LISALAB

# REPORT

## VIII PERIODICAL CHECK

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

## 23 – 30 SETTEMBRE 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 | 01 Ottobre 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 7

La tecnica SAR interferometrica 10

Specifiche del servizio 10

Punto d'installazione del sistema GBInSAR LiSALab 11

Descrizione del servizio 12

Parametri di misura e caratteristiche dell'immagine SAR 14

Elaborazione dei risultati della campagna di misura di Settembre 2024 17

Mappe di potenza 17

Mappe di spostamento 21

Analisi degli spostamenti a breve termine: 23 – 30 Settembre 2024 21

Analisi degli spostamenti a lungo termine 27

Postazione Est Near 29

Analisi per il periodo 21 Aprile 2024 – 26 Settembre 2024 29

Analisi per il periodo 22 Maggio 2022 – 26 Settembre 2024 41

Postazione Est Far 52

Analisi per il periodo 21 Aprile 2024 – 26 Settembre 2024 52

Analisi per il periodo 22 Maggio 2022 – 26 Settembre 2024 59

Analisi puntuale 64

Conclusioni 67

Allegati 69

Note, Avvertenze e Limitazioni di Responsabilità 70

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 $\theta$ è l'angolo di elevazione definito nel piano YZ ed è formato dalla linea di osservazione r ed il piano orizzontale XY. L'angolo $\psi$ 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.

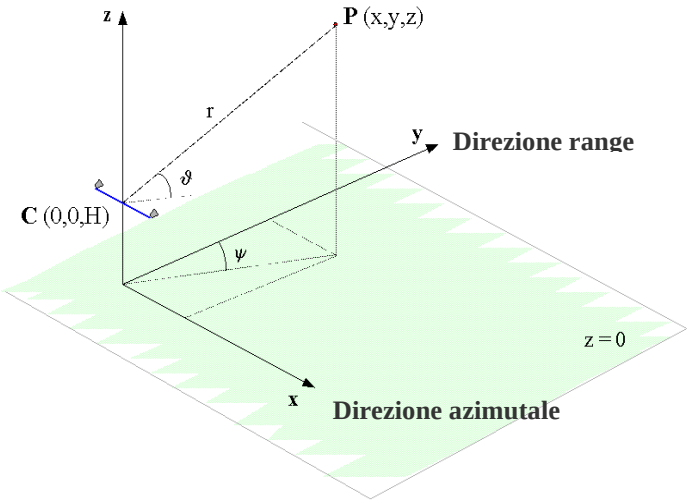



**Figura 1:** Sistema di riferimento utilizzato

## 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.

Originariamente il servizio di monitoraggio comprendeva 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*. Con questa configurazione di doppia postazione sono state effettuate sette campagne di misura. Nel mese di Marzo del 2024, la ellegi srl, ha installato la stazione di misura di tipo *permanent monitoring* alla Postazione Ovest e pertanto la serie dei report di tipo periodico da questa postazione va a concludersi. In ogni caso, anche per questo report, viene riportata una Figura che mostra entrambe le postazioni: 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).

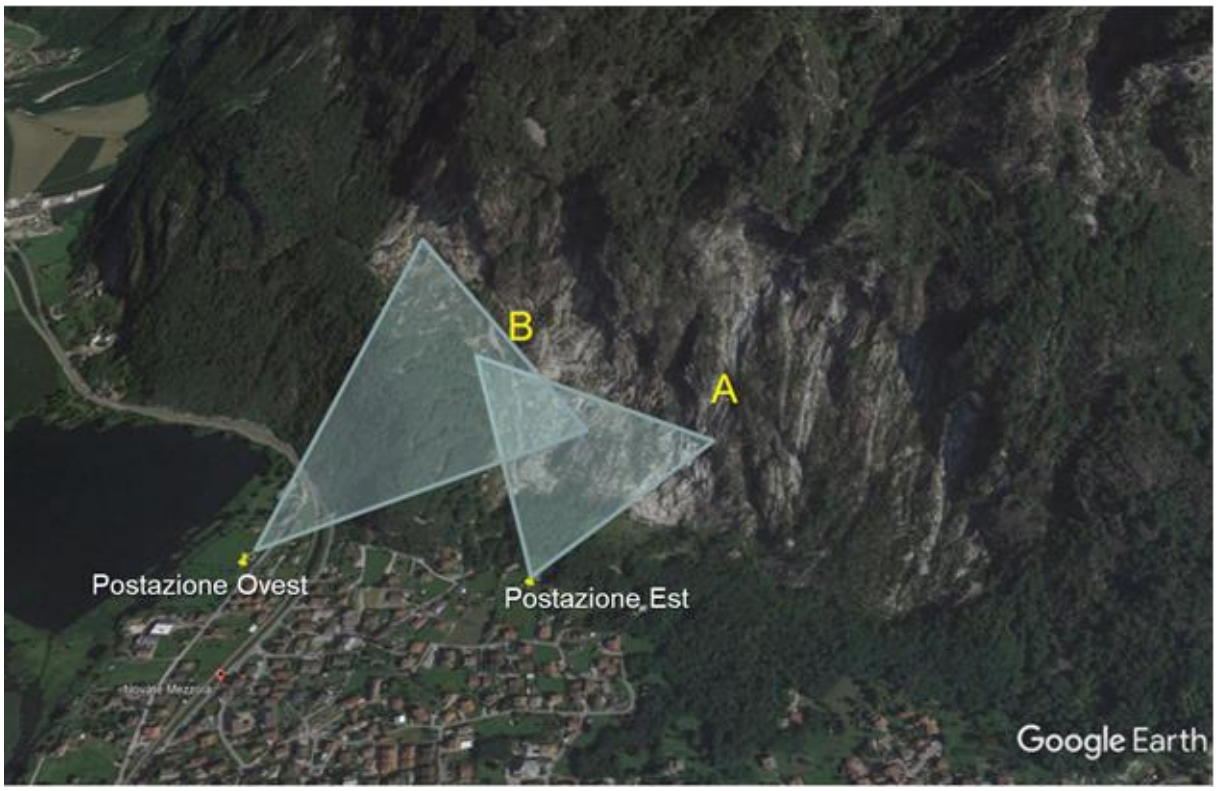



**Figura 2:** Ubicazione delle due postazioni di misura. La Postazione Ovest, situata in vicinanza del Lago di Novate Mezzola, permette di ottimizzare le misure nell'area B mentre la Postazione Est, prossima al versante, permette una buona copertura

dell'area A. Il presente report afferisce ai dati della Postazione Est in quanto dal mese di marzo 2024 dalla Postazione Ovest viene effettuato un monitoraggio di tipo permanente.

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 viene riportata la fotografia del sistema di monitoraggio LiSAmobile impegnato nella campagna di misura. Viene inoltre riportata la ripresa fotografica del montuoso monitorato dal radar (Figura 5).

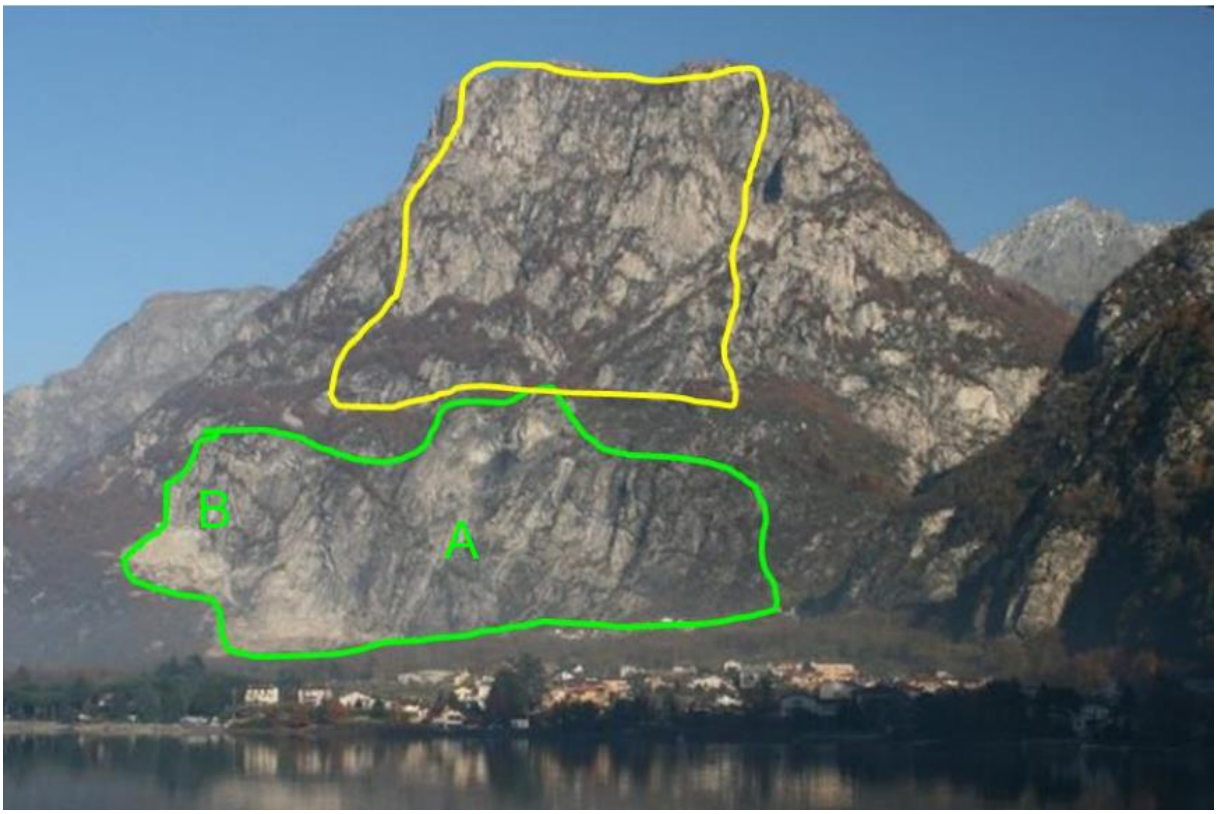



**Figura 3:** Fotografia del versante meridionale del Monte Avedèe, sopra Novate Mezzola, con circoscritte in verde le aree di primario interesse per il monitoraggio con tecnologia SAR terrestre (GBInSAR). In giallo sono evidenziate invece le pareti rocciose a quote più elevate e considerate obiettivo 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 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. Campagna di Settembre 2024.



**Figura 5:** Scenario osservato dal sistema di monitoraggio LiSAmobile nella campagna di monitoraggio della parete del Monte Avedèe. Campagna di Settembre 2024.

# 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 dalla Postazione Est, il sistema LiSAmobile è stato installato in un sito 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.

Di seguito riportiamo le coordinate (nel sistema UTM – WGS84, Fuso 32) della postazione di misura Est a cui afferiscono i dati del presente report:

| Postazione | Est [m] | Nord [m] | Quota [m s.l.m.] |
|---|---|---|---|
| EST (PE) | 534815.1 | 5119084.4 | 233 |

Per la postazione, 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 del magrone in cemento sono state installate delle travi metalliche (Figura 6) 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 viene alimentato direttamente dalla rete in corrispondenza di una abitazione posta nelle vicinanze della postazione.

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.

## *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 VIII PC si è svolto dal 23 al 30 Settembre 2024, durante la campagna di misura sono state acquisite un totale di 1208 immagini radar. In Figura 4 e Figura 5 sono riportate delle riprese fotografiche sia del versante monitorato che della postazione di misura durante la campagna di Settembre 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 (Settembre 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 7). 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 8).

Nel corso della presente campagna di misura (VIII PC) si può osservare come, nell'intervallo di tempo intercorso fra le due campagne di Marzo 2024 e Settembre 2024, si osserva una fluttuazione di temperatura con una prima fase di riscaldamento fra Marzo ed Agosto ed una seconda fase di raffreddamento fra Agosto e fine Settembre 2024. Dal punto di vista termico si può inoltre notare come la temperatura in questo periodical check sia molto simile a quella che si ebbe durante la prima campagna di misura nel maggio 2022; tale considerazione sarà utile nell'interpretazione dei dati presentati nelle prossime sezioni.

Dal punto di vista pluviometrico (Figura 9) il periodo coperto dal presente report è stato in generale più piovoso del periodo documentato nel precedente periodical check. In dettaglio si possono osservare molto chiaramente delle precipitazioni piuttosto intense durante il mese di Luglio 2024.

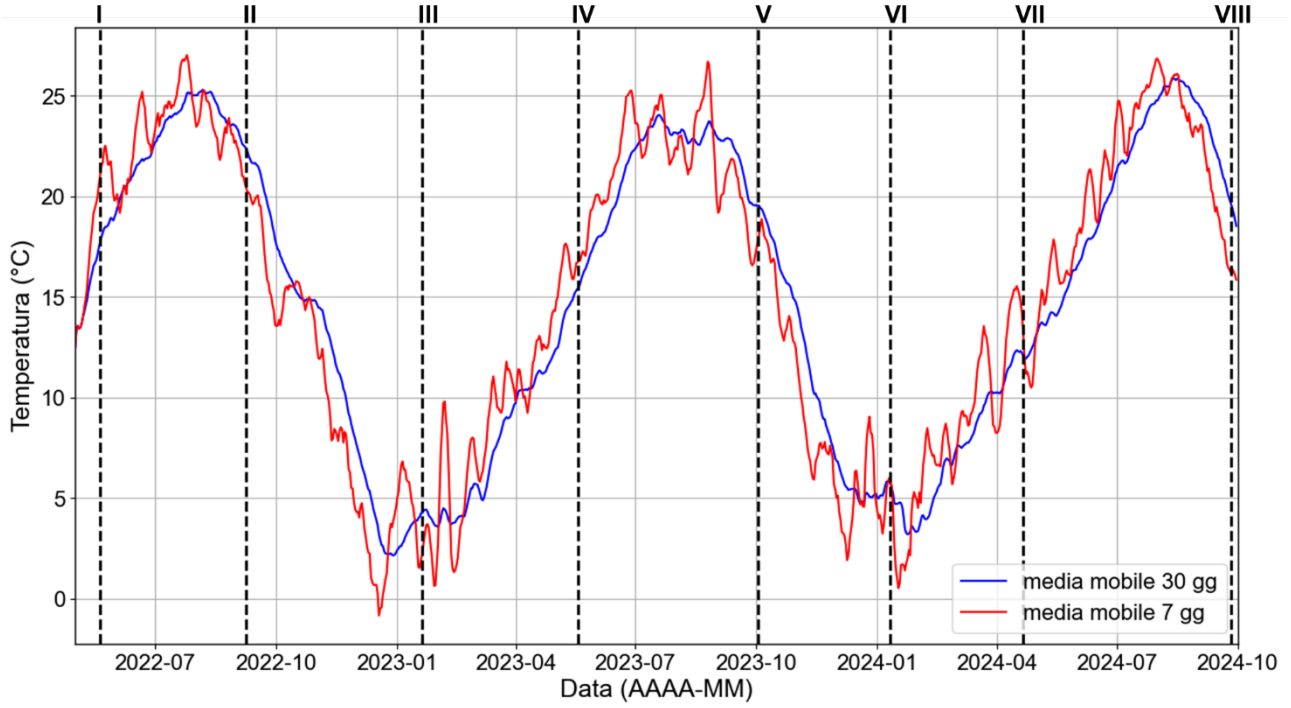



**Figura 7:** Media mobile calcolata su 7 giorni (curva rossa) e 30 giorni (curva blu) relativa ai valori di temperatura registrati presso la stazione meteo di Samolaco (SO). Con i numeri romani progressivi sono indicate le campagne di misura.

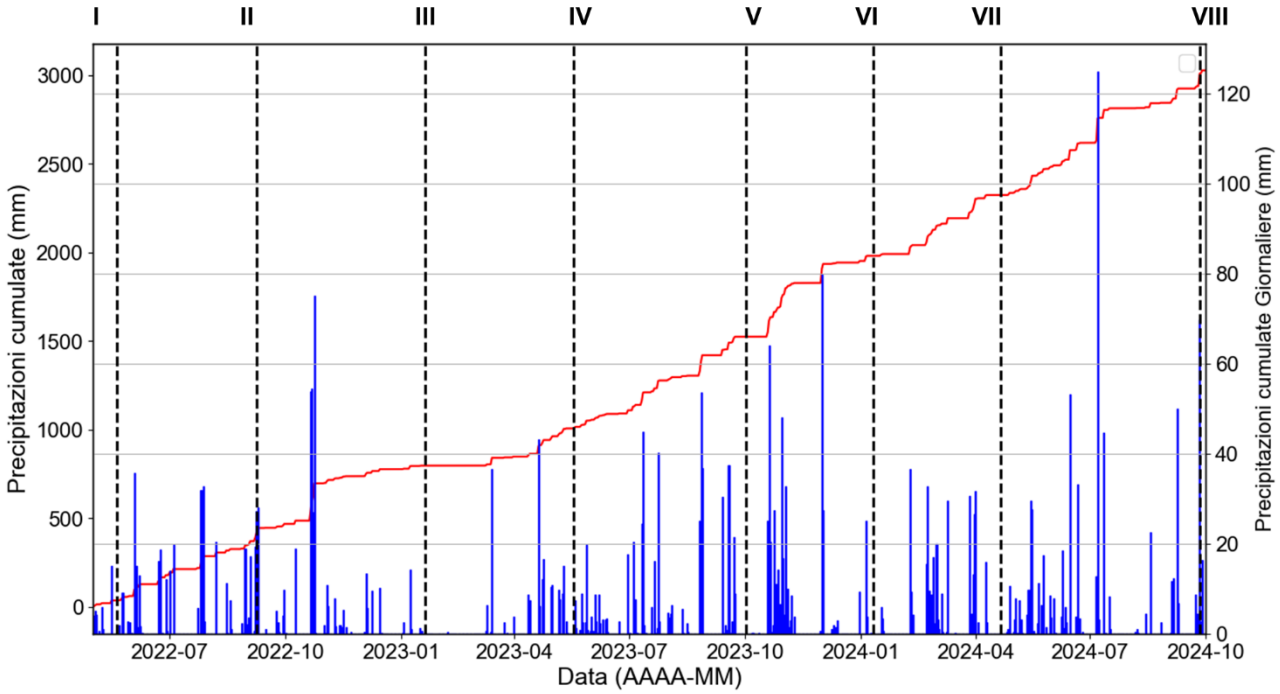



**Figura 8:** Valori cumulati giornalieri e curva cumulata sull'intero periodo di monitoraggio delle precipitazioni registrate presso la stazione meteo di Samolaco (SO). Con i numeri romani progressivi sono indicate le campagne di misura.

## *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 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 nella seguente tabella:

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 |

È bene anche sottolineare che 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 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 4,5 m. mostra le griglie di risoluzione utilizzate per la postazione di misura

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 |

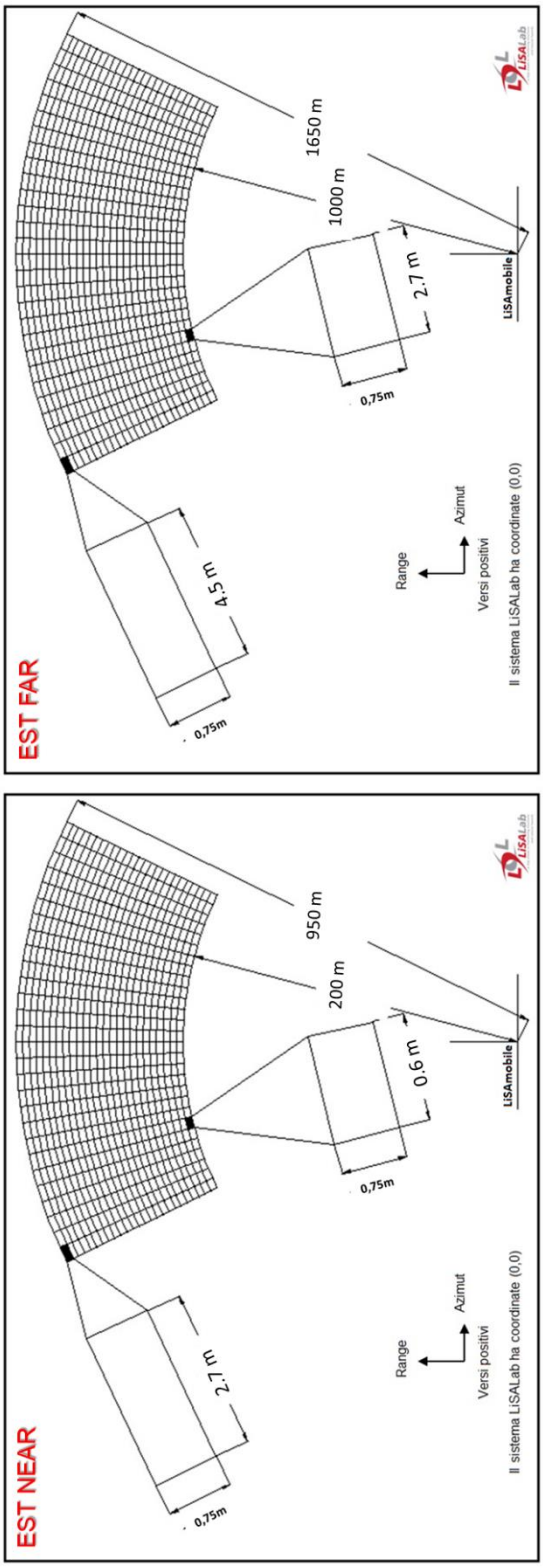



**Figura 9:** griglia di risoluzione del sistema GBInSAR LiSALab per la campagna in oggetto, Postazione *Est*.

LISALAB

# Elaborazione dei risultati della campagna di misura di Settembre 2024

In questa sezione saranno presentati i risultati della presente campagna di misura, effettuata tra il 23 e il 30 Settembre 2024, che rappresenta il VIII Periodical Check per la Postazione Est del 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 12.

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.

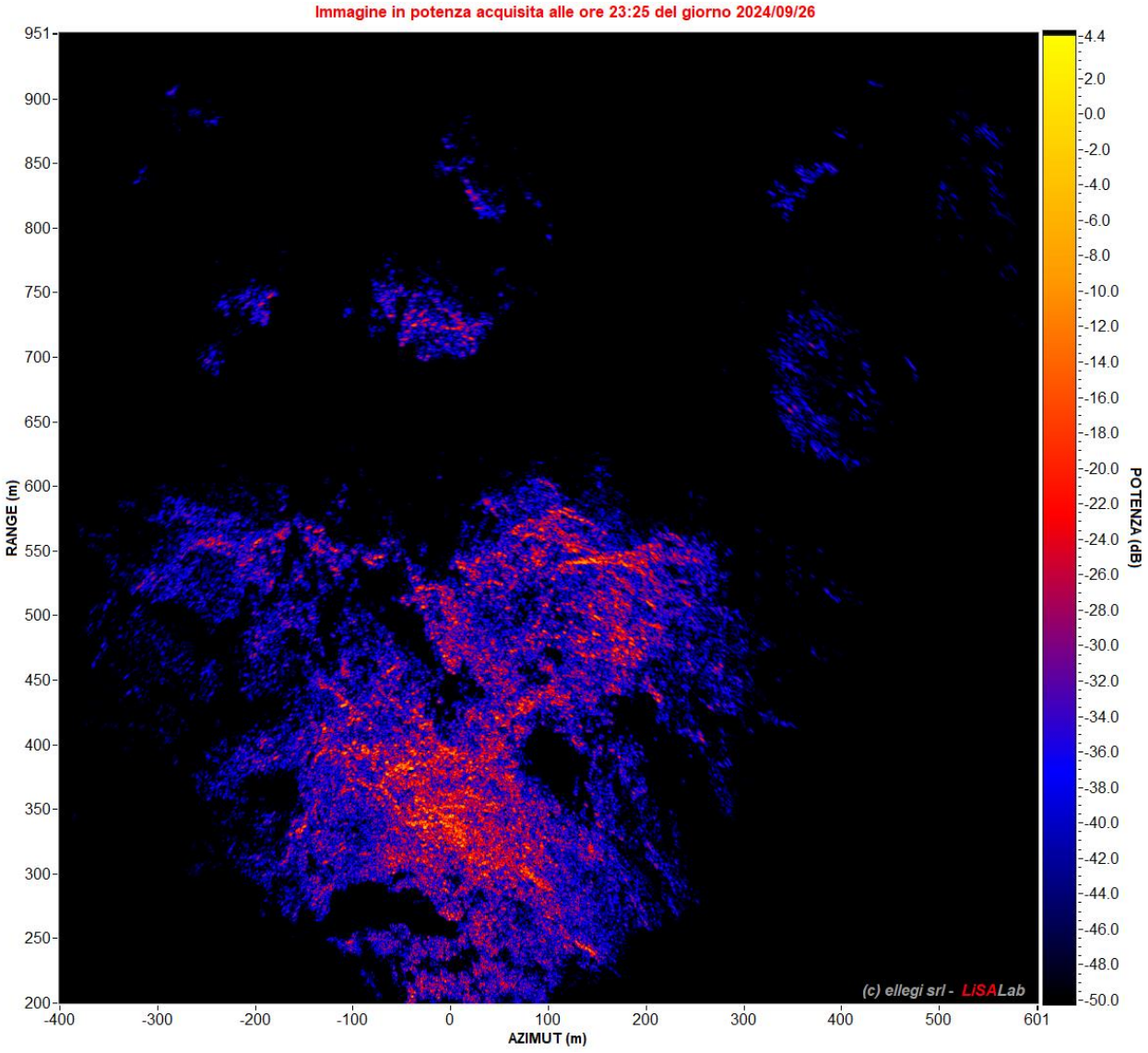



**Figura 10:** Immagine SAR in potenza in 2D dello scenario osservato dal sistema GBInSAR LiSALab, Settembre 2024. Postazione *Est*, sottofinestra *Near*.

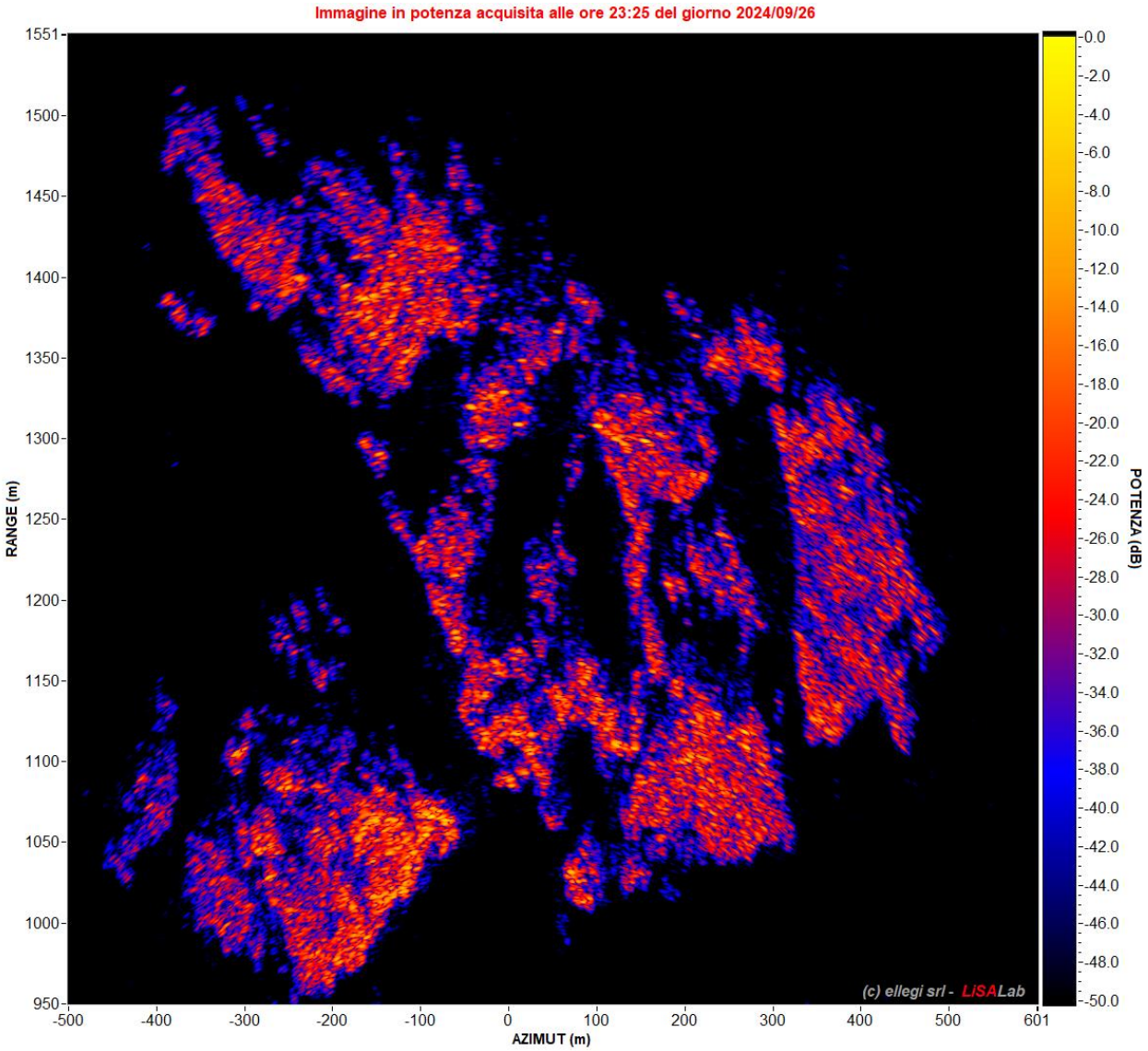



**Figura 11:** immagine SAR in potenza in 2D dello scenario osservato dal sistema GBInSAR LiSALab, Settembre 2024. Postazione *Est*, sottofinestra *Far*.

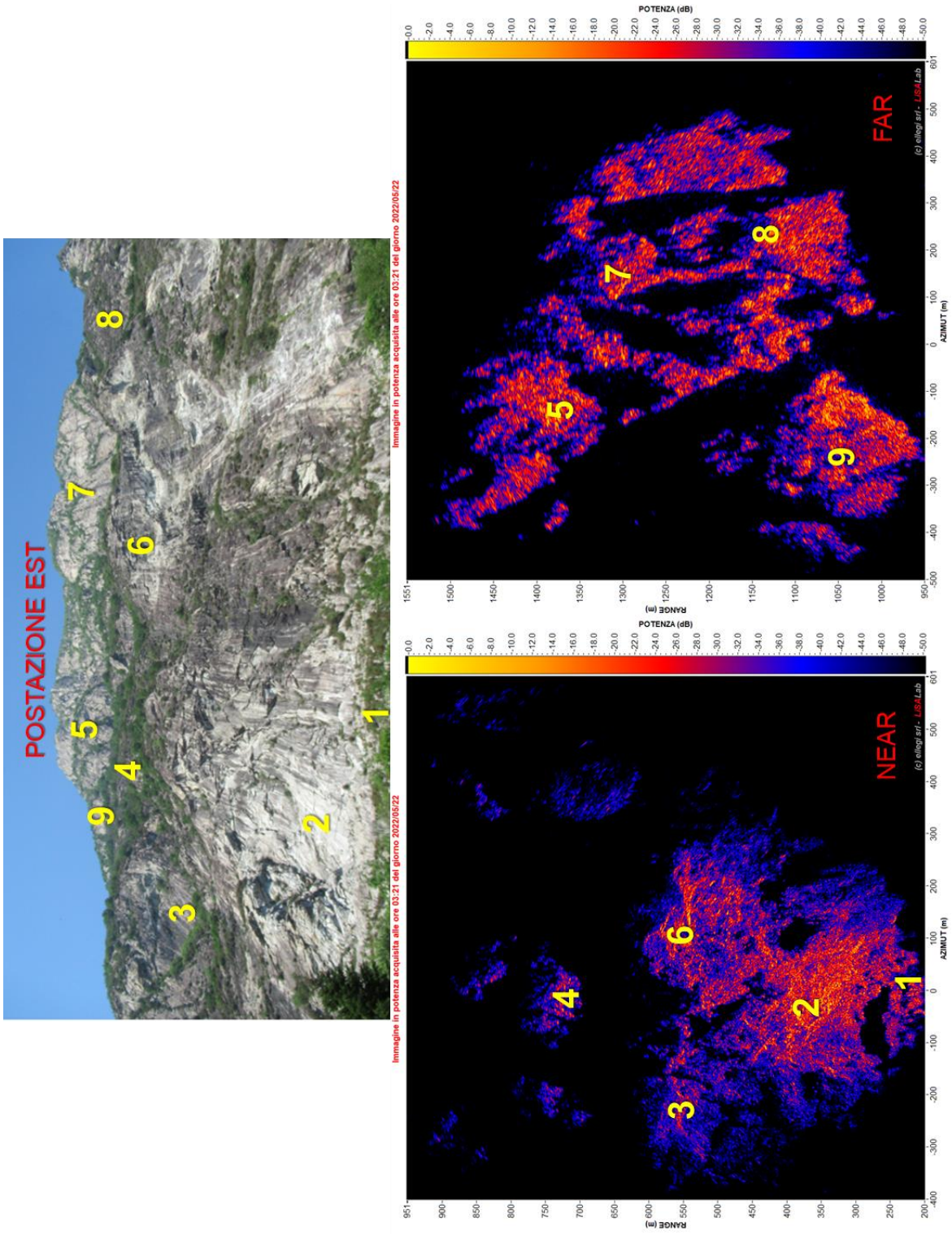



**Figura 12:** Georeferenziazione qualitativa delle immagini radar in potenza sulla fotografia del versante. Postazione *Est*, sottofinestre *Near* e *Far*.

LISALAB

## *Mappe di spostamento*

## *Analisi degli spostamenti a breve termine: 23 – 30 Settembre 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 alcuni giorni. Nella fattispecie, vengono di seguito presentate le mappe degli spostamenti avvenuti fra il 23 e il 30 Settembre 2024, a copertura di un intervallo temporale di circa 6 giorni e 14 ore.

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 sono riportati nelle figure seguenti.

Per ciascuna 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 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.

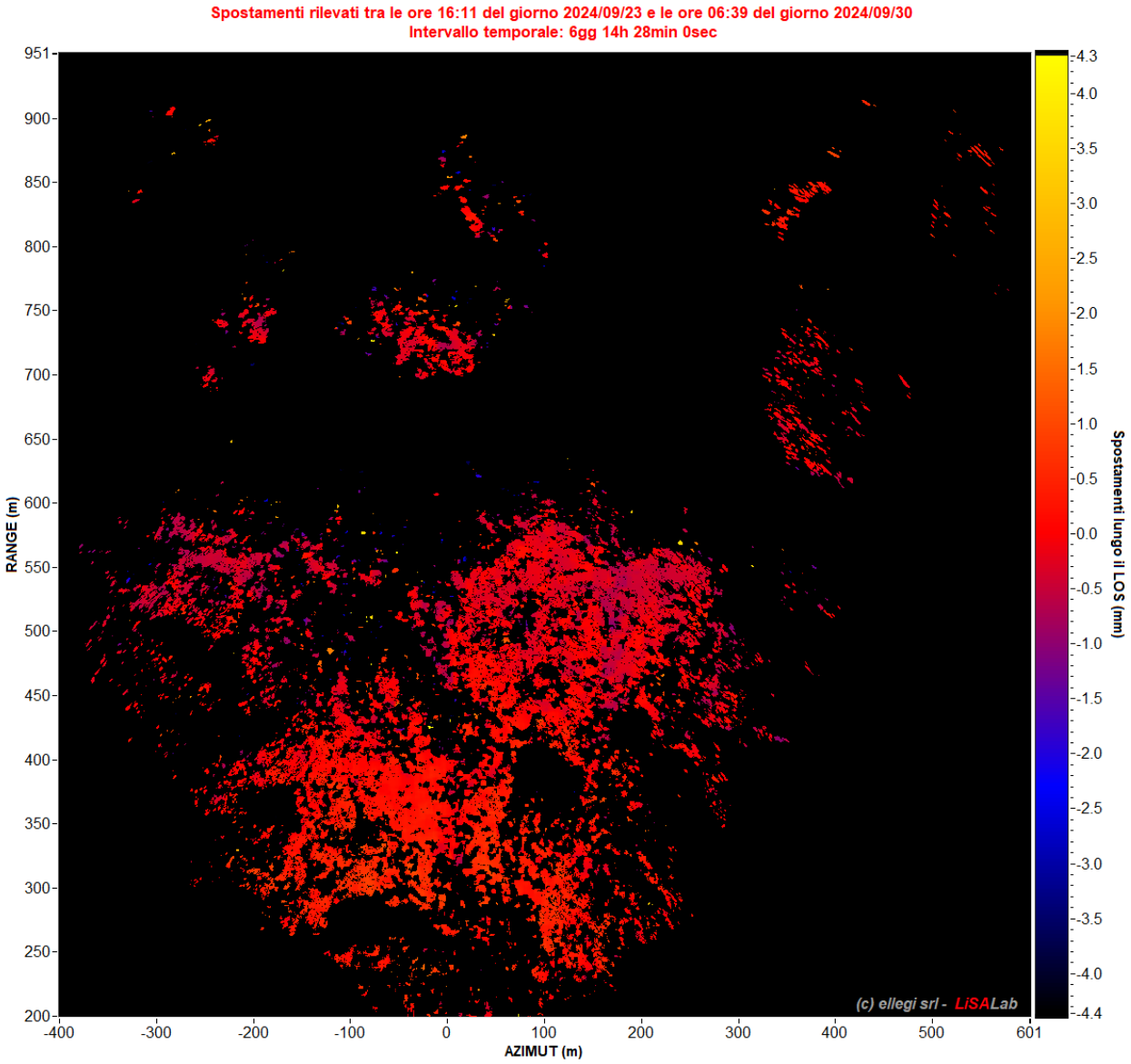



**Figura 13:** Mappa di spostamento 2D per il periodo 23-30 Settembre 2024. Postazione *Est*, sottofinestra *Near*.

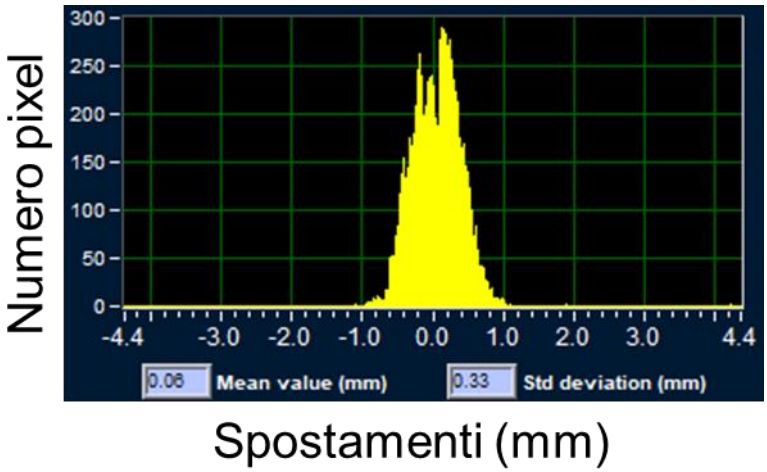



**Figura 14:** Istogramma della distribuzione degli spostamenti della mappa relativa alla postazione *Est*, sottofinestra *Near*. Valor medio degli spostamenti: 0.0, Deviazione Standard: 0.3 mm.

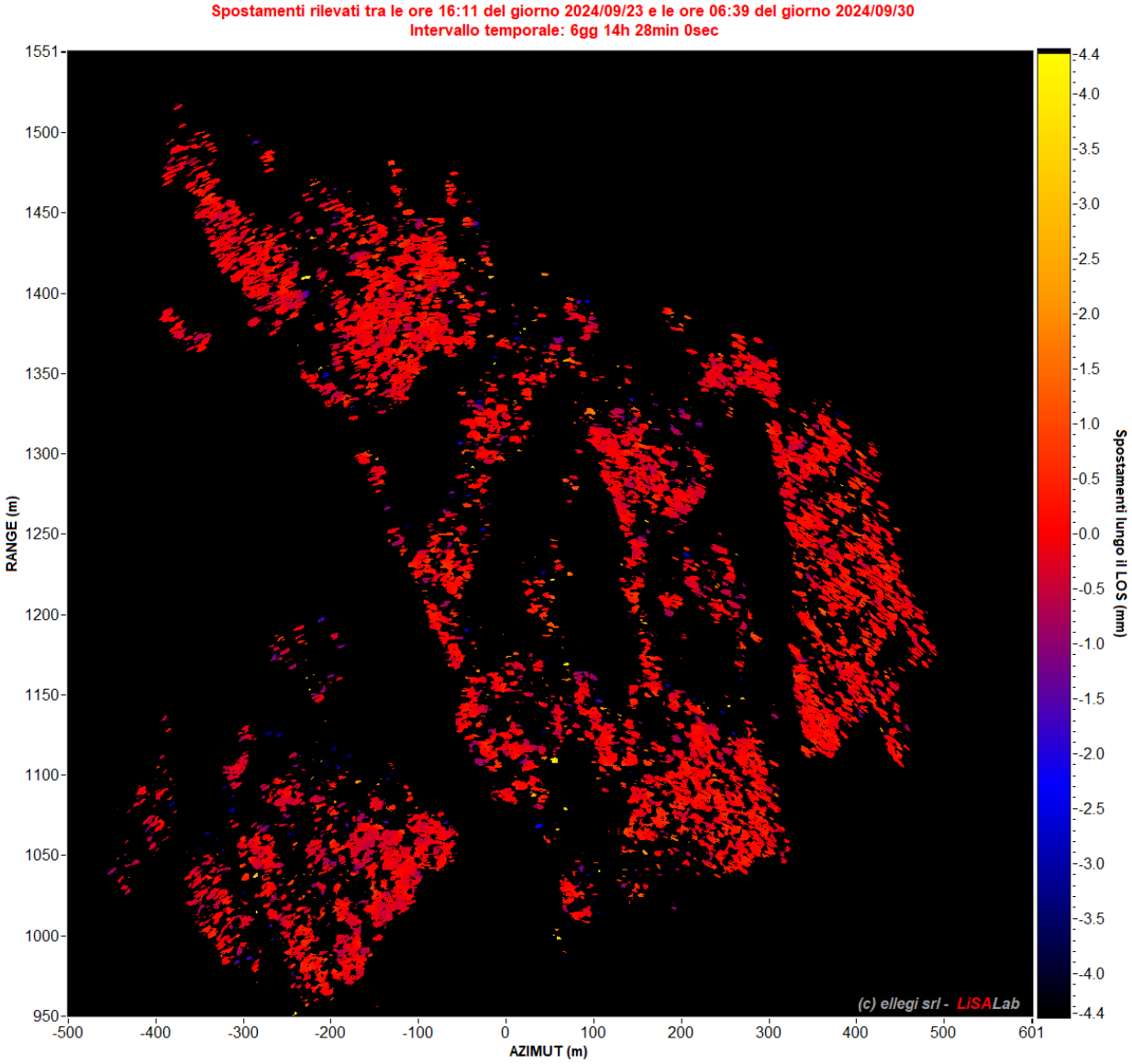



**Figura 15:** Mappa di spostamento 2D per il periodo 23 – 30 Settembre 2024. Postazione *Est*, sottofinestra *Far*.

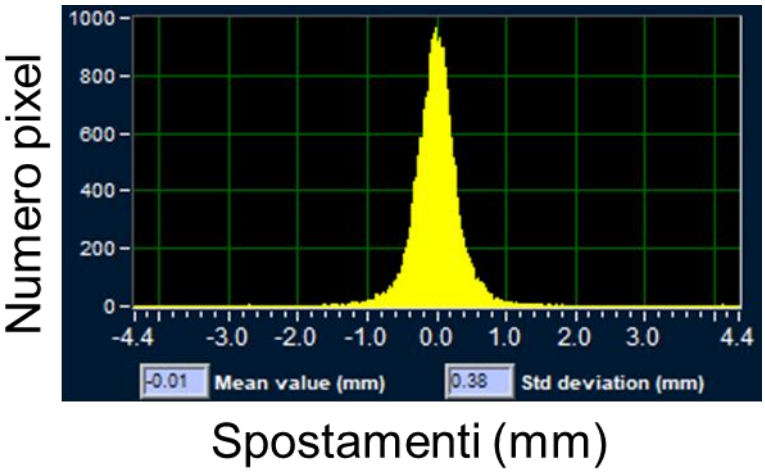



**Figura 16:** Istogramma della mappa degli spostamenti. Postazione *Est*, sottofinestra *Far*. Valor medio degli spostamenti: 0.0, Deviazione Standard: 0.4 mm.

Le mappe di spostamento ottenute per il periodo 23 – 30 Settembre 2024, 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 7 giorni sono di circa 0.0 mm per entrambe le sotto finestre analizzate.

Con l'analisi dei dati della VIIII campagna periodica di Settembre 2024 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 le campagne di misura di Maggio 2022, Aprile 2024 e Settembre 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 VII campagna e la VII campagna di misura e poi quelli tra la I (misura di zero) e la VIII 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 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), 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 Aprile 2024 e la campagna di Settembre 2024 e tra la campagna di Maggio 2022 e la campagna di Settembre 2024. Tale confronto permetterà di visualizzare gli eventuali movimenti rilevati nell'arco temporale del monitoraggio e di discernere la presenza di fluttuazioni deformative di tipo termico

.

**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 sottofinestra, i risultati ottenuti del confronto tra le campagne sopra citate che corrispondono a spostamenti differenziali su aree distinte di diversa estensione.

LISALAB

## *Postazione Est Near*

## Analisi per il periodo 21 Aprile 2024 – 26 Settembre 2024

Di seguito vengono presentati i risultati ottenuti per la postazione *Est Near* riferiti all'intervallo di tempo di circa 159 giorni tra la VII e la VIII campagna di misura.

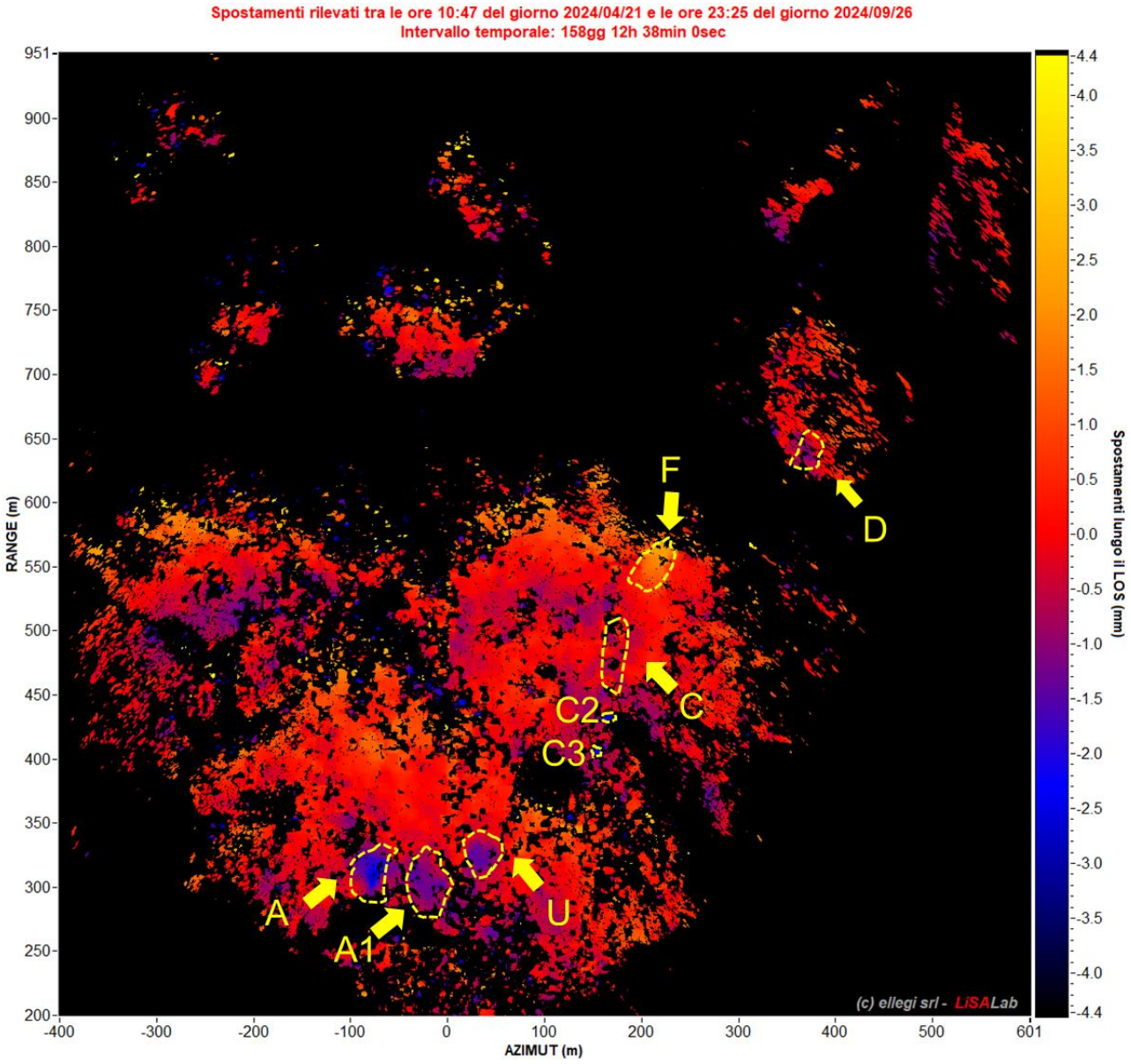



**Figura 17:** Mappa di spostamento 2D per il periodo 21 Aprile 2024 – 26 Settembre 2024. Postazione Est, sottofinestra Near. In giallo sono identificate le aree che nel report precedente avevano avuto spostamenti superiori alla precisione strumentale.

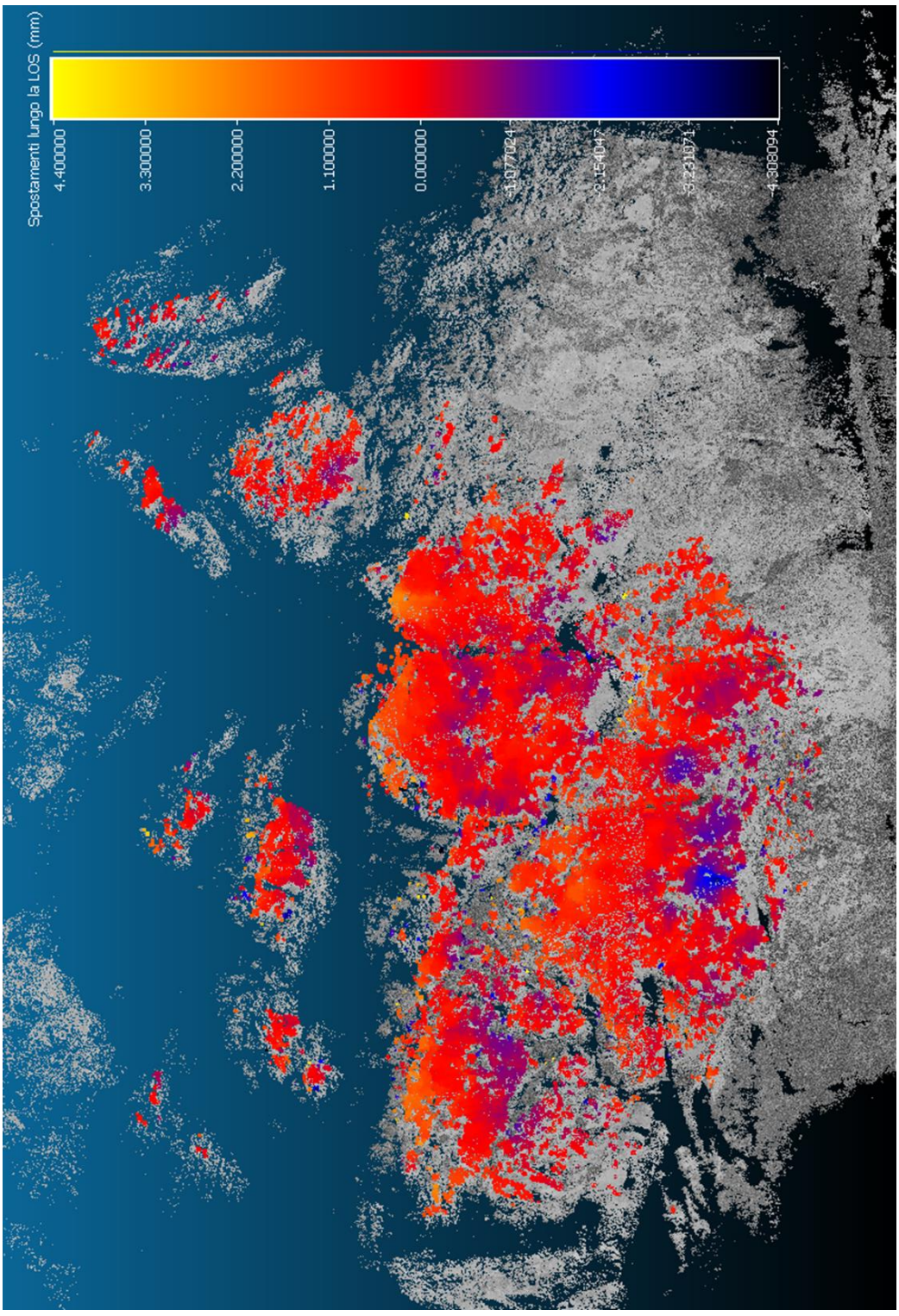



**Figura 18:** Mappa di spostamento 3D per il periodo 21 Aprile 2024 – 26 Settembre 2024 su Point Cloud. Postazione Est, sottofinestra Near.

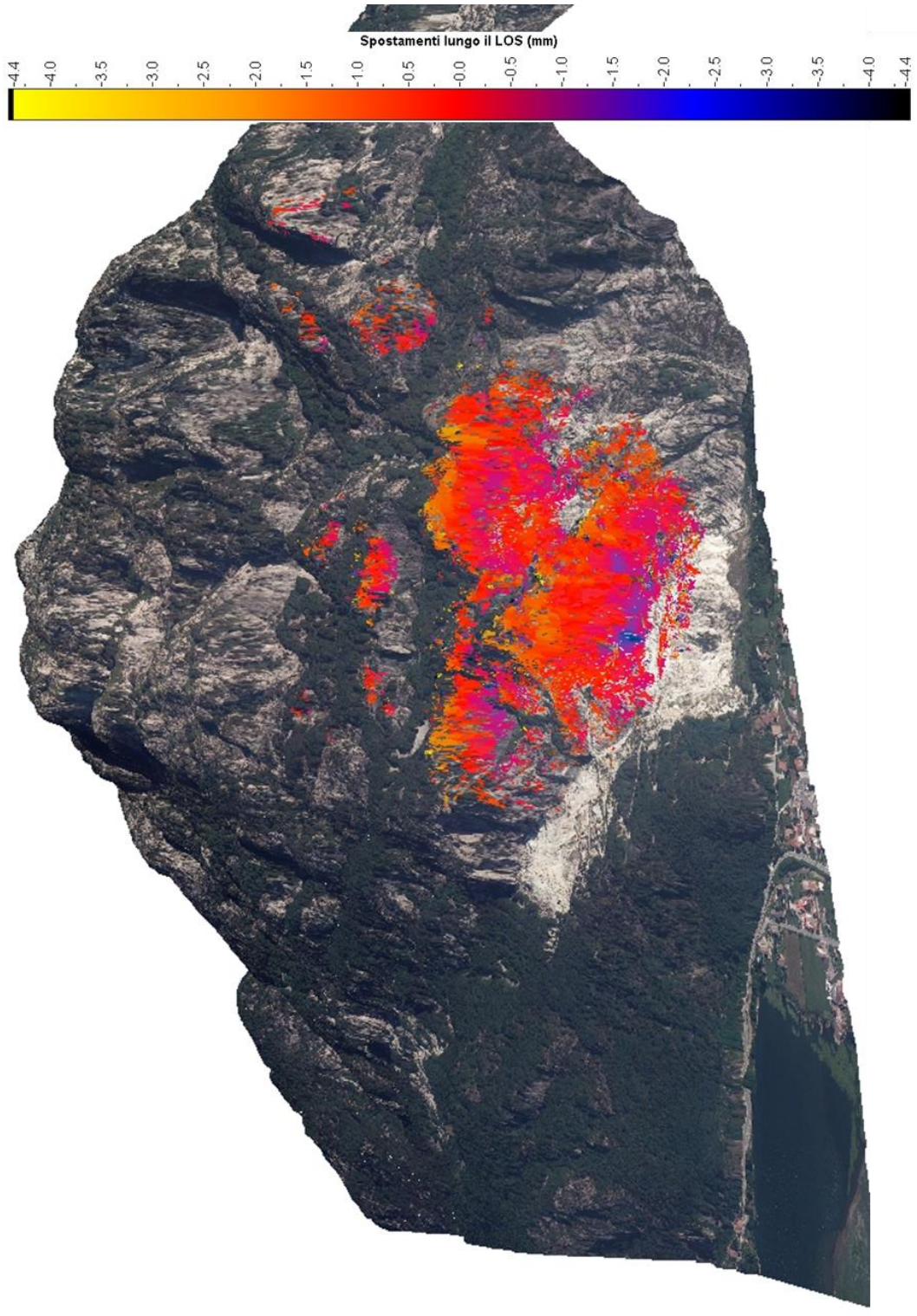



**Figura 19:** Mappa di spostamento 3D per il periodo 21 Aprile 2024 – 26 Settembre 2024 su DEM del versante. Postazione Est, sottofinestra Near.

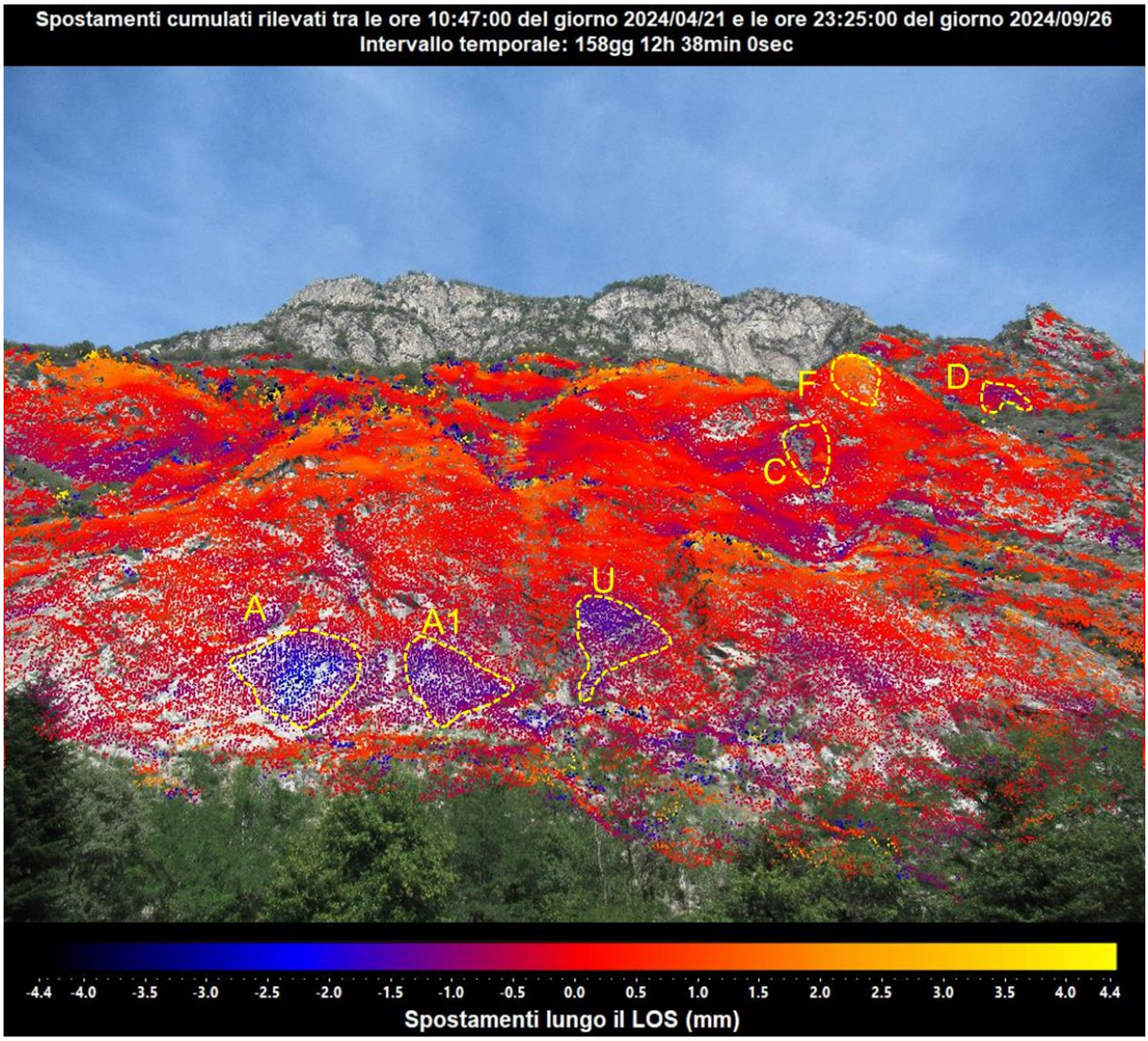


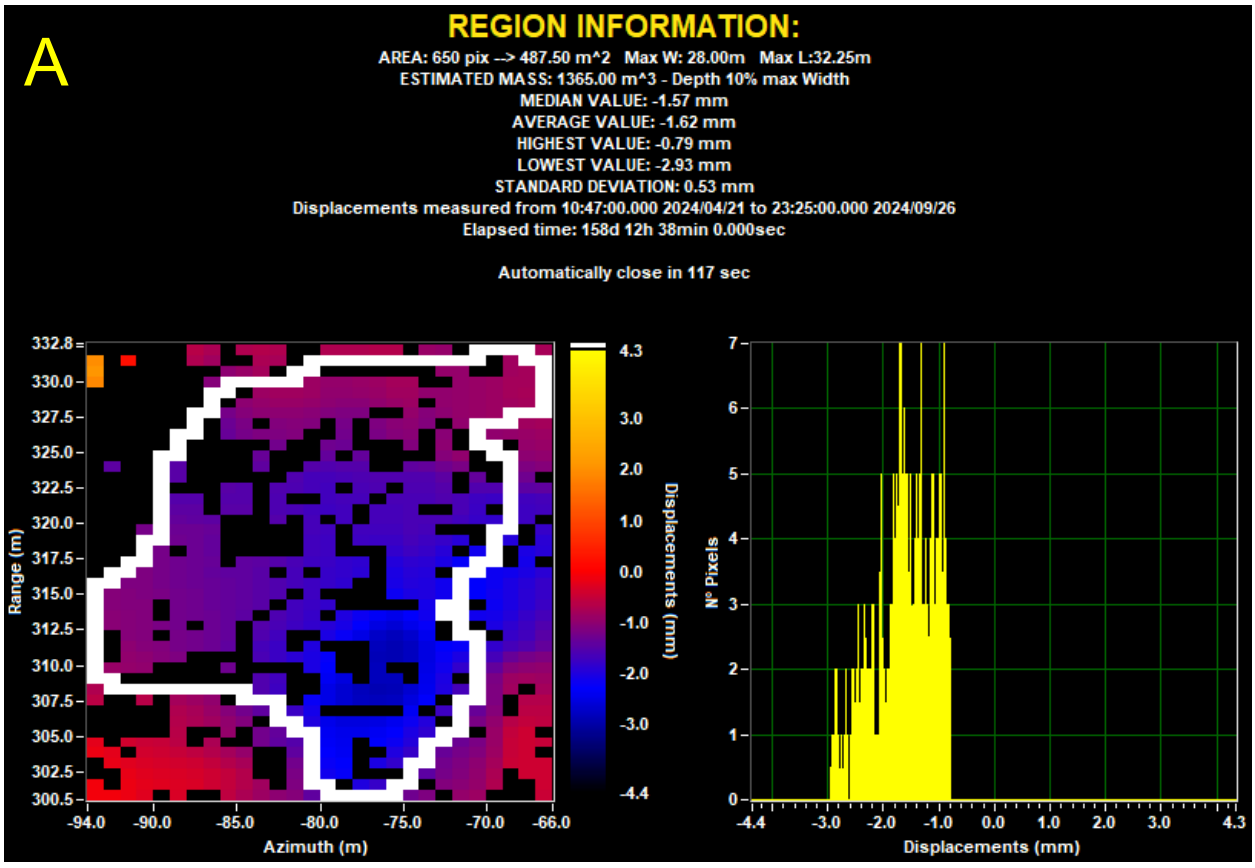

**Figura 20:** Mappa di spostamento per il periodo 21 Aprile 2024 – 26 Settembre 2024 proiettata sull'immagine ottica del versante. Postazione Est, sottofinestra Near.

Dall'analisi sul lungo termine eseguita tra la campagna di Aprile 2024 e la campagna di Settembre 2024 per la postazione *Est Near* si possono rilevare diverse zone con spostamenti al di sopra della precisione strumentale. Queste zone sono state indicate sia in Figura 17 che in Figura 20 e, sebbene i loro spostamenti siano contenuti in un range di $\pm$ 5 mm, hanno caratteristiche diverse.

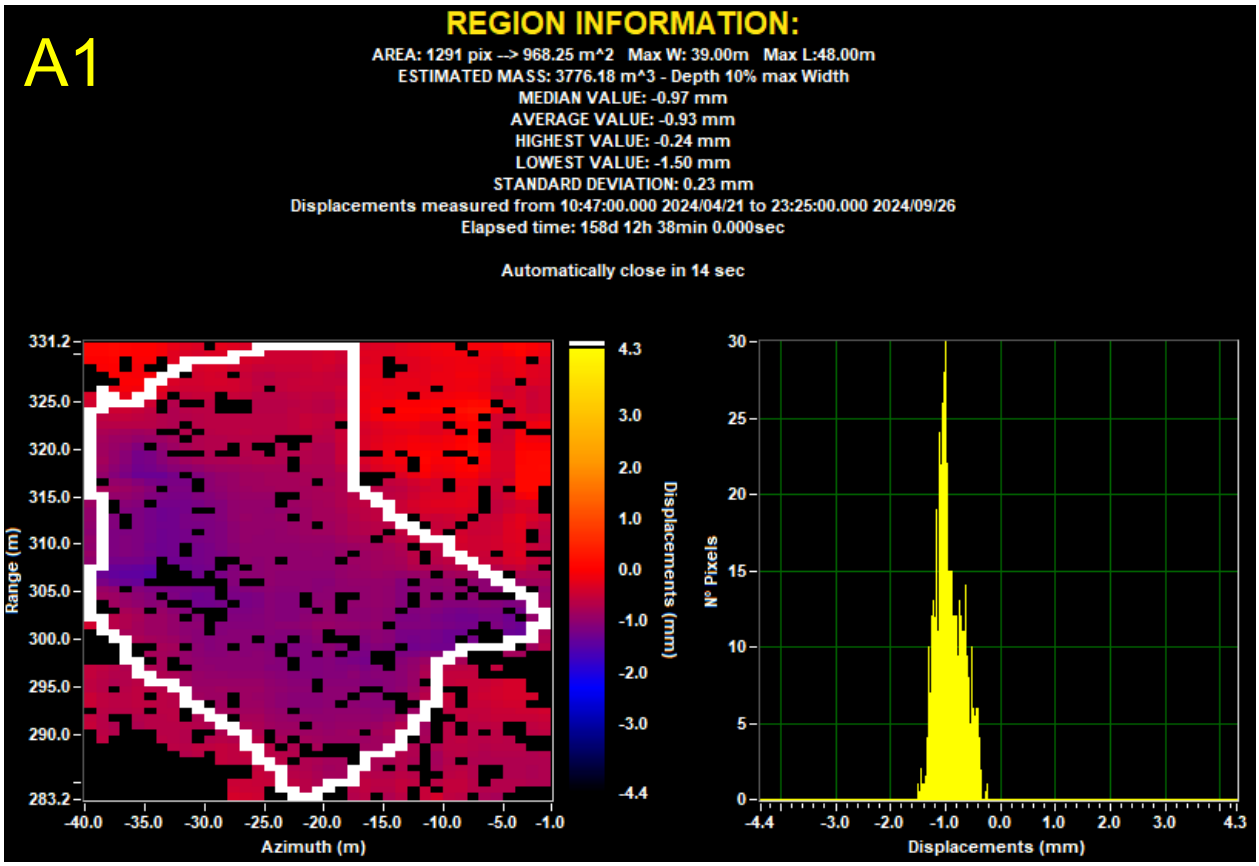
Alcune aree come ad esempio l'area A, U, C, D e F sono state oggetto di descrizione e segnalazione anche nei precedenti periodical check mentre altre (A1, C2 e C3) sono di pertinenza di questo particolare periodical check.

I dettagli statistici riguardante l'estensione areale delle zone e i valori di spostamento rilevati in queste aree sono presentati nelle seguenti pagine.

È opportuno infine menzionare il fatto che nelle mappe presentate in Figura 17 - Figura 20 permane un residuo di deformazione sia in avvicinamento che in allontanamento su zone piuttosto estese. Anche questi residui sono connessi a fluttuazioni di tipo termico e, come si vedrà nella prossima sezione, tendono a scomparire modificando il periodo di analisi.

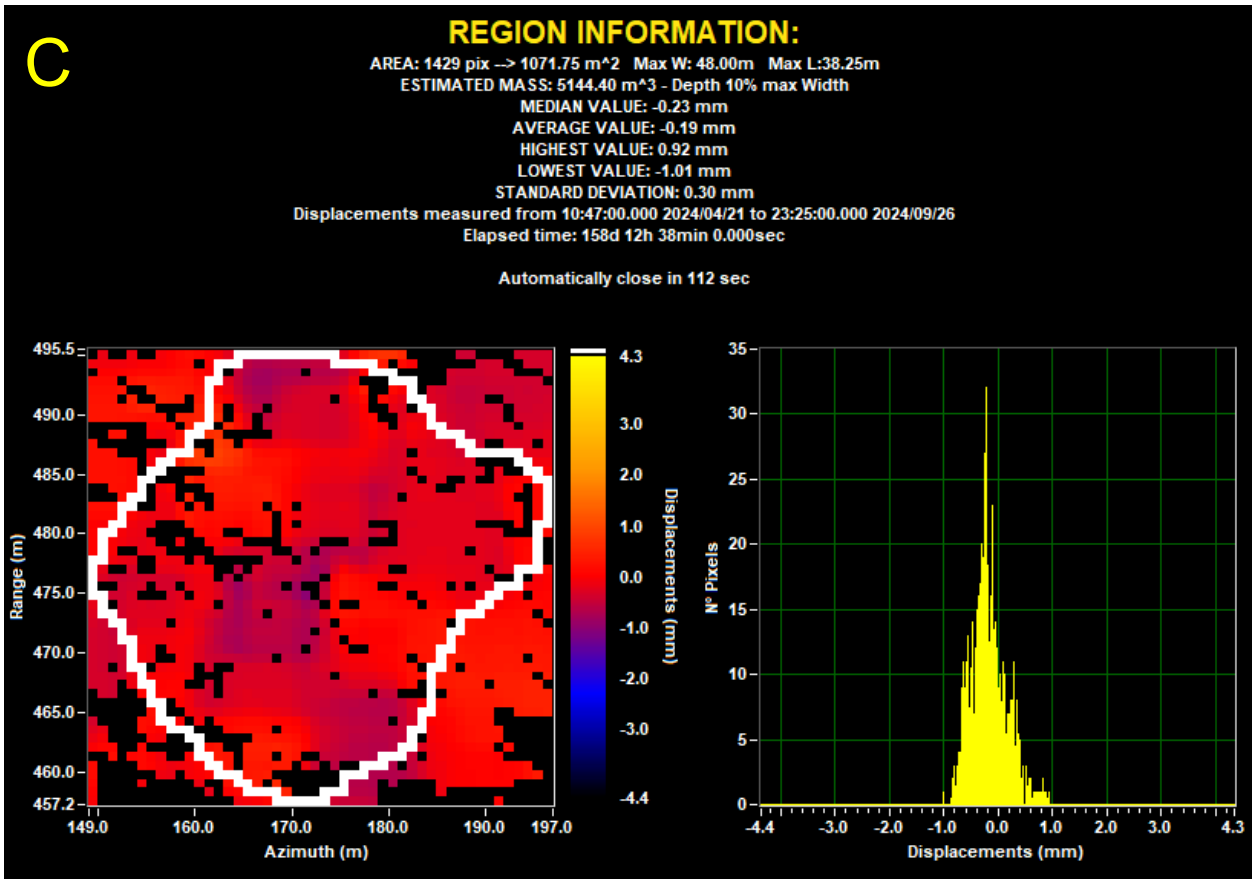


LISALAB

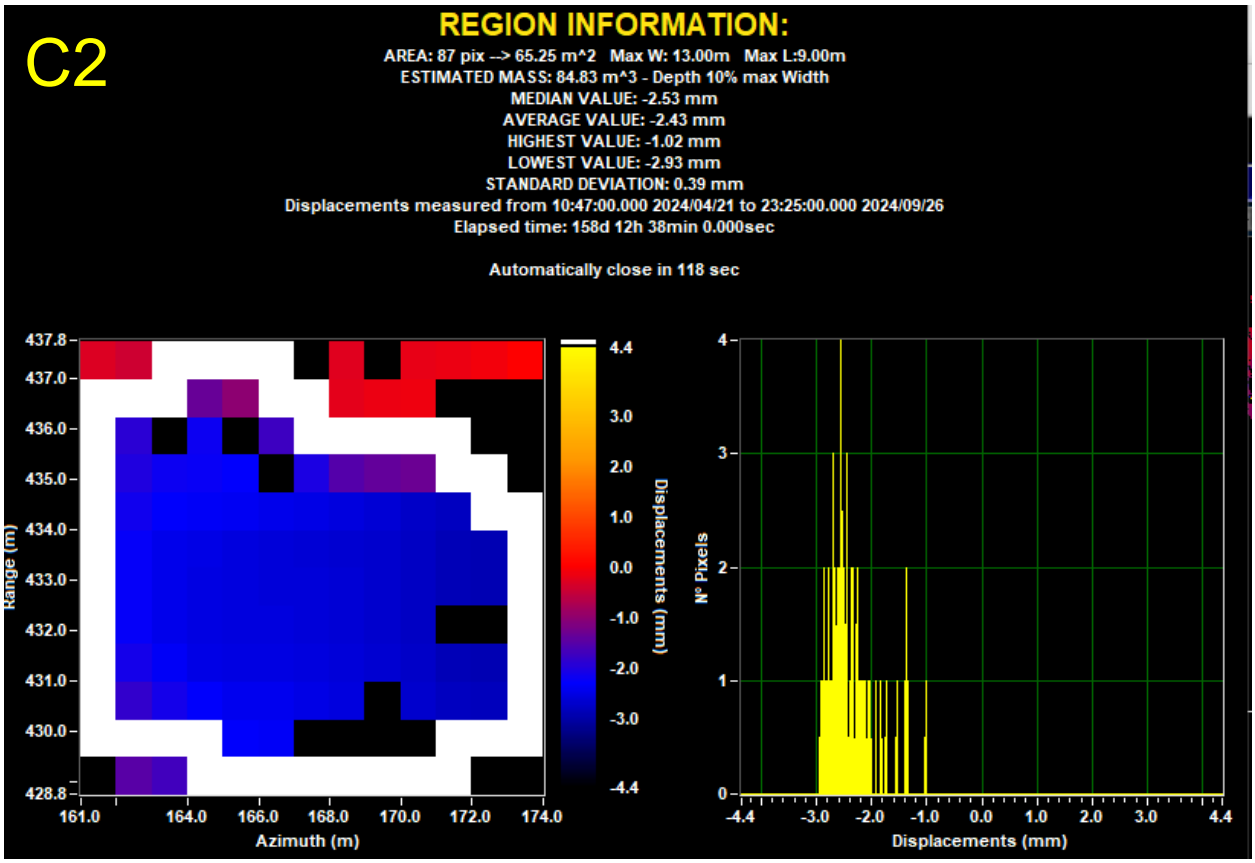



| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ellegi srl<br>via bandello, 5 milano<br>sede operativa<br>via petrarca, 55 rovello porro | Argomento: | Monitoraggio pareti rocciose del Monte Avedèe nel Comune di Novate Mezzola (SO) – Settembre 2024 | | | | | Data di creazione: | 01 Ottobre 2024 |
| | Riferimento Cliente: | Comunità Montana Valchiavenna | Rif. int.: | AG | Rev.: | 00 | Data di revisione: | |
| | File: | rep.cvc.241001.ag.00 | Note: | CONFIDENZIALE | | | Page: | 34 |

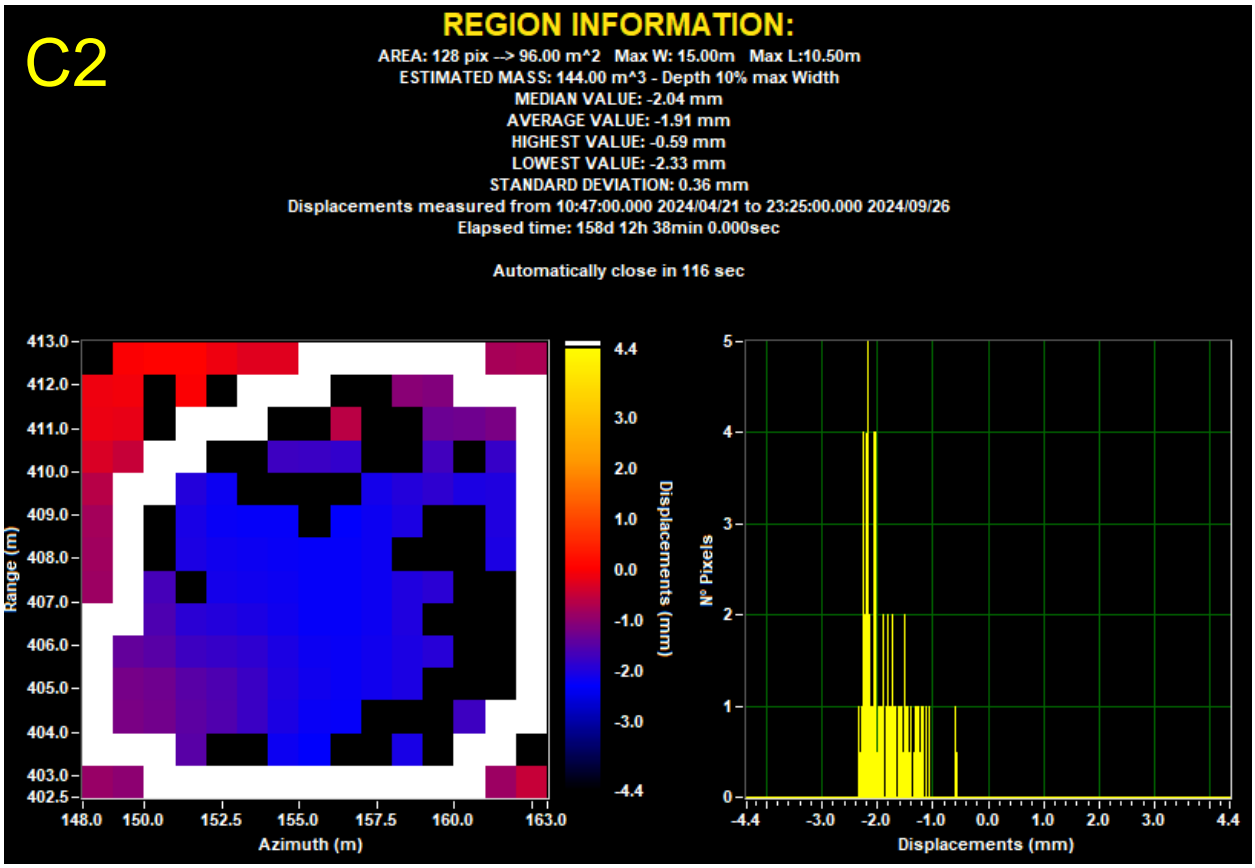
LISALAB


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: -0.23 mm
AVERAGE VALUE: -0.19 mm
HIGHEST VALUE: 0.92 mm
LOWEST VALUE: -1.01 mm
STANDARD DEVIATION: 0.30 mm
Displacements measured from 10:47:00.000 2024/04/21 to 23:25:00.000 2024/09/26
Elapsed time: 158d 12h 38min 0.000sec
Automatically close in 112 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
N° Pixels
Displacements (mm)

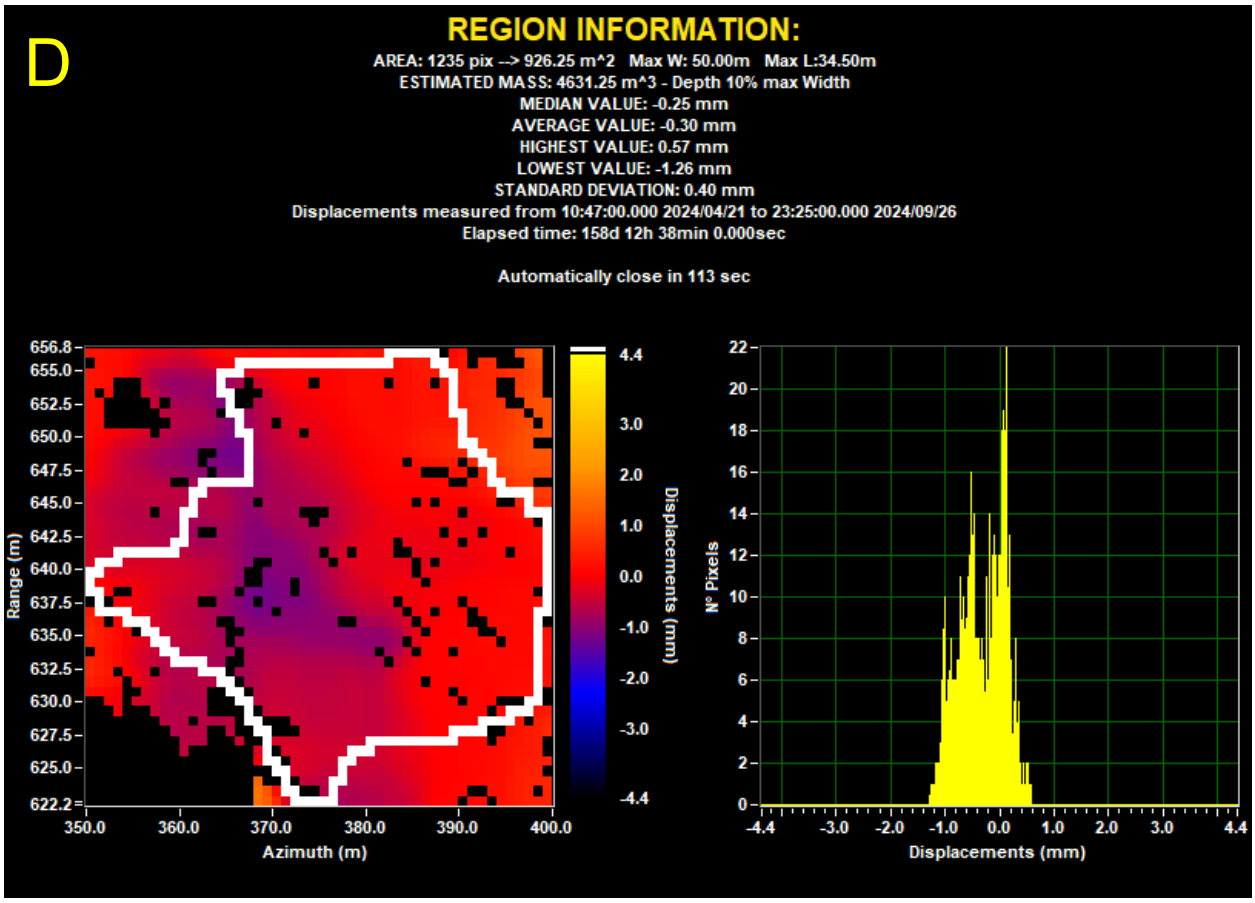
LISALAB


C2
REGION INFORMATION:
AREA: 87 pix --> 65.25 m^2 Max W: 13.00m Max L:9.00m
ESTIMATED MASS: 84.83 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: -2.53 mm
AVERAGE VALUE: -2.43 mm
HIGHEST VALUE: -1.02 mm
LOWEST VALUE: -2.93 mm
STANDARD DEVIATION: 0.39 mm
Displacements measured from 10:47:00.000 2024/04/21 to 23:25:00.000 2024/09/26
Elapsed time: 158d 12h 38min 0.000sec
Automatically close in 118 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
N° Pixels
Displacements (mm)

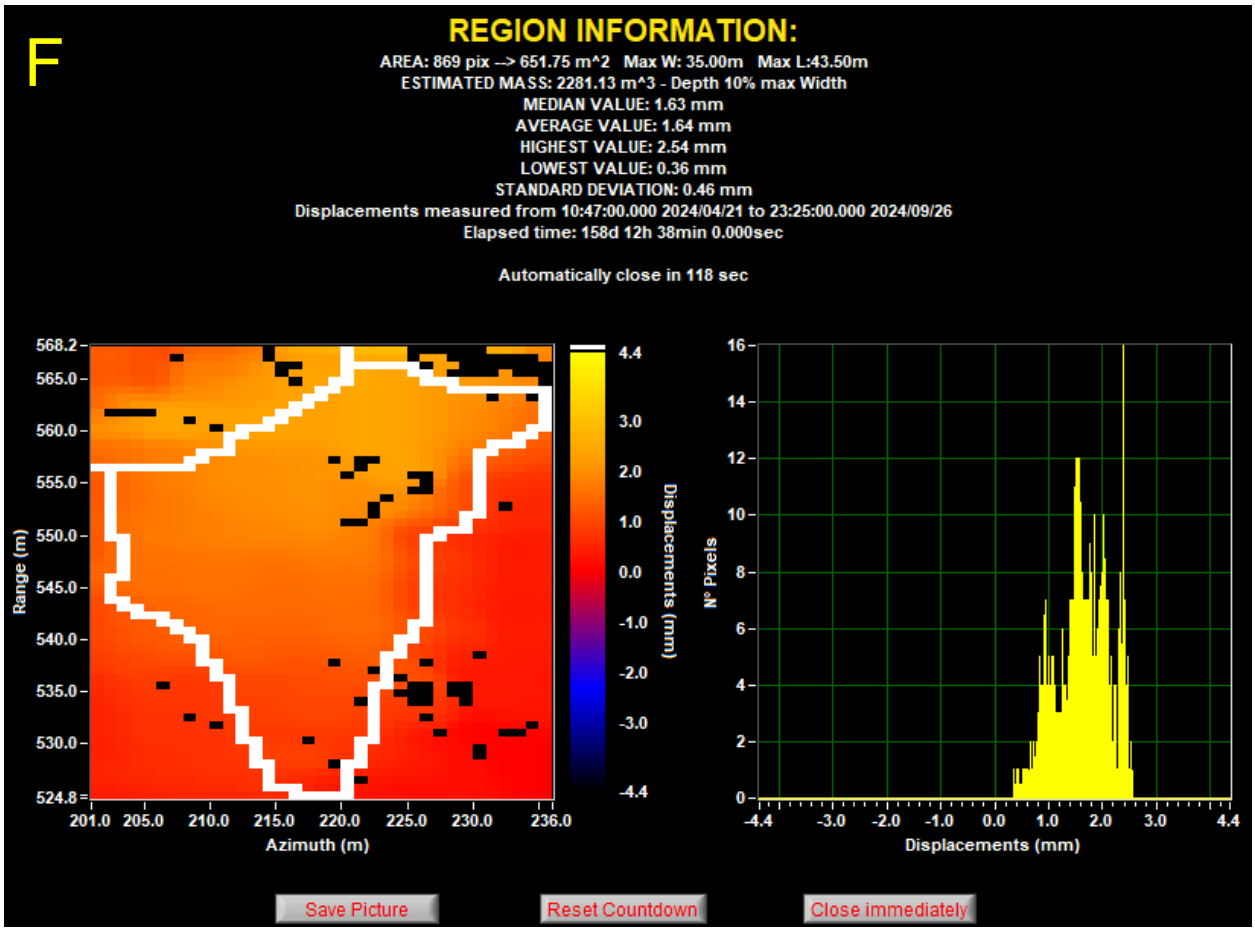
LISALAB


C2
REGION INFORMATION:
AREA: 128 pix --> 96.00 m^2 Max W: 15.00m Max L:10.50m
ESTIMATED MASS: 144.00 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: -2.04 mm
AVERAGE VALUE: -1.91 mm
HIGHEST VALUE: -0.59 mm
LOWEST VALUE: -2.33 mm
STANDARD DEVIATION: 0.36 mm
Displacements measured from 10:47:00.000 2024/04/21 to 23:25:00.000 2024/09/26
Elapsed time: 158d 12h 38min 0.000sec
Automatically close in 116 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
N° Pixels
Displacements (mm)

LISALAB


D
REGION INFORMATION:
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: -0.25 mm
AVERAGE VALUE: -0.30 mm
HIGHEST VALUE: 0.57 mm
LOWEST VALUE: -1.26 mm
STANDARD DEVIATION: 0.40 mm
Displacements measured from 10:47:00.000 2024/04/21 to 23:25:00.000 2024/09/26
Elapsed time: 158d 12h 38min 0.000sec
Automatically close in 113 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
N° Pixels
Displacements (mm)

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: 1.63 mm
AVERAGE VALUE: 1.64 mm
HIGHEST VALUE: 2.54 mm
LOWEST VALUE: 0.36 mm
STANDARD DEVIATION: 0.46 mm
Displacements measured from 10:47:00.000 2024/04/21 to 23:25:00.000 2024/09/26
Elapsed time: 158d 12h 38min 0.000sec
Automatically close in 118 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
N° Pixels
Displacements (mm)
Save Picture
Reset Countdown
Close immediately

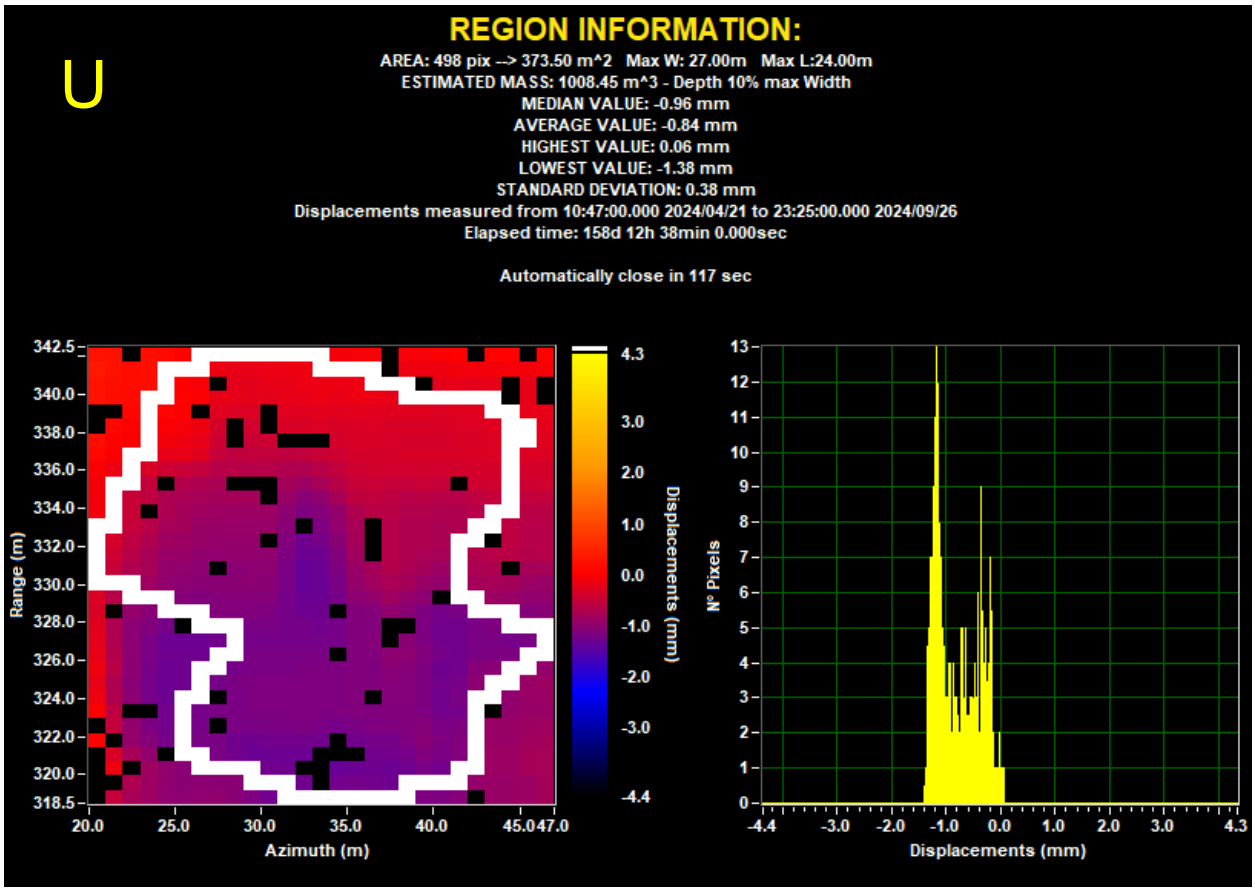



**Figura 21:** Analisi statistica eseguita sulle aree in movimento per il periodo 21 Aprile 2024 – 26 Settembre 2024. Postazione Est, sottofinestra Near.

LISALAB

## Analisi per il periodo 22 Maggio 2022 – 26 Settembre 2024

Di seguito vengono presentati i risultati ottenuti per la postazione *Est Near* riferiti all'intervallo di tempo tra la I e la VIII campagna di misura (22 Maggio 2022 – 26 Settembre 2024). L'intervallo considerato è di 858 giorni 20 ore e 4 minuti. Questa finestra temporale, molto più estesa rispetto all'analisi presentata in precedenza, consente una valutazione globale delle deformazioni in atto al netto delle deformazioni termiche che possono verificarsi durante dei sottoperiodi minori.

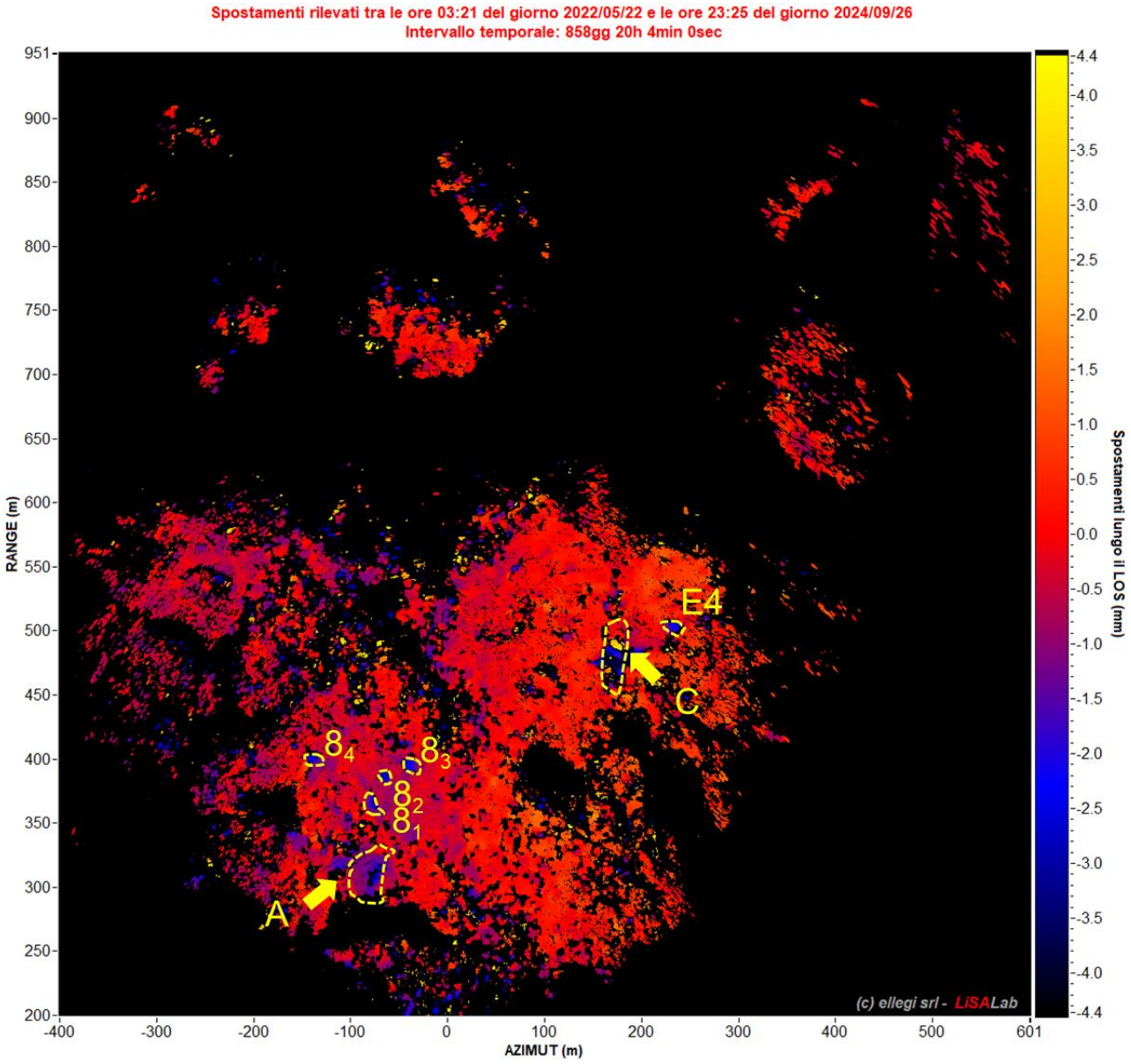



**Figura 22:** Mappa di spostamento 2D per il periodo 22 Maggio 2022 – 26 Settembre 2024. Postazione Est, sottofinestra Near In giallo sono rappresentate le aree riconosciute in movimento.

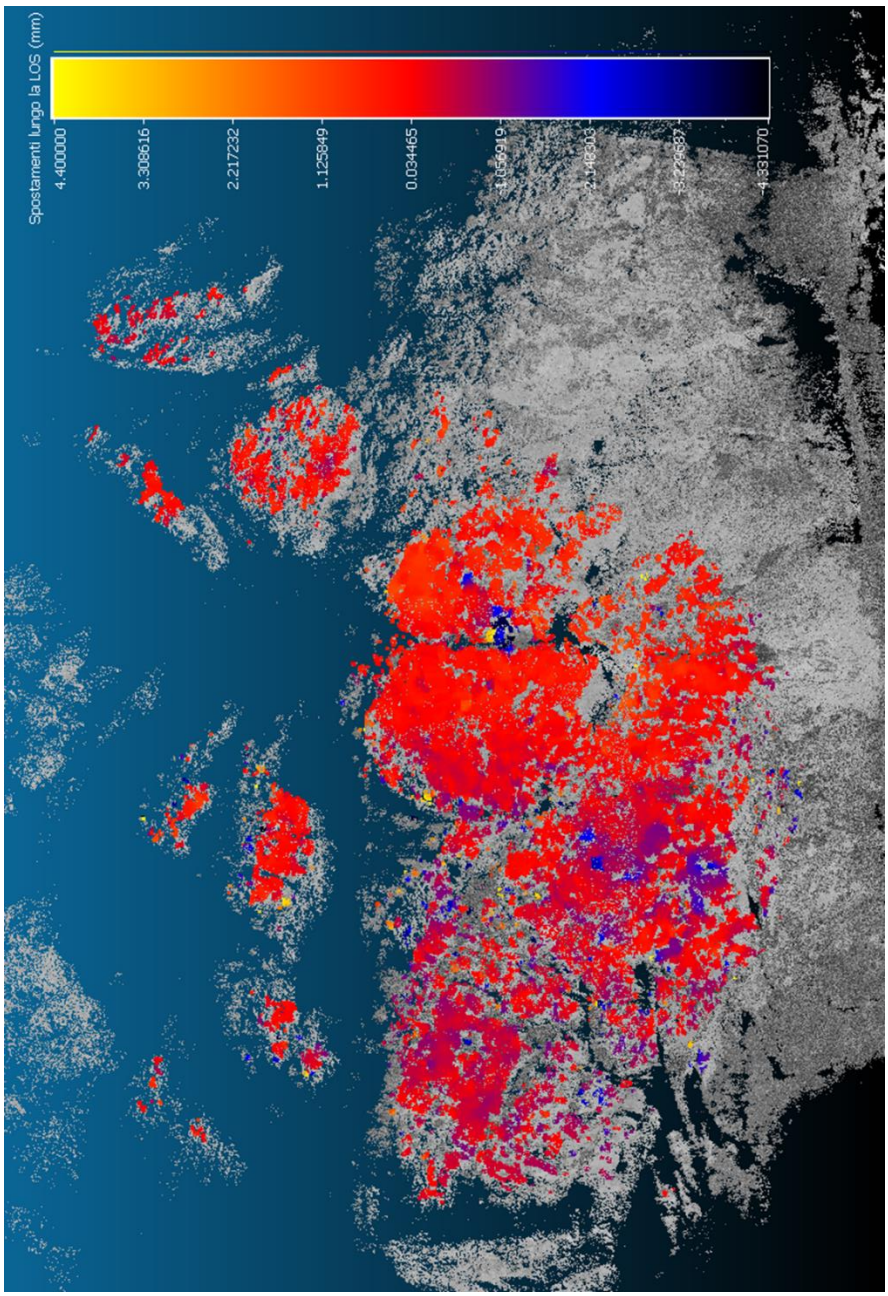



**Figura 23:** Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 Maggio 2022 – 26 Settembre 2024 su Point Cloud. Postazione Est, sottofinestra Near.

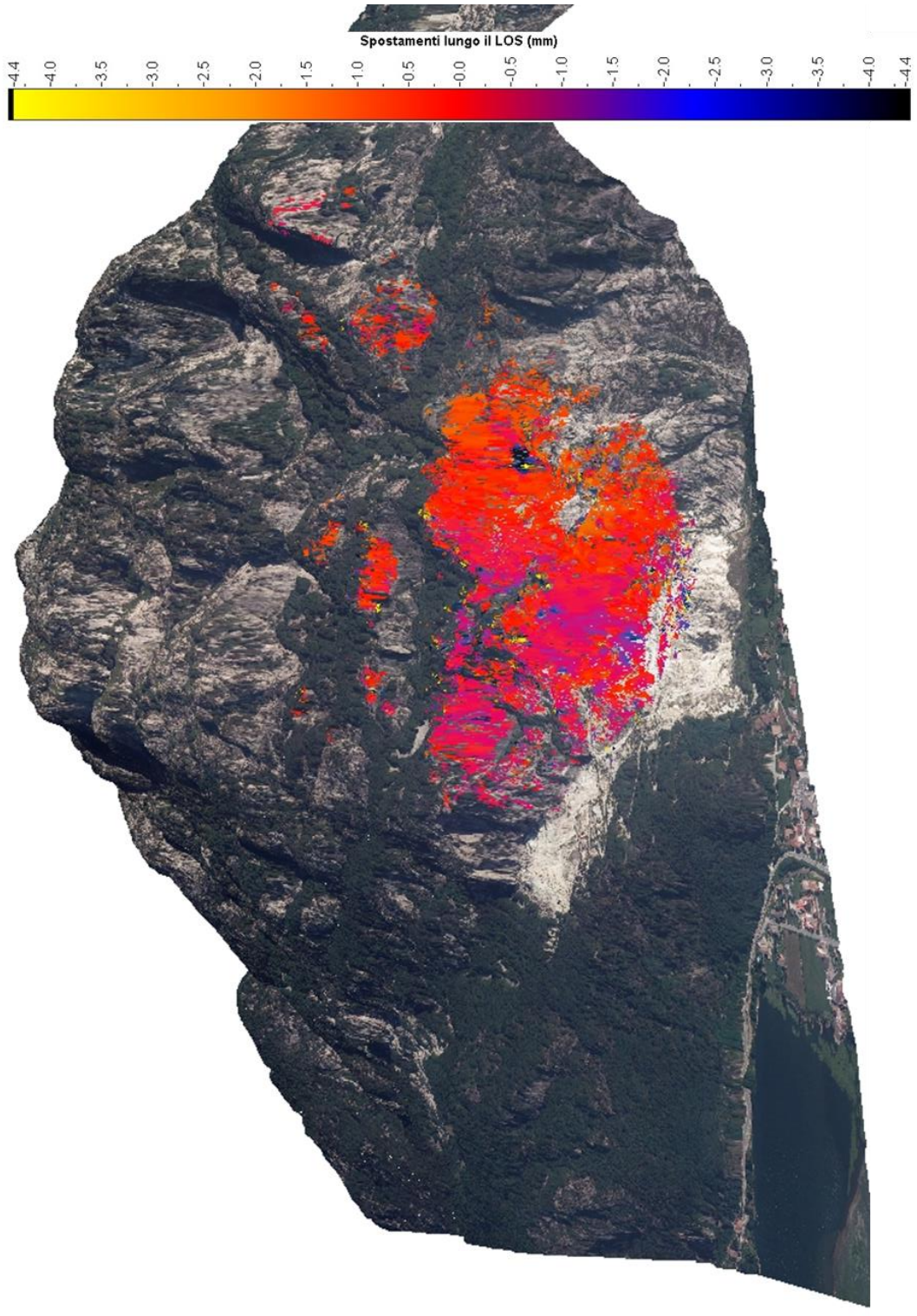



**Figura 24:** Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 Maggio 2022 – 26 Settembre 2024 su DEM del versante. Postazione Est, sottofinestra Near. In giallo sono rappresentate le aree in movimento più estese nell'intervallo considerato.

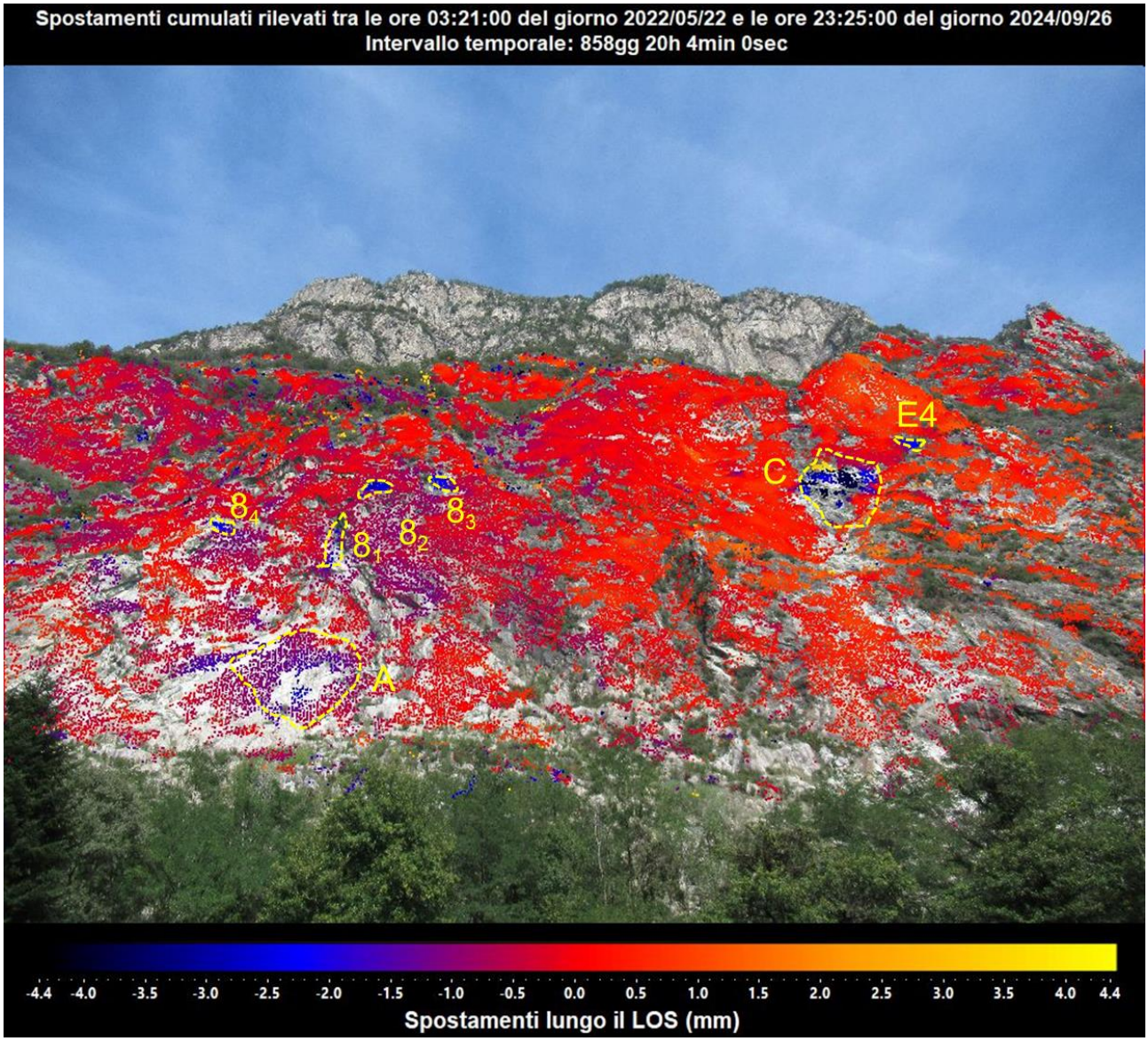
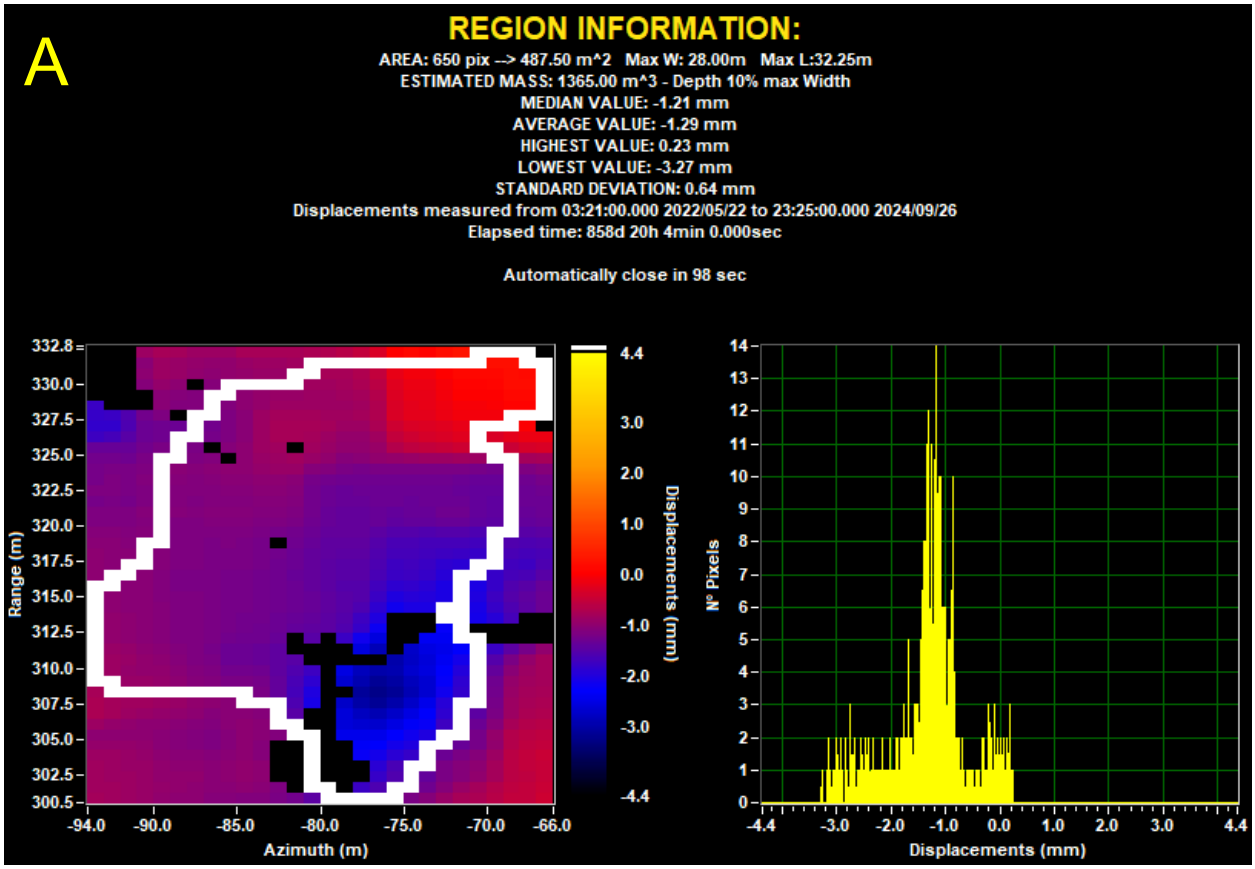



**Figura 25:** Mappa di spostamento per il periodo 22 Maggio 2022 – 26 Settembre 20204 Proiettata sull'immagine ottica del versante. Postazione Est, sottofinestra Near.

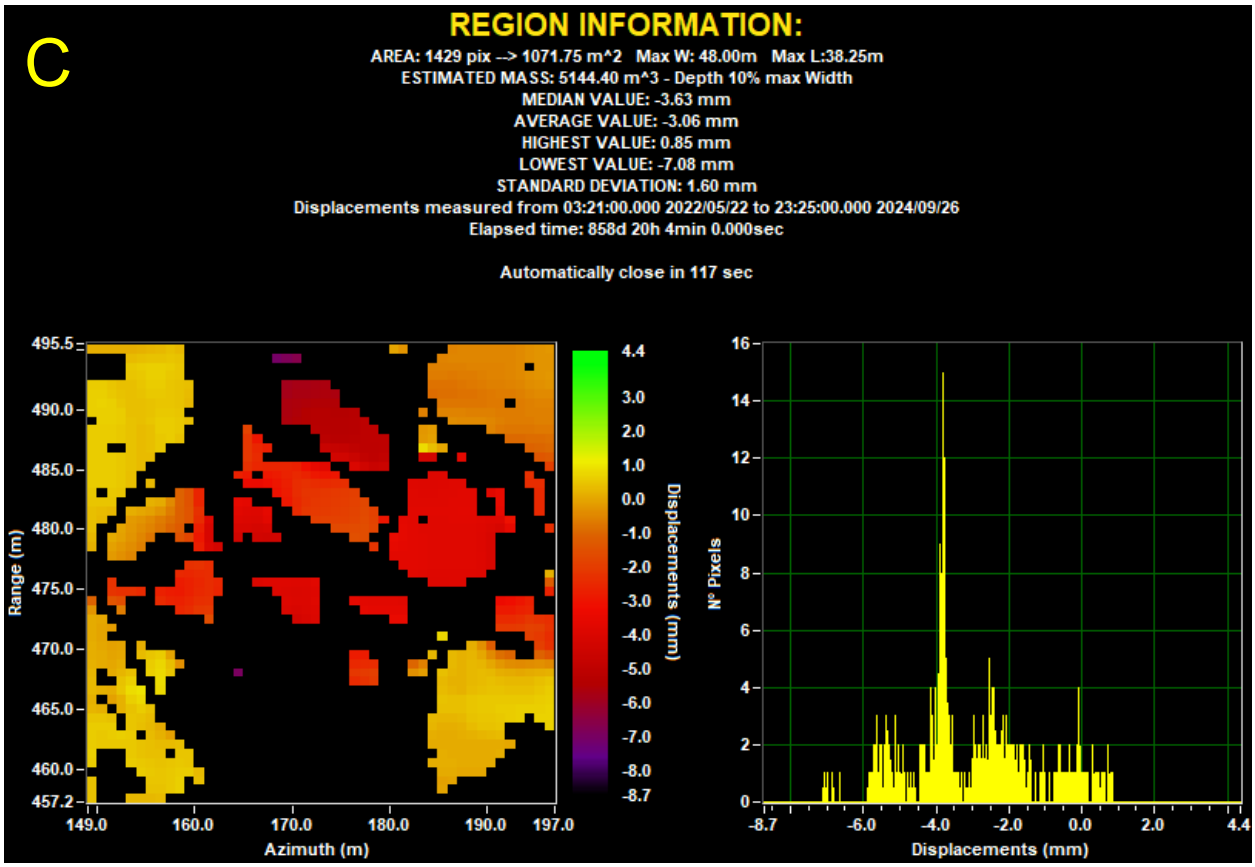
Dall'analisi di lungo termine eseguita tra la campagna di Maggio 2022 e la campagna di 26 Settembre 2024 per la postazione *Est Near* si osserva la presenza di alcune aree in movimento. Alcune di aree sono già state segnalate nei precedenti report (A, C, E4) mentre altre zone, di dimensione areale più contenuta ($8_1$, $8_2$, $8_3$ e $8_4$) sono di pertinenza di questo report. Le nuove sottozone sono denominate con il prefisso "8" in quanto di pertinenza di questo ottavo periodical check. Come detto queste aree sono di dimensioni ridotte (fra i 50 e i 200 metri quadri in coordinate radar) e hanno registrato degli spostamenti di circa -1.5 / -2.0 mm.

LISALAB

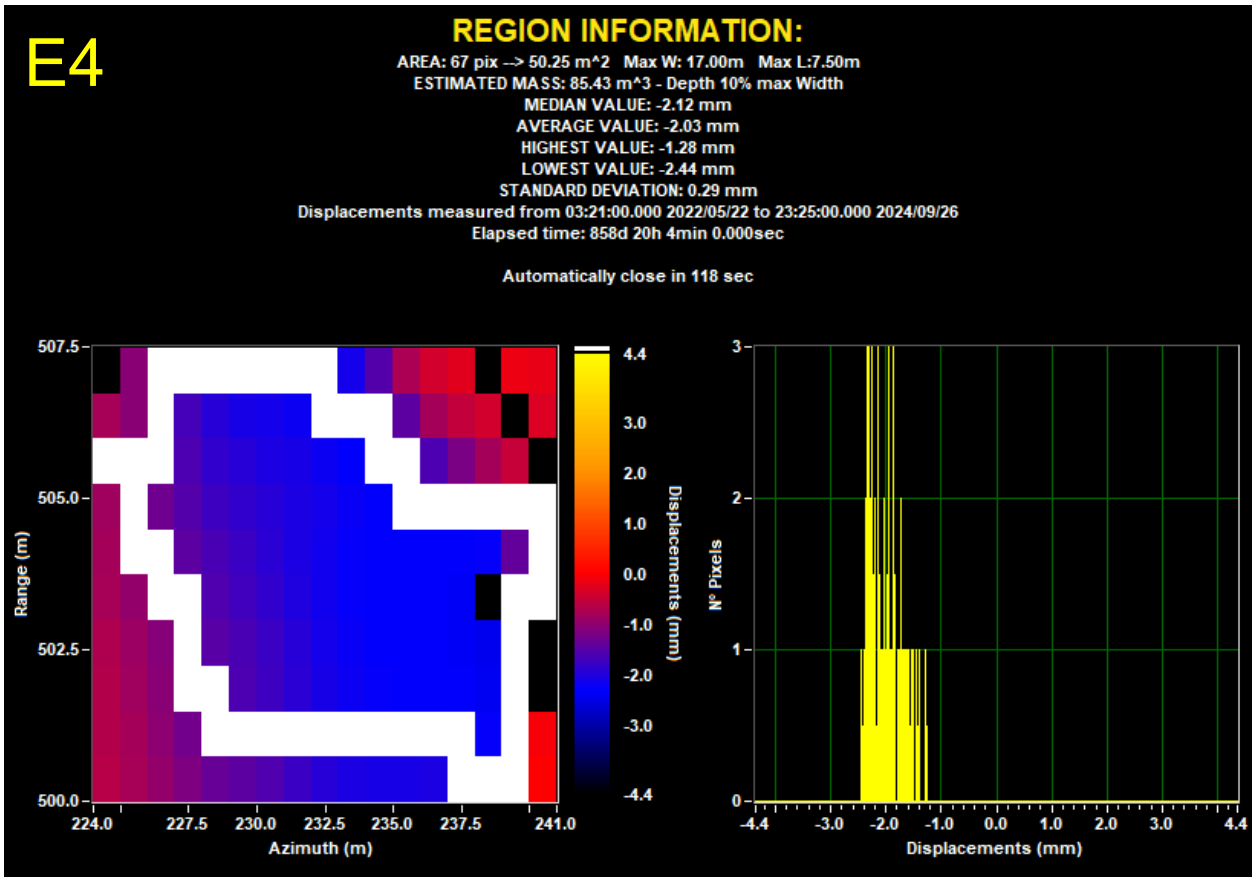
Di seguito vengono mostrati i risultati dell'analisi statistica condotta per le aree in movimento in cui viene ripotata anche l'ampiezza di ogni area espressa come $m^2$ calcolati in coordinate radar.



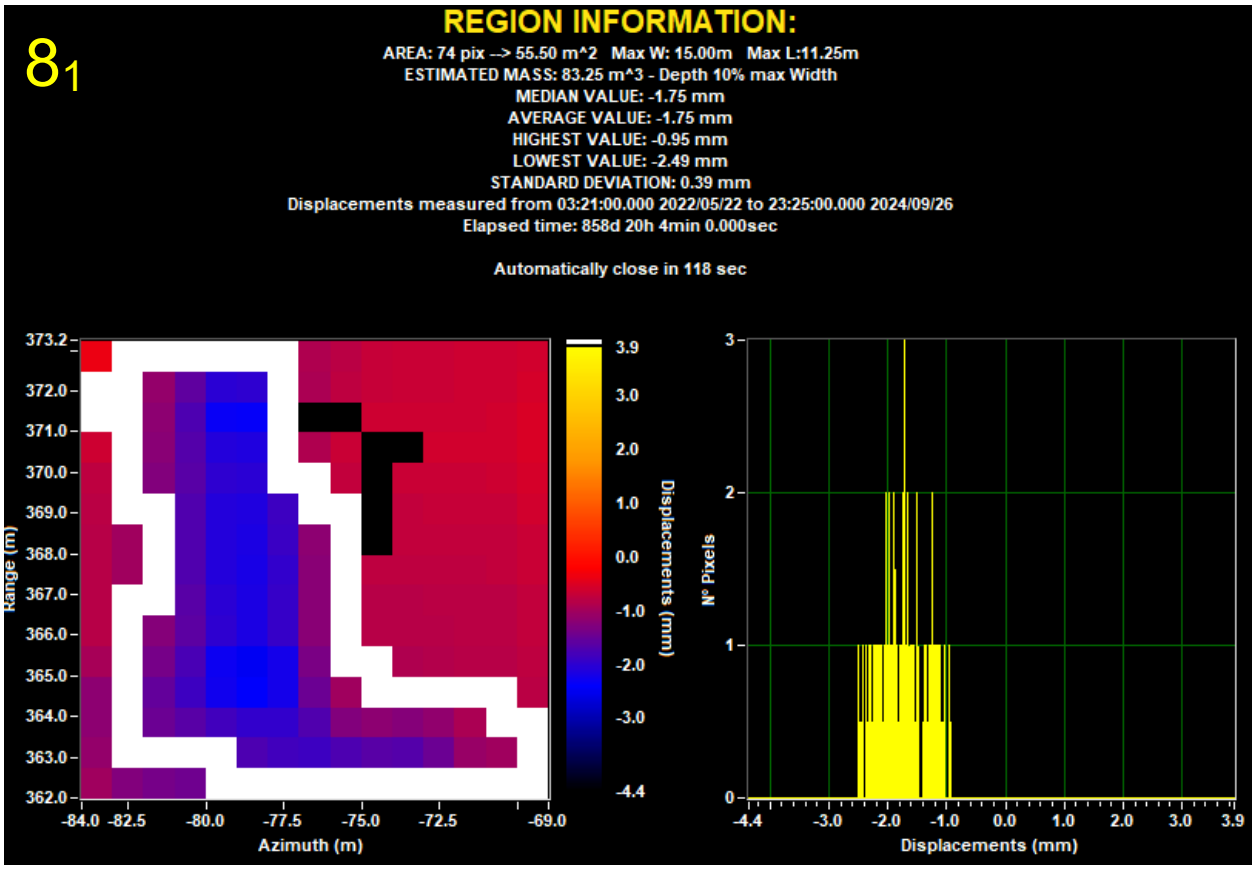
LISALAB


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: -3.63 mm
AVERAGE VALUE: -3.06 mm
HIGHEST VALUE: 0.85 mm
LOWEST VALUE: -7.08 mm
STANDARD DEVIATION: 1.60 mm
Displacements measured from 03:21:00.000 2022/05/22 to 23:25:00.000 2024/09/26
Elapsed time: 858d 20h 4min 0.000sec
Automatically close in 117 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
N° Pixels
Displacements (mm)

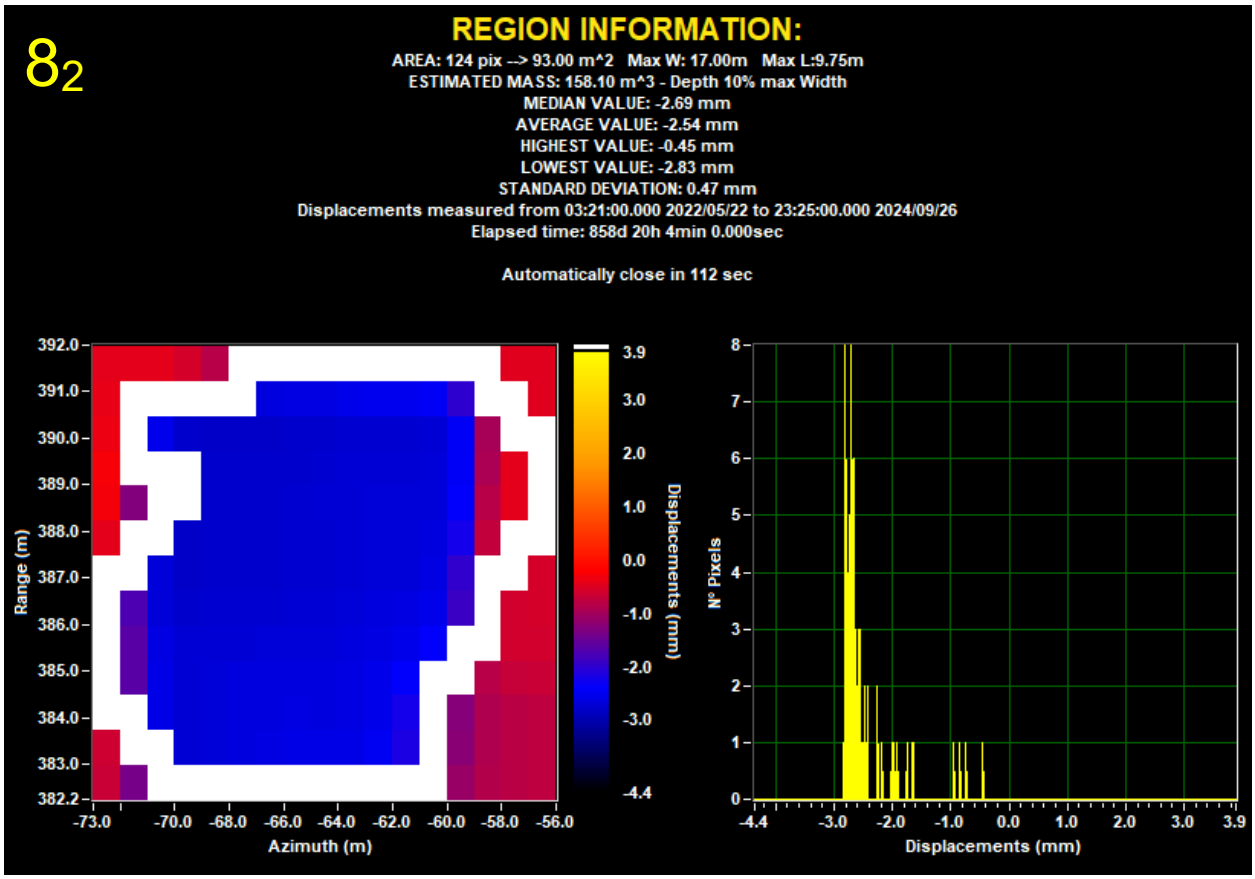
LISALAB


E4
REGION INFORMATION:
AREA: 67 pix --> 50.25 m^2 Max W: 17.00m Max L:7.50m
ESTIMATED MASS: 85.43 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: -2.12 mm
AVERAGE VALUE: -2.03 mm
HIGHEST VALUE: -1.28 mm
LOWEST VALUE: -2.44 mm
STANDARD DEVIATION: 0.29 mm
Displacements measured from 03:21:00.000 2022/05/22 to 23:25:00.000 2024/09/26
Elapsed time: 858d 20h 4min 0.000sec
Automatically close in 118 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
Nº Pixels
Displacements (mm)

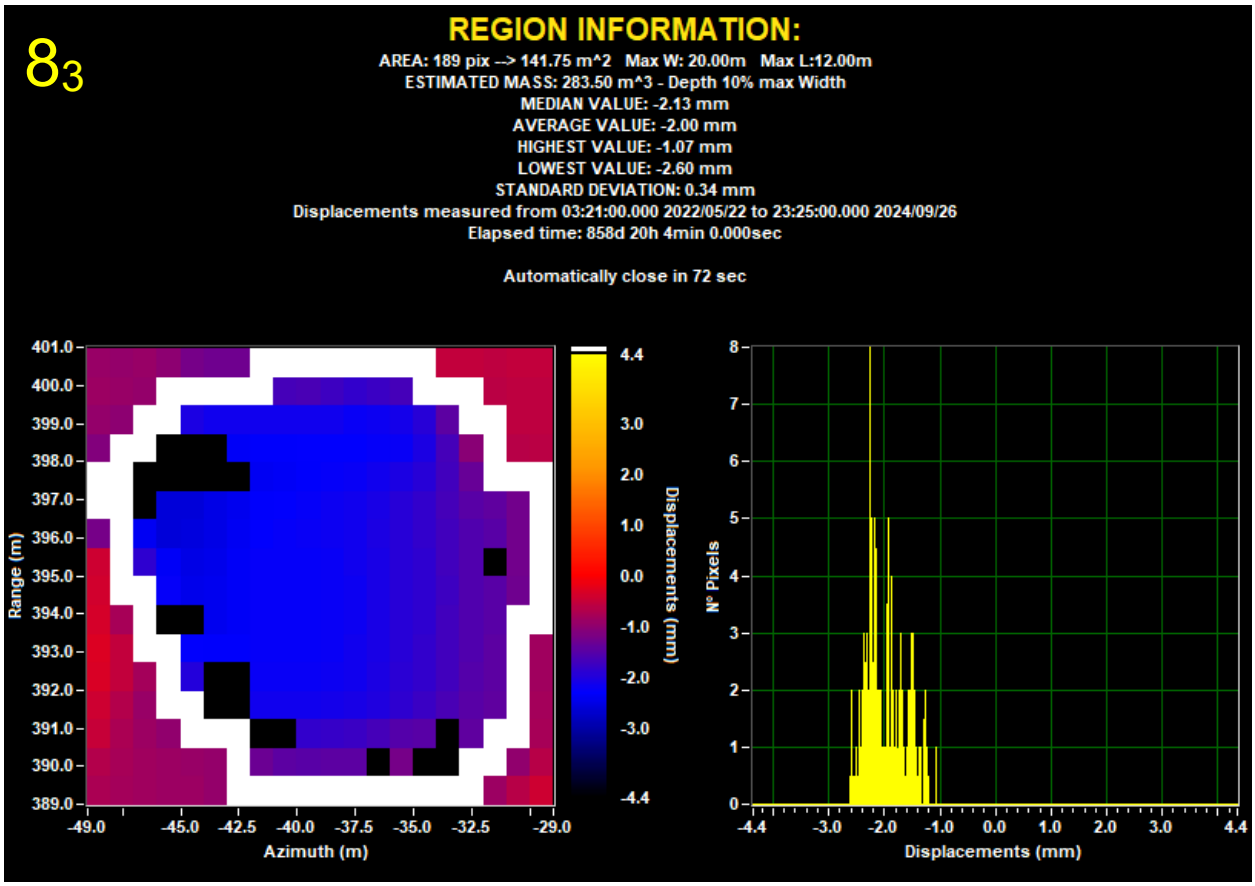
LISALAB


REGION INFORMATION:
81
AREA: 74 pix --> 55.50 m^2 Max W: 15.00m Max L:11.25m
ESTIMATED MASS: 83.25 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: -1.75 mm
AVERAGE VALUE: -1.75 mm
HIGHEST VALUE: -0.95 mm
LOWEST VALUE: -2.49 mm
STANDARD DEVIATION: 0.39 mm
Displacements measured from 03:21:00.000 2022/05/22 to 23:25:00.000 2024/09/26
Elapsed time: 858d 20h 4min 0.000sec
Automatically close in 118 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
N° Pixels
Displacements (mm)

LISALAB


82
REGION INFORMATION:
AREA: 124 pix --> 93.00 m^2 Max W: 17.00m Max L:9.75m
ESTIMATED MASS: 158.10 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: -2.69 mm
AVERAGE VALUE: -2.54 mm
HIGHEST VALUE: -0.45 mm
LOWEST VALUE: -2.83 mm
STANDARD DEVIATION: 0.47 mm
Displacements measured from 03:21:00.000 2022/05/22 to 23:25:00.000 2024/09/26
Elapsed time: 858d 20h 4min 0.000sec
Automatically close in 112 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
Nº Pixels
Displacements (mm)

LISALAB


83
REGION INFORMATION:
AREA: 189 pix --> 141.75 m^2 Max W: 20.00m Max L:12.00m
ESTIMATED MASS: 283.50 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: -2.13 mm
AVERAGE VALUE: -2.00 mm
HIGHEST VALUE: -1.07 mm
LOWEST VALUE: -2.60 mm
STANDARD DEVIATION: 0.34 mm
Displacements measured from 03:21:00.000 2022/05/22 to 23:25:00.000 2024/09/26
Elapsed time: 858d 20h 4min 0.000sec
Automatically close in 72 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
N° Pixels
Displacements (mm)

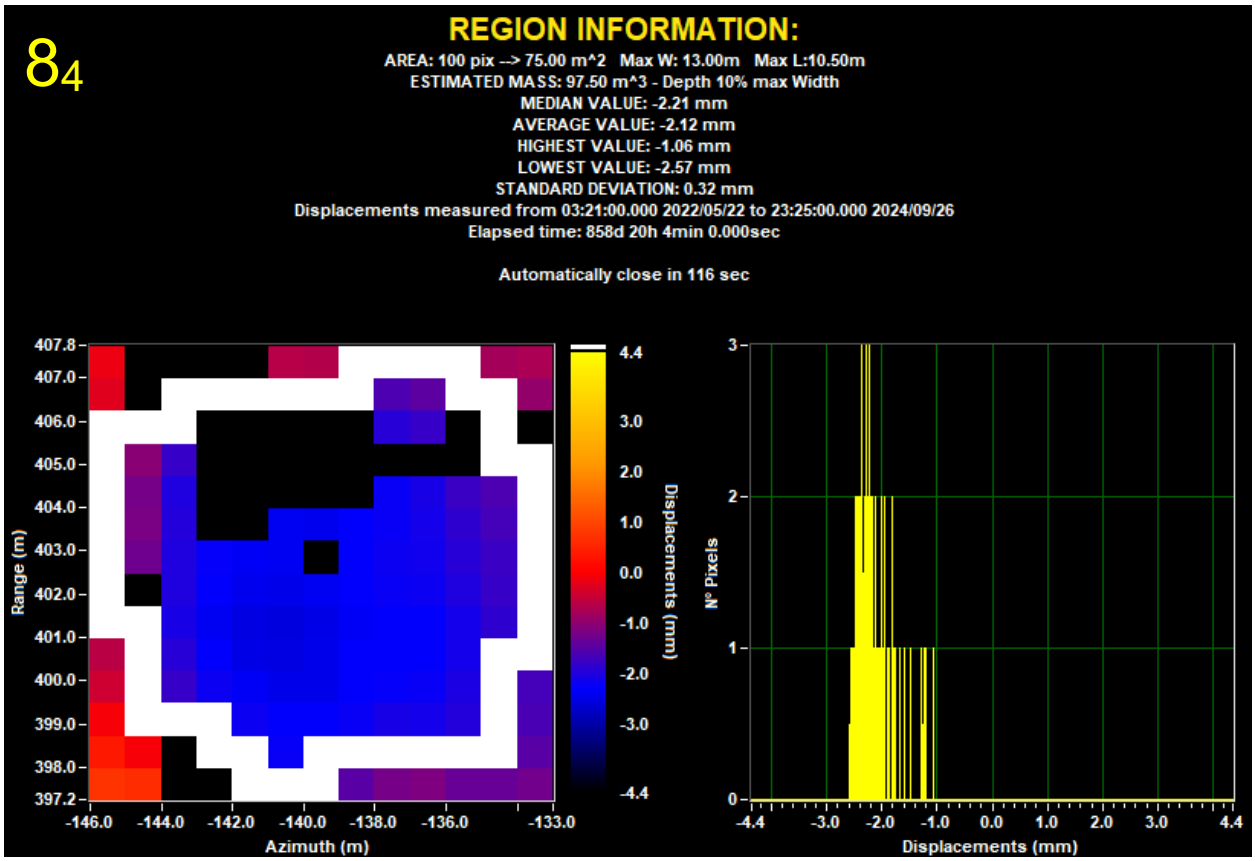



**Figura 26:** Analisi statistica eseguita sulle aree in movimento per il periodo 22 Maggio 2022 – 26 Settembre 2024. Postazione Est, sottofinestra Near.

Anche i dati relativi a questa visione d'insieme delle deformazioni a lungo termine mettono in evidenza la presenza di una dinamica deformativa complessivamente non-lineare con fluttuazioni millimetriche sia in avvicinamento che in allontanamento a seconda della fase termica considerata. Tale dinamica potrebbe essere responsabile, ad esempio, della lieve diminuzione degli spostamenti in avvicinamento nella zona A che, nel periodo fra Aprile 2024 e Settembre 2024, appare avere degli spostamenti lievemente più alti rispetto al periodo Maggio 2022 – Settembre 2024.

Vi sono tuttavia alcune zone come la zona C, situata nei pressi di una fuoriuscita d'acqua, che mantengono nel lungo termine delle deformazioni significative (picchi di -7 mm in avvicinamento in circa 858 giorni). Le deformazioni qui registrate appaiono quindi non affette da dinamiche non-lineari di tipo termico ma sembrano maggiormente legate a processi idrologici e gravitativi.

LISALAB

## *Postazione Est Far*

## Analisi per il periodo 21 Aprile 2024 – 26 Settembre 2024

Di seguito vengono presentati i risultati ottenuti per la postazione *Est Far* riferiti all'intervallo di tempo di circa 159 giorni tra la VII e la VIII campagna di misura.

Dall'analisi risulta evidente come gran parte dello scenario sia privo di spostamenti significativi. Vi sono tuttavia due zone, la zona B e la zona EF1, che hanno registrato degli spostamenti lievemente al di sopra della zona strumentale. Gli spostamenti medi registrati in queste zone sono attorno ai -0.8 mm in avvicinamento e i dettagli statistici qui rilevati sono mostrati in Figura 31.

La zona B si trova nella parte più alta dello scenario ed è stata recentemente descritta in un approfondimento inviato da ellegi srl al committente (*rep.cvc.230918*). In questa zona, durante i vari monitoraggi si sono osservate lievi deformazioni in avvicinamento durante le fasi di riscaldamento della parete rocciosa mentre deformazioni di segno opposto appaiono caratterizzare le fasi di raffreddamento dell'ammasso roccioso (*rep.cvc.230614*). Tale ciclicità non viene smentita dai risultati forniti in questo approfondimento: il periodo compreso fra Aprile e Settembre è infatti un periodo di riscaldamento e le deformazioni medie registrate nella zona B sono di circa -0.8 mm in avvicinamento.

Questa correlazione fra stili deformativi e cicli termica è però complessa in quanto zone differenti reagiscono in maniera diversa a questi forcing di tipo termo-elastico (riferimento *rep.cvc.240424*).

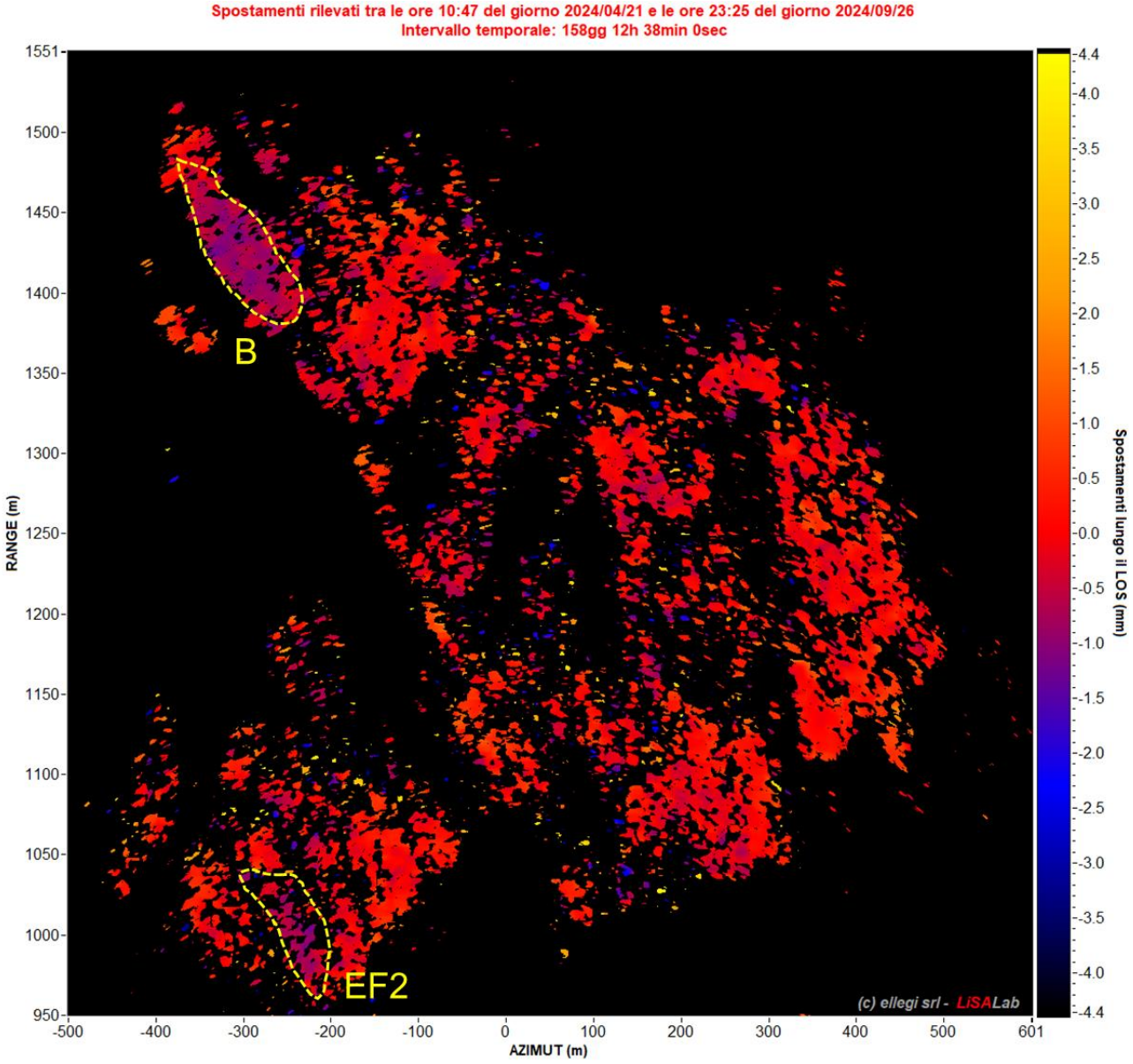



**Figura 27:** Mappa di spostamento 2D per il periodo 21 Aprile 2024 – 26 Settembre 2024 rappresentazione classica. Postazione Est, sottofinestra Far.

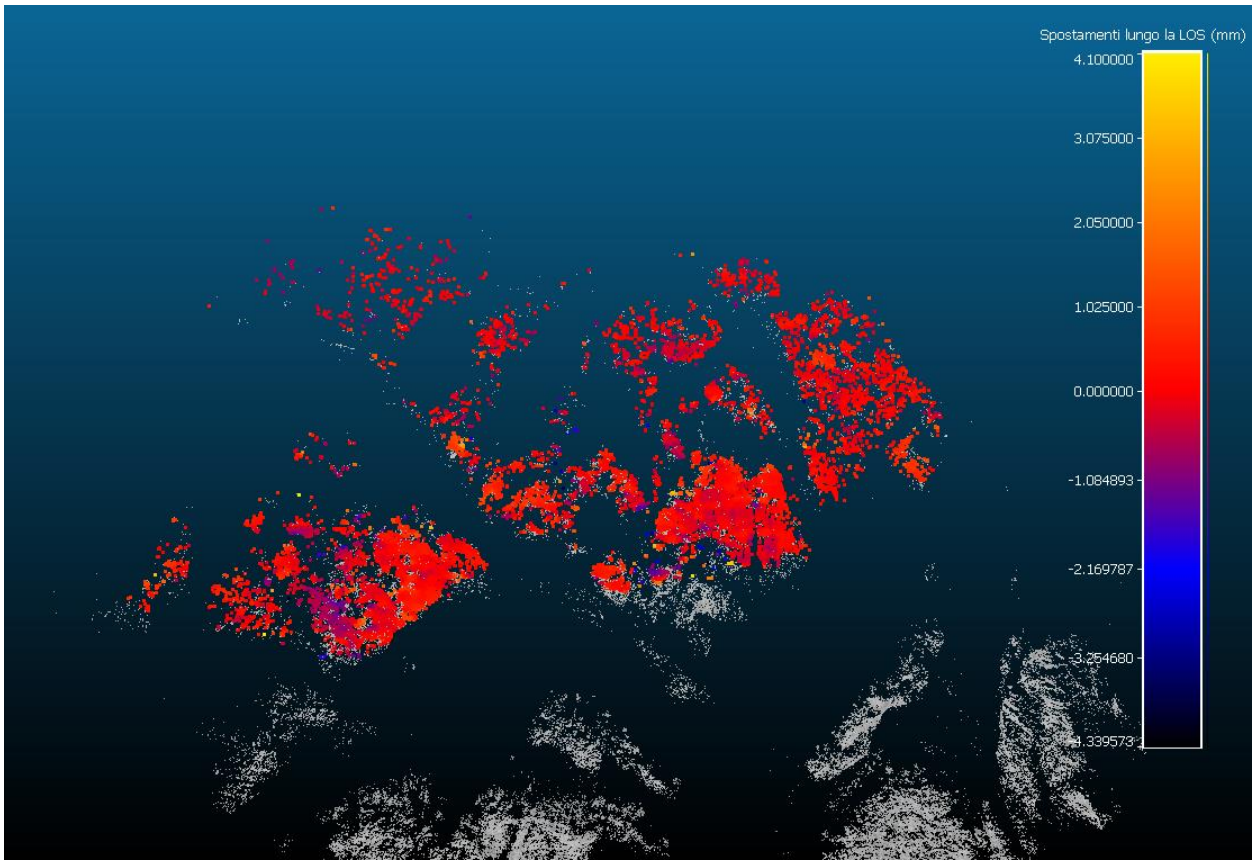



**Figura 28:** Mappa di spostamento 3D per il periodo 21 Aprile 2024 – 26 Settembre 2024. Su Point Cloud. Postazione Est, sottofinestra Far.

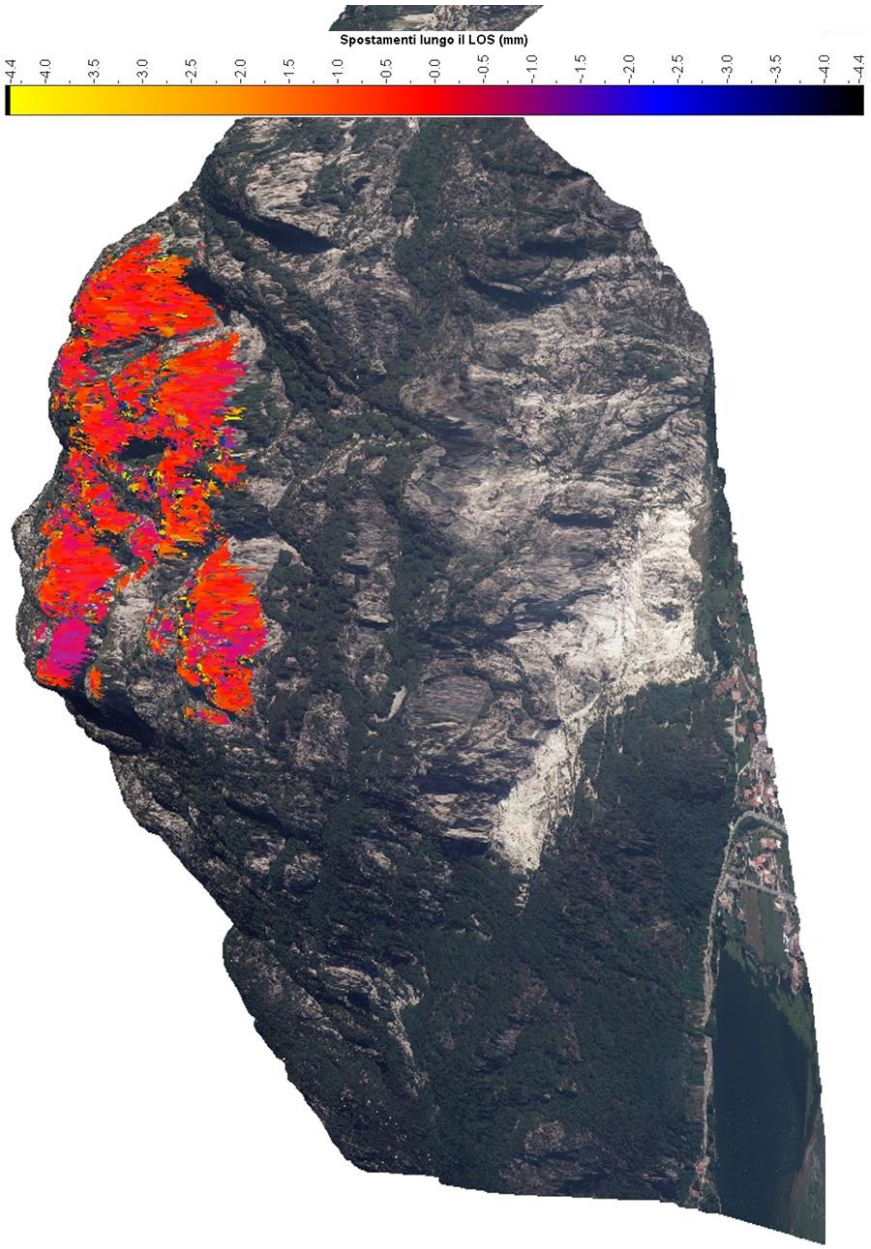



**Figura 29:** Mappa di spostamento 3D per il periodo 21 Aprile 2024 – 26 Settembre 204 su DEM del versante. Postazione Est, sottofinestra Far.

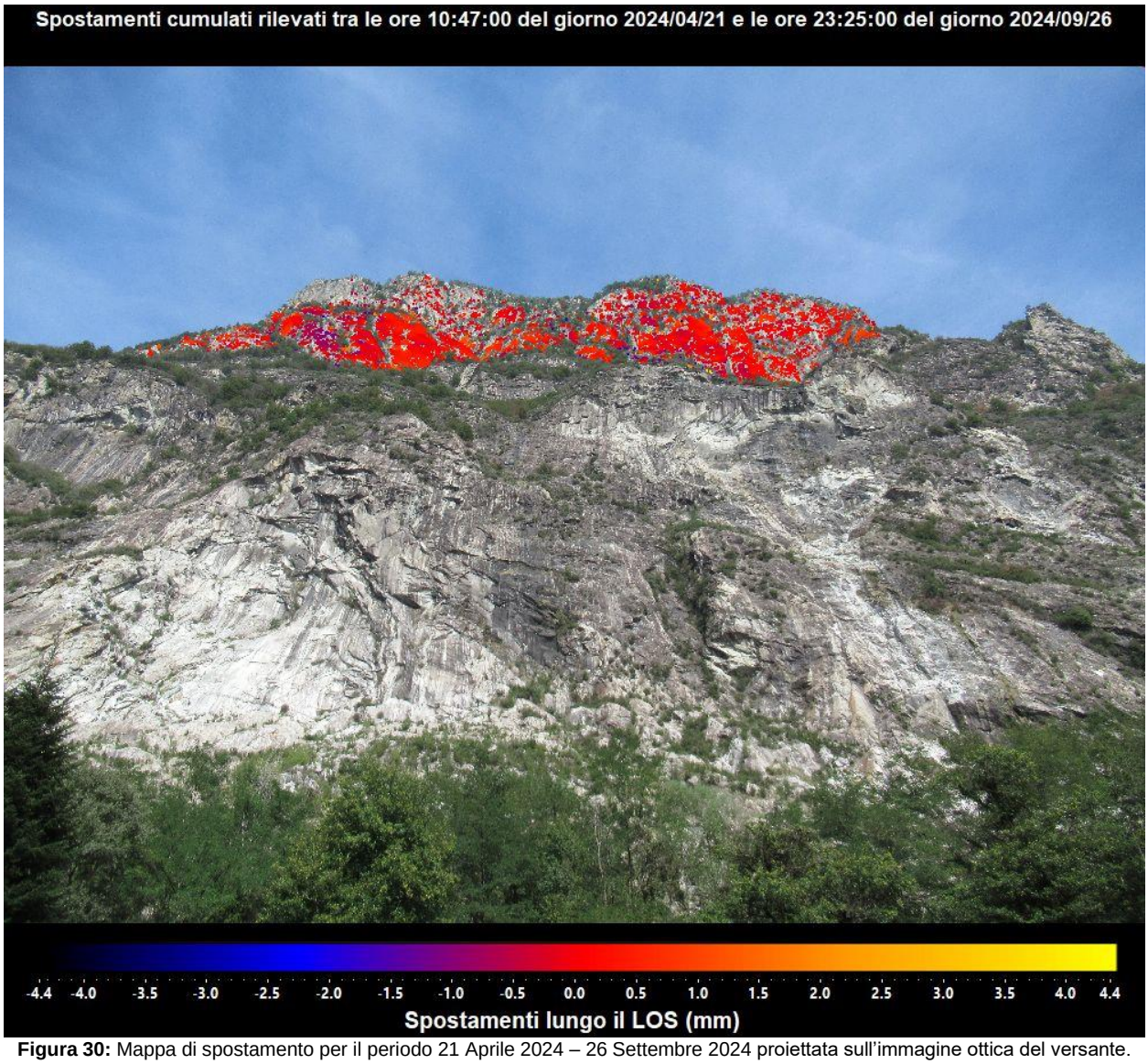
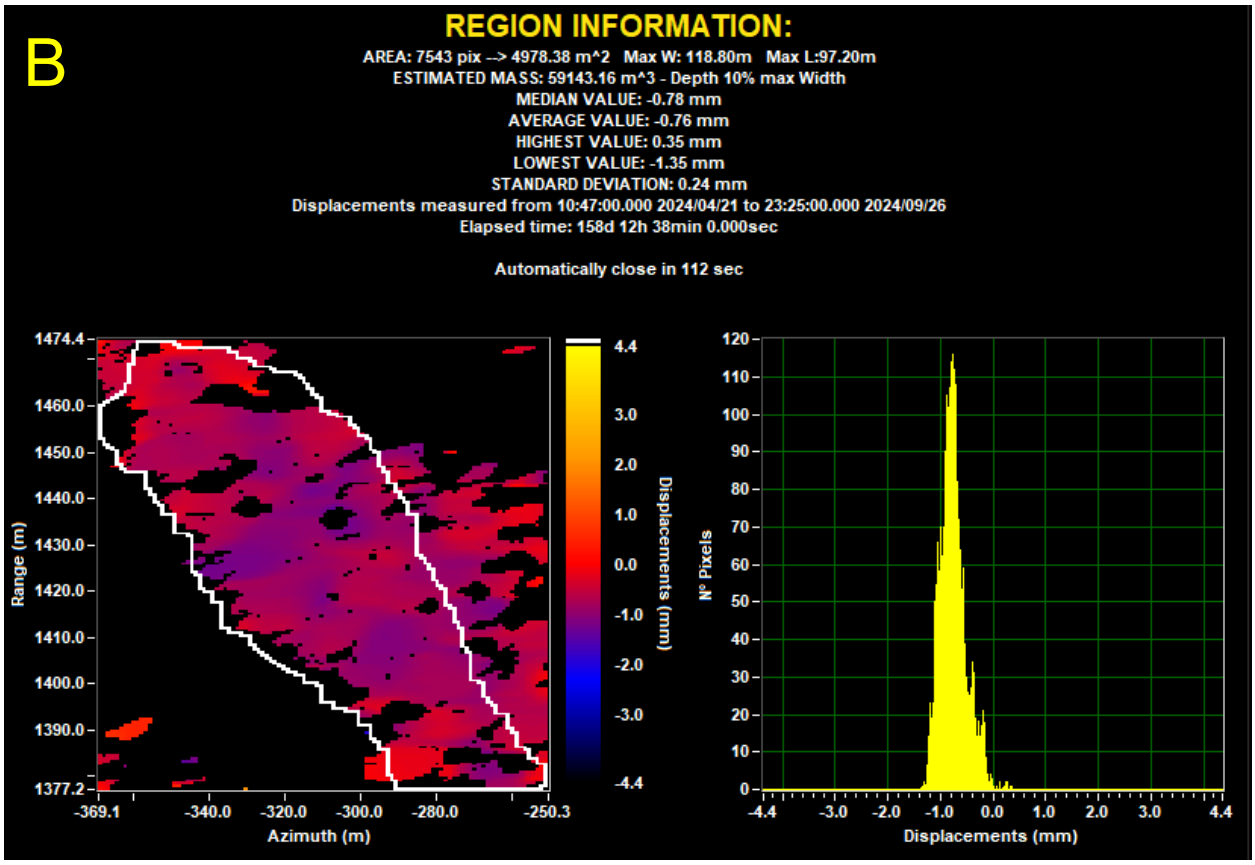



**Figura 30:** Mappa di spostamento per il periodo 21 Aprile 2024 – 26 Settembre 2024 proiettata sull'immagine ottica del versante. Postazione Est, sottofinestra Far.


B
REGION INFORMATION:
AREA: 7543 pix --> 4978.38 m^2 Max W: 118.80m Max L:97.20m
ESTIMATED MASS: 59143.16 m^3 - Depth 10% max Width
MEDIAN VALUE: -0.78 mm
AVERAGE VALUE: -0.76 mm
HIGHEST VALUE: 0.35 mm
LOWEST VALUE: -1.35 mm
STANDARD DEVIATION: 0.24 mm
Displacements measured from 10:47:00.000 2024/04/21 to 23:25:00.000 2024/09/26
Elapsed time: 158d 12h 38min 0.000sec
Automatically close in 112 sec
Range (m)
Azimuth (m)
Displacements (mm)
N° Pixels
Displacements (mm)

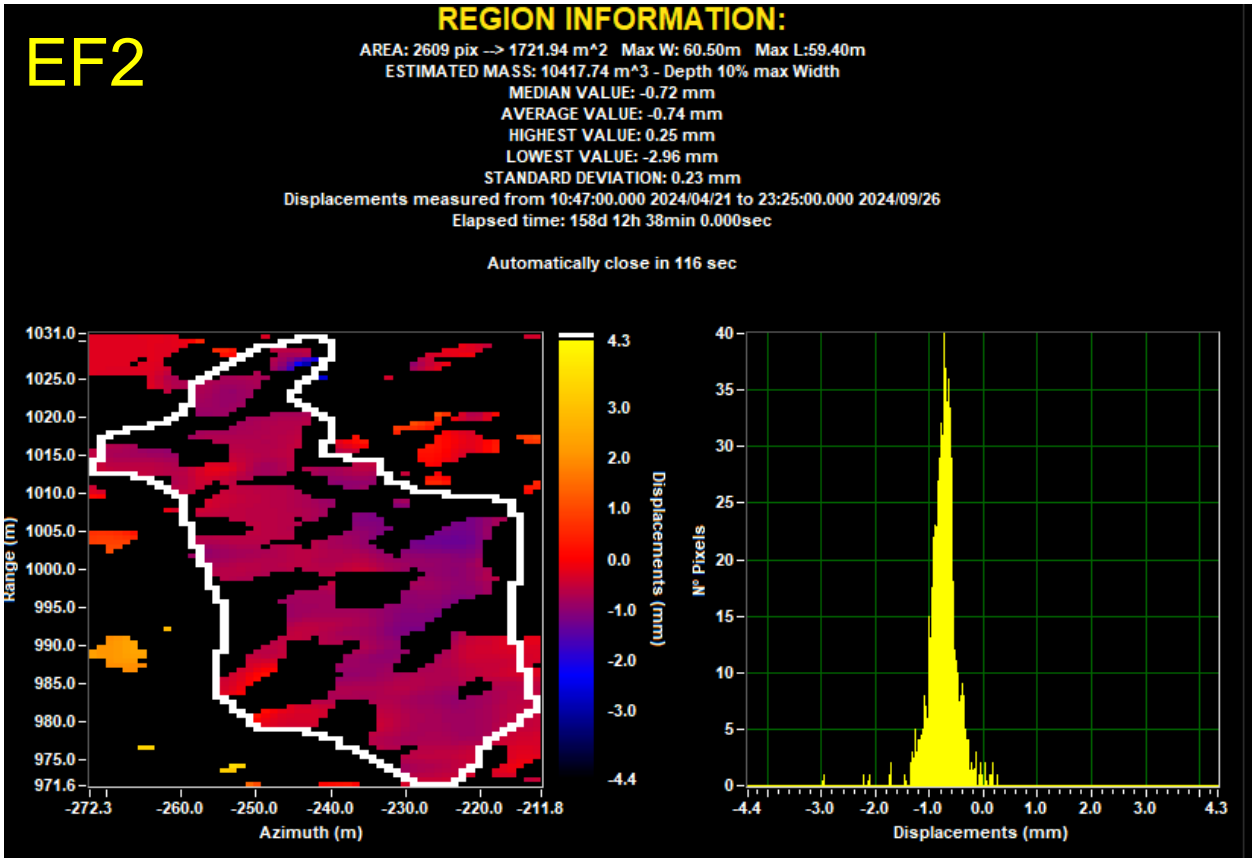



**Figura 31:** Analisi statistica sulle zone B e EF1 rilevate per la sottofinestra Est Far nell'VIII periodical check.

LISALAB

## Analisi per il periodo 22 Maggio 2022 – 26 Settembre 2024

Di seguito vengono presentati i risultati ottenuti per la postazione *Est Far* riferiti all'intervallo di tempo di circa 858 giorni tra la I e la VIII campagna di misura.

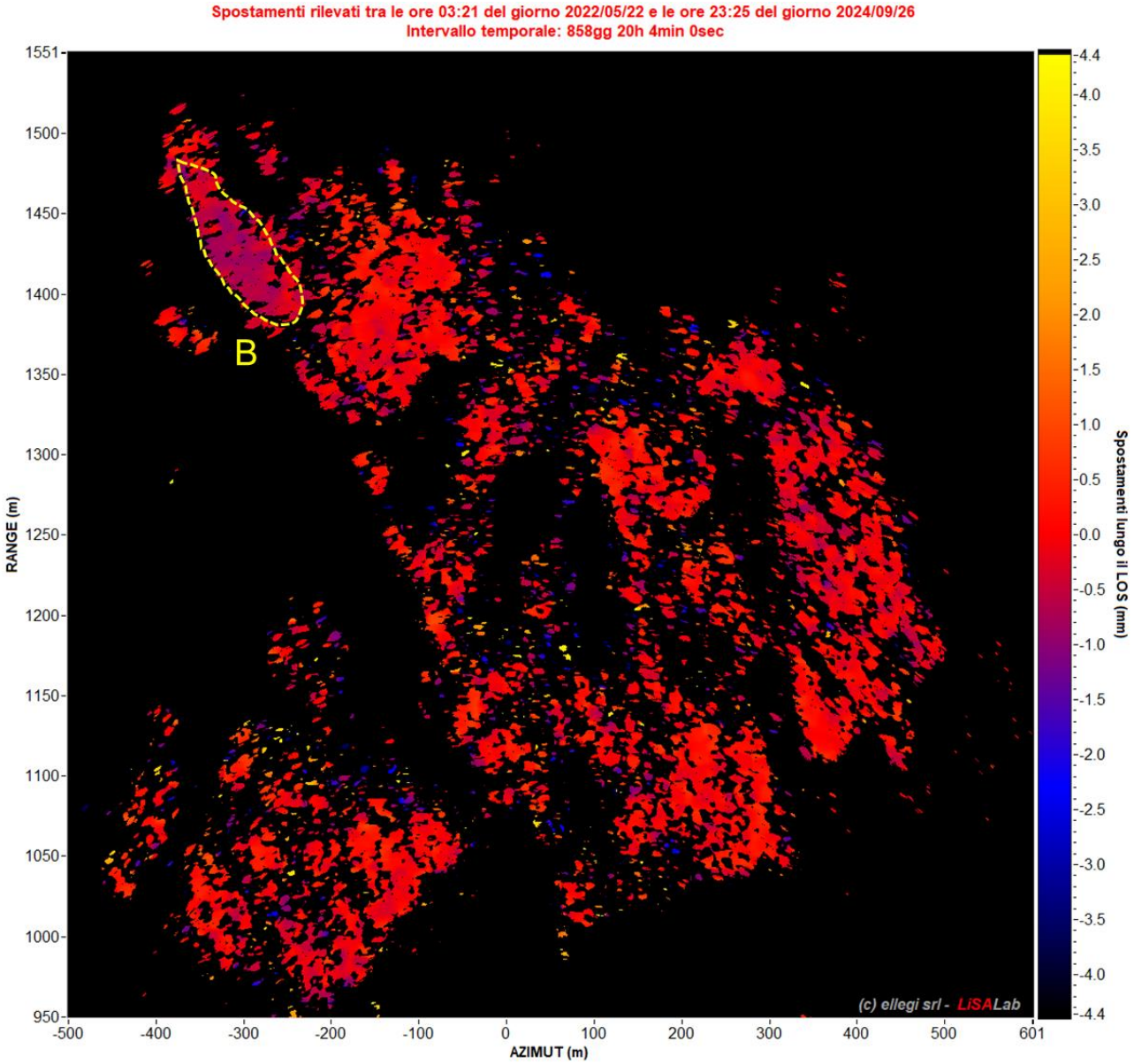



**Figura 32:** Mappa di spostamento 2D per il periodo 22 Maggio 2022 – 26 Settembre 2024 – rappresentazione classica. Postazione Est, sottofinestra Far.

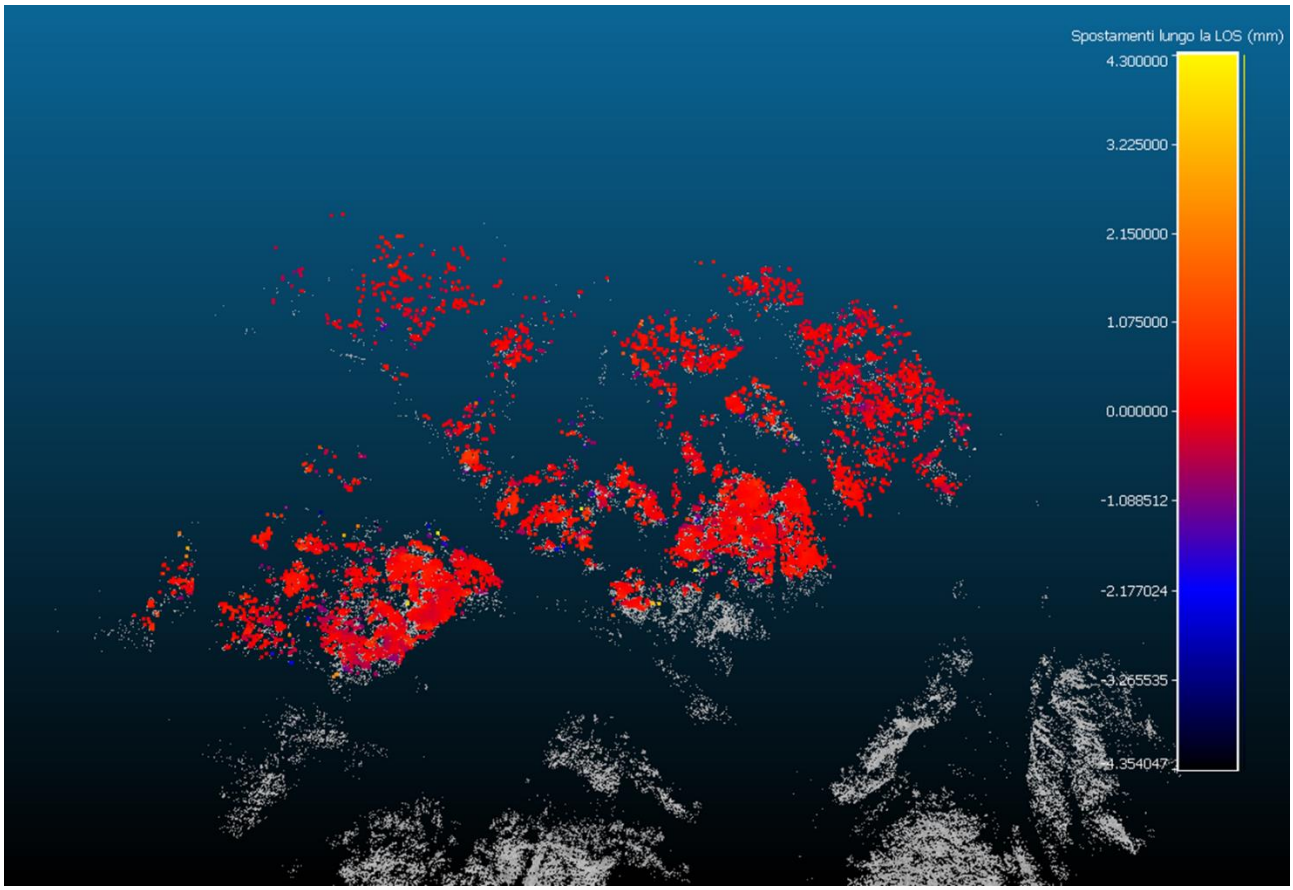



**Figura 33:** Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 Maggio 2022 – 26 Settembre 2024 su Point Cloud. Postazione Est, sottofinestra Far.

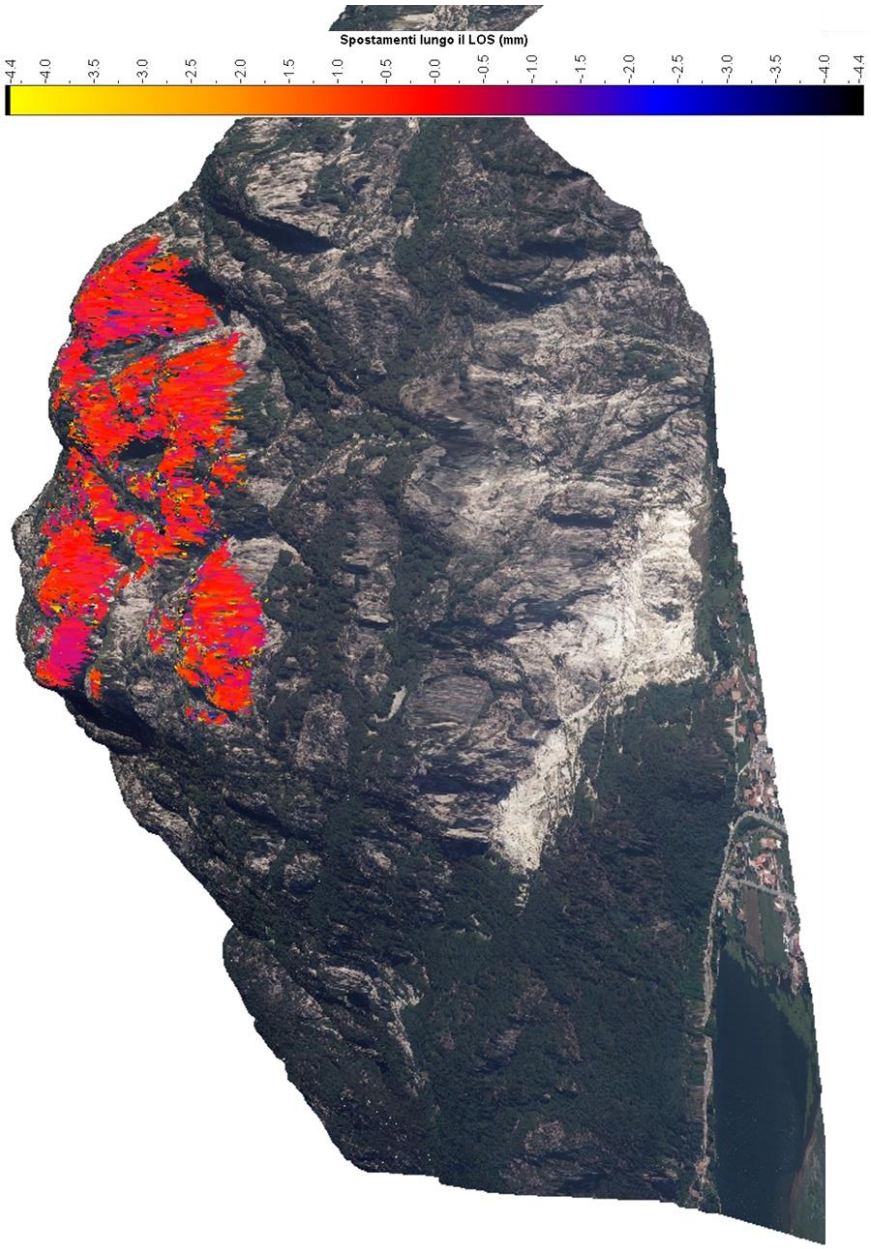



**Figura 34:** Mappa di spostamento 3D per il periodo 22 Maggio 2022 – 26 Settembre 2024 su DEM del versante. Postazione Est, sottofinestra Far.

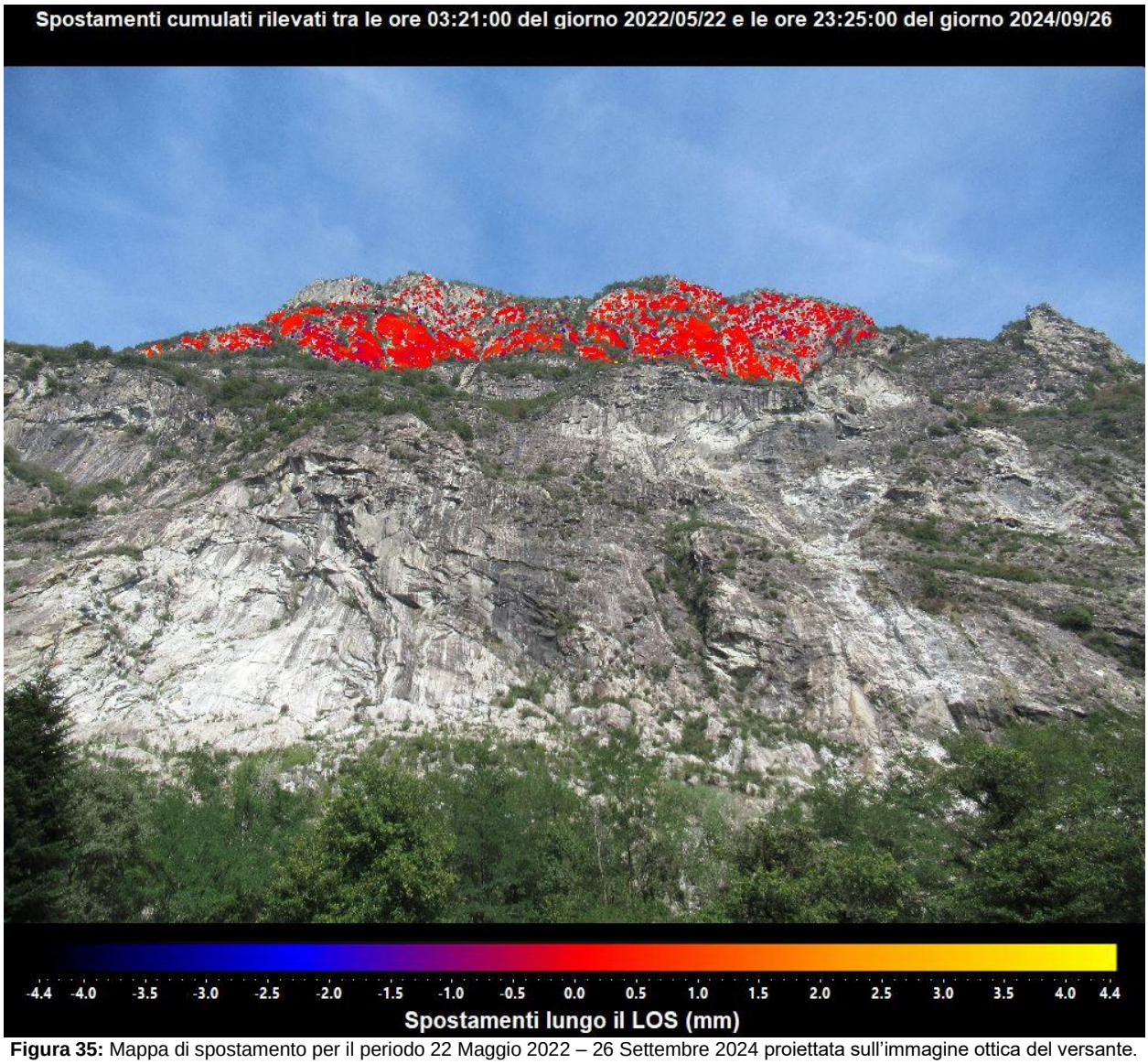



**Figura 35:** Mappa di spostamento per il periodo 22 Maggio 2022 – 26 Settembre 2024 proiettata sull'immagine ottica del versante. Postazione Est, sottofinestra Far.

Dall'analisi di lungo termine eseguita tra la campagna di Maggio 2022 e la campagna di Settembre 2024 per la postazione *Est Far* non si evidenziano aree con spostamenti superiori alla precisione strumentale in 859 giorni circa di monitoraggio. L'unica zona degna di nota è la già menzionata zona B che ha avuto, nel corso del periodo considerato degli spostamenti medi di circa -0.6 e appena al di sopra della precisione strumentale (Figura 36)

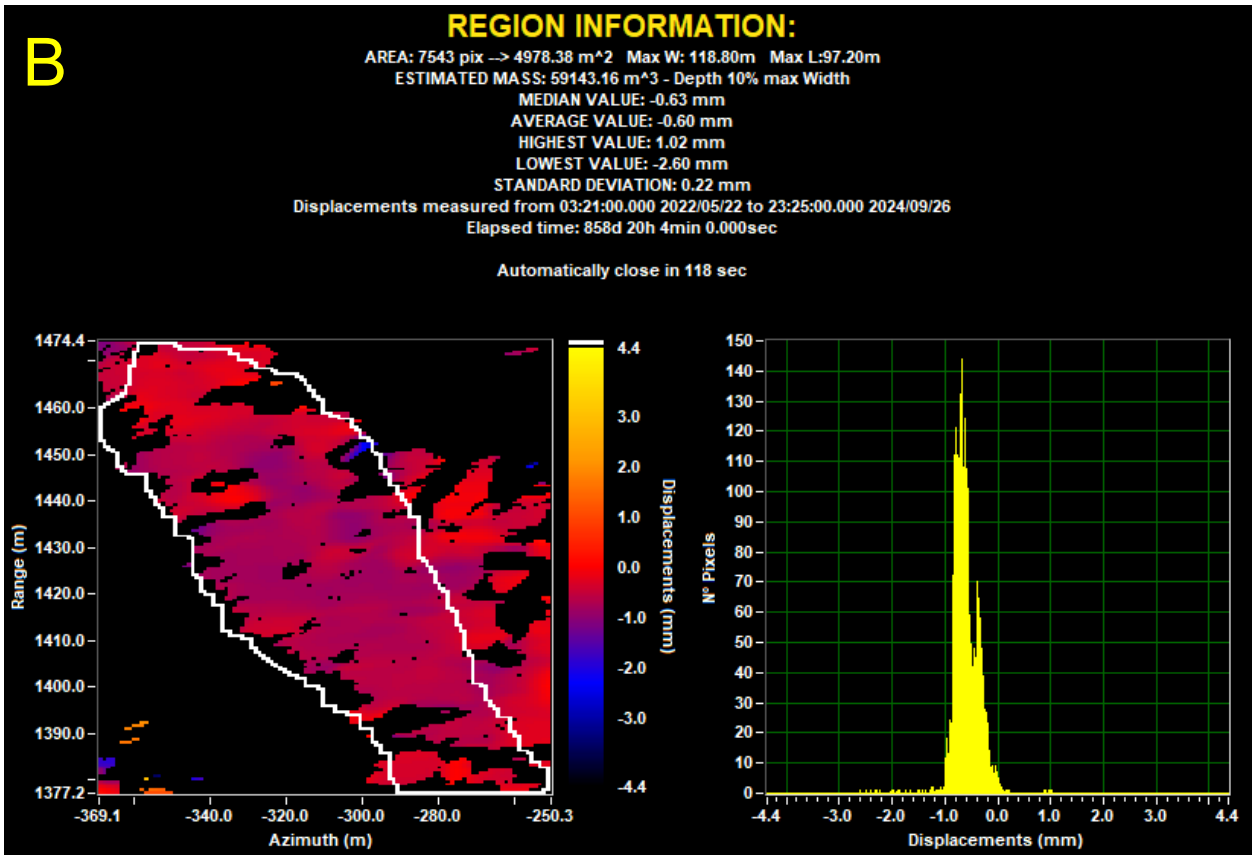



**Figura 36:** Analisi statistica sugli spostamenti nella zona B rilevata per la sottofinestra Est Far nell'VIII periodical check fra Maggio 2022 e Settembre 2024.

## *Analisi puntuale*

Per migliorare la comprensione del fenomeno sono stati scelti 9 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 la postazione Est del 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 9 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 |
| **C** | 535154,06 | 5119326,00 | 531 |
| **D** | 535367,00 | 5119292,50 | 678 |
| **F** | 535193,18 | 5119306,50 | 623 |
| **M** | 535570,37 | 5119267,50 | 771 |
| **O** | 535514,62 | 5119623,50 | 1082 |
| **R** | 535584,67 | 5119524,76 | 1049 |
| **S** | 534956,15 | 5120075,97 | 1243 |
| **U** | 534982,62 | 5119316,00 | 388 |

**Tabella 1:** Coordinate geografiche espresse nel sistema UTM-WGS84 dei POI individuati sulle 17 aree in movimento.

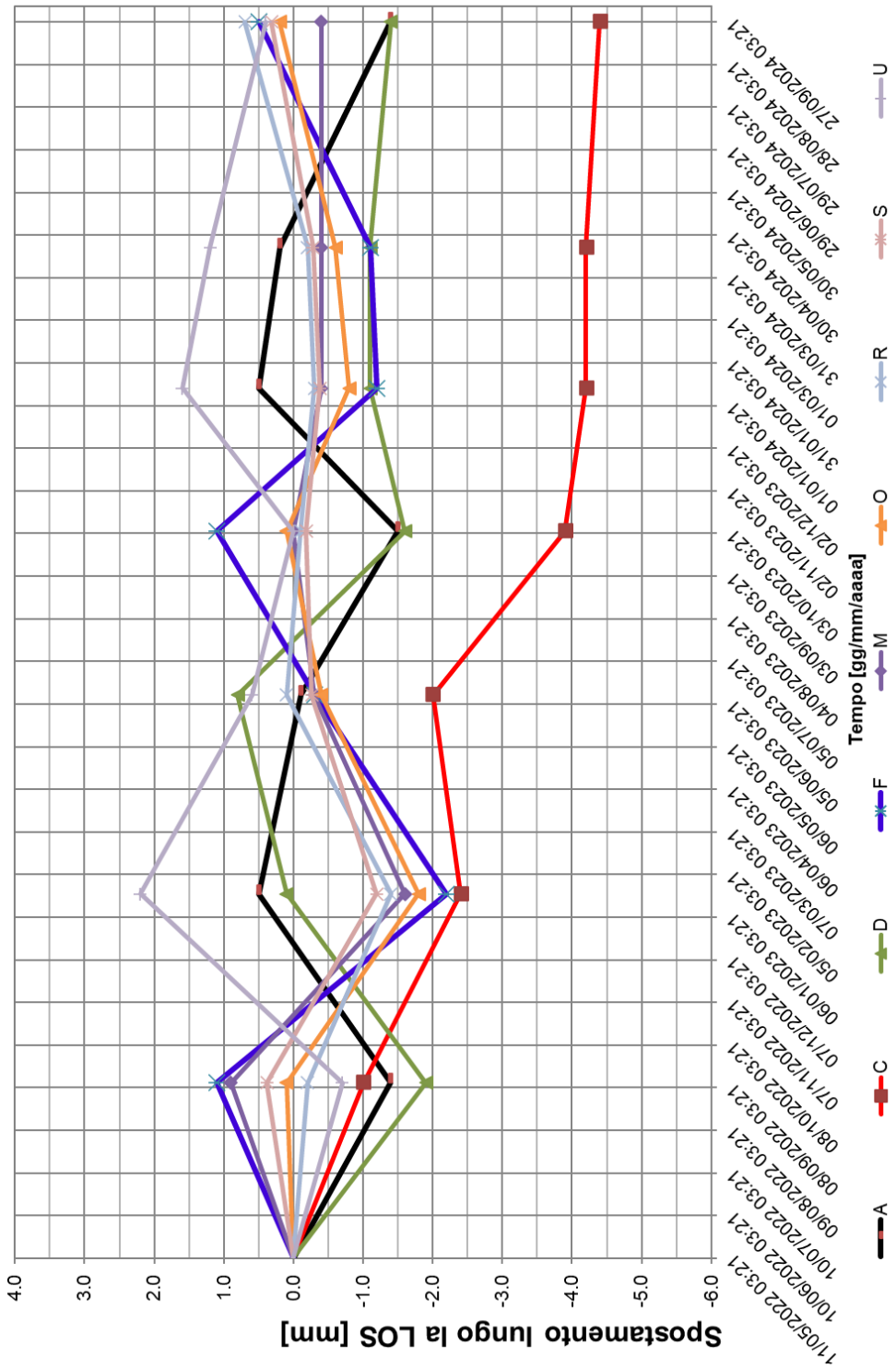



**Figura 37:** Serie temporali delle aree d'interesse nel periodo tra Maggio 2022 (I PC) e Settembre 2024 (VIII PC).

Nel grafico di Figura 37 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 37). 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.

LISALAB

# Conclusioni

Dopo aver analizzato i dati acquisiti nell'ultima campagna di misura (Settembre 2024), che rappresenta il VIII Periodical Check con tecnologia GBInSAR LiSALab per il monitoraggio delle pareti rocciose del Monte Avedèe dalla Postazione Est del Comune di Novate Mezzola (SO), si può concludere che:

1. Il sistema GBInSAR LiSALab installato in località la Foppa ha funzionato correttamente e continuativamente dal 23 al 30 Settembre 2024, acquisendo un totale di 1208 immagini.

2. Lo scenario in esame si conferma visibile al radar e le aree che rispondono meglio sono quelle corrispondenti zone rocciose e non vegetate. I dati acquisiti sono stati elaborati per due sottofinestre spaziali: una sottofinestra *Near* ha coperto le regioni più vicine alla postazione 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 30 Settembre 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 21 Aprile 2024 – 26 Settembre 2024, tra la VII e la VIII campagna periodica;
   b) a copertura del periodo 22 Maggio 2022 - 26 Settembre 2024, tra la I e la VIII 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 – Settembre 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. I dati relativi all'ultimo periodical check, quello fra Aprile 2024 e Settembre 2024 mostrano anch'essi lievi spostamenti spostamenti millimetrici.

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. Per questa zona si sono osservati picchi di spostamento di circa – 7 mm nel corso dei 858 giorni fra Maggio 2022 e Settembre 2024.

9. È stata infine presentata l'analisi puntuale delle serie temporali delle 9 aree di interesse già segnalate nei nostri report precedenti e afferenti alla postazione Est. 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.

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 19-23 Settembre 2024 ottenuta dalla Postazione *Est*, finestra *Near*;
b) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione per il periodo 19-23 Settembre 2024 ottenuta dalla Postazione *Est*, finestra *Far*;
c) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 21 Aprile 2024 e il 26 Settembre 2024 ottenuta dalla Postazione *Est*, finestra *Near;*
d) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 21 Aprile 2024 e il 26 Settembre 2024 ottenuta dalla Postazione *Est*, finestra *Far;*
e) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 22 Maggio 2022 e il 26 Settembre 2024 ottenuta dalla Postazione *Est*, finestra *Near;*
f) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 22 Maggio 2022 e il 26 Settembre 2024 ottenuta dalla Postazione *Est*, finestra *Far;*
g) File Excel contenente i grafici delle serie temporali dei punti di interesse e tabella con loro coordinate geografiche. Documento “analisi_POI_20240429”.

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.