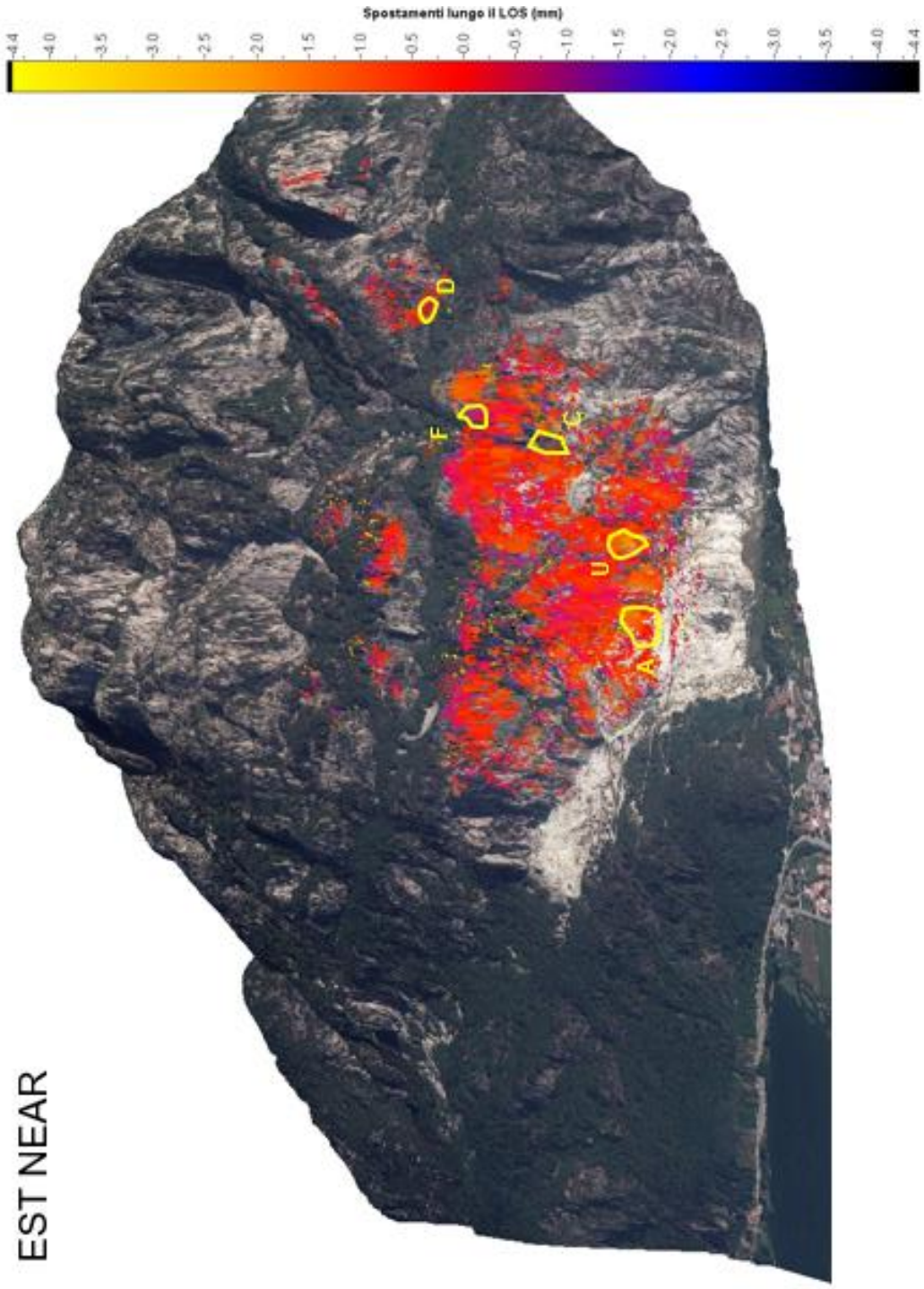


Figura 56: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 Maggio 2022 – 13 Gennaio 2024 su DEM del versante. Postazione Est, sottofinestra Near. In giallo sono rappresentate le aree in movimento nell'intervallo considerato.

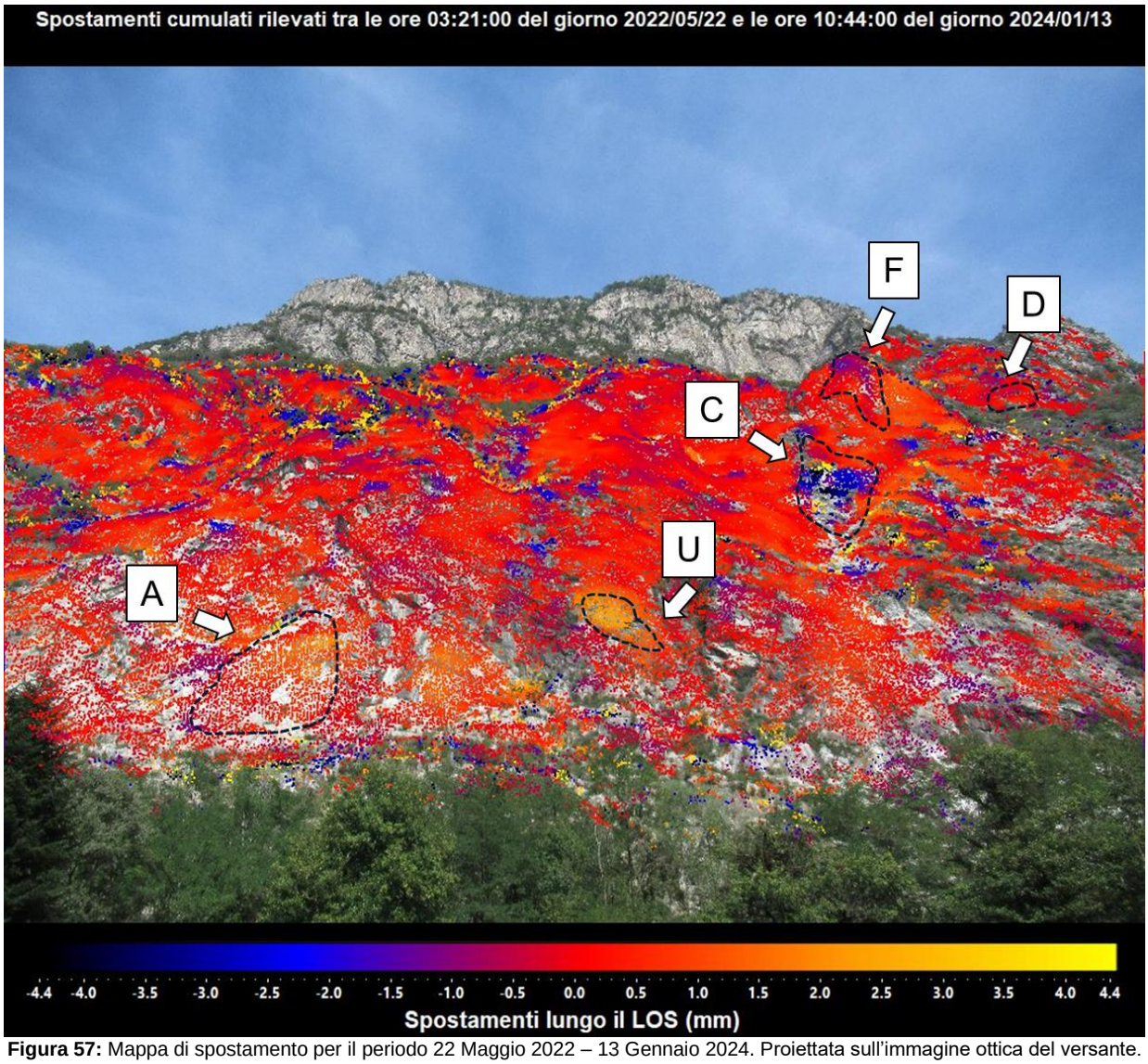


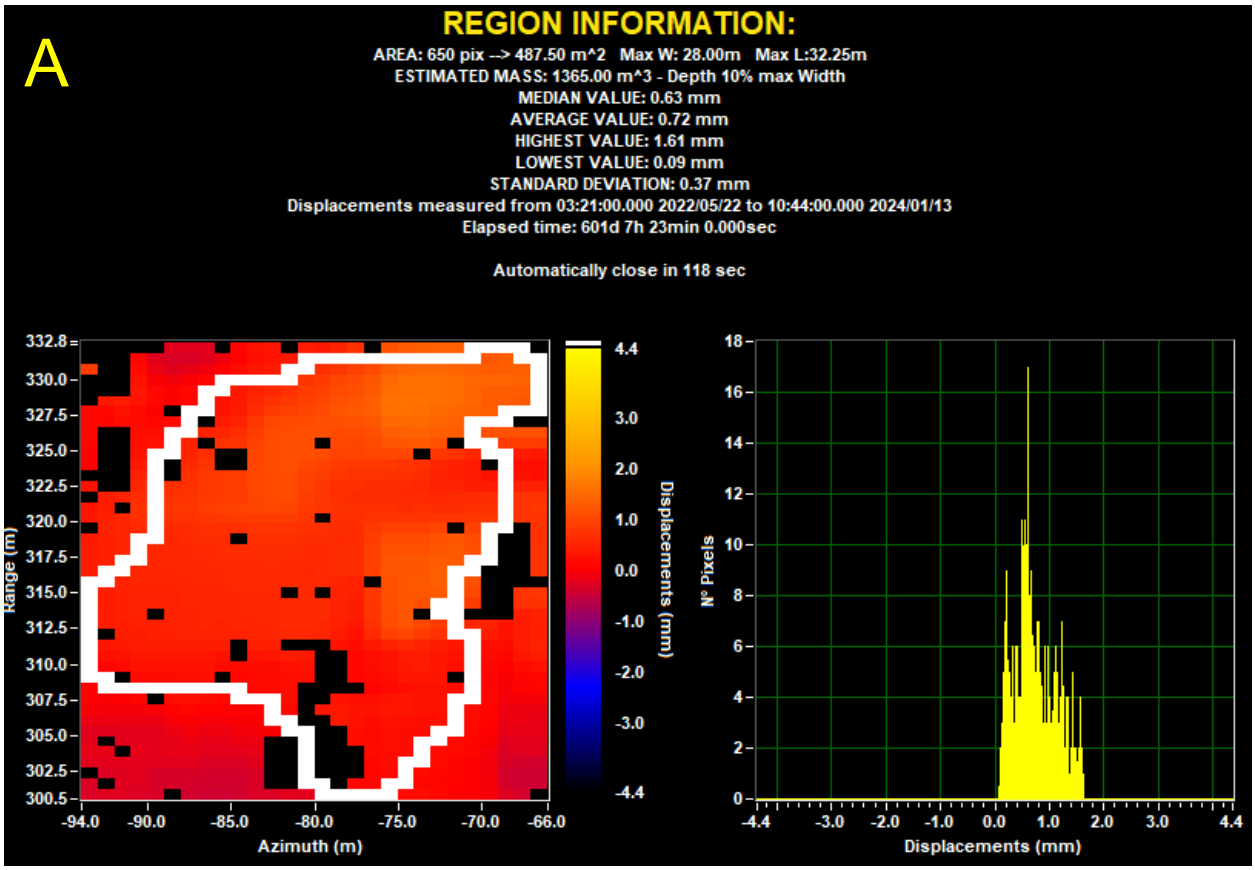
Figura 57: Mappa di spostamento per il periodo 22 Maggio 2022 – 13 Gennaio 2024. Proiettata sull'immagine ottica del versante. Postazione Est, sottofinestra Near.

Dall'analisi di lungo termine eseguita tra la campagna di Maggio 2022 e la campagna di Gennaio 2024 per la postazione *Est Near* è stata rilevata la presenza di alcune aree in movimento.

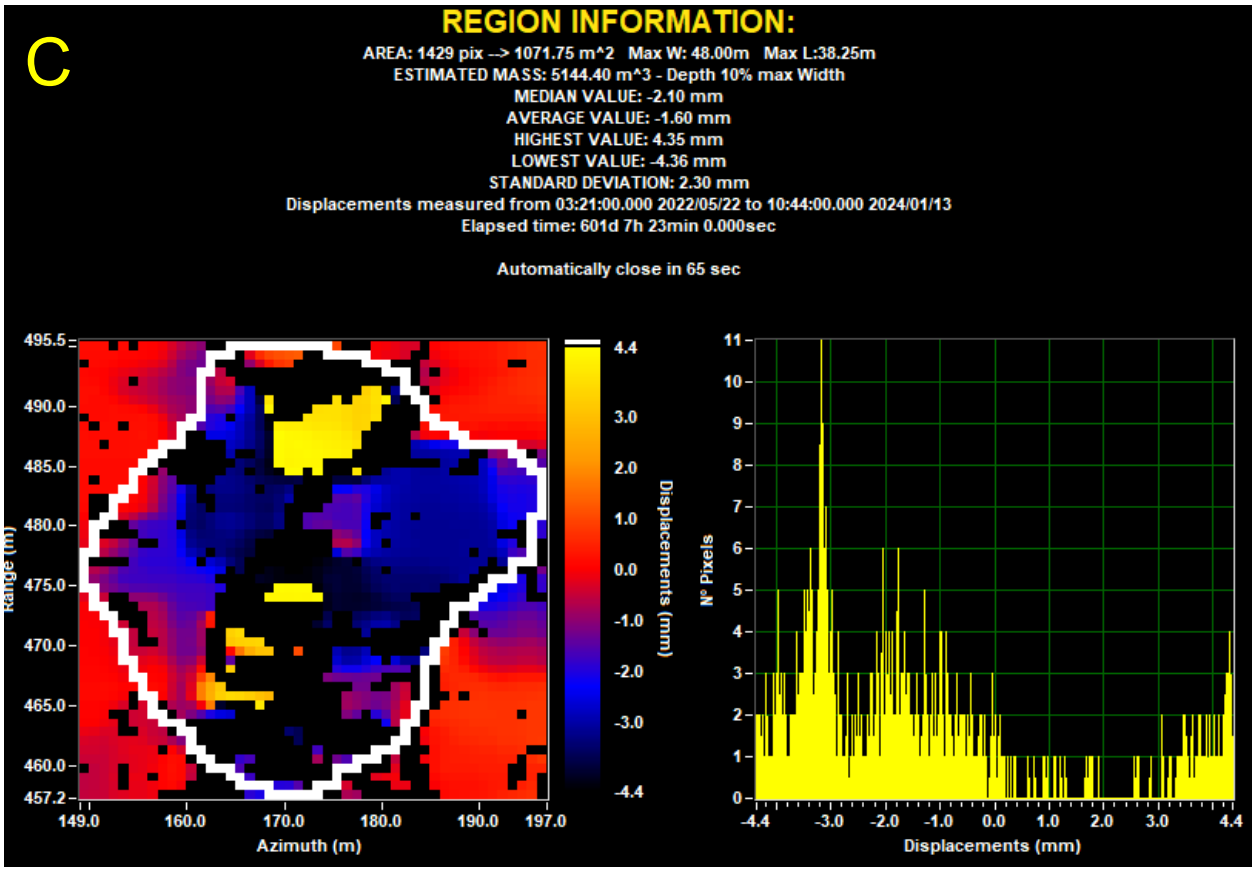
Di seguito vengono mostrati i risultati dell'analisi statistica condotta per le aree in movimento in cui viene ripotata anche l'ampiezza di ogni area espressa come m^2 calcolati in coordinate radar.

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

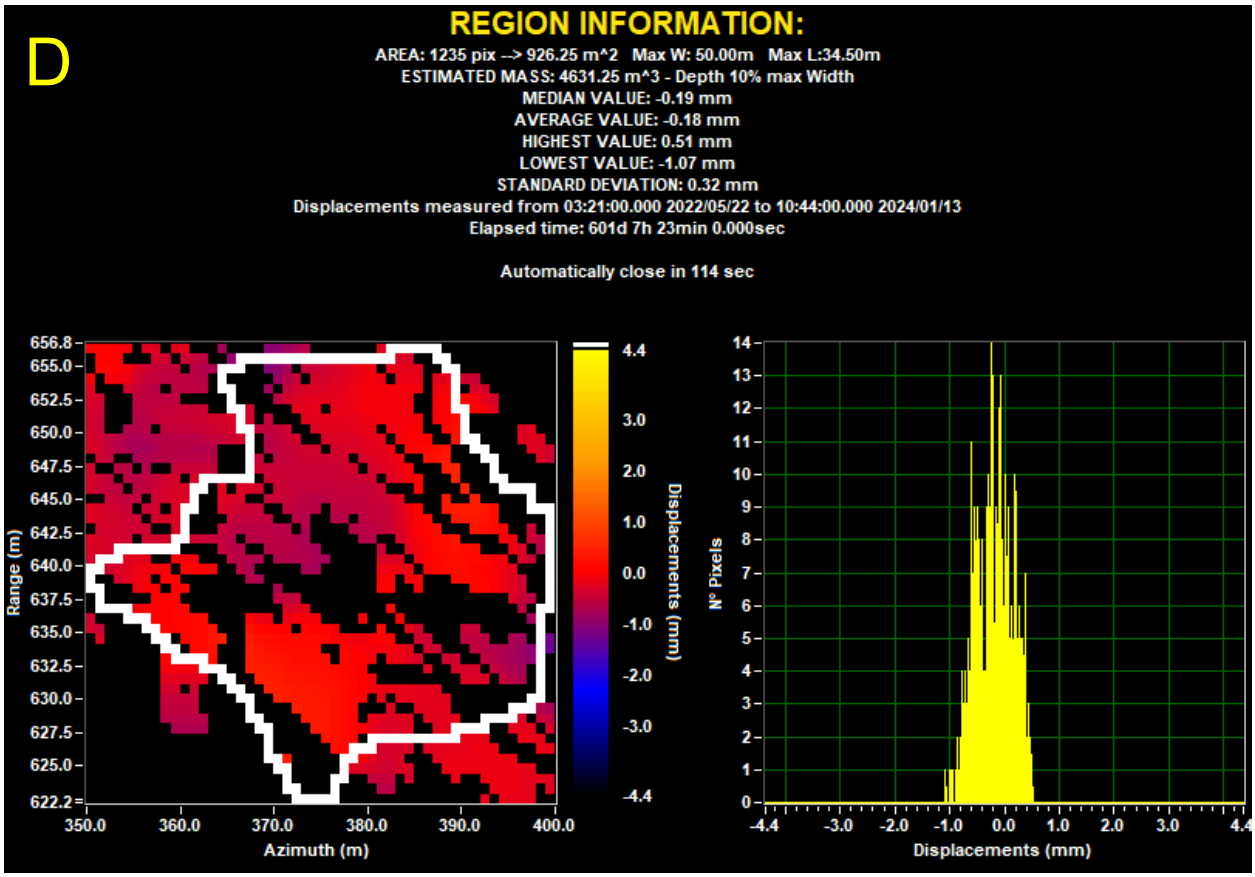
LISALAB


A
REGION INFORMATION:
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: 0.63 mm
AVERAGE VALUE: 0.72 mm
HIGHEST VALUE: 1.61 mm
LOWEST VALUE: 0.09 mm
STANDARD DEVIATION: 0.37 mm
Displacements measured from 03:21:00.000 2022/05/22 to 10:44:00.000 2024/01/13
Elapsed time: 601d 7h 23min 0.000sec
Automatically close in 118 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
N° Pixels
Displacements (mm)

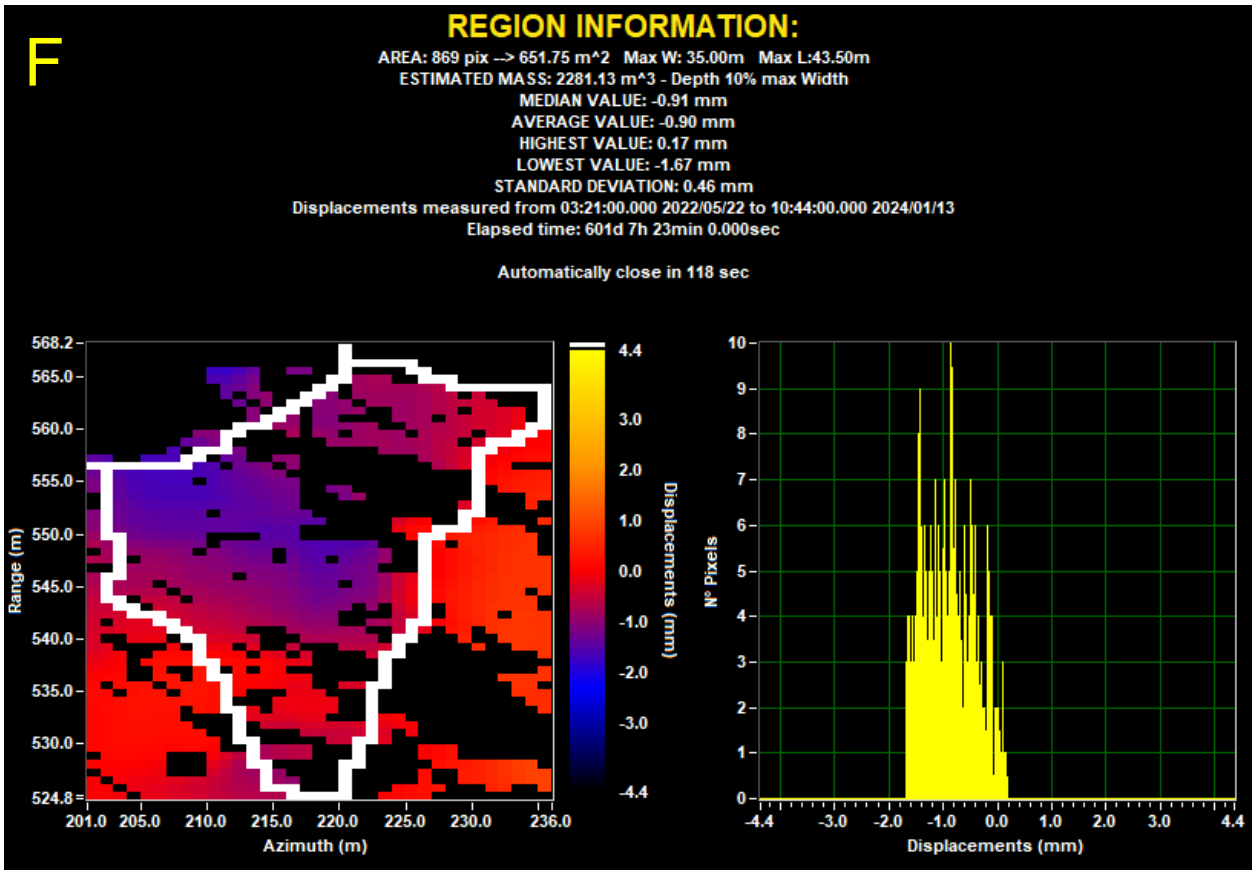
LISALAB


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: -2.10 mm
AVERAGE VALUE: -1.60 mm
HIGHEST VALUE: 4.35 mm
LOWEST VALUE: -4.36 mm
STANDARD DEVIATION: 2.30 mm
Displacements measured from 03:21:00.000 2022/05/22 to 10:44:00.000 2024/01/13
Elapsed time: 601d 7h 23min 0.000sec
Automatically close in 65 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
N° Pixels
Displacements (mm)

LISALAB


REGION INFORMATION:
D
AREA: 1235 pix --> 926.25 m^2 Max W: 50.00m Max L:34.50m
ESTIMATED MASS: 4631.25 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: -0.19 mm
AVERAGE VALUE: -0.18 mm
HIGHEST VALUE: 0.51 mm
LOWEST VALUE: -1.07 mm
STANDARD DEVIATION: 0.32 mm
Displacements measured from 03:21:00.000 2022/05/22 to 10:44:00.000 2024/01/13
Elapsed time: 601d 7h 23min 0.000sec
Automatically close in 114 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
Nº Pixels
Displacements (mm)

LISALAB



ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	**Argomento:**	**VI PC monitoraggio pareti rocciose del Monte Avedèe nel Comune di Novate Mezzola (SO) – Gennaio 2024**				**Data di creazione:**	**16 Febbraio 2024**
	Riferimento Cliente:	**Comunità Montana Valchiavenna**	**Rif. int.:**	**AG**	**Rev.:**	**00**	**Data di revisione:**	**-**
	File:	**rep.cvc.240216.ag.00**	**Note:**	**CONFIDENZIALE**			**Page:**	**76**

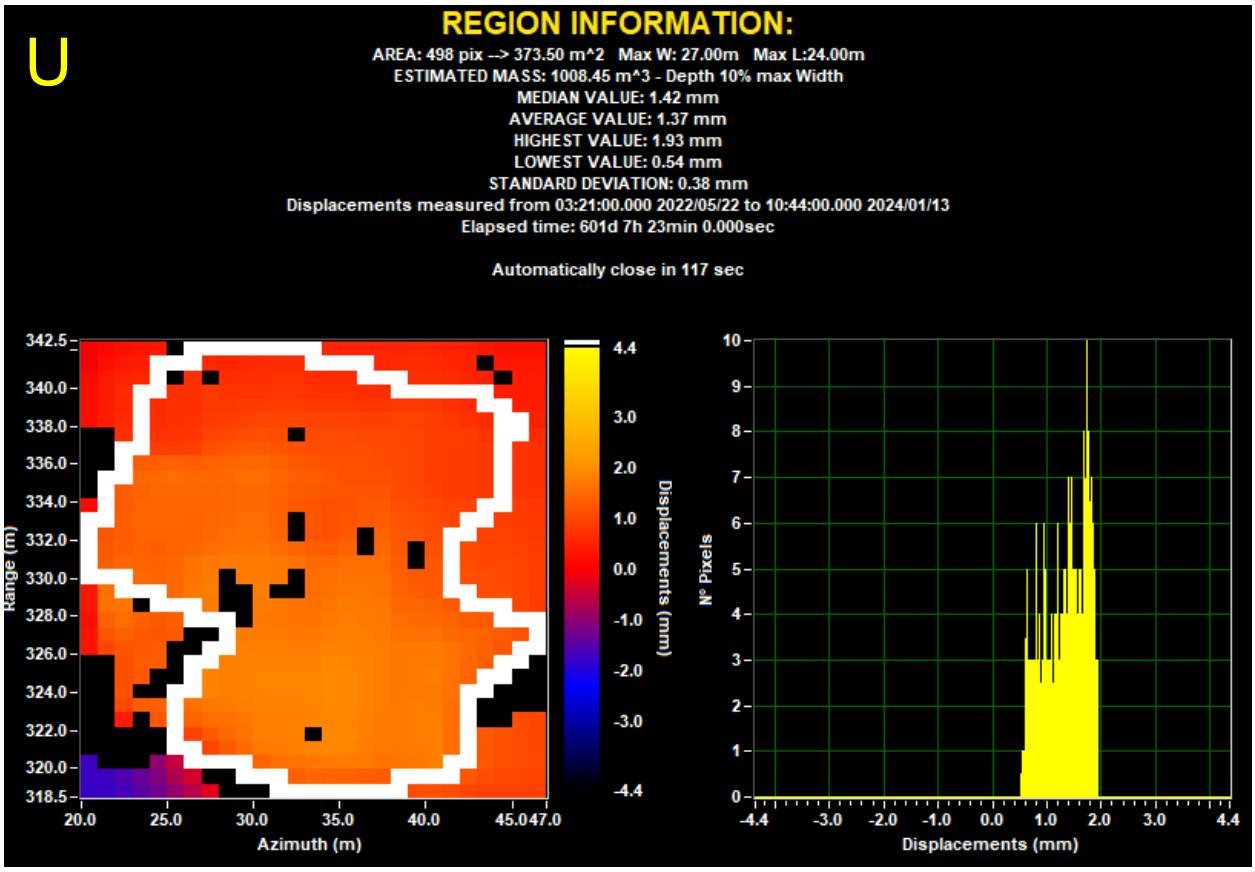


Figura 58: Analisi statistica eseguita sulle aree in movimento per il periodo 22 Maggio 2023 – 13 Gennaio 2024. Postazione Est, sottofinestra Near.

LISALAB

Postazione Est Far

Analisi per il periodo 4 Ottobre 2023 – 13 Gennaio 2024

Di seguito vengono presentati i risultati ottenuti per la postazione *Ovest Far* riferiti all'intervallo di tempo di circa 101 giorni tra la V e la VI campagna di misura.

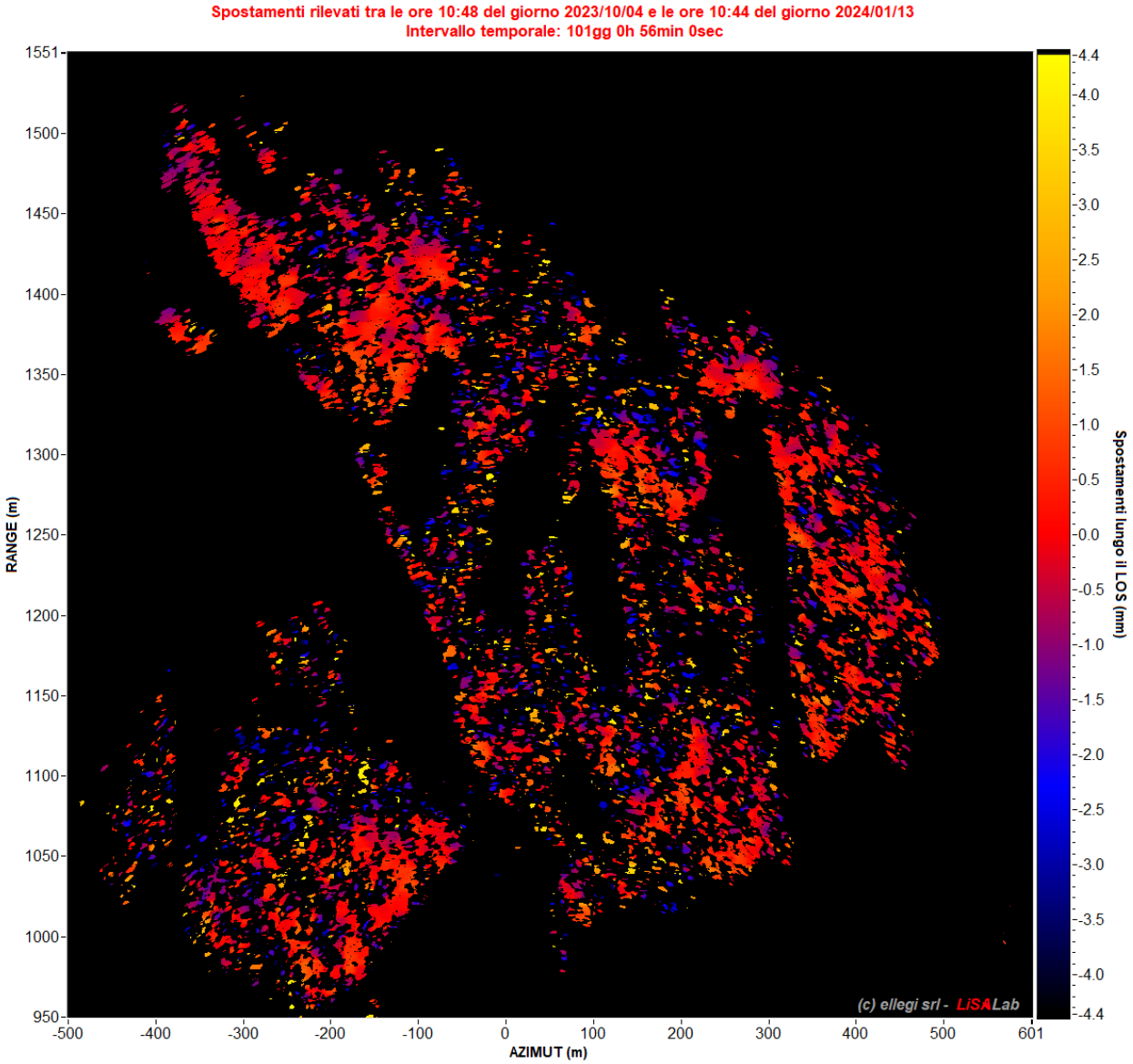


Figura 59: Mappa di spostamento 2D per il periodo 4 Ottobre 2023 – 13 Gennaio 2024 – rappresentazione classica. Postazione Est, sottofinestra Far.

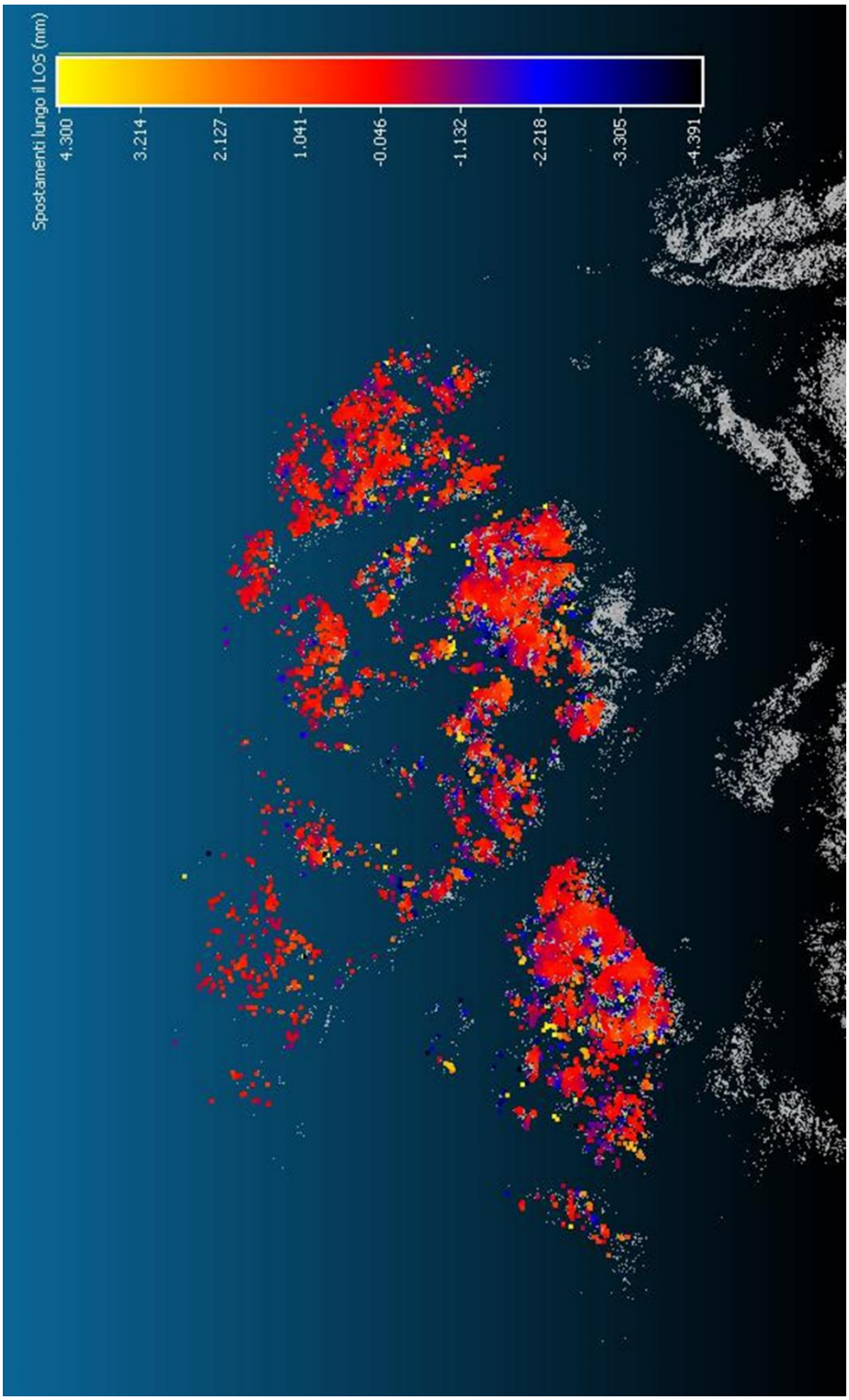


Figura 60: Mappa di spostamento 3D per il periodo 4 Ottobre 2023 – 13 Gennaio 2024. Su Point Cloud. Postazione Est, sottofinestra Far.

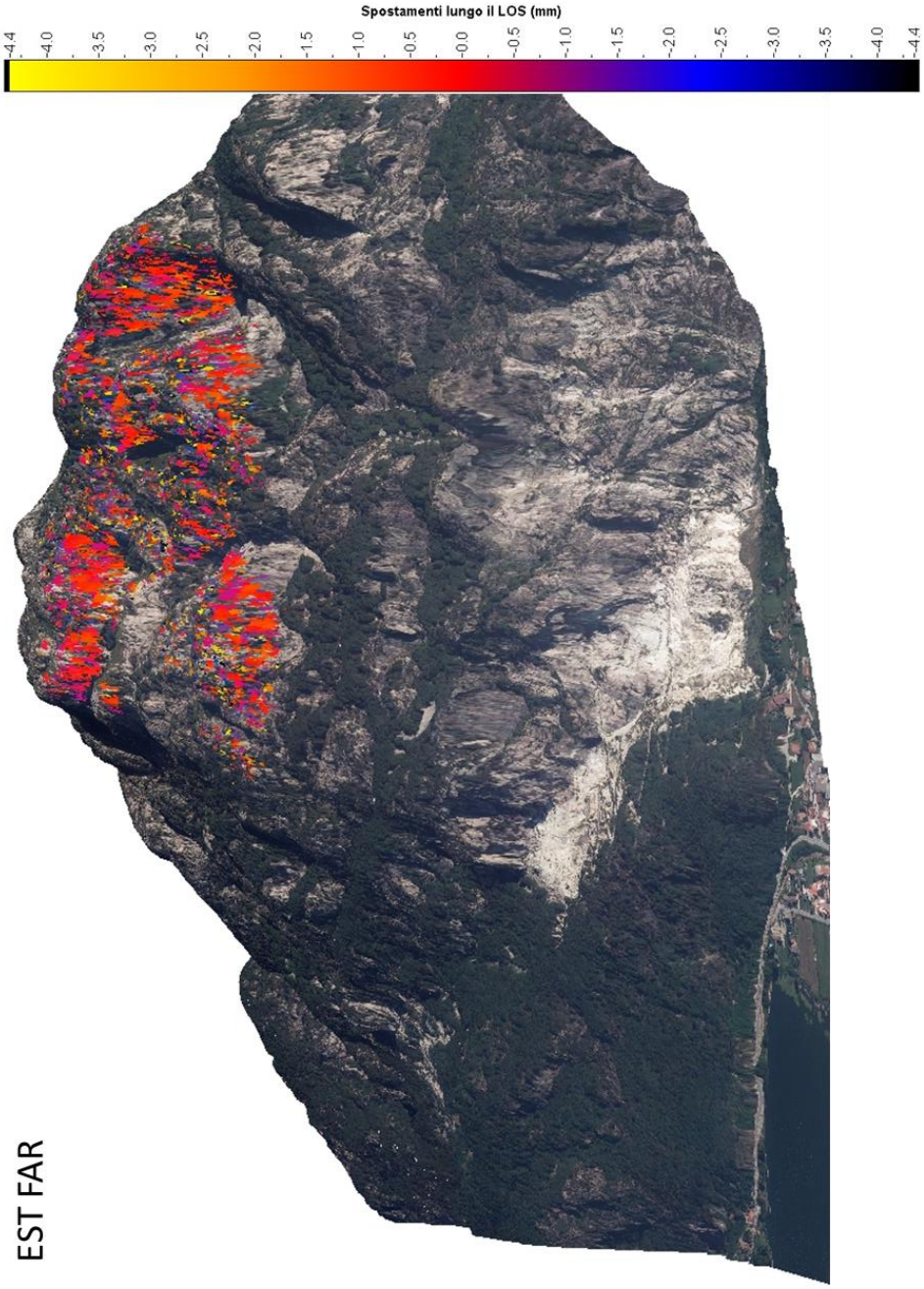


Figura 61: Mappa di spostamento 3D per il periodo 4 Ottobre 2023 – 13 Gennaio 2024 su DEM del versante. Postazione Est, sottofinestra Far.

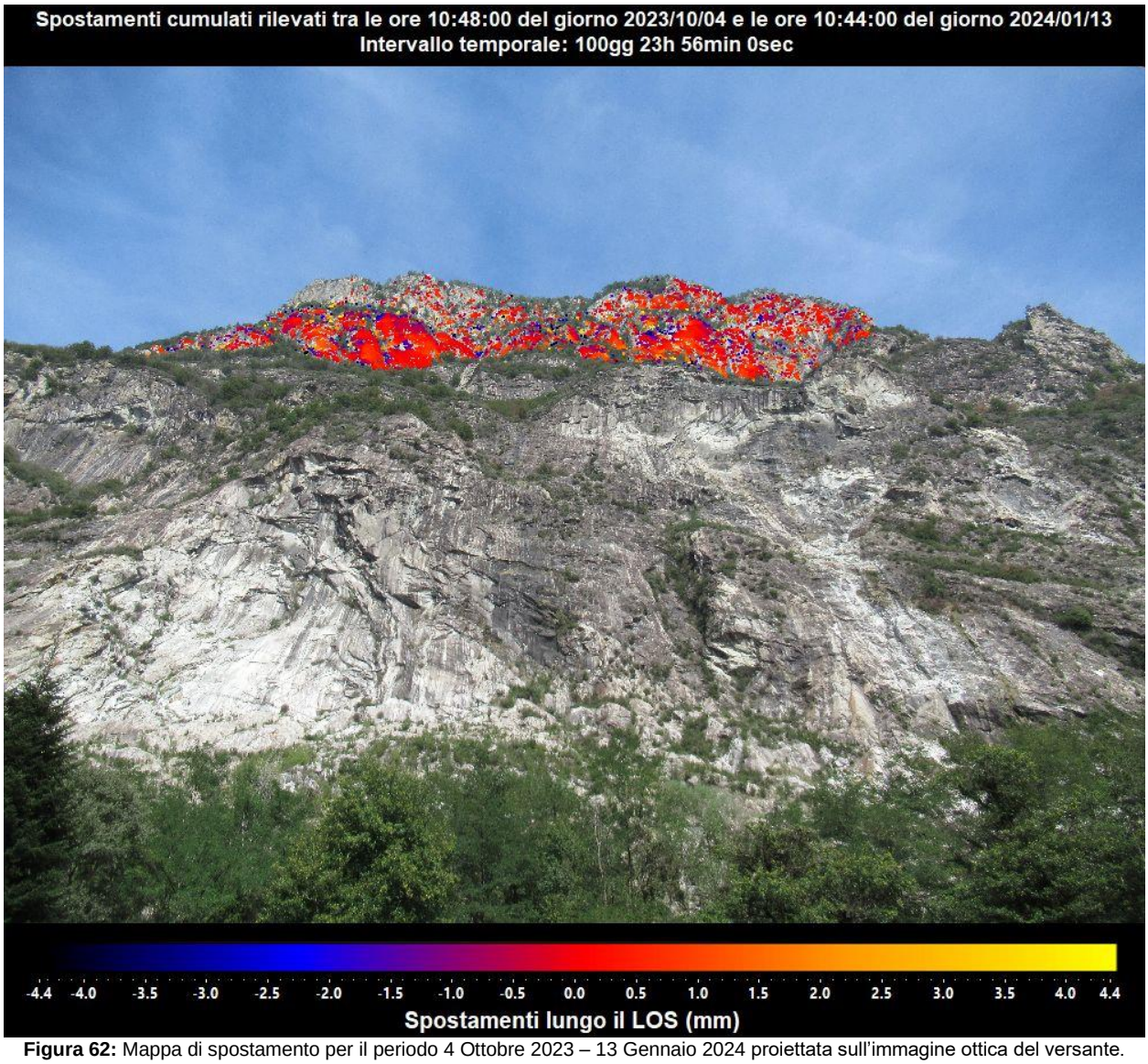


Figura 62: Mappa di spostamento per il periodo 4 Ottobre 2023 – 13 Gennaio 2024 proiettata sull'immagine ottica del versante. Postazione Est, sottofinestra Far.

Dall'analisi di lungo termine eseguita tra la campagna di Ottobre 2023 e la campagna di Gennaio 2024 per la postazione Est Far non si evidenziano aree con spostamenti superiori alla precisione strumentale in 101 giorni di monitoraggio. Anche l'area B, riscontrata in movimento nel corso dei precedenti periodical check, mostra valori di spostamento inferiori alla precisione strumentale.

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

LISALAB

Analisi per il periodo 22 Maggio 2022 – 13 Gennaio 2024

Di seguito vengono presentati i risultati ottenuti per la postazione *Ovest Far* riferiti all'intervallo di tempo di circa 601 giorni tra la I e la VI campagna di misura.

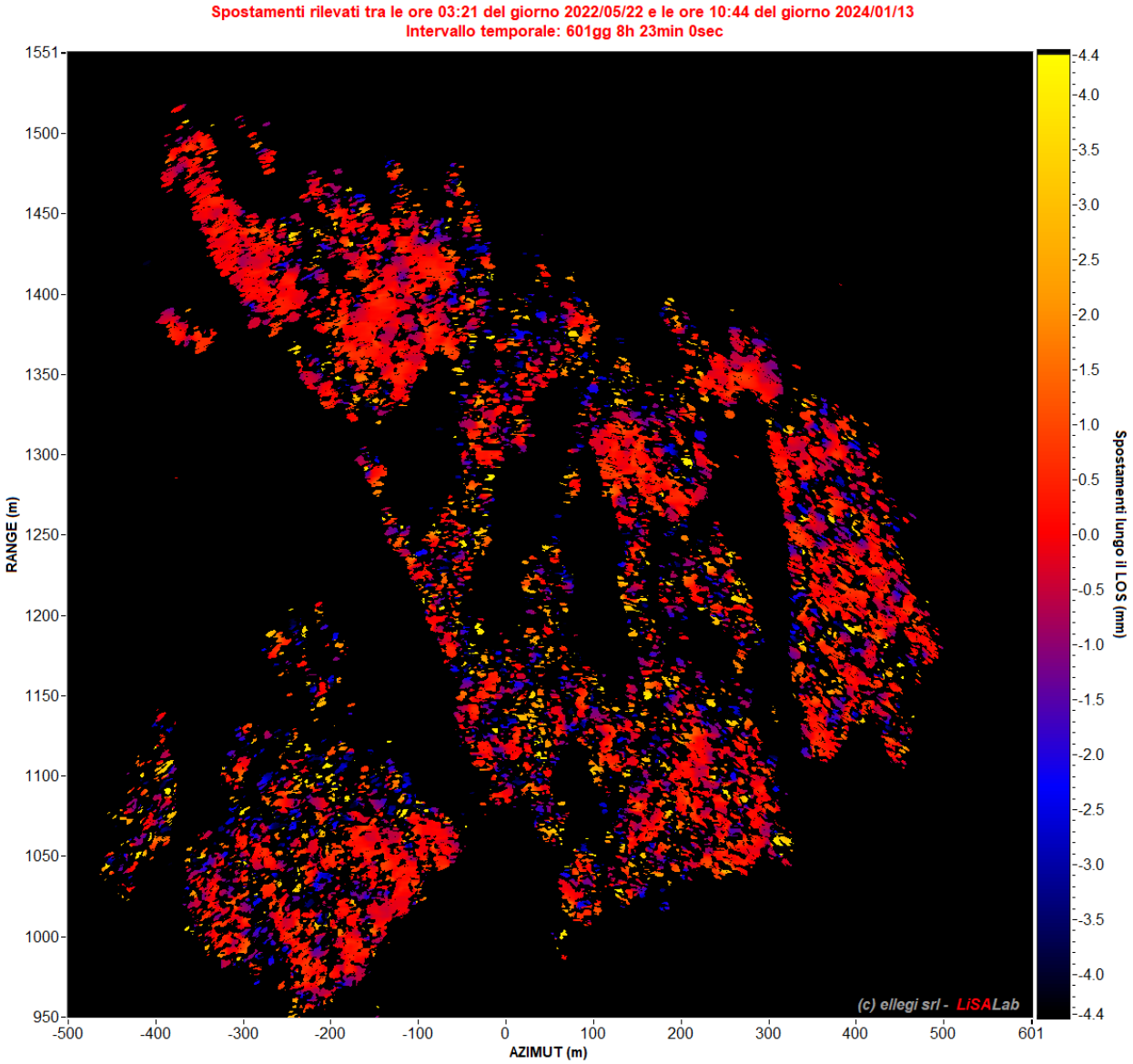


Figura 63: Mappa di spostamento 2D per il periodo 22 Maggio 2022 – 13 Gennaio 2024 – rappresentazione classica. Postazione Est, sottofinestra Far.

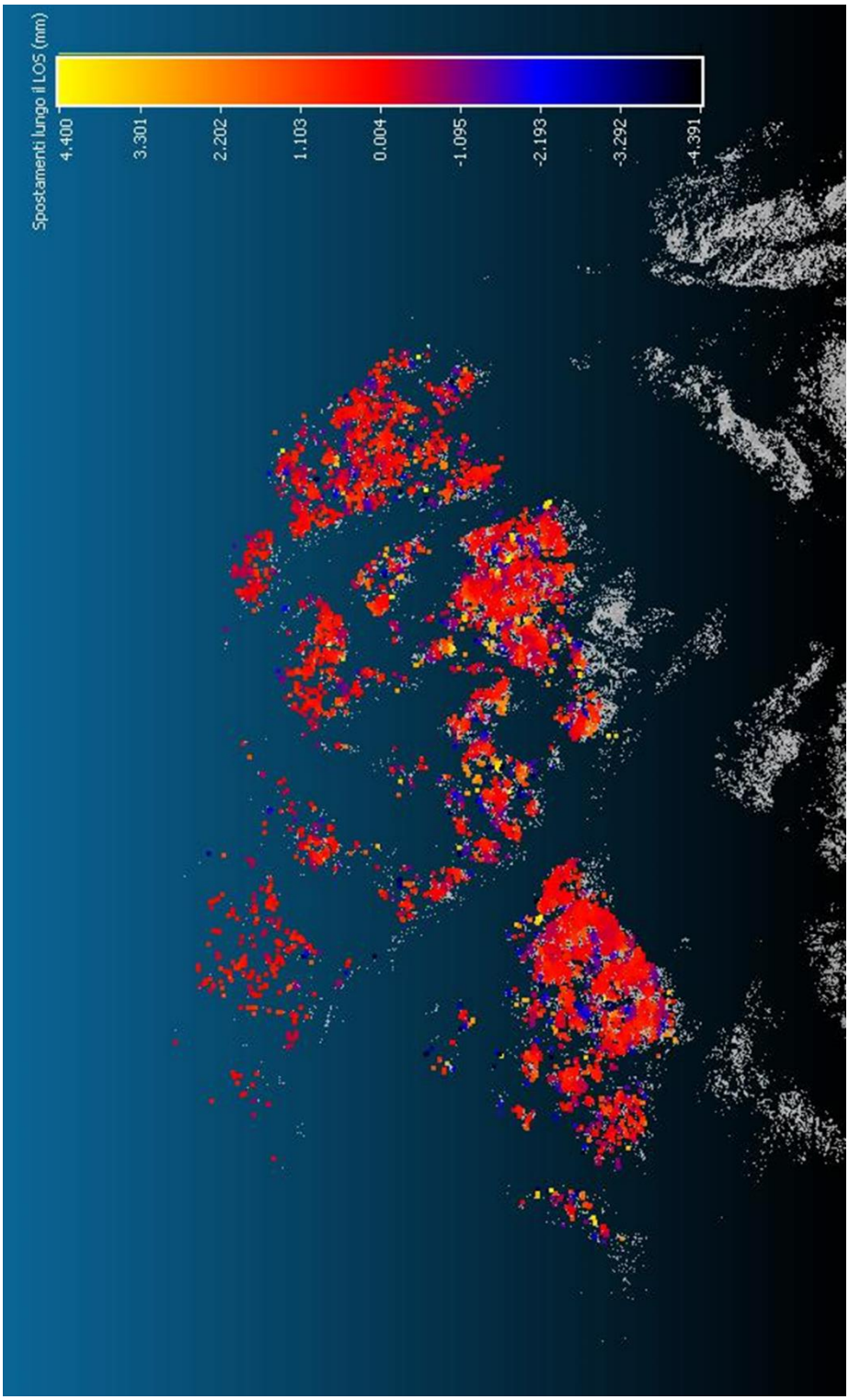


Figura 64: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 Maggio 2022 – 13 Gennaio 2024 su Point Cloud. Postazione Est, sottofinestra Far.

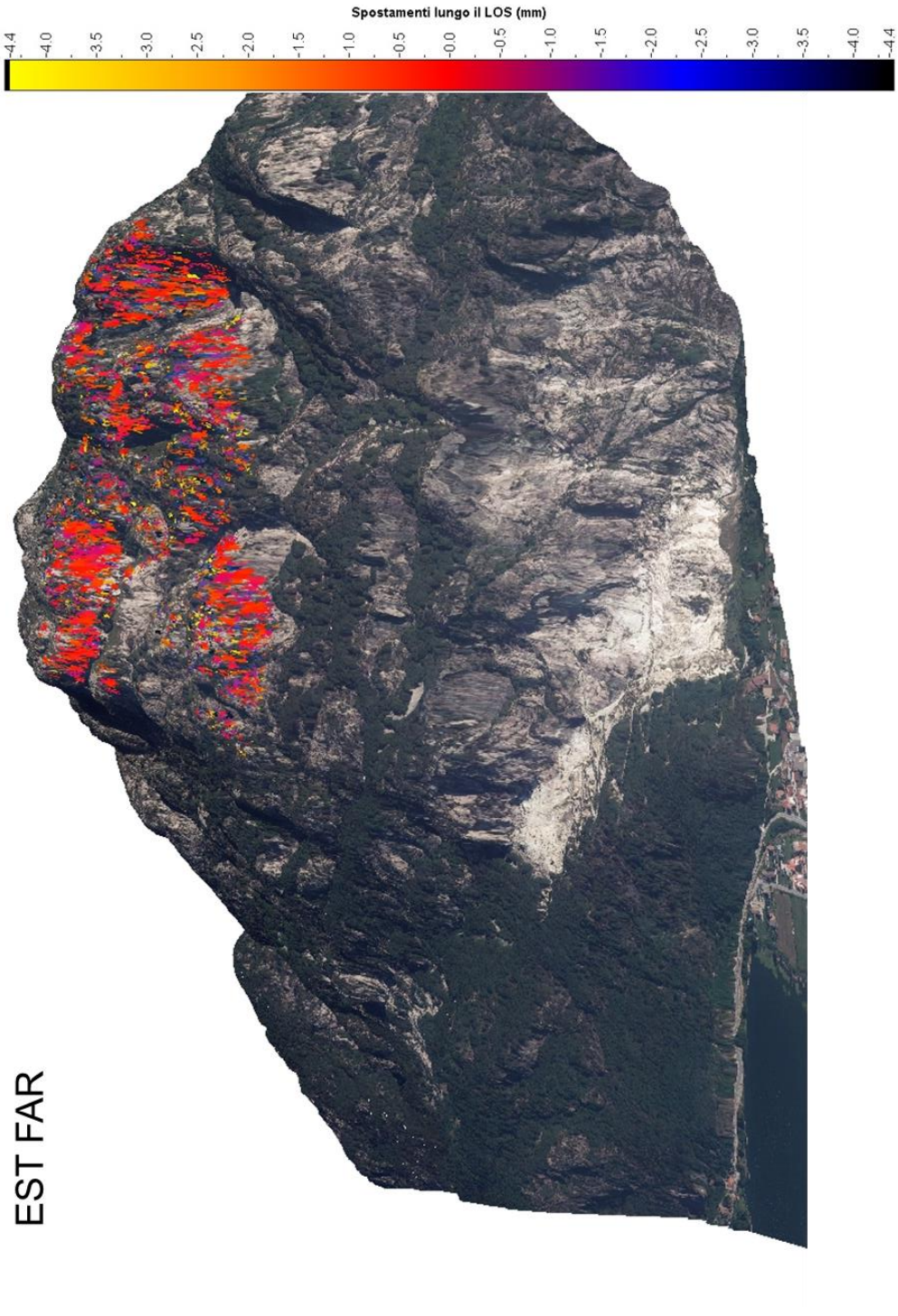


Figura 65: Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 Maggio 2022 – 13 Gennaio 2024 su DEM del versante. Postazione Est, sottofinestra Far.

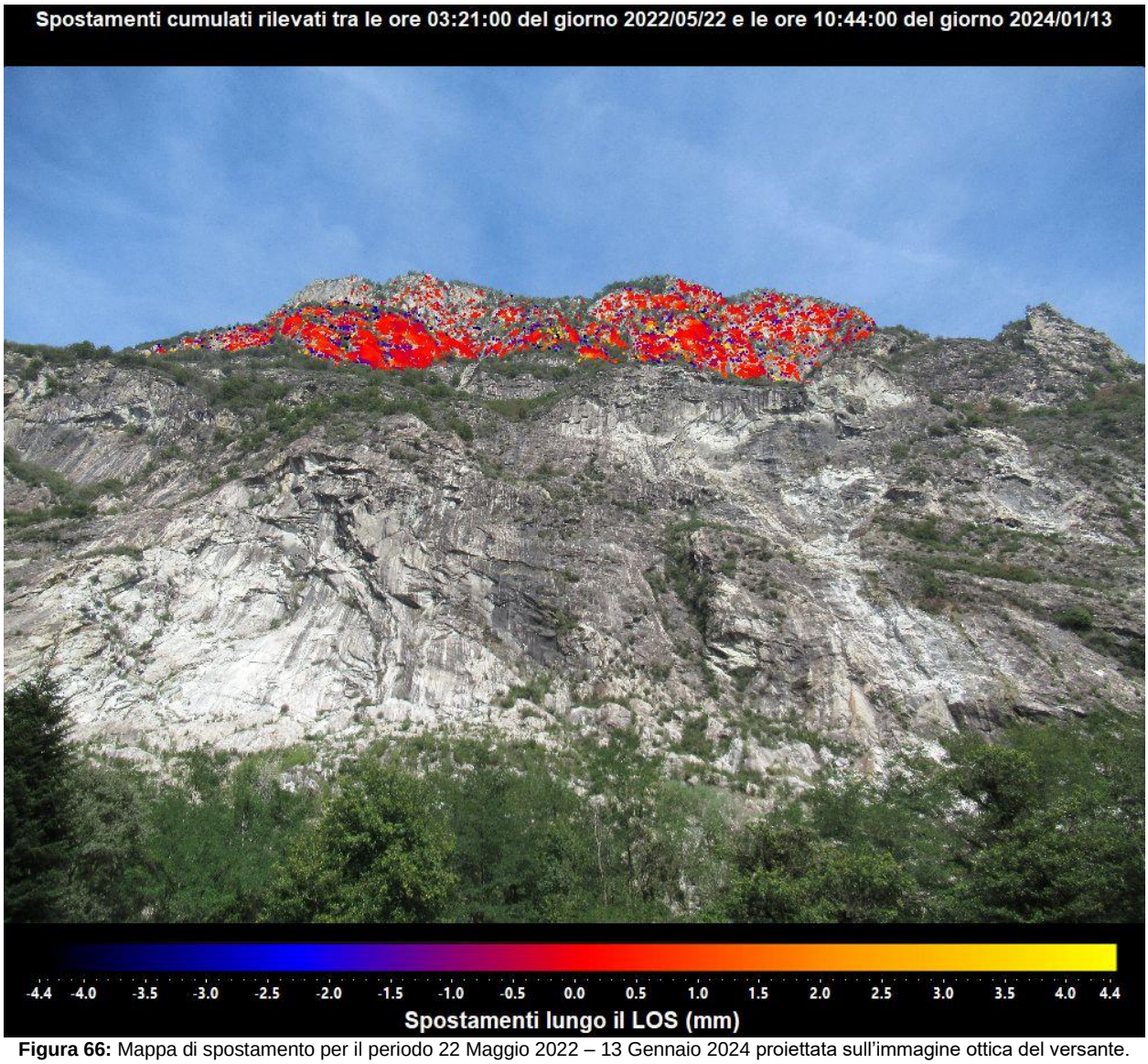


Figura 66: Mappa di spostamento per il periodo 22 Maggio 2022 – 13 Gennaio 2024 proiettata sull'immagine ottica del versante. Postazione Est, sottofinestra Far.

Dall'analisi di lungo termine eseguita tra la campagna di Maggio 2022 e la campagna di Gennaio 2024 per la postazione *Est Far* non si evidenziano aree con spostamenti superiori alla precisione strumentale in 601 giorni circa di monitoraggio. Anche l'area B, riscontrata in movimento nel corso dei precedenti periodical check, mostra valori di spostamento inferiori alla 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 17 Punti di Interesse (POI) distribuiti lungo lo scenario osservato ed in particolare all'intero 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 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 17 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
E	535327,87	5119348,50	702
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 17 aree in movimento.

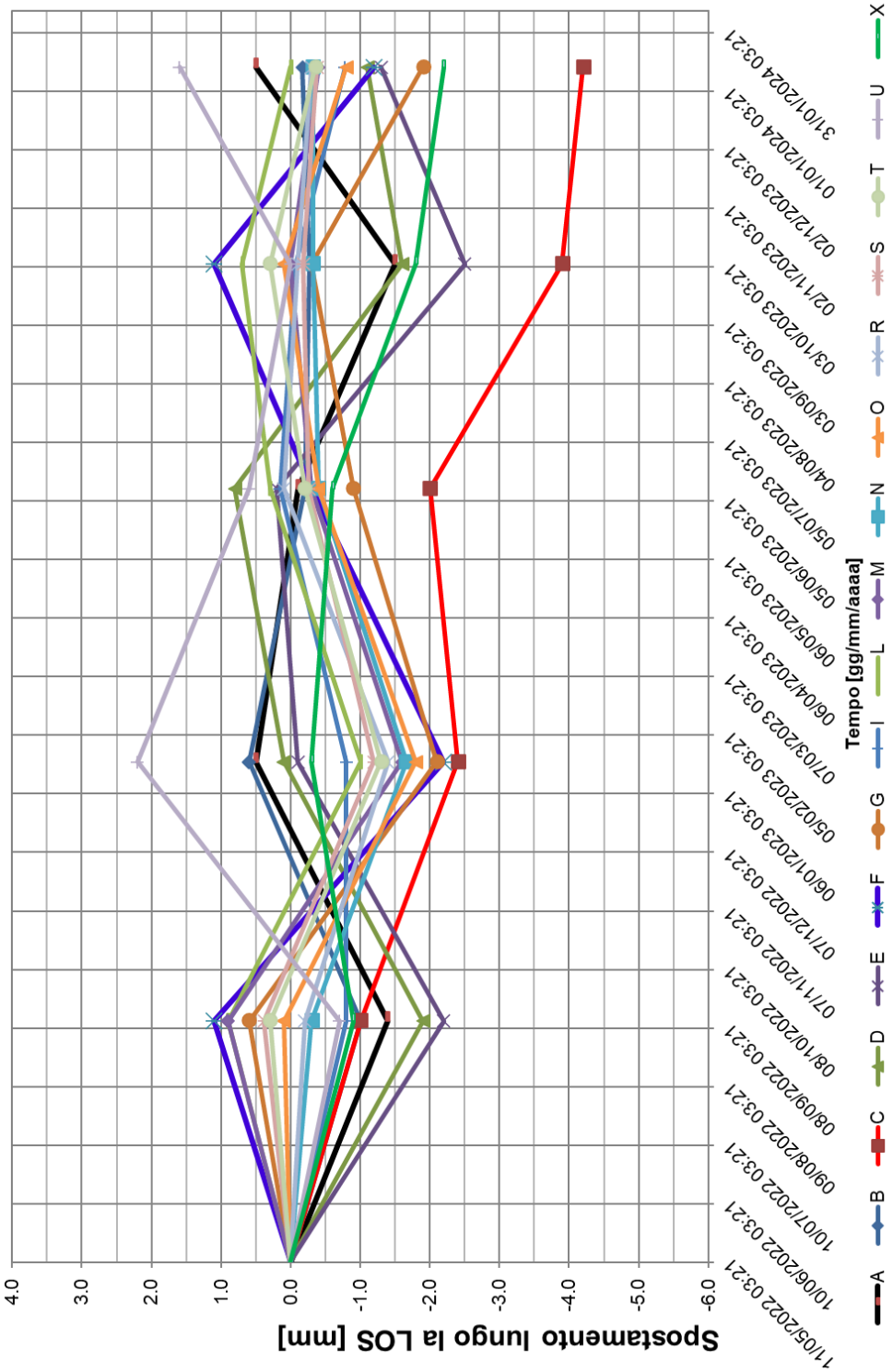


Figura 67: Serie temporali delle aree d'interesse nel periodo tra Maggio 2022 (I PC) e Gennaio 2024 (VI PC).

Nel grafico di Figura 67 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 hanno uno spread numerico di valori che rientra nell'esiguo range di ± 2 mm. Dal punto di vista generale è quindi possibile osservare come per queste aree non vi sono spostamenti significativi nel corso del monitoraggio. Vi è tuttavia una zona che nelle serie temporali qui mostrate mostra una lieve fuoriuscita dallo spread di ± 2 mm sopra enunciato. Quest'area è l'area C ed è influenzata dalla presenza di fuoriuscite d'acqua ed è possibile che gli spostamenti qui rilevati siano influenzati da questa dinamica.

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 periodi in lieve allontanamento (Figura 67). 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 nel report precedente vengono pertanto presente due mappe complessive degli spostamenti. La prima vista (Figura 68) afferisce al sottoperiodo Ottobre 2023 – Gennaio 2024 (circa 101 giorni) mentre la seconda vista (Figura 69) copre un periodo di circa 6 volte superiore e afferisce a tutto il periodo di monitoraggio fra Maggio 2022 e Gennaio 2024 (circa 601 giorni). Per entrambe le viste sono state indicate le aree che hanno presentato, per un periodo o per l'altro, degli spostamenti degni di nota al di sopra della precisione strumentale. 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. Per questa visualizzazione si è optato l'utilizzo di frecce, anziché circoscrivere le aree, in quanto permettono una migliore identificazione delle aree in movimento.

Si traggono pertanto le seguenti conclusioni:

Per il presente periodical check (V - VI campagna di misura) afferente all'intervallo di tempo di circa 101 giorni fra il 4 Ottobre 2023 e il 13 Gennaio 2024 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 (+ 2.0 mm), C (-0.3 mm), D (+0.5 mm), F (-2.3 mm), G (-1.6 mm), T (-0.4 mm), U (+1.6 mm) e X (-0.4 mm).

Per l'intero periodo di monitoraggio (I – VI campagna di misura) afferente all'intervallo di tempo di circa 610 giorni fra il 22 Maggio 2022 e il 13 Gennaio 2023 i valori medi rilevati nelle zone segnalate sono zona A (+ 0.7 mm), C (-1.6 mm), D (-0.2 mm), F (-0.9 mm), G (-0.9 mm), T (-1.2 mm), U (+1.4 mm) e X (-2.0 mm).

Le differenze fra i valori rilevati nelle zone nelle due sottofinestra temporali sono possibilmente imputabili a differenti reazioni dell'ammasso roccioso ai flussi termici. Le due finestre temporali infatti sono sottoposte ad una storia termica differente con il periodo più esteso (Maggio 2022 – Gennaio 2024) afferente a ben 2 cicli annuali completi di raffreddamento e riscaldamento mentre il periodo più breve (Ottobre 2023 – Gennaio 2024) afferisce solo ad un periodo di circa 101 giorni di raffreddamento.

La relazione fra cicli termici e deformazioni è complessa e non univoca per le zone. Degno di nota è la lieve diminuzione degli spostamenti delle zone G ed F estendendo la finestra di osservazione (circa 1.4 mm in meno per la zona F e 0.7 mm in meno per la zona G). Altrettanto significativo è il lieve aumento degli spostamenti di circa 1.6 mm nella zona X estendendo la finestra di osservazione.

Le restanti zone esibiscono spostamenti o in allontanamento oppure entro la precisione strumentali. Fra queste si menziona infine la zona C i cui valori di spostamento sono però condizionati dalla presenza di fuoriuscite d'acqua dalla parete.

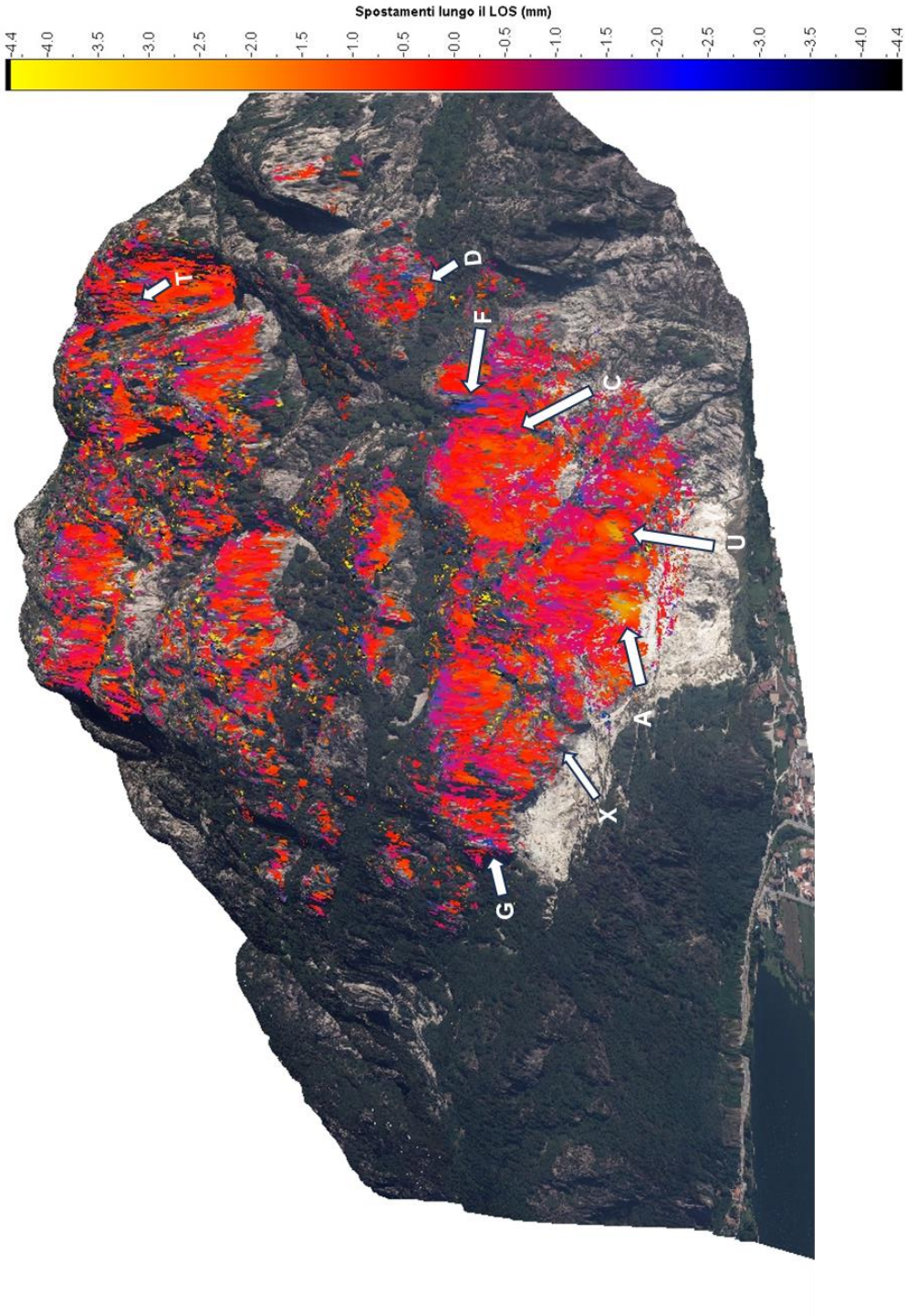


Figura 68: Visione d'insieme delle quattro mappe di spostamento (entrambe le postazioni, tutte le sottofinestre) per il periodo 4 Ottobre 2023 - 13 Gennaio 2024 su DEM del versante

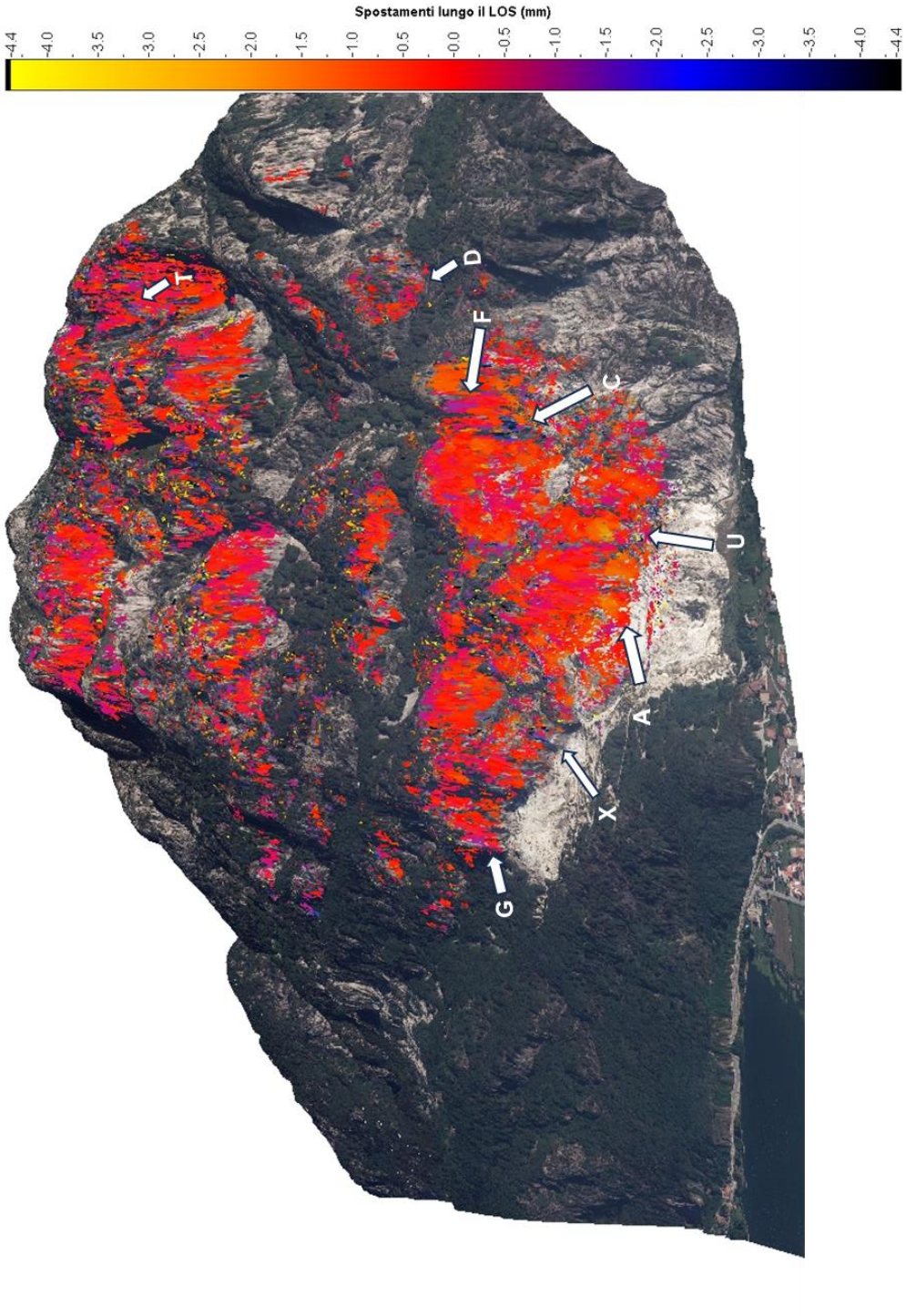


Figura 69: Visione d'insieme delle quattro mappe di spostamento (entrambe le postazioni, tutte le sottofinestre) per il periodo 22 Maggio 2022 - 13 Gennaio 2024 su DEM del versante

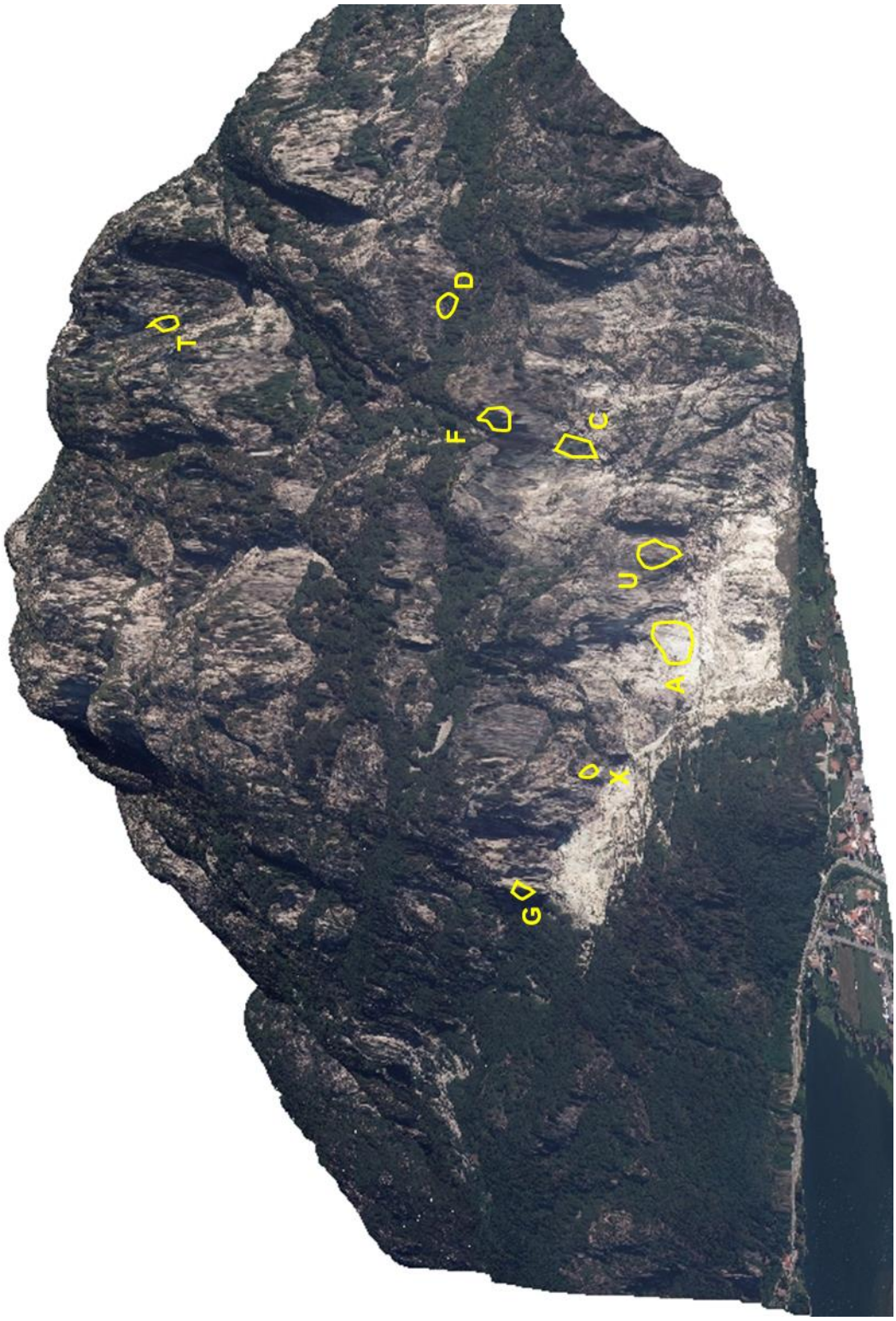


Figura 70: Ubicazione delle aree classificate e discusse nel testo.

LISALAB

Conclusioni

Dopo aver analizzato i dati acquisiti nell'ultima campagna di misura (Gennaio 2024), che rappresenta il VI 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 11 al 15 Gennaio 2024, acquisendo un totale di 658 dalla postazione *Est* e 674 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 11 al 15 Gennaio 2024 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 analizzati due diversi intervalli temporali:
   a) a copertura del periodo 4 Ottobre 2023 - 13 Gennaio 2024, tra la V e la VI campagna periodica;
   b) a copertura del periodo 22 Maggio 2022 - 13 Gennaio 2024, tra la I e la VI campagna periodica.

7. Le analisi condotte su entrambi gli intervalli temporali di lungo termine mostrano la presenza di alcune aree aventi movimenti millimetrici nei periodi Maggio 2022 – Gennaio 2024 e Ottobre 2023

- Gennaio 2024. Queste aree, per gran parte già riscontrate in movimento nei report delle scorse campagne periodiche, appaiono essere in parte influenzate anche da oscillazioni termiche.

8. 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.

9. 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 Loc. Foppa. I valori medi rilevati in quest'area sono -1.6 mm in avvicinamento per il periodo Ottobre 2023 – Gennaio 2024 e -0.9 mm in avvicinamento per il periodo Maggio 2022 – Gennaio 2024.

10. Si segnala la presenza di spostamenti in avvicinamento nella zona F (-2.3 mm nel periodo Ottobre 2023 – Gennaio 2024 e -0.9 mm nel periodo Maggio 2022 – Gennaio 2024) e X (-0.4 mm nel periodo Ottobre 2023 – Gennaio 2024 e -2.0 mm nel periodo Maggio 2022 – Gennaio 2024).

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. L'unica eccezione è l'area C che appare però influenzata dalla presenza di acque superficiali.

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 11-15 Gennaio 2024 ottenuta dalla Postazione *Ovest*, finestra *Near*;
b) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione per il periodo 11-15 Gennaio 2024 ottenuta dalla Postazione *Ovest*, finestra *Far*;
c) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione per il periodo 11-15 Gennaio 2024 ottenuta dalla Postazione *Est*, finestra *Near*;
d) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione per il periodo 11-15 Gennaio 2024 ottenuta dalla Postazione *Est*, finestra *Far*;
e) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra l'4 Ottobre 2023 e il 13 Gennaio 2024 ottenuta dalla Postazione *Ovest*, finestra *Near;*

f) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra l'4 Ottobre 2023 e il 13 Gennaio 2024 ottenuta dalla Postazione *Ovest*, finestra *Far;*

g) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra l'4 Ottobre 2023 e il 13 Gennaio 2024 ottenuta dalla Postazione *Est*, finestra *Near;*

h) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra l'4 Ottobre 2023 e il 13 Gennaio 2024 ottenuta dalla Postazione *Est*, finestra *Far;*

i) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 22 Maggio 2022 e il 13 Gennaio 2024 ottenuta dalla Postazione *Ovest*, finestra *Near;*

j) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 22 Maggio 2022 e il 13 Gennaio 2024 ottenuta dalla Postazione *Ovest*, finestra *Far;*

k) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 22 Maggio 2022 e il 13 Gennaio 2024 ottenuta dalla Postazione *Est*, finestra *Near;*

l) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 22 Maggio 2022 e il 13 Gennaio 2024 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_20240216".

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.

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.