© 2003-2004

LiSALab

by ellegi srl

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

REPORT

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

MISURA DI ZERO

20 – 24 MAGGIO 2022

Cliente: Comunità Montana Valchiavenna

Località: Novate Mezzola (SO)

Contract #: 180204cvc

CUP: B11B21004540002

CIG: 91968611CA

STRICTLY CONFIDENTIAL DOCUMENT

Rev.	Data:	Note:	Scritto da:	Controllato da:	Approvato da:
9					
8					
7					
6					
5					
4					
3					
2					
1	29 Giugno 2022	Revisione	CR	CR	DL
0	1 Giugno 2022	Emissione	AG	CR	DL

INDICE

INDICE 2

GLOSSARIO 3

Convenzioni 5

Sistema di riferimento 5

Unità di misura del tempo 5

Introduzione 6

La tecnica SAR interferometrica 9

Specifiche del servizio 15

Punto d'installazione del sistema GBInSAR LiSALab 18

Descrizione del servizio 20

Parametri di misura e caratteristiche dell'immagine SAR 21

Elaborazione dei risultati della misura di zero, Maggio 2022 25

Mappe di spostamento a breve termine 32

Elaborazione dei risultati in 3 dimensioni 45

Analisi quantitativa 52

Conclusioni 52

Allegati 53

Note, Avvertenze e Limitazioni di Responsabilità 54

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

Convenzioni

Sistema di riferimento

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

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

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

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

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

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

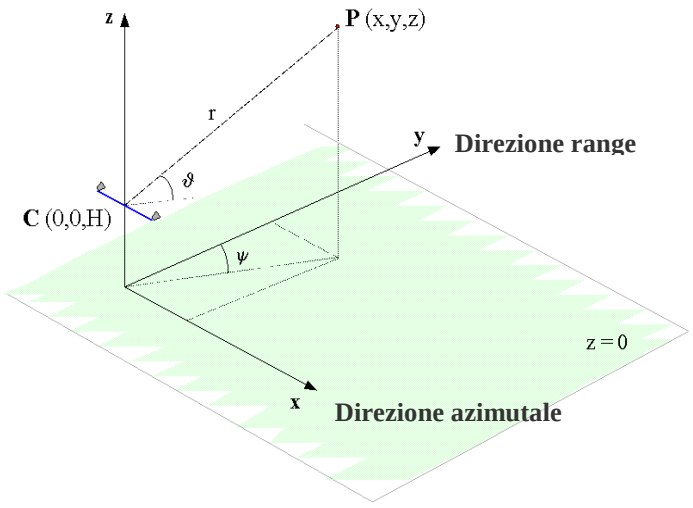


Figura 1: sistema di riferimento utilizzato.

Unità di misura del tempo

Nel presente report l'unità di tempo utilizzata è l'ora UTC, viene riportata nella notazione Anno/Mese/giorno ora:minuti (AAAA/MM/gg HH:mm). Nel mese di Maggio 2022 per ottenere l'ora locale aggiungere + 02:00.

Introduzione

Con contratto LL.PP. n. 03 del 14 Giugno 2021 la Ellegi Srl è stata incaricata dalla Comunità Montana della Valchiavenna di eseguire nel biennio 2022-2024 un monitoraggio della versante meridionale del Monte Avedée, nell'area della Cava di Foppa già soggetta di 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 diverse campagne di misura annuali da due postazioni differenti identificate come postazione Est e Ovest per coprire tutta la parete rocciosa: (i) la postazione Ovest si trova in prossimità del Lago di Novate e (ii) la postazione Est si trova nei pressi del piede della parete rocciosa della Cava di Foppa (Figura 2).

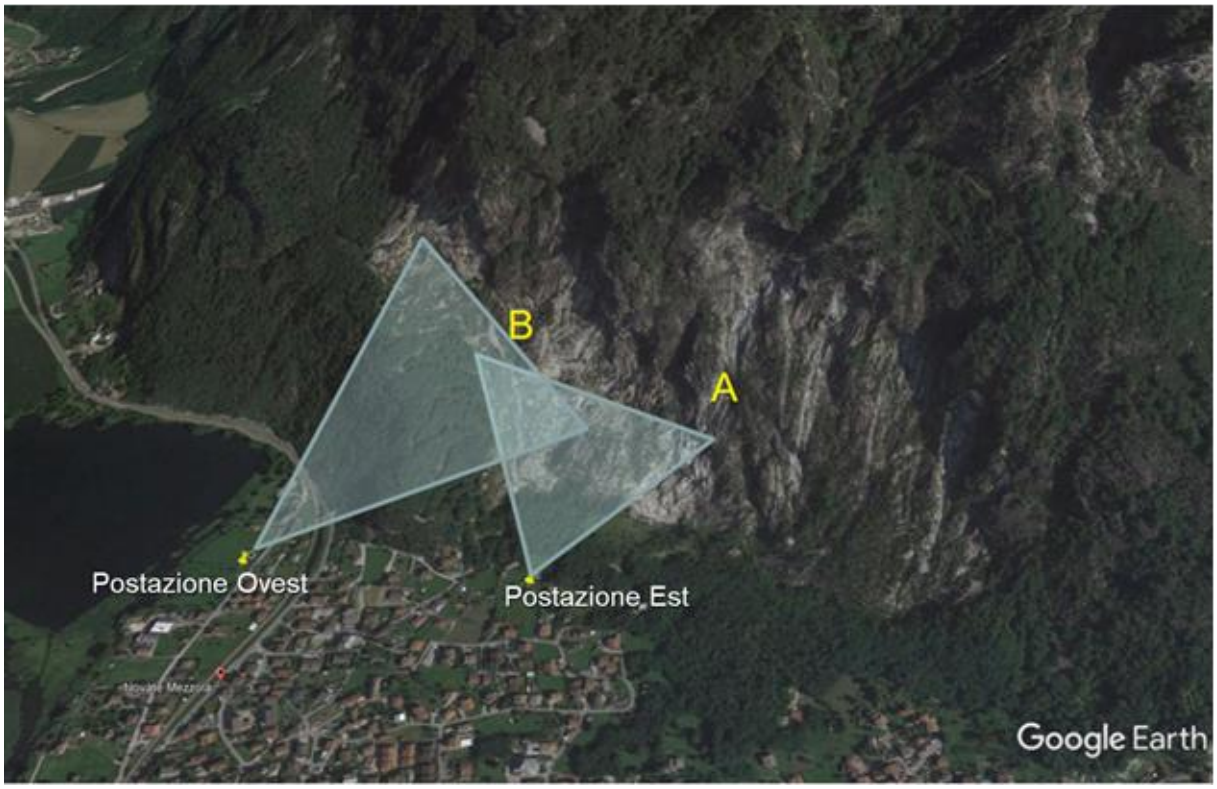


Figura 2: Posizione delle due postazioni individuate nel test preliminare del 23 Marzo 2022 e oggetto di questo report. La Postazione Ovest situata in vicinanza del Lago di Novate Mezzola permette di ottimizzare le misure dell'area B mentre la Postazione Est, più contro montagna permette una buona copertura delle deformazioni nella zona 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 sovrastante 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 sovrastante e comprendente la parte più alta del versante roccioso del monte Avedée (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 sistemi di monitoraggio LiSAmobile impegnati nella campagna di misura per entrambe le postazioni. Vengono inoltre riportate delle riprese fotografiche del versante montuoso

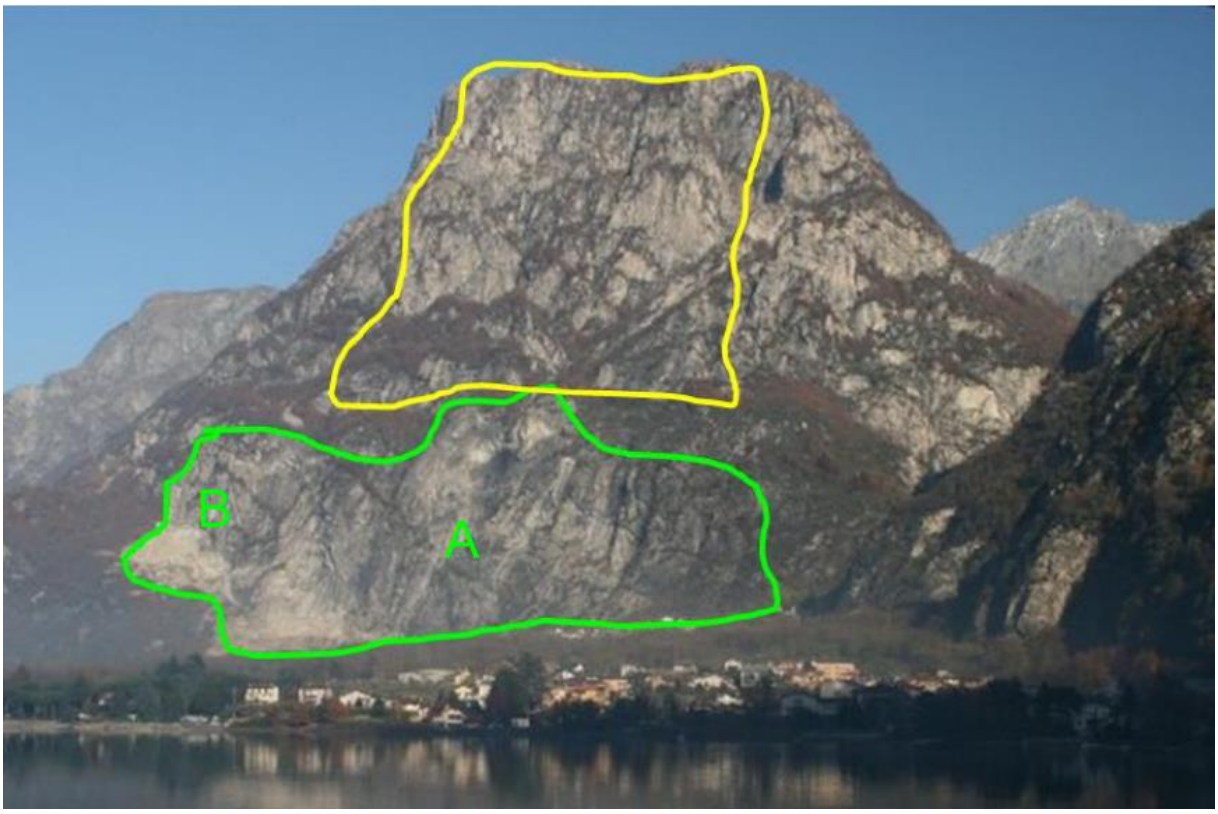


Figura 3: Fotografia del versante meridionale del Monte Avedée, sopra Novate Mezzola, con circoscritto in verde le aree di primario interesse per il monitoraggio con tecnologia SAR terrestre (GBInSAR). In giallo sono evidenziate le pareti rocciose a quote più elevate e considerate obiettivo secondario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

Sulla fotografia abbiamo perimetrato in verde l'area da monitorare considerata di primaria importanza, mentre in giallo le pareti rocciose a quote più elevate che rappresentano l'obiettivo secondario del monitoraggio. In aggiunta, le lettere A e B indicano due aree di particolare interesse. L'area A è quella immediatamente sopra al luogo dove si sta progettando la costruzione di un vallo a protezione dell'abitato, mentre l'area B, immediatamente sopra la località Foppa, presenta un pilastro roccioso che sembra mostrare recenti attività ed il cui distacco interesserebbe la strada SS36 e la ferrovia sottostante.

Il presente report riassume tutti i risultati raccolti dal sistema GBInSAR LiSALab durante la prima campagna di misura che corrisponde alla misura di zero eseguita dal 20 al 24 Maggio 2022, ed è articolato come segue:

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



Figura 4: Fotografia del sistema di monitoraggio LiSAmobile impegnato nella campagna di monitoraggio della parete del monte Avedée nel mese di Maggio 2022. *Pannello sx*: Postazione Ovest nei pressi di via Riva. *Pannello dx:* Postazione Est nei pressi della ex Cava della Foppa.



Figura 5: Fotografia del sistema di monitoraggio LiSAmobile impegnato nella campagna di monitoraggio della parete del monte Avedée nel mese di Maggio 2022. *Pannello sx*: Postazione Ovest nei pressi di via Riva. *Pannello dx:* Postazione Est nei pressi della ex Cava della Foppa.

La tecnica SAR interferometrica

La tecnologia LiSALab è utilizzata per individuare nello scenario osservato quelle aree che sono caratterizzate da spostamenti significativi, mapparne i cambiamenti morfologici e/o cinematici e pertanto permettere l'individuazione e la perimetrazione delle aree più a rischio.

Grazie alla velocità ed alla facilità di installazione il sistema GBInSAR LiSALab unito alla tecnologia LiSALab sono efficacemente utilizzati in situazioni di emergenza, quando un evento critico è ritenuto imminente od è appena avvenuto. Sono anche particolarmente indicati per il monitoraggio periodico del campo degli spostamenti in tutti quei casi in cui sono a rischio elementi di particolare rilevanza socio economica o culturale, quali centri abitati, vie di comunicazione o beni culturali.

Si è dimostrata utile anche per la validazione dei modelli teorici di deformazione di frane e strutture.

Essa è stata impiegata efficacemente nel monitoraggio di varie tipologie di frane, di differenti dimensioni, materiali (terra e/o roccia) e dinamiche (ribaltamento, scorrimento, espandimento, e creep in ammassi rocciosi).

Le attività di monitoraggio hanno anche dimostrato la validità di questa tecnologia anche nel caso di strutture antropiche quali dighe, edifici, viadotti, ponti, od interi abitati per misurarne le deformazioni indotte da carichi esterni oppure da frane. In tali occasioni, e specialmente per frane molto lente, si è stati in grado di ottenere una misura degli spostamenti anche in aree molto vegetate andando a misurare i movimenti che interessavano le strutture immerse al loro interno.

Infine si è stati in grado di misurare i movimenti del suolo dovuti a fenomeni diversi, quali ad esempio quelli causati da sinkhole o da errate operazioni di coltivazione di cave.

Il sistema GBInSAR LiSALab, indipendentemente dall'apertura sintetica impiegata, è in grado di osservare solo le aree contenute all'interno del cono di emissione delle antenne.

L'area che costituisce l'intersezione di questo cono radiante e lo scenario osservato è l'area che può essere misurata dal sistema, a meno delle eventuali regioni incoerenti, vegetate e/o in ombra.

La frequenza delle misure ottenibile utilizzando la tecnologia LiSALab è molto variabile, infatti essa è un parametro che può essere scelto liberamente in funzione della tipologia e della velocità del fenomeno che si analizza, della sua velocità e delle finalità proprie del sistema di monitoraggio che si vuole implementare.

Infatti, la frequenza di misura deve essere tale da garantire che le misure non risentano del fenomeno dell'ambiguità di fase. Più è veloce il fenomeno da monitorare, maggiore dovrà essere la frequenza di misura.

Il limite superiore delle frequenza di misura è costituito dal tempo necessario per ottenere una singola immagine percorrendo l'intera apertura sintetica selezionata.

Per l'analisi di movimenti estremamente lenti, come ad esempio i fenomeni DPGV, che sono caratterizzati da movimenti di pochi millimetri l'anno su vaste aree, è possibile pensare ad una frequenza

di acquisizione con periodi di 3-6 mesi. Per lo studio di fenomeni più veloci si può ridurre questo periodo ad acquisizioni orarie od anche inferiori.

La durata dell'acquisizione è invece strettamente correlata alla finalità del monitoraggio, ad esempio per monitoraggi di protezione civile la durata delle misure è generalmente permanente o comunque multi-annuale; nel caso dei monitoraggi di sicurezza di infrastrutture, la durata può essere connessa al perdurare del pericolo o delle attività che possono causare dissesto. Nei casi di studio, invece, la durata può essere limitata a giorni o a settimane, ovvero il tempo necessario per acquisire le informazioni necessarie per poter analizzare il fenomeno.

Accade talvolta, in presenza di spostamenti di pochi mm all'anno o nel caso di osservazione delle pareti rocciose o di strutture antropiche, che le misure avvengano secondo la modalità periodica, in tal caso all'interno della singola campagna di acquisizione le misure hanno durata continua e limitata a qualche giorno, mentre la della frequenza con la quale saranno ripetute tali campagne ha invece una durata pseudo-annuale, ad esempio 5 misure di quattro giorni da effettuarsi nel giro di due anni.

Nel caso specifico delle pareti rocciose la strumentazione permette di mappare nel tempo e nello spazio le eventuali deformazioni che interessano tali aree ed individuare così le aree potenzialmente sorgenti di distacchi e osservarne il comportamento nel tempo.

Nel caso, però, di fenomeni di crollo improvviso, ovvero che avvengono con dinamiche che coprono intervalli temporali di pochi minuti, ovvero con evoluzioni che sono temporalmente comparabili con i tempi di acquisizione ed elaborazione dei dati da parte della strumentazione, la strumentazione non è in grado di prevenirne e prevederne l'evoluzione catastrofica. Inoltre, le dimensioni dei blocchi in movimento devono essere superiori alle dimensioni della risoluzione radar impiegata, ovvero devono interessare alcune decine di metri quadri di superficie per essere correttamente misurate dalla strumentazione.

Il sistema GBInSAR LiSALab è un sistema radar ad apertura sintetica mobile e posizionato a terra, avente capacità interferometriche. Tale strumentazione è stata espressamente realizzata per effettuare misure in ambiente esterno per il monitoraggio delle deformazioni strutturali e dei pericoli naturali.

Il radar è un sensore attivo che invia impulsi a microonde verso la scena osservata, registra coerentemente il segnale diffuso e deriva l'informazione sulla distanza dei diversi diffusori nella scena dal calcolo del ritardo temporale tra segnale inviato ed eco ricevuti.

Nelle applicazioni di telerilevamento nelle quali l'oggetto di studio è una scena complessa è desiderabile distinguere quanti più dettagli possibile ed è importante la capacità del sistema di collocare esattamente i diversi oggetti nello spazio al fine di discriminare oggetti vicini: in altre parole, è importante ottenere un'elevata risoluzione spaziale.

In questo tipo di applicazioni un valido approccio è rappresentato dalla tecnica SAR (Radar ad Apertura Sintetica), utilizzata per ottenere immagini a microonde con elevata risoluzione spaziale.

Il sensore, in questo caso, si muove lungo una direzione rettilinea puntando in direzione perpendicolare rispetto a quella di movimento ed eseguendo misure radar ad opportuni intervalli spaziali. Il successivo

trattamento dell'insieme dei dati raccolti consente di produrre un'immagine con una risoluzione spaziale che dipende dalla distanza dell'area in esame.

Una caratteristica importante della tecnica SAR è che il trattamento dei dati può essere effettuato in modo tale da ottenere come risultato un'immagine composta da numeri complessi. Ogni cella di risoluzione (pixel) corrispondente ad una determinata porzione della scena osservata sarà pertanto caratterizzata non solo da un'ampiezza radiometrica che esprime la riflettività dell'oggetto alla frequenza di osservazione, rappresentata di seguito dalle mappe in potenza, ma anche da un valore di fase che dipende dalla distanza sensore-oggetto e dalle caratteristiche dielettriche di quest'ultimo.

L'utilizzo dell'informazione di fase contenuta nell'immagine SAR, talvolta in combinazione con l'informazione radiometrica, consente applicazioni avanzate della tecnologia radar tra le quali vi è quella dell'*interferometria differenziale SAR*.

***L'interferometria differenziale SAR* consente, attraverso il confronto tra le fasi di due acquisizioni separate temporalmente ma acquisite dallo stesso luogo e con gli stessi parametri di misura, di ricavare lo spostamento dei vari pixel che formano lo scenario osservato lungo la direzione della linea di vista (LOS) del sistema avvenuto durante l'intervallo trascorso.**

Indipendentemente dalla piattaforma utilizzata (satellitare, aviotrasportata o terrestre) e dallo specifico metodo di misura, ogni volta che si applica l'interferometria differenziale SAR per misurare gli spostamenti il prodotto finale può essere ricondotto a mappe di spostamento o deformazione che in generale possiedono le seguenti caratteristiche:

(1) Gli spostamenti misurati si riferiscono alla componente dello spostamento reale proiettata lungo la direzione di vista (Line Of Sight - LOS) del sistema SAR nell'intervallo di tempo compreso tra due acquisizioni;

(2) La risoluzione spaziale delle mappe di deformazione è uguale a quella delle immagini SAR di partenza, ma la risoluzione può degradarsi se sono applicate delle medie spaziali durante le operazioni di elaborazione dati;

(3) La precisione nel misurare degli spostamenti è pari ad una frazione della lunghezza d'onda elettromagnetica. Solitamente si arriva ad ottenere valori inferiori al millimetro.

E' da notare che la tipica ambiguità caratteristica delle misure di fase dovuta alla loro ciclicità tra $-\pi$ e $+\pi$ rimane irrisolta in quanto lo spostamento relativo di ogni pixel non deve superare la mezza lunghezza d'onda.

Spostamenti anche di molte lunghezze d'onda sono correttamente misurabili purché abbiano una distribuzione spaziale sufficientemente 'morbida' da riguardare un certo numero di pixel. Il semplice esempio monodimensionale riportato in Figura 6 contribuisce a chiarirne l'effetto.

La linea continua rappresenta la sezione di una sbarra in posizione di riposo mentre la linea tratteggiata rappresenta il profilo deformato della stessa. La deformazione è massima nella porzione centrale (pixel A), dove è superiore alla lunghezza d'onda e diminuisce verso gli estremi che si assumono fissi nelle due

condizioni. Mentre l'interpretazione della misura sul pixel A, considerata isolatamente, è ambigua, la valutazione complessiva di tutta la serie di pixel da A ad F (l'estremità) consente di derivare univocamente un pattern di deformazione.

Tale risultato può essere ottenuto applicando particolari algoritmi detti di *phase unwrapping* che consentono di 'srotolare' la fase e interpretare correttamente le discontinuità (chiamate frange) che appaiono in tale situazione.

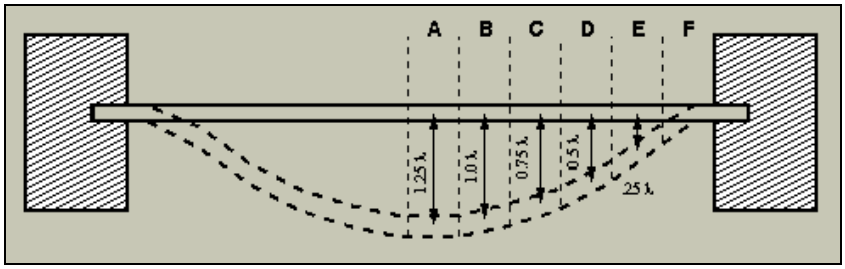


Figura 6: esempio di misura degli spostamenti in un caso mono-dimensionale

La condizione che in ultima analisi deve normalmente verificarsi è che la differenza tra gli spostamenti in pixel adiacenti non deve superare un quarto di lunghezza d'onda. In questi termini risultano fonte di errore tutti i fenomeni che inducono variazioni di fase troppo brusche o di tipo caotico nella scena osservata durante l'intervallo di tempo tra le due acquisizioni, come ad esempio la vegetazione che si muove sotto l'influsso del vento.

Per poter esprimere in termini quantitativi il livello di cambiamento introdotto dalla variazione della scena osservata tra due acquisizioni si utilizza il concetto di "coerenza".

Esiste, infatti, un metodo per calcolare la coerenza tra due immagini con un parametro variabile tra 0 (completa incoerenza o scena completamente modificata localmente), ed 1 (scena identica localmente tra due acquisizioni). Essa viene rappresentata dalle mappe cosiddette 'di coerenza' e, trattandosi di effetti dipendenti dalle caratteristiche locali della scena osservata, può variare di molto da pixel a pixel dell'immagine.

Tipici effetti che determinano perdita di coerenza tra le due acquisizioni sono:

1. Variazioni forti e spazialmente caotiche della costante dielettrica che possono verificarsi nel caso di forti precipitazioni atmosferiche;
2. Spostamenti di tipo caotico che possono essere attesi su aree densamente vegetate o su specchi d'acqua.

I fenomeni di perdita di coerenza (o de-correlazione) 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 ovviare a questo disturbo nell'analizzare i dati acquisiti sono state utilizzate diverse metodologie di trattamento delle immagini SAR, che garantiscono l'efficacia della misura effettuata.

Generalmente, per ogni campagna di misura si è ricavata un'immagine opportunamente "mediata" che ha il vantaggio di ridurre, o nei casi migliori eliminare, il rumore prodotto dalla de-correlazione temporale e da altri fattori di disturbo: ciò al fine di ri-ottenere delle misure particolarmente precise anche se acquisite in intervalli temporali relativamente lunghi.

Le scale colorate che solitamente accompagnano gli interferogrammi (se i risultati sono visualizzati in fase) o le mappe di deformazione (se i risultati sono visualizzati in millimetri) identificano gli spostamenti medi dei pixel considerati lungo la linea di vista (LOS) del sensore. I valori negativi rappresentano spostamenti in avvicinamento al sistema (nel caso specifico sono spostamenti verso valle), viceversa quelli positivi rappresentano spostamenti in allontanamento dal sistema (nel caso specifico sono spostamenti verso monte).

Mappe di spostamento georeferenziate sono altresì ottenibili elaborando le immagini SAR su modelli adeguati di elevazione digitale (DEM) del terreno, in modo da recuperare le distorsioni geometriche tipiche delle immagini radar stesse.

Le sequenze degli interferogrammi possono essere prodotte confrontando coppie d'immagini SAR (mediate o meno) seguendo le seguenti logiche (Figura 7):

(1) **Rolling** – ogni immagine è confrontata con la corrispondente immagine acquisita selezionando un intervallo di tempo definito (ad esempio 6 ore, 12 ore o più).
In questo modo, si riesce a calcolare lo spostamento avvenuto tra due immagini mantenendo costante l'intervallo di tempo che le separa. Sia la prima immagine che la seconda sono sempre diverse, ciò che rimane fisso è l'intervallo temporale tra le loro acquisizioni;

(2) **Incrementale** – un'immagine SAR è presa come riferimento e gli interferogrammi sono prodotti confrontando le immagini acquisite in diversi intervalli di tempo incrementali a partire dalla prima (ad esempio due, quattro, sei o più ore a partire dall'immagine di riferimento). In questo caso, se l'intervallo temporale diventa troppo ampio, si può incorrere facilmente nel problema dell'ambiguità di fase e/o di perdita di coerenza.

Seguendo le logiche sopra esposte, le mappe di deformazione a copertura di un lungo intervallo di tempo possono essere ottenute per via diretta, confrontando le immagini corrispondenti all'intervallo prescelto, o per via indiretta attraverso la procedura rolling, sommando gli spostamenti misurati nelle coppie d'interferogrammi successivi a copertura dell'intervallo temporale di interesse.

Con la procedura indiretta, scegliendo opportunamente l'intervallo temporale tale per cui non si presenti il fenomeno della ciclicità della fase, si riesce ad eliminare il problema dello "srotolamento" di fase.

Spesso negli interferogrammi presentati di seguito, i valori di fase non sono "srotolati" e, di conseguenza, i valori delle deformazioni sono affetti intrinsecamente dall'ambiguità delle misure di fase.

A titolo d'esempio, nella Figura 8 sono presentate due mappe di deformazione della stessa area: una con valori "non srotolati", l'altra con valori "srotolati". Nel caso specifico si è scelta una mappa di deformazione con una frangia d'interferenza.

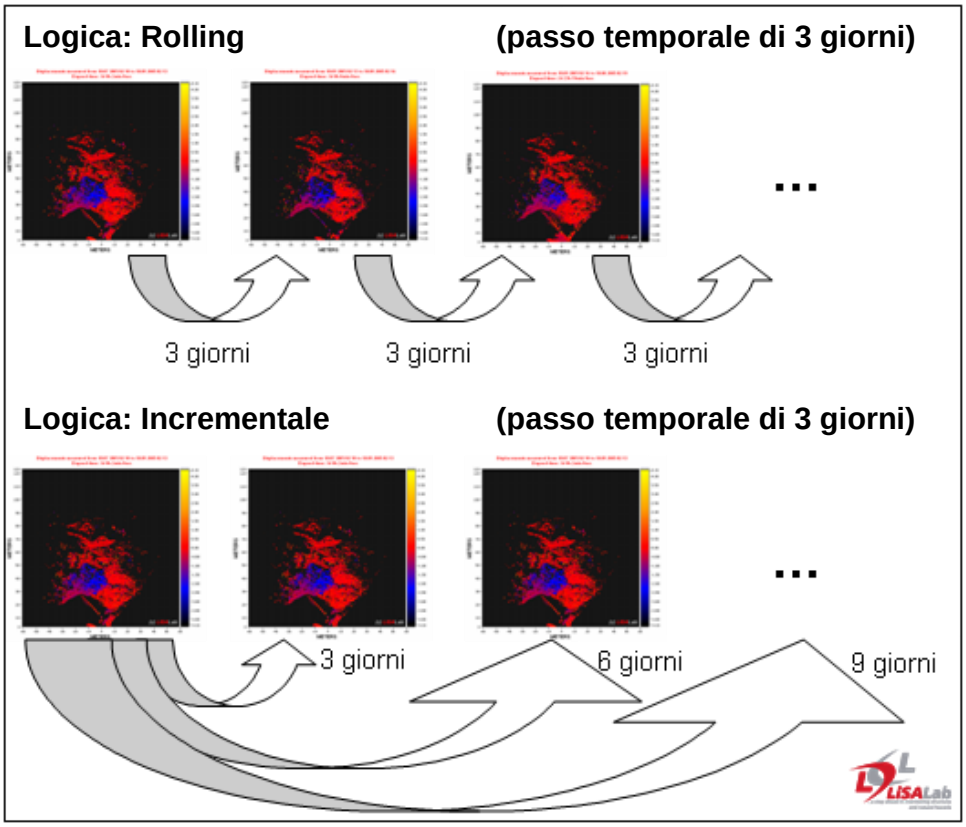
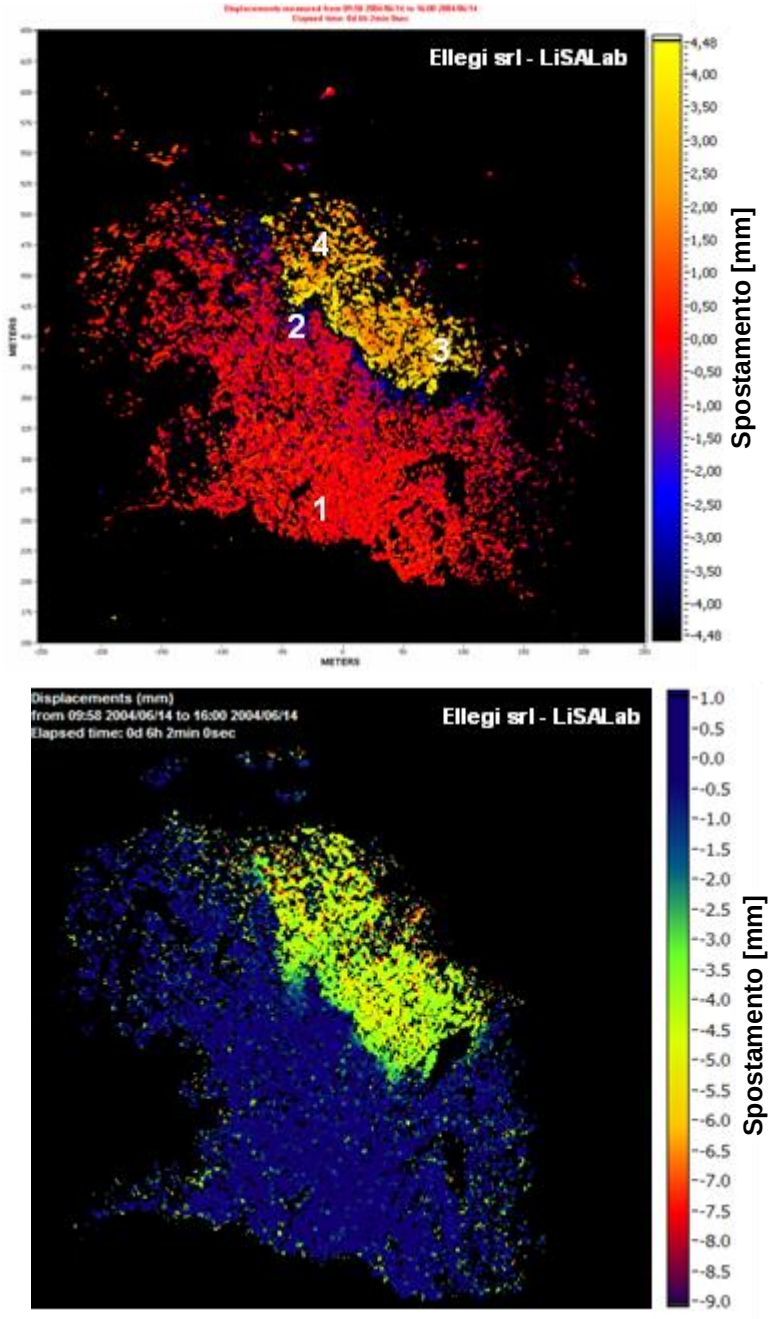


Figura 7: schematizzazione delle diverse logiche utilizzabili per confrontare gli interferogrammi (l'intervallo di tre giorni utilizzato ha esclusivamente in questo caso scopo esemplificativo)

Nella mappa srotolata invece si ha una corrispondenza biunivoca tra i valori degli spostamenti e la scala colorata relativa e ciò ne rende più immediata ed intuitiva la lettura.

Si ricorda e si sottolinea che, se non specificatamente e diversamente indicato:
TUTTI GLI SPOSTAMENTI MISURATI E PRESENTATI NELLE MAPPE DI DEFORMAZIONE SEGUENTI RAPPRESENTANO LE COMPONENTI DEL REALE SPOSTAMENTO DEL PUNTO OSSERVATO PROIETTATE LUNGO LA LINEA DI VISTA (LOS) DEL SISTEMA.



Punto 1: area stabile, differenza di fase 0°, *n* = 0 e spostamento pari a 0 mm, è il punto di riferimento a partire dal quale contare le fasi;

Punto 2: blu scuro, equivale a una differenza di fase *n* pari a -1/4λ ed uno spostamento di ~-2,24 mm;

Punto 3: giallo chiaro, equivale a una differenza fase pari a *n* = -1λ + 1/4λ ed uno spostamento di ~-8,96 + 2,24= ~-6,72 mm;

Punto 4: rosso, equivale ad una differenza di fase *n* = -1λ (prima frangia) = ~-8,96 mm di spostamento.

Figura 8: in alto: mappa di deformazione non "srotolata" e relativo esempio di lettura, in basso: mappa di deformazione "srotolata"

Specifiche del servizio

La Comunità Montana della Valchiavenna ha richiesto un servizio di monitoraggio di tipo "Periodical Check" per l'identificazione e la mappatura di eventuali porzioni instabili sulle pareti rocciose del monte Avedeè nel Comune di Novate Mezzola SO. utilizzando il sistema GBInSAR LiSALab.

Il servizio di tipo “Periodical Check” si compone di una campagna iniziale di misura in cui il sistema GBInSAR LiSALab, che è stato precedentemente assemblato e adattato allo specifico utilizzo presso la sede Ellegi srl, verrà trasportato in loco ed installato presso una apposita struttura di sostegno.

Dopo le necessarie attività di implementazione, controllo e calibrazione il sistema acquisirà dati consecutivamente per circa 5 giorni, incluso giorno di installazione e disinstallazione.

Al termine dei giorni previsti, il sistema verrà smontato, prelevato e riportato alla sede Ellegi srl, salvo che Ellegi srl reputi necessari (senza oneri aggiuntivi per il committente) ulteriori giorni di misura per migliorare la qualità dei dati e fino ad un massimo di 2 giorni addizionali. In sede si procederà quindi alla successiva elaborazione dei dati in due dimensioni e la successiva analisi interferometrica delle stesse.

Successivamente, trascorso un intervallo definito con la Committenza e attualmente stimato in circa 4 mesi, il sistema GBInSAR LiSALab verrà trasportato in luogo, installato e dopo le necessarie attività di implementazione e calibrazione rieseguirà le misure radar per acquisire un numero sufficiente di immagini radar classificabili come di alta qualità per circa 5 giorni, incluso giorno di installazione e disinstallazione.

Il grado di qualità delle immagini radar acquisite è un parametro di sviluppo interno alla Ellegi srl, viene definito di volta in volta in campagna di misura sul campo utilizzando metodi statistici derivati sull’esperienza ed il know-how sviluppati nel tempo nel monitoraggio interferometrico SAR da terra.

Questo processo è finalizzato ad acquisire un numero di immagini radar sufficienti ad ottenere misure affidabili ed entro i limiti di accuratezza richiesti dal Cliente.

Dalla differenza delle immagini acquisite tra le differenti campagne verrà ricostruita l’evoluzione della deformazione del versante, nel tempo e nello spazio.

Dall’analisi interferometrica verranno restituite le mappe degli spostamenti dall’area osservata. Le mappe di spostamento verranno rilasciate in formato Raster o Point Cloud. In questo modo il Committente potrà estrarre gli spostamenti da tutti i punti presenti nelle mappe stesse.

Inoltre si forniranno le serie temporali degli spostamenti di punti di Interesse particolare selezionati assieme al Committente e ricavate dalle mappe di deformazioni acquisite dal sistema GBInSAR LiSALab nell’esecuzione del servizio “Periodical Check”. Tali dati (spostamenti) verranno forniti sotto forma di file importabili in software quali MS Excel per le successive elaborazioni da parte dei tecnici e professionisti.

Il prodotto finale di questo servizio saranno una serie di report aventi i seguenti contenuti:

Definizione	Contenuti
1° Report	• Definizione parametri di misura • Analisi immagini radar acquisite • Analisi delle immagini interferometriche relative alla campagna in oggetto
Successivi Report	• Definizione parametri di misura • Analisi immagini radar acquisite • Analisi delle immagini interferometriche relative alla campagna in oggetto • Analisi delle immagini interferometriche tra le varie campagne eseguite • Analisi delle serie temporali di n°. 10 punti • Riassunto e conclusione delle misure eseguite nel servizio

I risultati verranno consegnati in formato elettronico.

In seguito al test eseguito il giorno 23 marzo 2023 per validare il monitoraggio per mezzo di tecnologia GBInSAR del versante roccioso sovrastante l'abitato di Novate Mezzola e minimizzare gli effetti distorsivi della tecnica sui risultati, è stato concluso che la misura periodica di questo versante è fattibile per le aree non vegetate, ma per monitorare correttamente il versante roccioso ed in particolare le due aree indicate dalla Committenza è necessario prevedere due distinte postazioni di misura;

Pertanto il servizio si compone di 3 misure/anno per 3 (tre) anni da eseguirsi per entrambe le postazioni.

Il servizio di "Periodical Check" è comprensivo di:

1. implementazione, preparazione e calibrazione del sistema GBInSAR LiSALab© presso i laboratori Ellegi srl;
2. utilizzo per le campagne di misura di un sistema GBInSAR LiSALab©
3. trasporto della strumentazione;
4. installazione e configurazione del sistema ad opera dei tecnici specializzati Ellegi srl;
5. acquisizione dei dati grezzi da parte del sistema GBInSAR LiSALab©;
6. elaborazione dei dati grezzi acquisiti per ottenere le immagini radar;
7. analisi delle immagini radar per ogni campagna di misura e loro successiva elaborazione;
8. produzione e consegna del report in forma elettronica per ogni campagna;
9. produzione serie temporali degli spostamenti dei punti selezionati assieme al Committente e ricavate dalle mappe di deformazioni acquisite dal sistema GBInSAR LiSALab nell'esecuzione del servizio "Periodical Check". Tali dati (spostamenti) verranno forniti sotto forma di file importabili in software quali MS Excel per le successive elaborazioni da parte dei tecnici e professionisti;
10. conservazione dei dati grezzi per tutta la durata della servizio di monitoraggio "periodical check";
11. conservazione dei dati grezzi acquisiti nell'esecuzione di tutto il servizio di "periodical check" per almeno i 3 anni successivi alla conclusione del servizio;
12. fornitura e messa a disposizione del basamento metallico che verrà lasciato in loco per la durata del servizio, al termine il luogo verrà ripristinato allo stato di fatto;

13. Riunione tecnica con Committenza per discussione dei risultati al termine di ogni campagna.
14. l'allacciamento, gestione e fornitura della linea elettrica di alimentazione se disponibile o in caso di assenza alimentazione per mezzo di generatore autonomo opzionale.

Sono escluse dal servizio e quindi non a carico e responsabilità del Committente, ma necessaire alla corretta esecuzione del servizio sopra esposto:

- la richiesta e l'ottenimento dei permessi di occupare il sito od il terreno ove installare il basamento e il sistema GBInSAR LiSALab;
- la sistemazione ed il mantenimento delle infrastrutture che non fanno parte del sistema GBInSAR LiSALab nel sito prescelto per il posizionamento dello strumento compresa la garanzia a favore della Ellegi di poter accedere autonomamente e liberamente al sito ed ai locali ove è contenuta la strumentazione ed il sistema per tutta la durata del contratto più i successivi 3 mesi;
- i costi di riparazione o sostituzione di tutti i componenti danneggiati nel caso in cui il sistema venga danneggiato da sovraccarichi dovuti alla linea elettrica od altri eventi imputabili alla linea elettrica o a negligenza del Committente;
- le analisi integrative e/o successive delle immagini e dei dati grezzi conservati diverse da quanto previsto nel contratto di "Periodical Check";
- i costi dell'eventuale rilievo del punto di installazione del sistema GBInSAR LiSALab rispetto alle sistema di coordinate generali che si vuole utilizzare e l'acquisizione del DEM o DTM.

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 stati installati in due siti aventi le seguenti caratteristiche:

- buona visuale della zona da monitorare;
- la postazione è in un punto assolutamente stabile e non soggetto a sua volta a movimenti;
- la distanza media dall'area da monitorare non è eccessiva per non perdere in risoluzione spaziale;
- migliore linea di osservazione (LOS) possibile del fenomeno.
-

La postazione di misura GBInSAR LiSALab Postazione EST (PE) prescelta ha le seguenti coordinate UTM – WGS84 Fuso 32:

x	534815.1 m
y	5119084.4 m
z	233 m

La postazione di misura GBInSAR LiSALab Postazione OVEST (PO) prescelta ha le seguenti coordinate UTM – WGS84 Fuso 32:

x	534419 m
y	5119154 m
z	207 m

Queste postazioni assecondano le esigenze di avere una buona visuale della zona da monitorare, una distanza media dall'area da monitorare non eccessiva per non perdere in risoluzione spaziale e la migliore linea di osservazione (LOS) possibile del fenomeno e permette di osservare nella sua quasi totalità l'area d'interesse del versante del monte Avedèe.

Per entrambe le postazioni la Comunità Montana Val Chiavenna 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.

L'installazione del sistema è stata effettuata mediante il fissaggio al magrone in cemento per mezzo di appositi tasselli di un portale,, composto da due colonne ed una trave metallica, a cui successivamente è stato fissato il sistema di monitoraggio attraverso apposite contropiastre. La trave metallica verrà lasciata in loco per entrambi i siti per tutta la durata del servizio, in quanto funge da riferimento univoco per le successive installazioni.

Il sistema è stato quindi allacciato alla alimentazione elettrica prelevata da due case poste in vicinanza delle due postazioni di misura.



Figura 9: Postazione Est, a sinistra, dettagli del magrone di cemento su cui è stato fissato il basamento in metallo e a destra come appariva il sistema ad installazione ultimata.



Figura 10: Postazione Ovest, a sinistra, magrone di cemento e portale metallico, e a destra, il sistema ad installazione ultimata.

Si ricorda che per la riuscita del monitoraggio interferometrico è molto importante che il basamento del sistema non venga spostato o mosso in nessun modo né nel corso di una campagna di misura e nemmeno nell'intervallo tra due campagne. Il sistema di ancoraggio a terra combinato all'impiego del portale metallico effettuato per questa serie di campagne di misura, in base all'esperienza pregressa, conferisce un sufficiente grado di stabilità.

Grazie alle due contro-piastre che sono state fissate alla trave orizzontale metallica sarà possibile riposizionare il sistema in questa stessa posizione anche per i futuri Periodical Check ed i dati di questa campagna saranno correlabili con quelli delle prossime campagne di misura.

Descrizione del servizio

Il servizio di monitoraggio periodico è composto da svariate campagne di misura distinte.

Per ciascuna singola 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 dell'analisi, presentati qui di seguito, sono restituiti sotto forma di sequenze di mappe di spostamento in due ed in tre dimensioni, a copertura totale e/o parziale dell'intervallo considerato.

Il presente report riporta i risultati acquisiti a Maggio 2022. La campagna di misura, per entrambe le postazioni, si è svolta dal 20 Maggio 2022 al 24 Maggio 2022 acquisendo un totale di 1121 e 1175 immagini per la Postazione Est e per la Postazione Ovest, rispettivamente.
La presente campagna rappresenta la misura di zero, ovvero il riferimento iniziale per le campagne successive e previste per il periodo temporale 2022-2024.
Propedeuticamente all'esecuzione delle misure per entrambe le postazioni si è provveduto ad installare l'apposito portale metallico per garantire la continuità dei dati nelle prossime misure.

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 Avedée e volendo ottimizzare l'analisi dei dati in relazioni alle diverse zone mostrate in Figura 3 si è scelto di processare le immagini radar utilizzando, per ogni postazione, 2 sottofinestre: una, la sottofinestra *Near*, ha come obiettivo principale il rilevamento 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 parte più alta del monte Avedèe (area circoscritta in giallo in Figura 3). Gli estremi in coordinate radar per le due sottofinestre sono riportati nella seguente tabella:

Postazione EST

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

Postazione OVEST

Sottofinestra	Min Azimuth (m)	Max Azimuth (m)	Min Range (m)	Max Range (m)
NEAR	-600	800	1000	1650
FAR	-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 con la 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 11 mostra le due griglie di risoluzione utilizzate per la postazione Ovest mentre in Figura 12 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

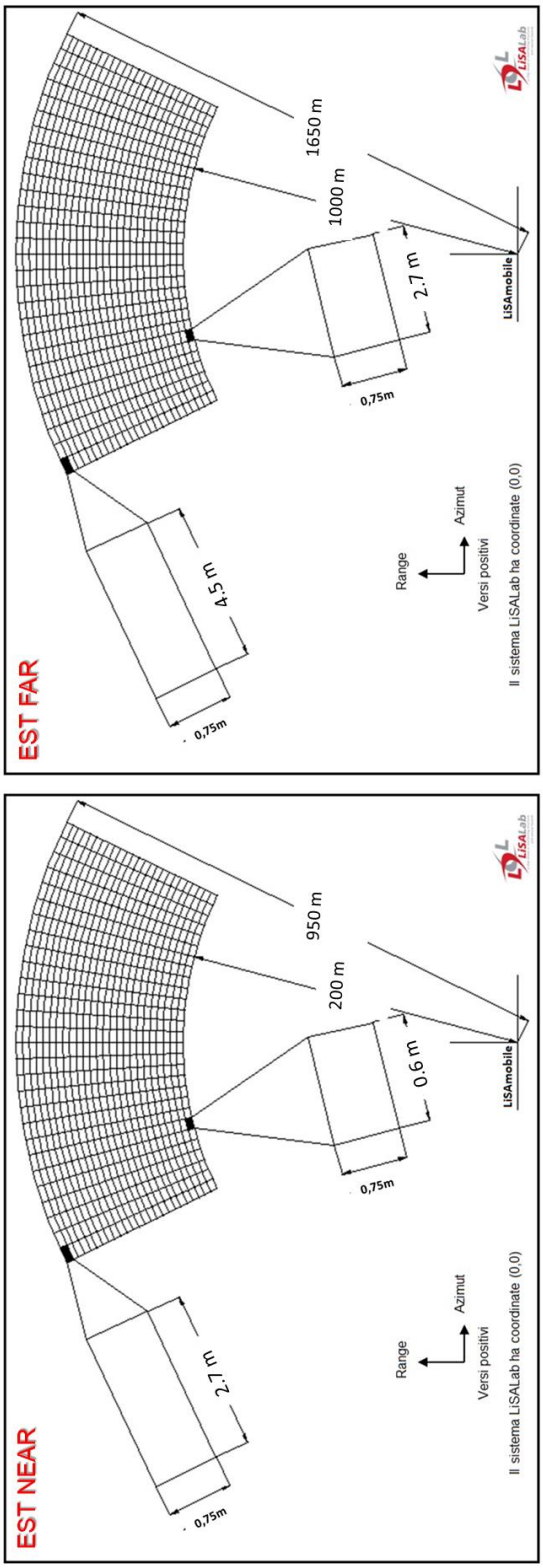


Figura 11: griglia di risoluzione del sistema GBInSAR LiSALab per la campagna in oggetto, Postazione Est.

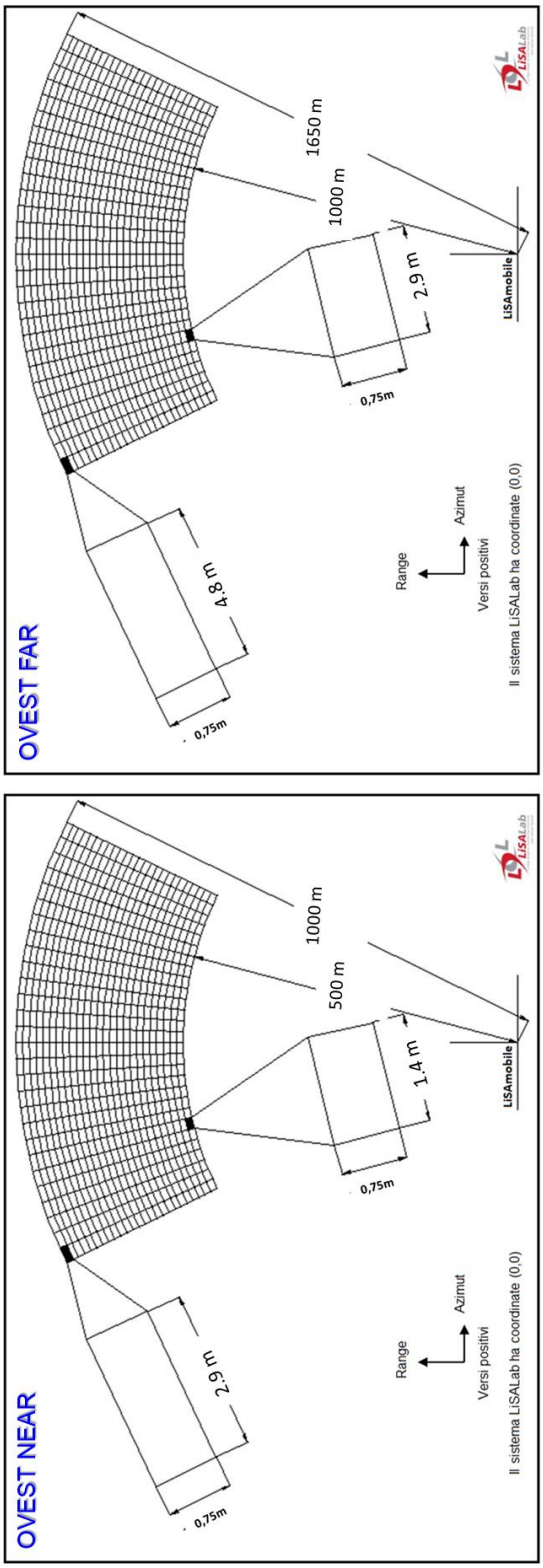


Figura 12: griglia di risoluzione del sistema GBInSAR LiSALab per la campagna in oggetto. Postazione Ovest

Elaborazione dei risultati della misura di zero, Maggio 2022

Nelle figure seguenti vengono presentate le immagini SAR in potenza del versante del monte Avedée acquisite dal sistema GBInSAR LiSALab secondo le griglie di risoluzione presentate nella sezione precedente. Ciascuna mappa mostra la mappa dell'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 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 riassorbire le distorsioni caratteristiche delle immagini 2D, è stata effettuata una rappresentazione qualitativa con indicazioni delle zone radar sull' immagine fotografica dello scenario. Tale georeferenziazione è mostrata in Figura 17 per la postazione Ovest e in Figura 18 per la Postazione Est.

Nel capitolo relativo alla georeferenziazione e alla proiezione di dati in tre dimensioni, le immagini e le mappe di spostamento verranno direttamente proiettate su di un DEM dell'area monitorata recuperando le distorsioni tipiche delle misure radar ed si otterrà una relazione univoca tra pixel radar e punto "fisico" osservato. A tal proposito si rimanda al relativo capitolo dedicato alla fine del presente report.

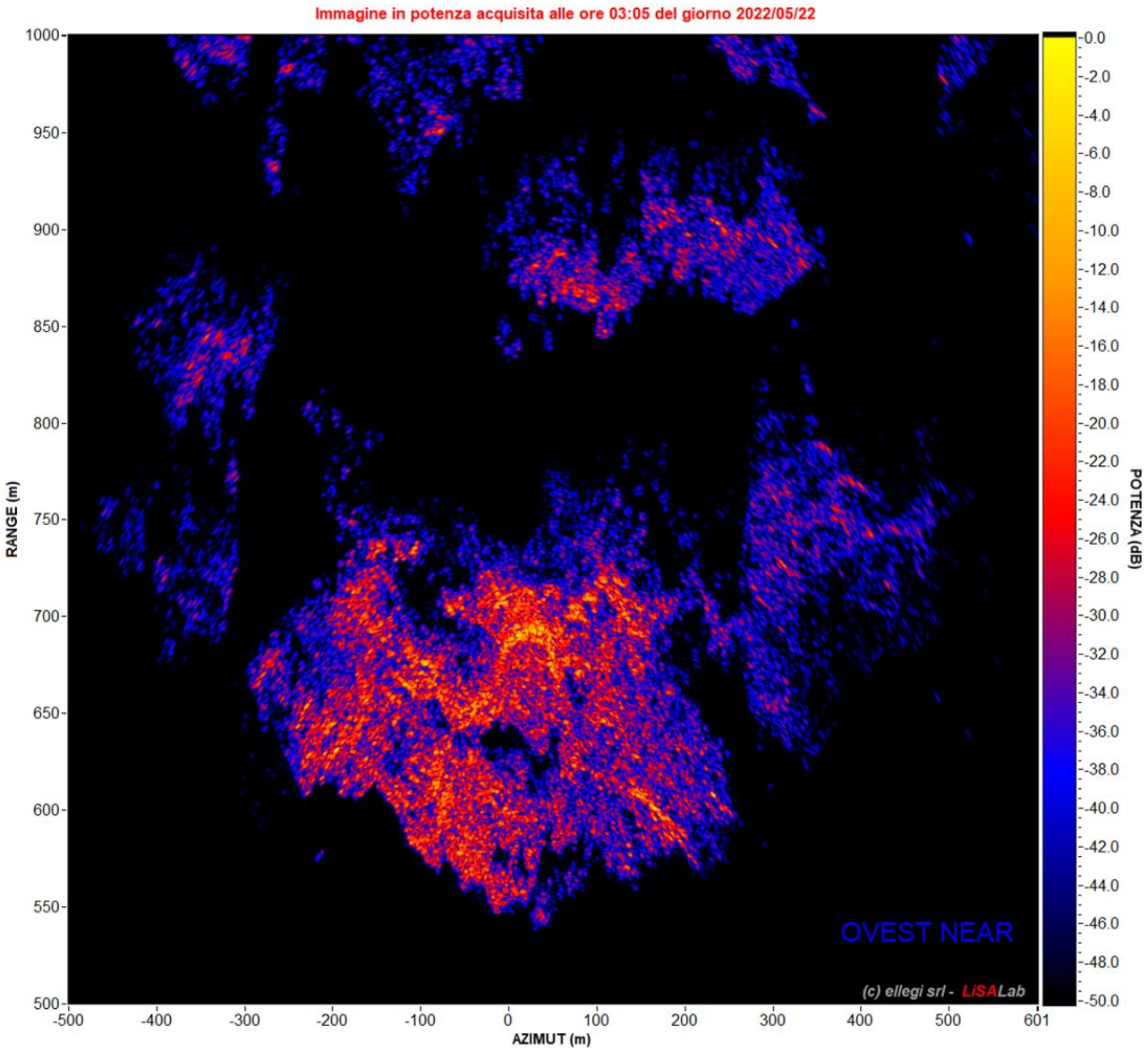


Figura 13: Immagine SAR in potenza in 2D dello scenario osservato dal sistema GBInSAR LiSALab, Maggio 2022; Postazione Ovest, sottofinestra *Near*.

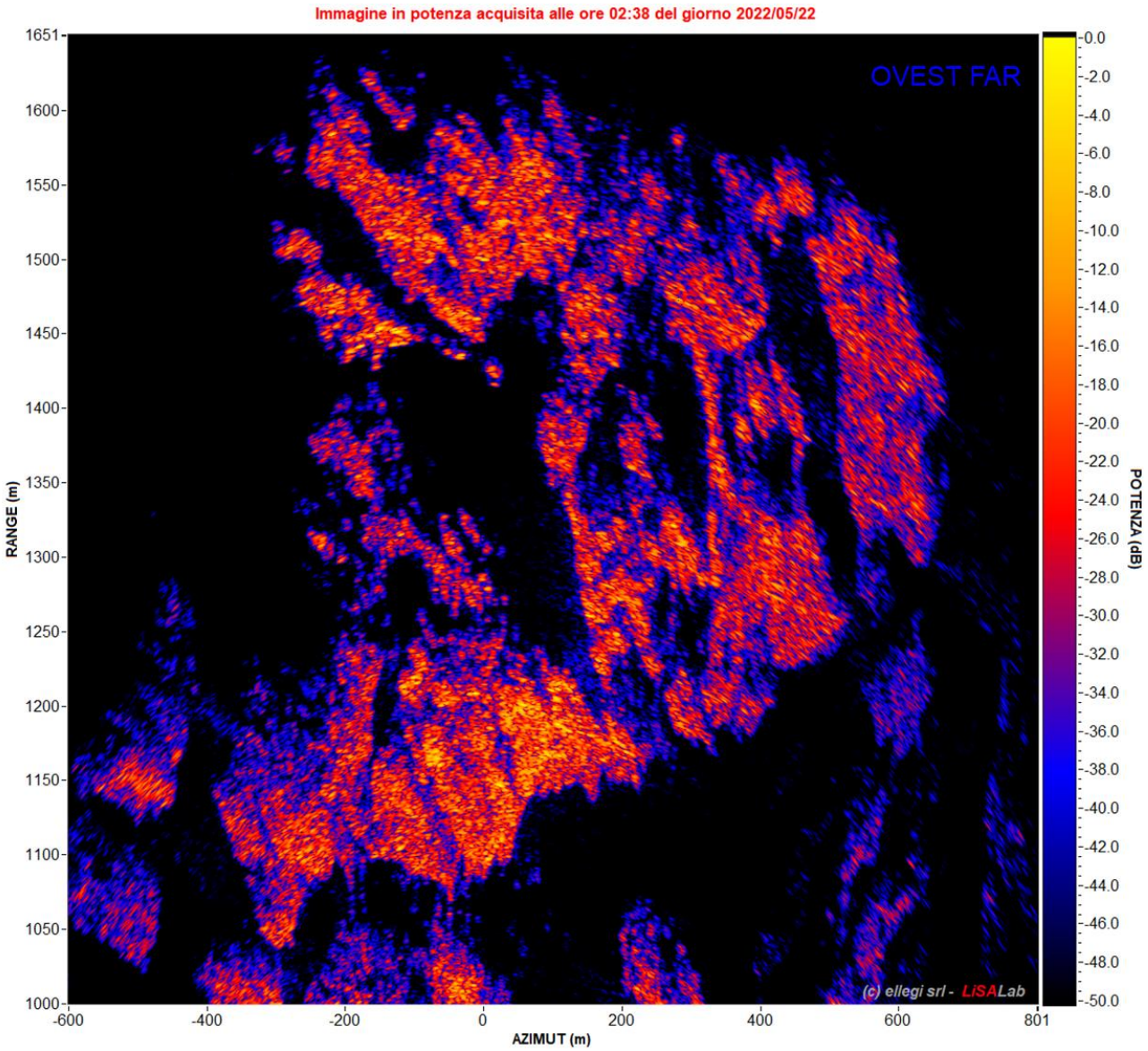


Figura 14: immagine SAR in potenza in 2D dello scenario osservato dal sistema GBInSAR LiSALab, Maggio 2022; Postazione Ovest, sottofinestra *Far.*

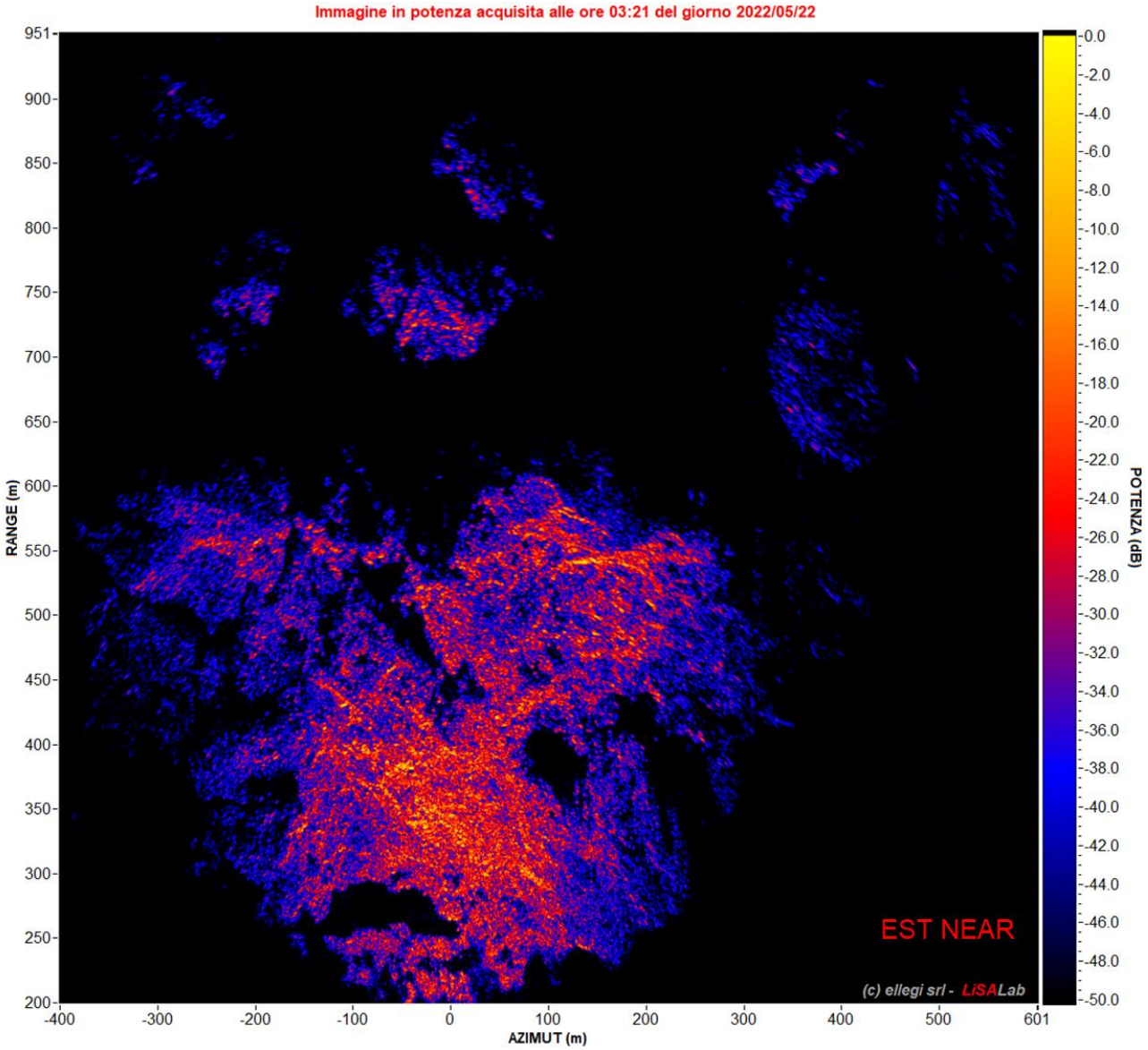


Figura 15: immagine SAR in potenza in 2D dello scenario osservato dal sistema GBInSAR LiSALab, Maggio 2022; Postazione EST, sottofinestra *Near.*

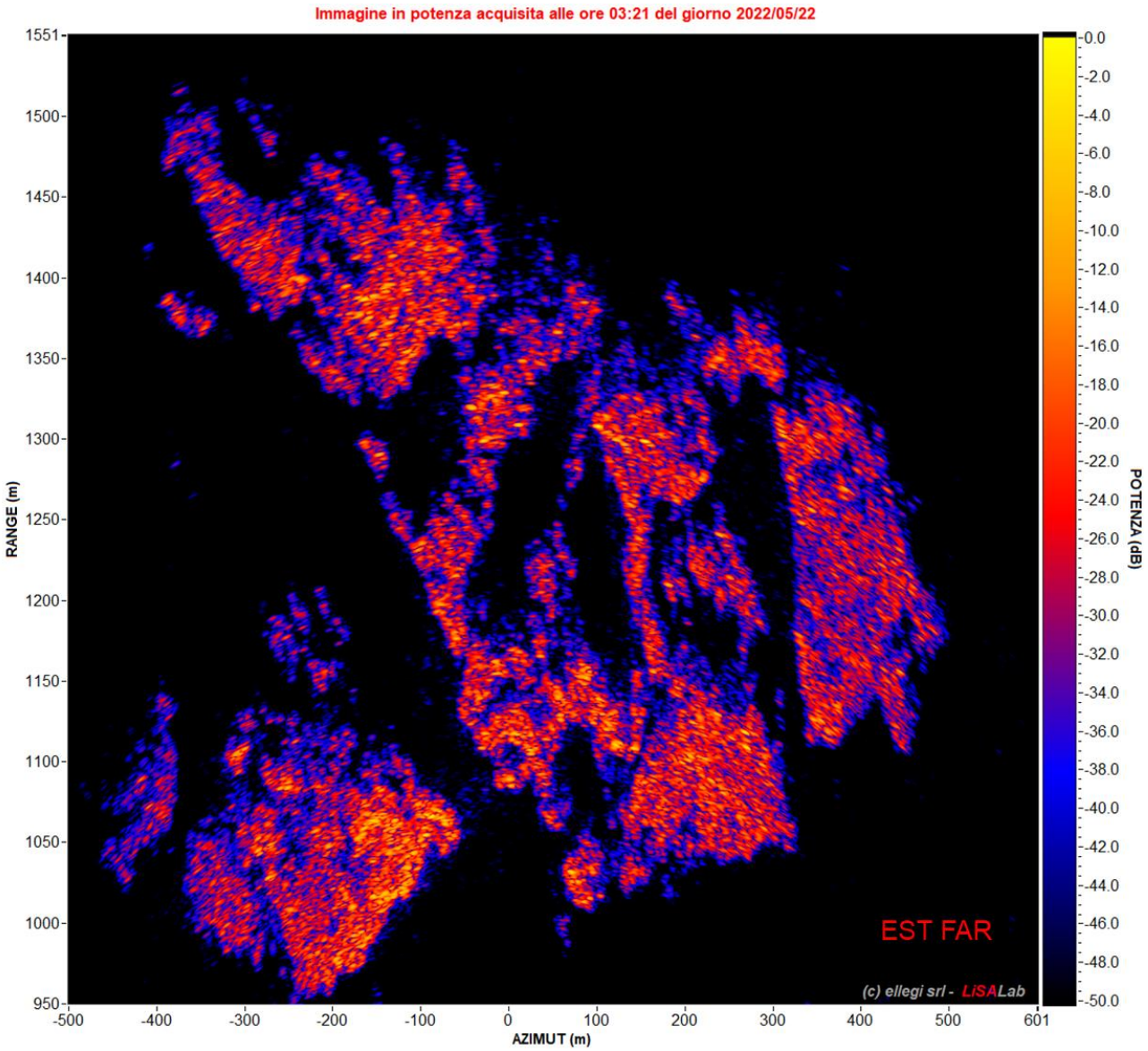


Figura 16: immagine SAR in potenza in 2D dello scenario osservato dal sistema GBInSAR LiSALab, Maggio 2022; Postazione EST, sottofinestra *Far.*

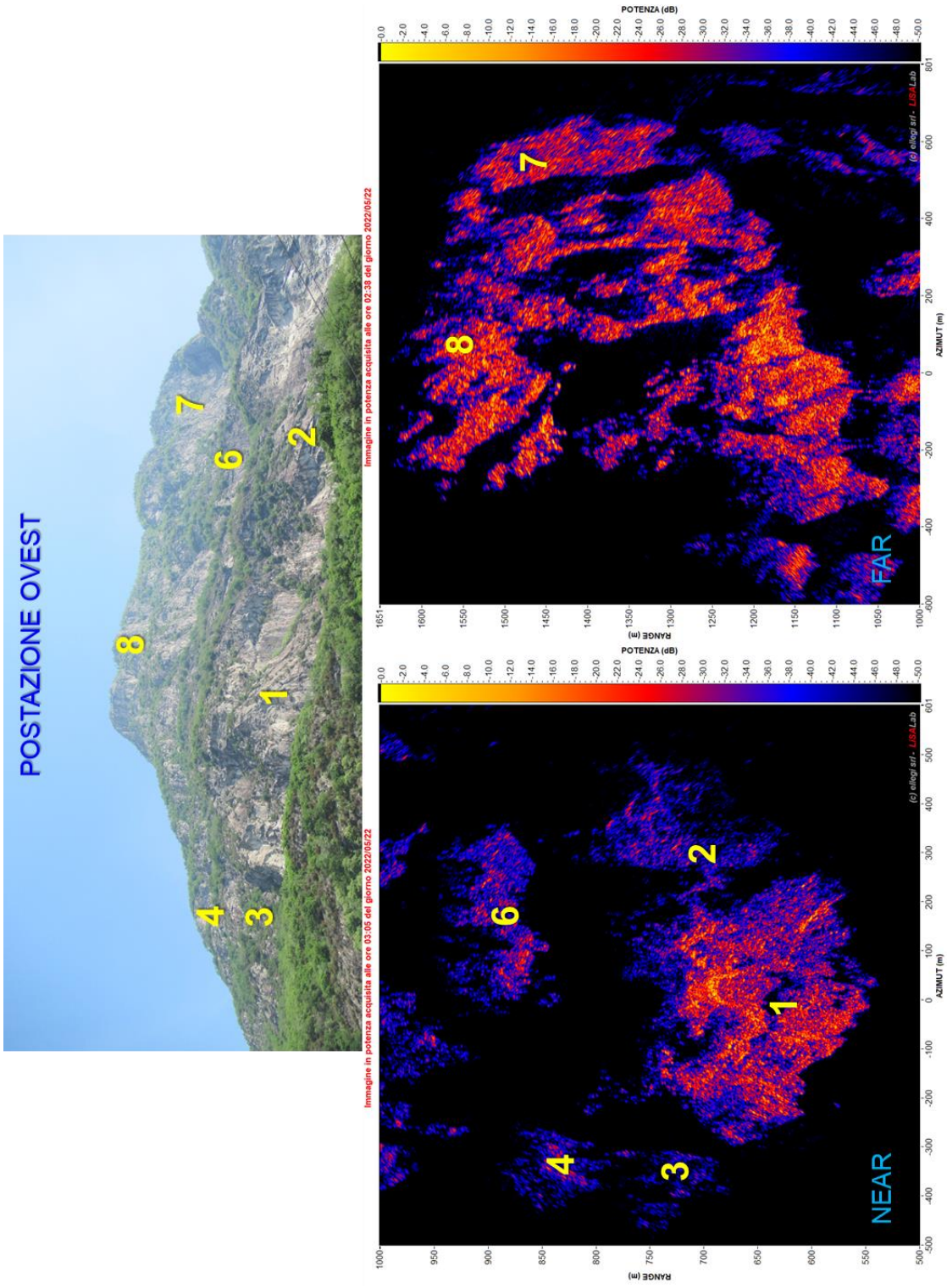


Figura 17: Georeferenziazione qualitativa delle immagini radar in potenza sulla fotografia del versante. Postazione Ovest, sotto finestre *Near* e *Far*.

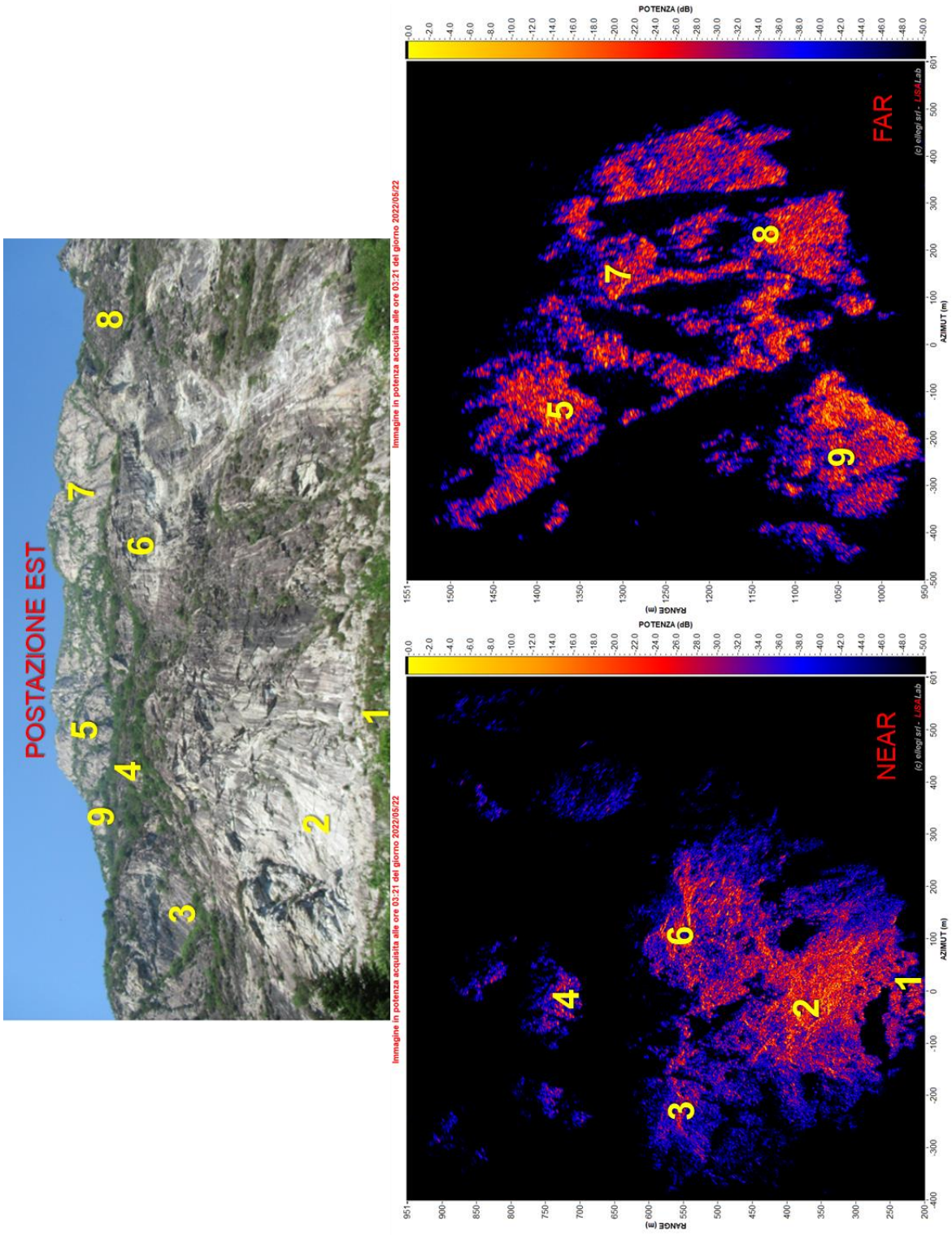


Figura 18: Georeferenziazione qualitativa delle immagini radar in potenza sulla fotografia del versante. Postazione Est, sotto-finestre *Near* e *Far*.

Mappe di spostamento a breve termine

In questa sezione vengono presentate le mappe di spostamento a breve termine del versante del monte Avedée. Nelle mappe a breve termine l'obiettivo principale è verificare la stabilità o la presenza di deformazioni che intercorrono durante la singola campagna di misura, ad esempio a distanza di 4 giorni. Nella fattispecie, verranno quindi presentate le mappe degli spostamenti avvenuti fra il 20 Maggio e il 24 Maggio 2022 a copertura di un intervallo temporale di circa 3 giorni, 10 ore e 13 minuti.

Nei prossimi report, in aggiunta alle analisi di breve termine verranno effettuate delle analisi a lungo termine, relative quindi al periodo intercorso fra due distinte campagne di misura.

Le mappe di spostamento a breve termine sono in grado di evidenziare le regioni in movimento e di individuare comportamenti o anomalie locali che interessano il versante montuoso.

Le mappe possono essere lette utilizzando le barre colorate poste sul fianco sinistro di ciascuna mappa. I risultati, per entrambe le postazioni sono riportate nelle Figure seguenti (Da Figura 19 a Figura 30).

Per ciascuna postazione/sotto finestra vengono presentati:

A) Gli interferogrammi degli spostamenti presentati nella rappresentazione interferometrica "classica" tipicamente utilizzata in misure SAR da terra. Questa rappresentazione permette di visualizzare eventuali spostamenti in allontanamento e la presenza di superamenti del limite di fase interferometrica. In questa visualizzazione le zone stabili hanno un colore rosso mentre zone con spostamenti fra i -2 e i -4 mm in avvicinamento hanno un colore blu, blu scuro e zone il cui limite di fase interferometrica viene superato avranno dei colori gialli.

B) La mappa degli spostamenti in versione "srotolata" in cui è stato risolto il problema presentato dalla presenza di eventuali spostamenti positivi generati dal superamento del limite di fase interferometrica. In questa visualizzazione gli spostamenti nulli sono di colore verde e tendono al rosso/viola con salire degli spostamenti.

C) L'istogramma della 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, e quindi risulta evidente come le mappe di spostamento relative ad intervalli temporali più brevi contengano 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. I VALORI NON SONO SROTOLATI.

L'analisi è stata effettuata utilizzando immagini SAR che sono ottenute elaborando statisticamente tutte le immagini acquisite in 24 ore (24h) e che viene definita immagine "mediata", in quanto questo processo di elaborazione del dato permette di migliorare il rapporto segnale/rumore e la qualità e la precisione delle misure ed è ritenuta la più idonea per gli scopi di questo monitoraggio conoscitivo.

Dall'analisi delle mappe ottenute da entrambe le postazioni e per le due sottofinestre analizzate è evidente che in tutta l'area osservata dal sistema GBInSAR LiSAmobile non sono presenti aree estese affette da movimenti nell'intervallo coperto da questo report.

La presenza invece di piccole aree caratterizzate da spostamenti (identificabili nelle mappe come isolati pixel di colore diverso dal verde) non desta alcuna preoccupazione in quanto queste aree sono puntiformi e quindi possono essere affette da fenomeni di disturbo che possono generare dati non affidabili, vista anche la presenza di vegetazione nella regione monitorata.

Lo spostamento medio di tutti i pixel presenti in tutte le mappe di spostamento seguenti è compreso tra – 0.1 e 0.0 mm con una deviazione standard compresa tra 0.2 e 0.3 mm.

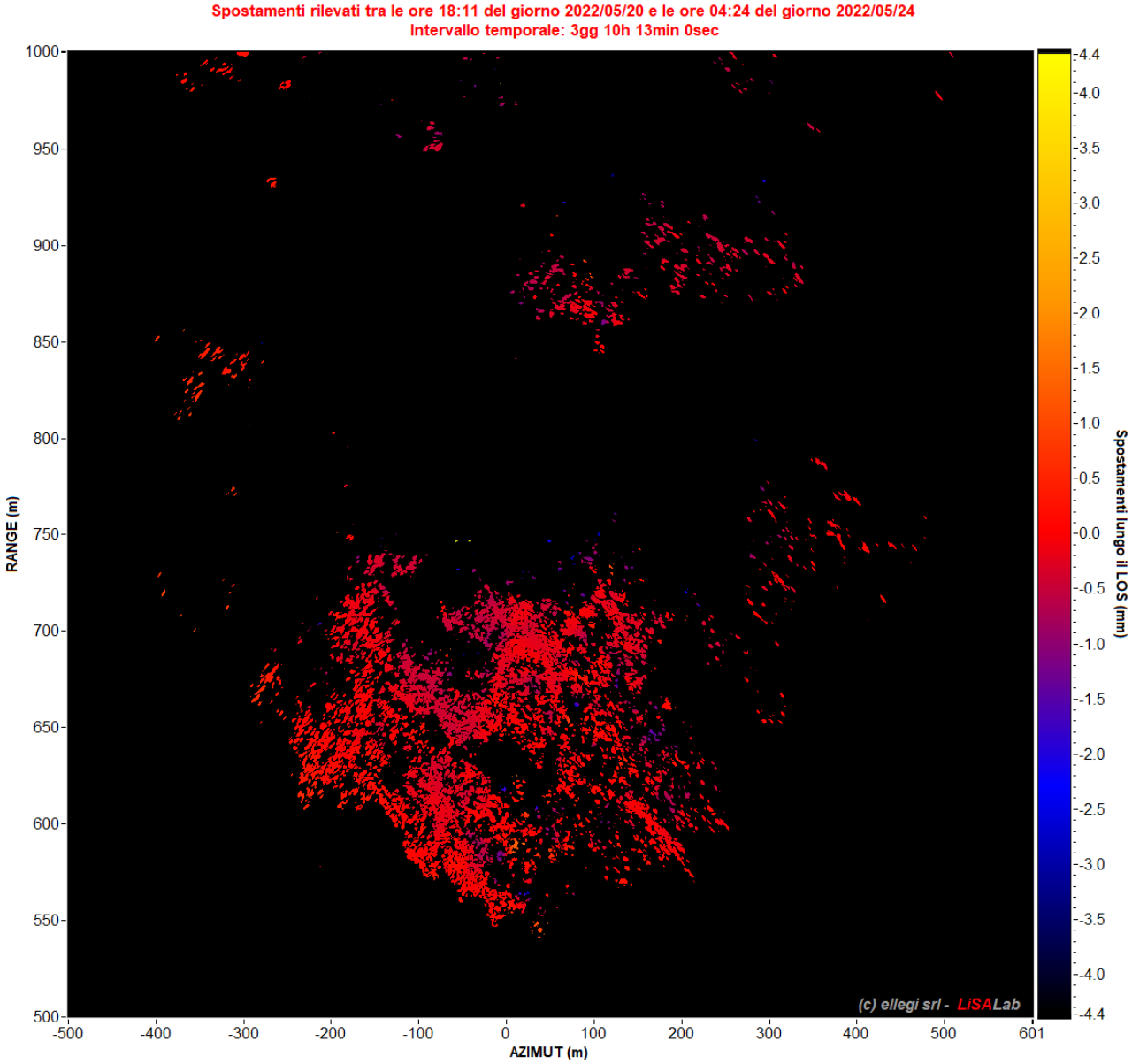


Figura 19: mappa di spostamento a breve termine bidimensionale 20 – 24 Maggio 2022 (3 giorni 10 ore e 13 minuti) – rappresentazione classica. POSTAZIONE OVEST, Sottofinestra *Near*

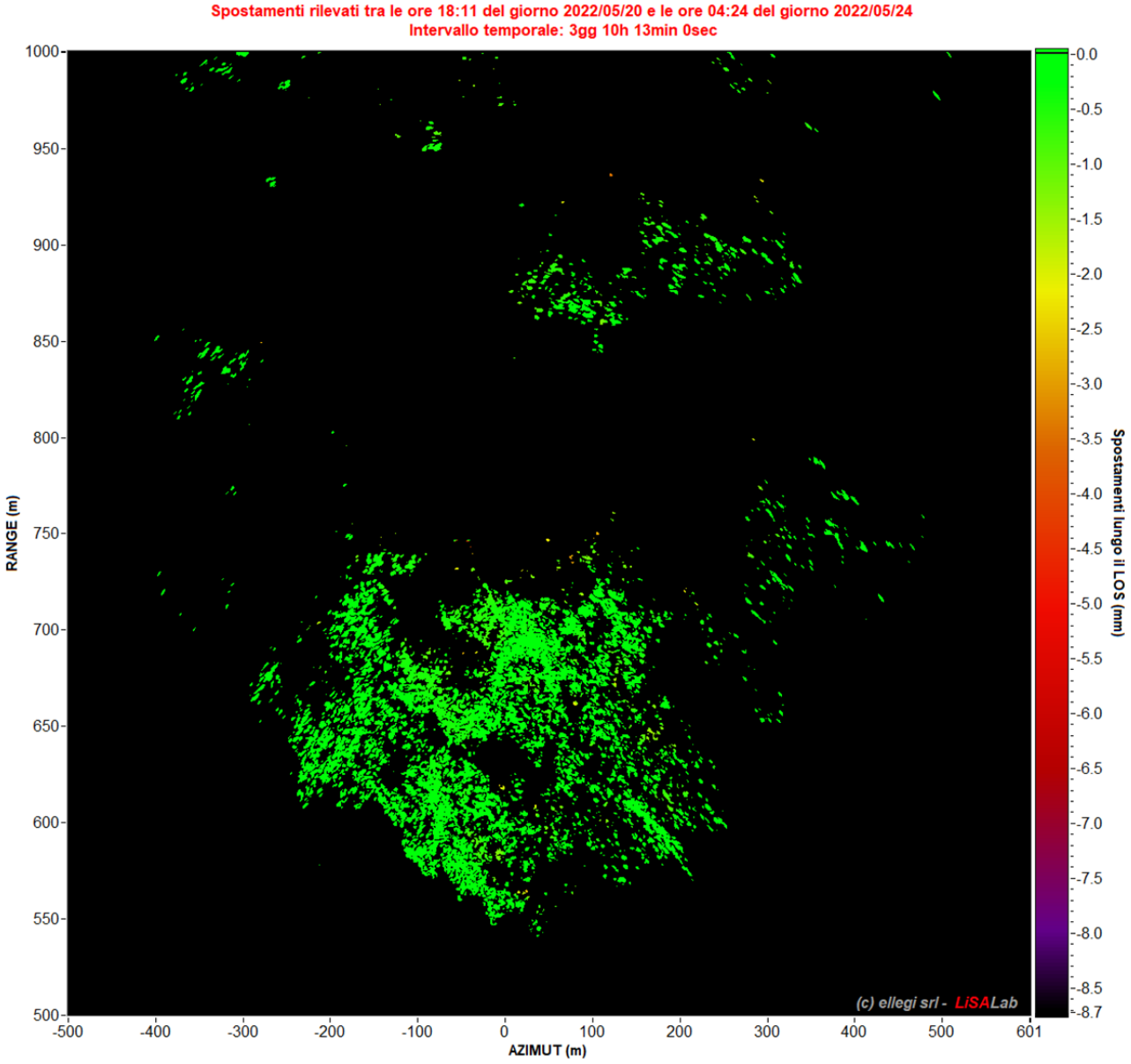


Figura 20: mappa di spostamento a breve termine bidimensionale 20 – 24 Maggio 2022 (3 giorni 10 ore e 13 minuti) – rappresentazione srotolata. POSTAZIONE OVEST, Sottofinestra *Near*

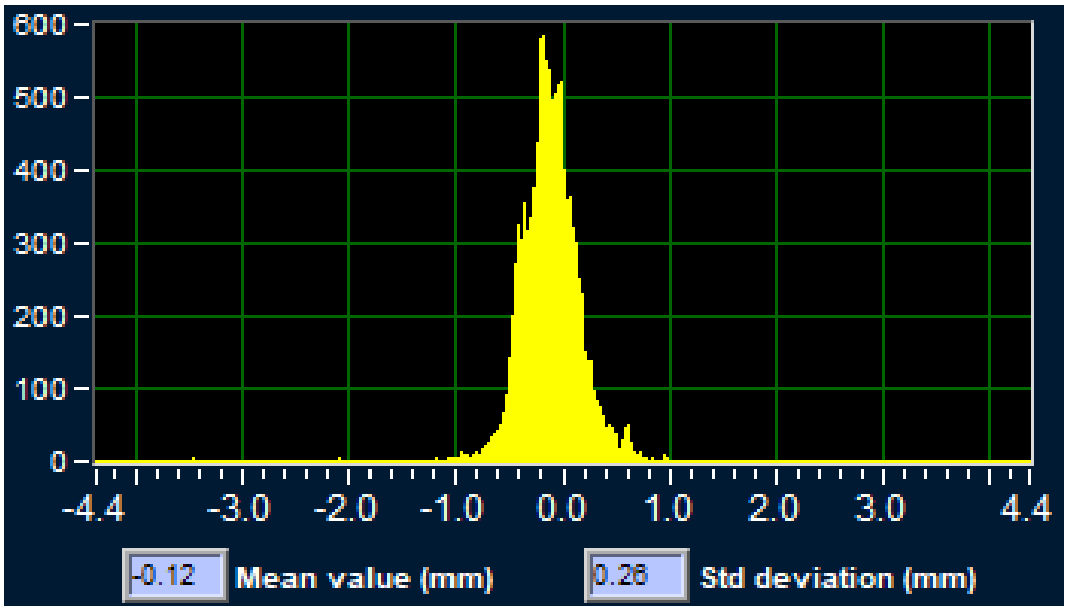


Figura 21: Istogramma della distribuzione degli spostamenti della mappa relativa alla POSTAZIONE OVEST, Sottofinestra *Near*

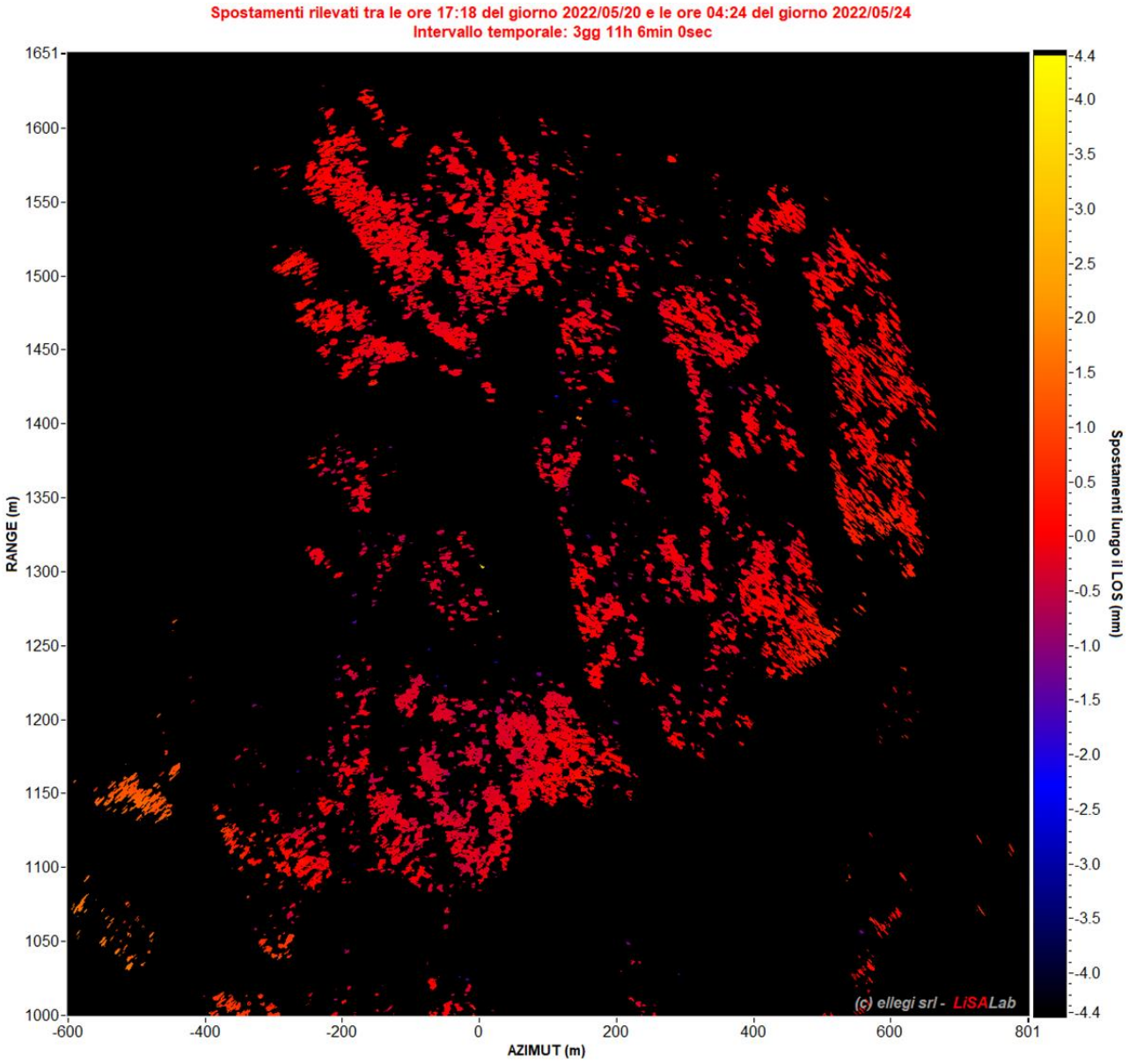


Figura 22: mappa di spostamento a breve termine bidimensionale 20 – 24 Maggio 2022 (3 giorni 16 ore e 6 minuti) – rappresentazione classica. POSTAZIONE OVEST, Sottofinestra *Far*

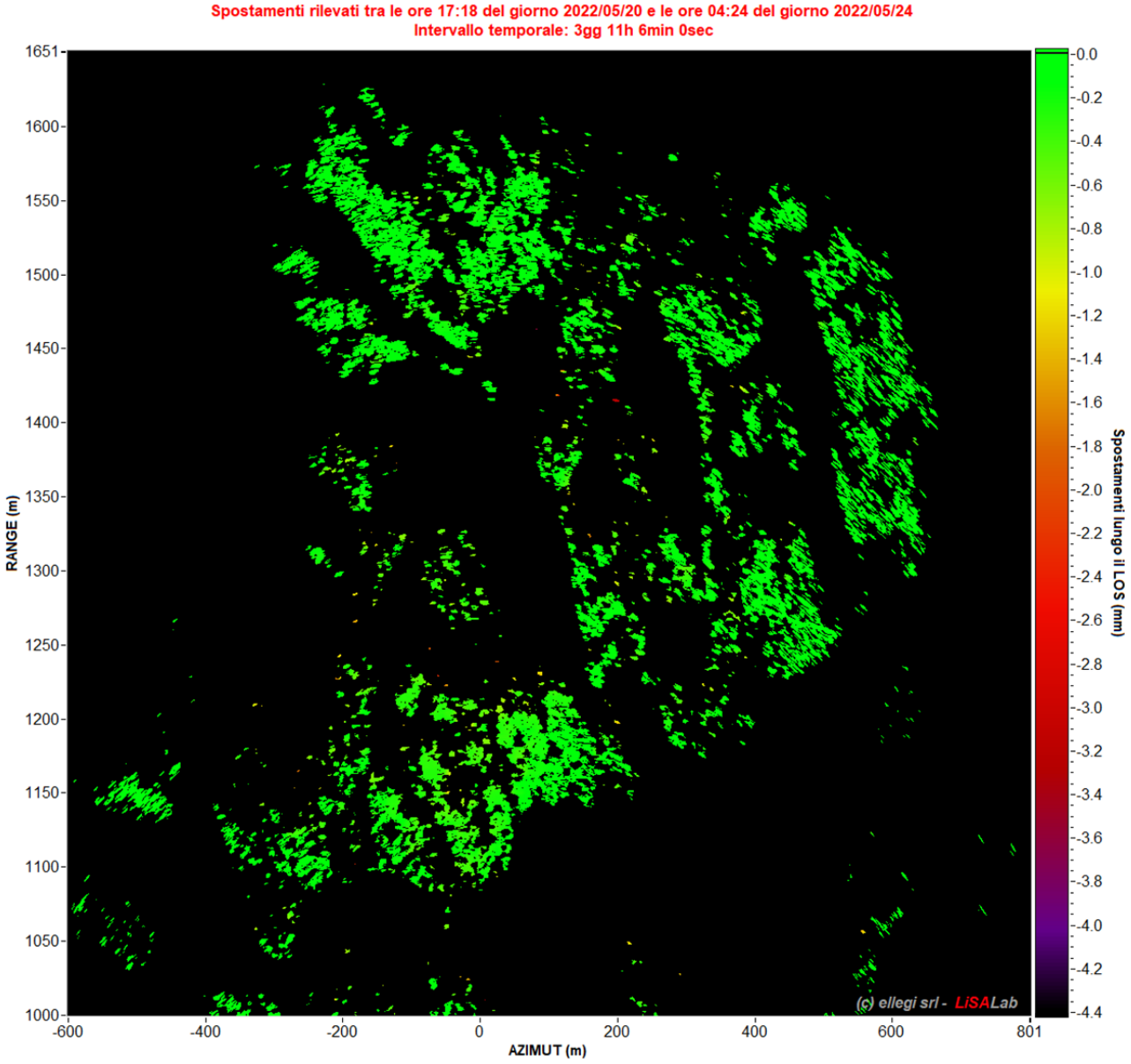


Figura 23: mappa di spostamento a breve termine bidimensionale 20 – 24 Maggio 2022 (3 giorni 11 ore e 6 minuti) – rappresentazione srotolata. POSTAZIONE OVEST, Sottofinestra *Far*

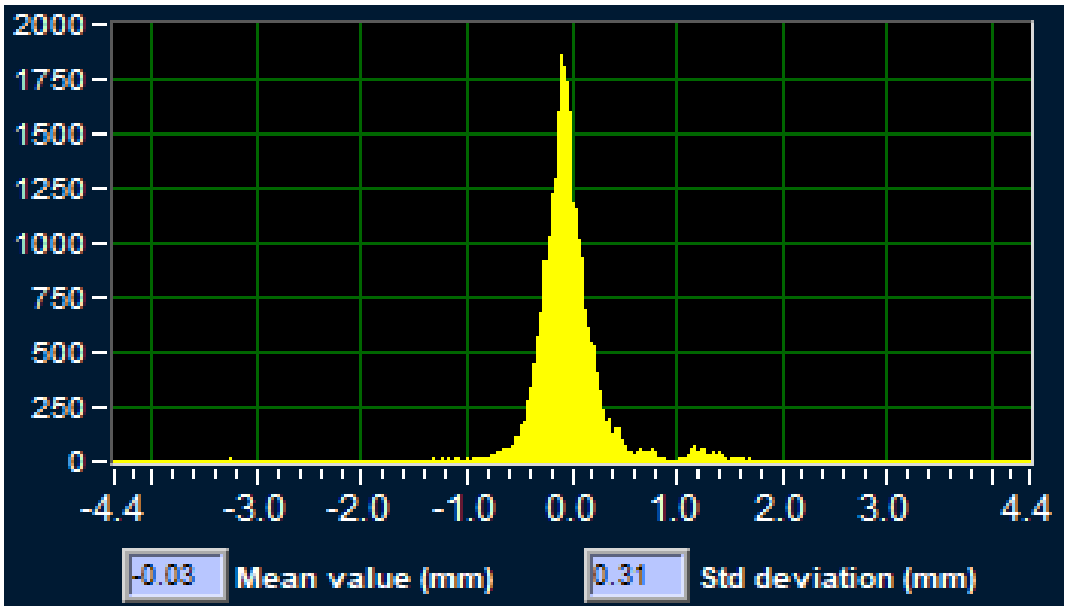


Figura 24: Istogramma della distribuzione degli spostamenti della mappa relativa alla POSTAZIONE OVEST, Sottofinestra *Far*

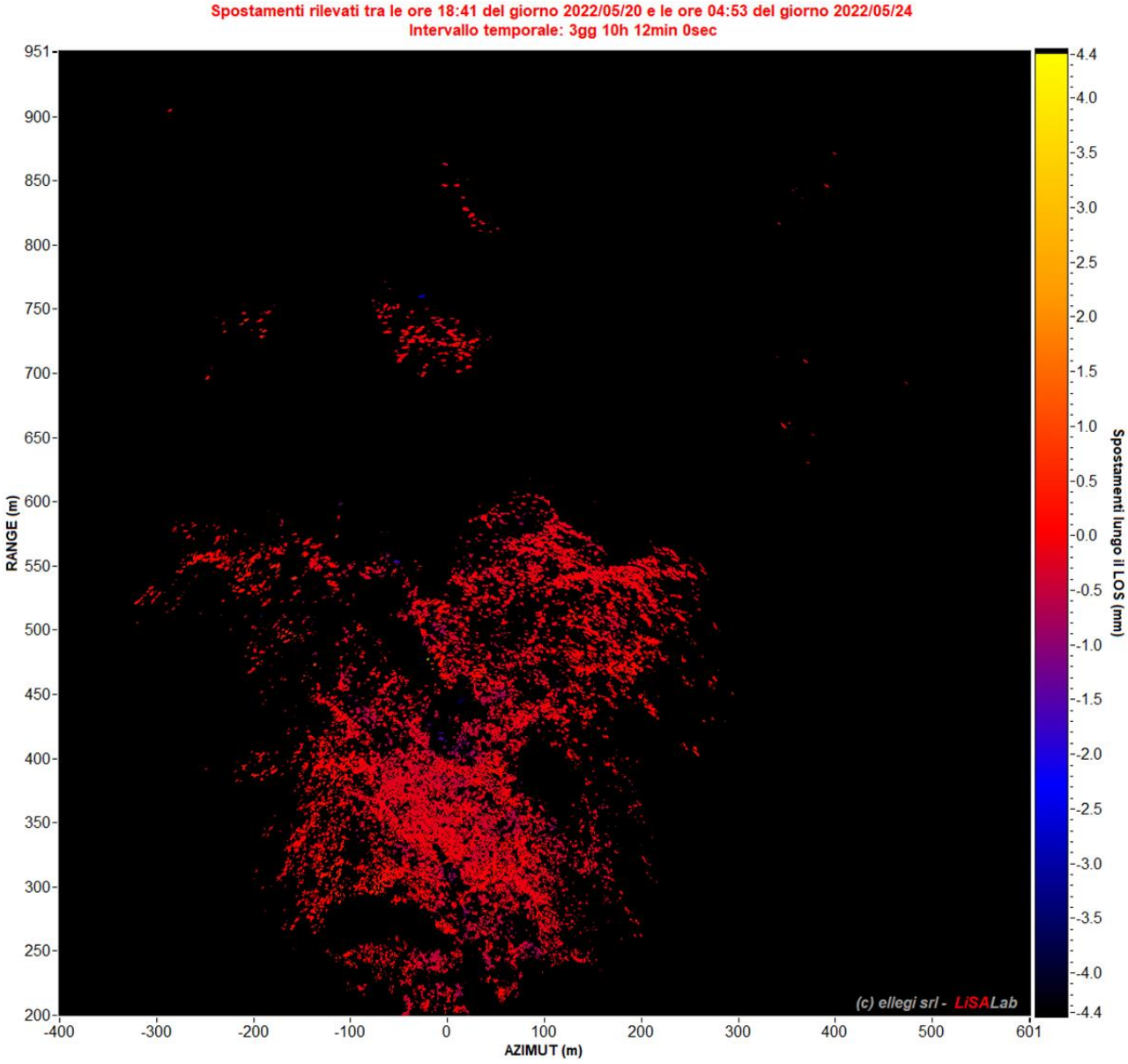


Figura 25: mappa di spostamento a breve termine bidimensionale 20 – 24 Maggio 2022 (3 giorni 10 ore e 12 minuti) – rappresentazione classica. POSTAZIONE EST, Sottofinestra *Near*

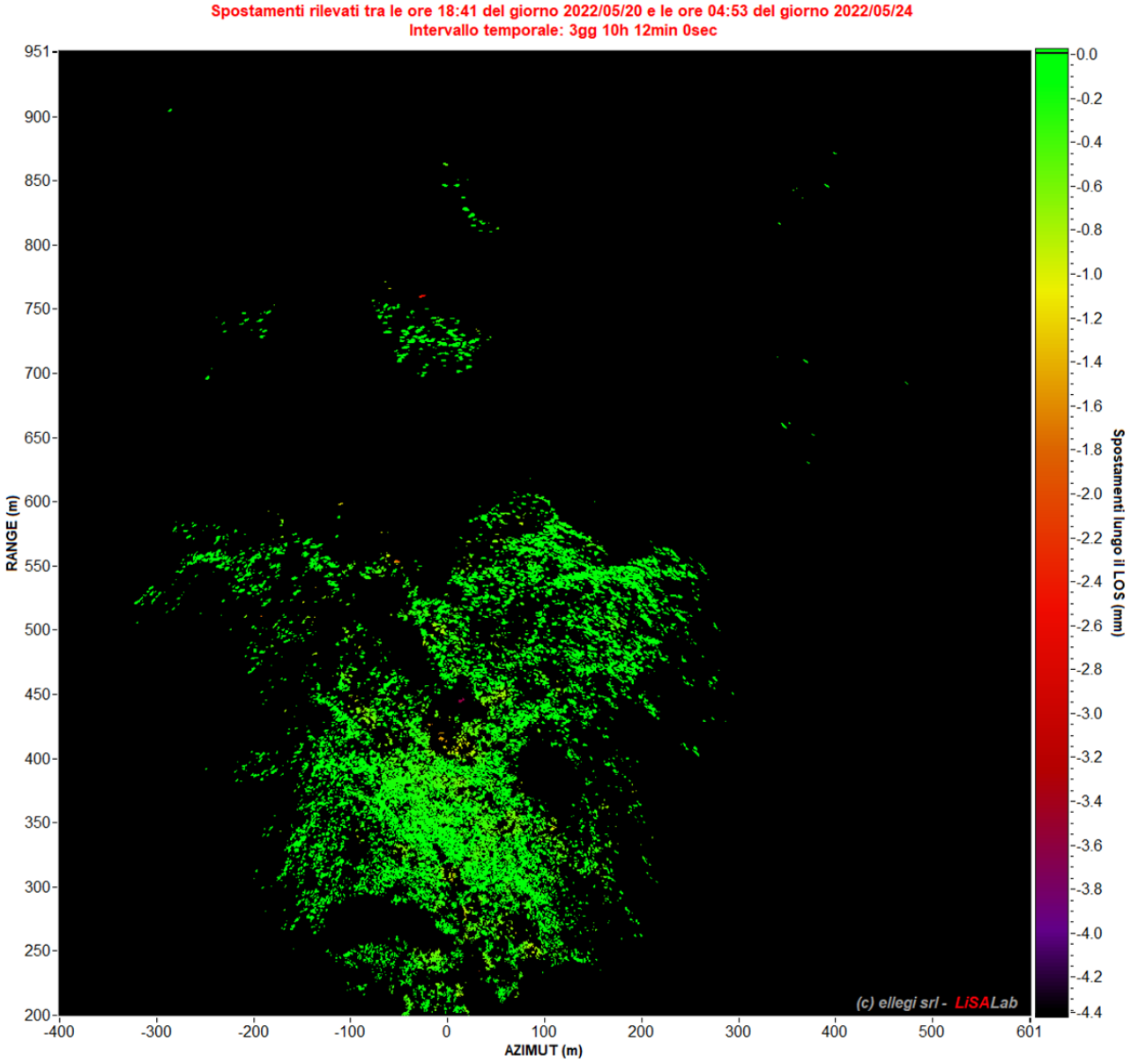


Figura 26: mappa di spostamento a breve termine bidimensionale 20 – 24 Maggio 2022 (3 giorni 10 ore e 12 minuti) – rappresentazione "srotolata". POSTAZIONE EST, Sottofinestra Near

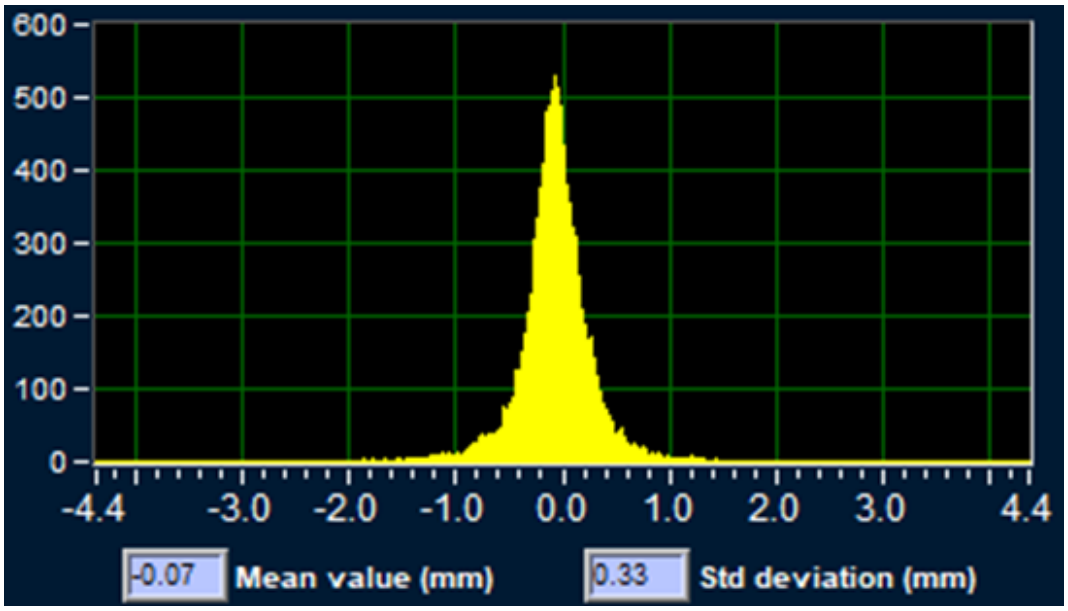


Figura 27: Istogramma della distribuzione degli spostamenti della mappa relativa alla POSTAZIONE EST, Sottofinestra Near

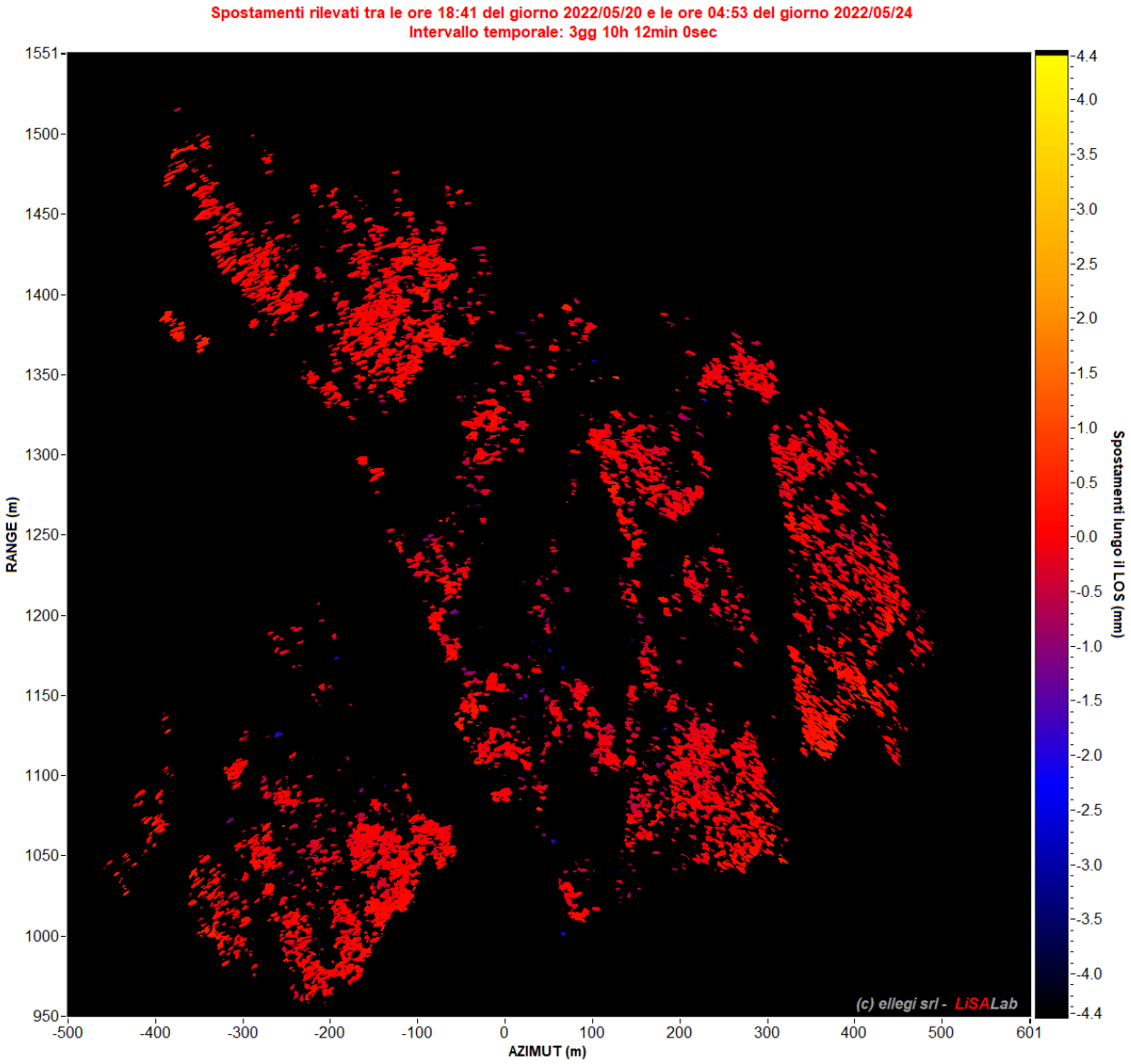


Figura 28: mappa di spostamento a breve termine bidimensionale 20 – 24 Maggio 2022 (3 giorni 10 ore e 12 minuti) – rappresentazione classica. POSTAZIONE EST, Sottofinestra *Far*

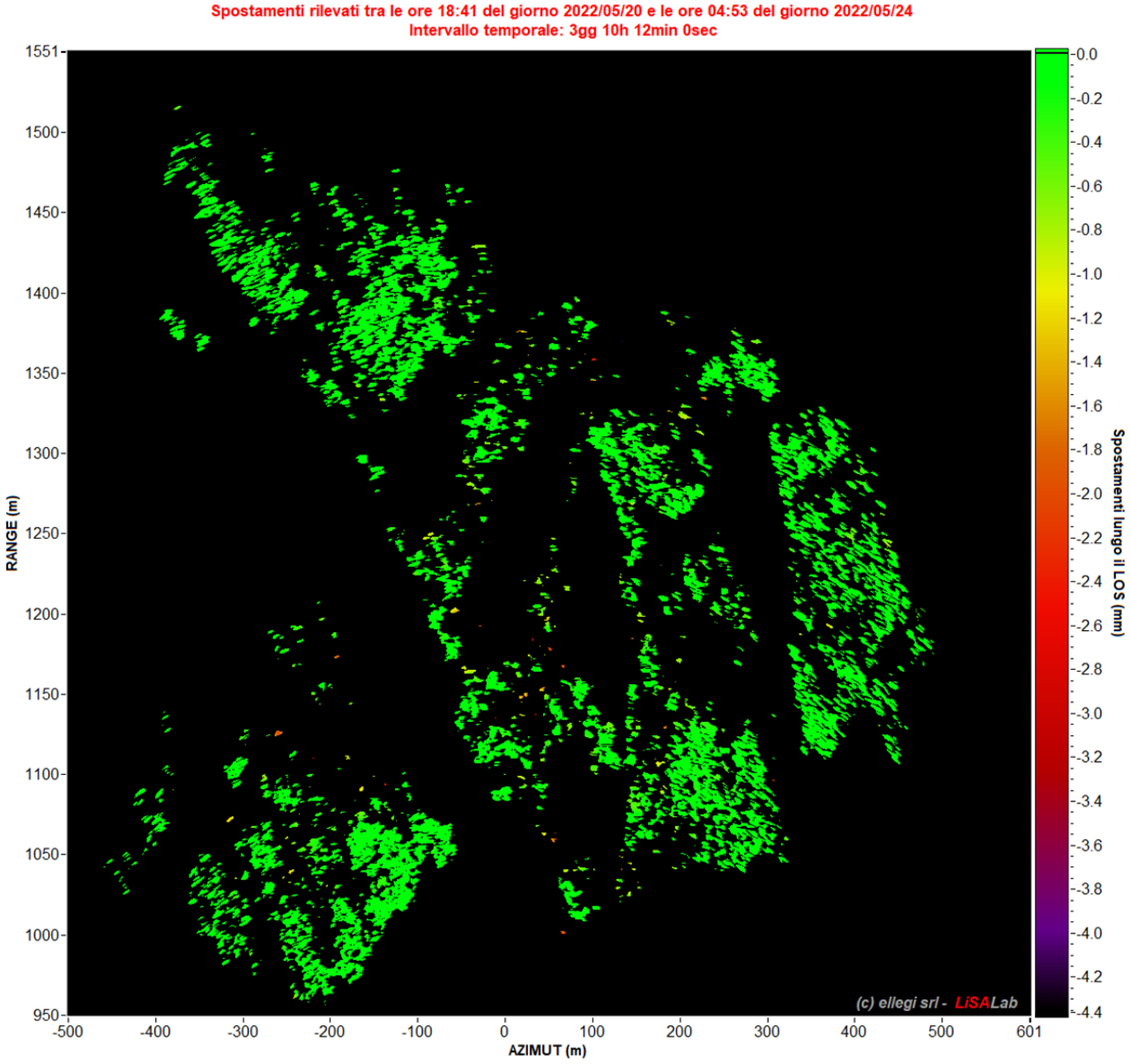


Figura 29: mappa di spostamento a breve termine bidimensionale 20 – 24 Maggio 2022 (3 giorni 10 ore e 12 minuti) – rappresentazione srotolata. POSTAZIONE EST, Sottofinestra Far

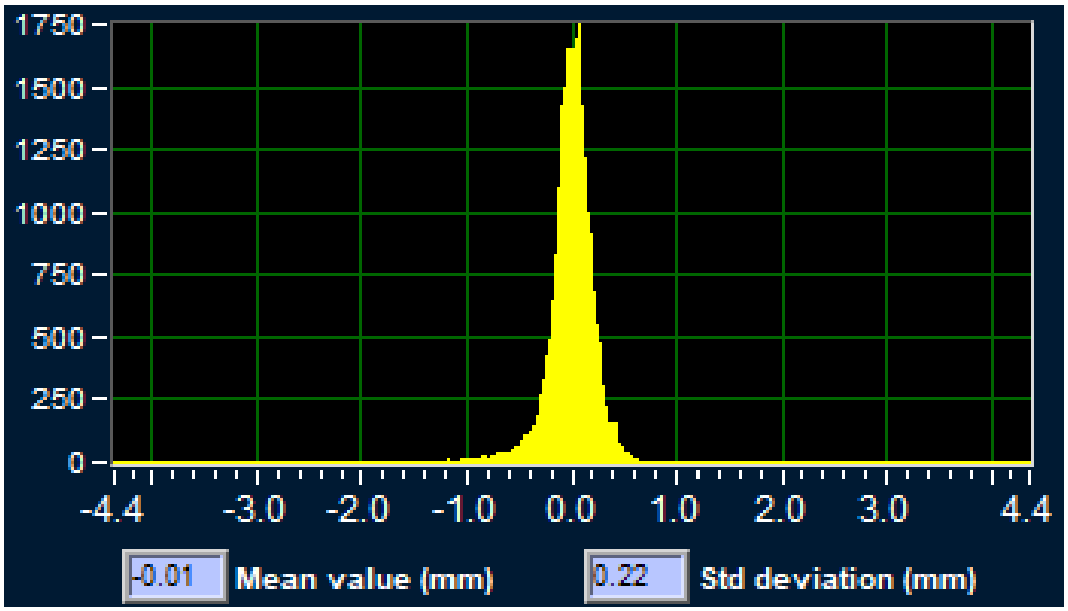


Figura 30: Istogramma della mappa degli spostamenti. POSTAZIONE EST, Sottofinestra Far.

Elaborazione dei risultati in 3 dimensioni

Si è provveduto ad elaborare e geo-referenziare i risultati sul Point Cloud con risoluzione a 10cm fornito dalla Comunità Montana della Val Chiavenna.

Facciamo presente che questo Point Cloud ottenuto da rilievo Lidar, ha una ottima risoluzione per le aree del versante poste nelle immediate vicinanze dell'abitato e poste in prossimità della Postazione Est, ma non copre a sufficienza le aree del versante poste a quote più elevate (quelle analizzate dalle finestre Far) e non copre a sufficienza l'area immediatamente sopra la località Foppa, che presenta il pilastro roccioso attivo che è oggetto del monitoraggio dalla Postazione Ovest.

Pertanto se fosse possibile aumentare i punti del Lidar a copertura di queste aree ed estendere la ripresa ulteriormente ad Ovest del pilastro roccioso migliorerebbe la qualità della restituzione in tre dimensioni e permetterebbe una migliore individuazione di eventuali aree in movimento.

Per integrare i dati radar sul DEM fornito, è stato necessario trasformare e rielaborare il DEM originale in modo da eliminare le aree non coperte dal segnale radar e/o vegetate ed è stato ri-campionato con una risoluzione a 40cm per renderlo più maneggiabile e leggero.

La visualizzazione dei dati in 3 dimensioni permette di localizzare in maniera univoca la posizione dei dati radar. La georeferenziazione è stata fatta per entrambe le postazioni e per le 2 sotto finestre.

L'elaborazione in 3 dimensioni ottenuta in questa misura di zero verrà utilizzata anche nelle prossime campagne di misura in quanto in questo modo si renderà possibile l'immediato confronto con gli spostamenti eventualmente rilevati sul versante.

Le mappe seguenti mostrano i risultati ottenuti nella campagna odierna in 3D e sono fornite nelle seguenti Figure. In Figura 31 e Figura 32 vengono mostrate le mappe a breve termine in 3D per la Postazione Est, la Figura 33 e Figura 34 mostra le mappe ottenute dalla Postazione Ovest, mentre la Figura 35 mostra in una singola vista tutte le mappe ottenute e presentate nelle figure precedenti



Figura 31: mappa di spostamento a breve termine tridimensionale dal 20 – 24 Maggio 2022 elaborata su Point Cloud 3D. POSTAZIONE EST, Sottofinestra *Far*

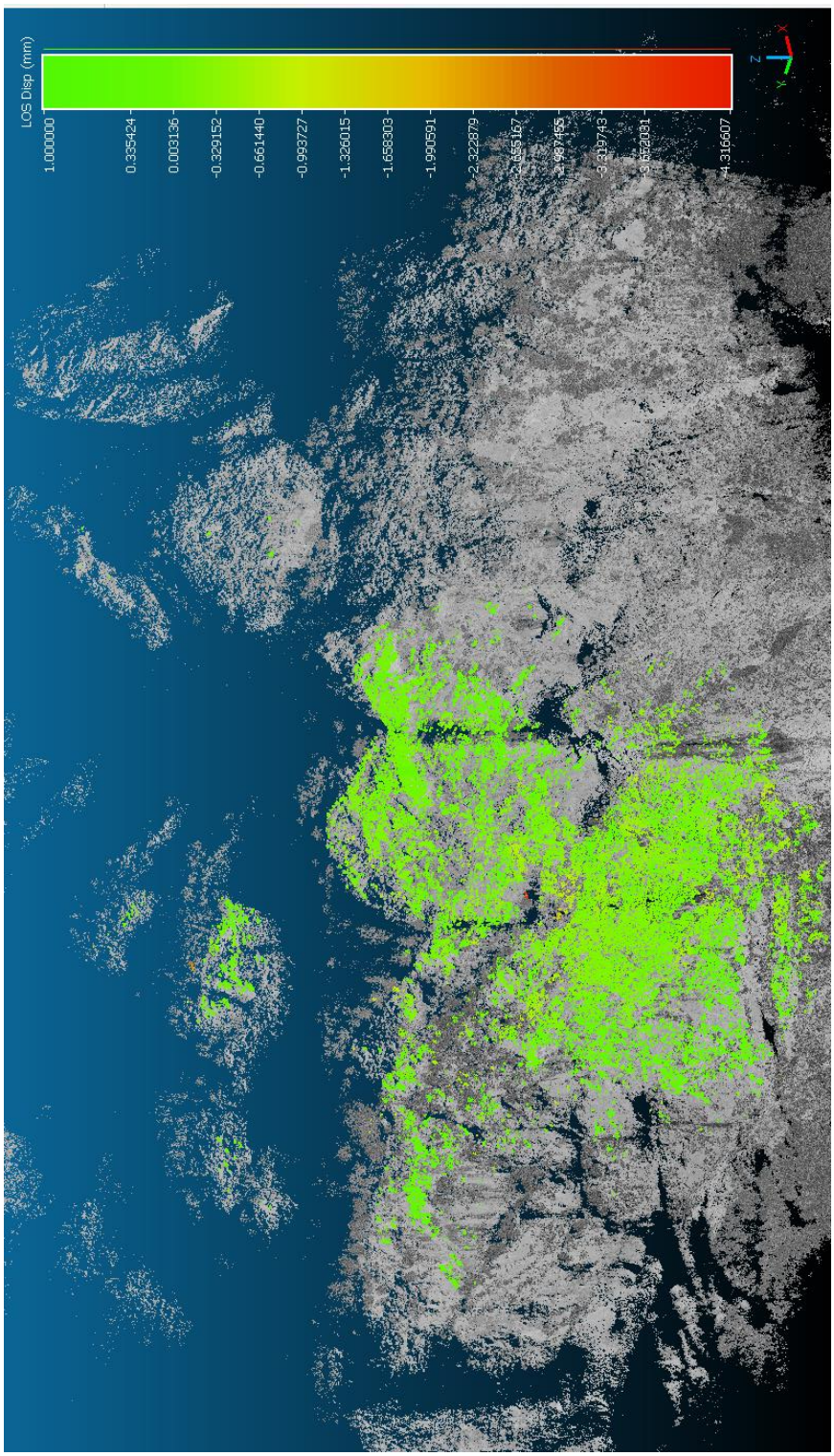


Figura 32: mappa di spostamento a breve termine tridimensionale dal 20 – 24 Maggio 2022 elaborata su Point Cloud 3D..

POSTAZIONE EST, Sottofinestra *Near*

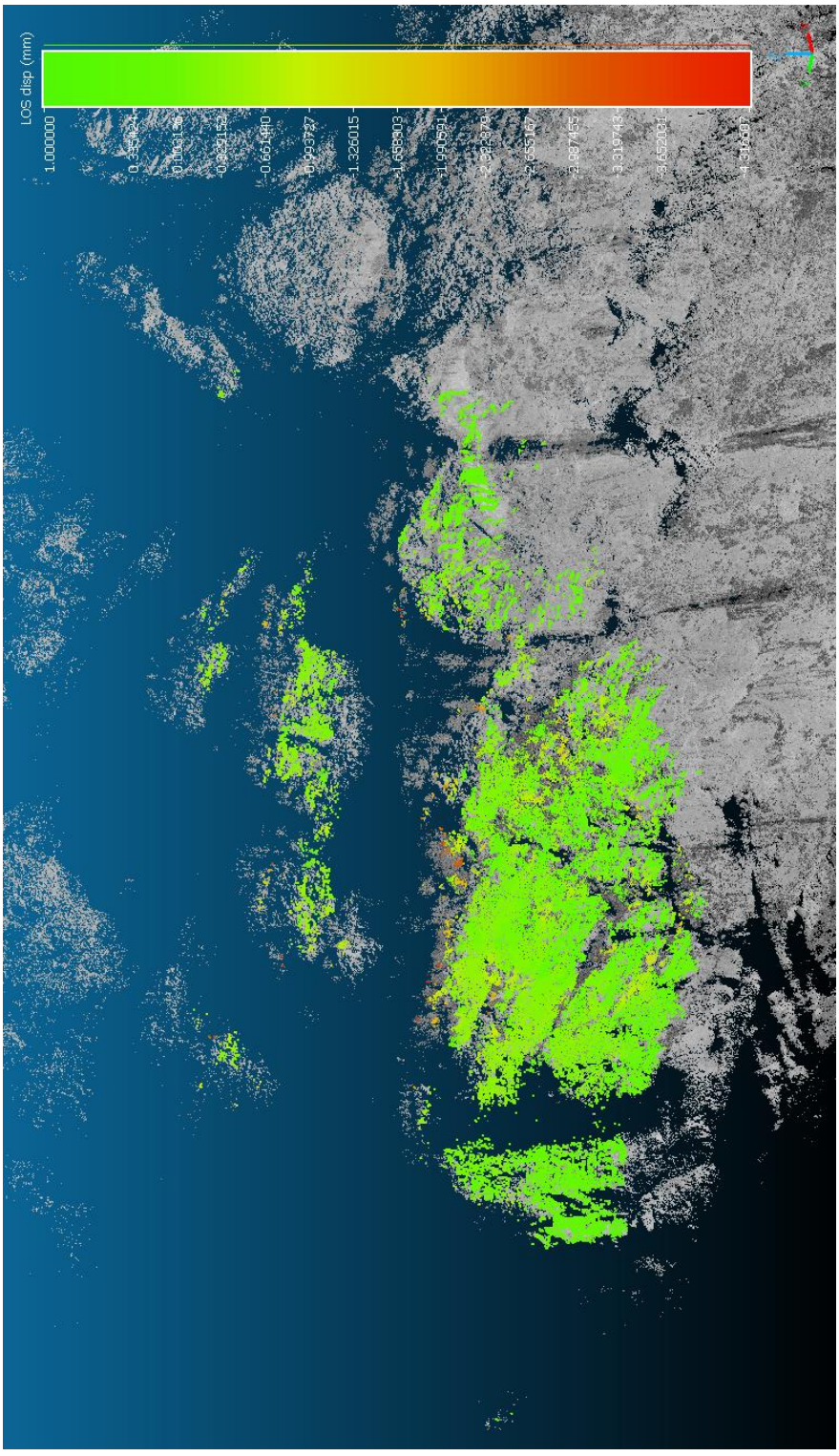


Figura 33: mappa di spostamento a breve termine tridimensionale dal 20 – 24 Maggio 2022 elaborata su Point Cloud 3D..
POSTAZIONE OVEST, Sottofinestra *Near*

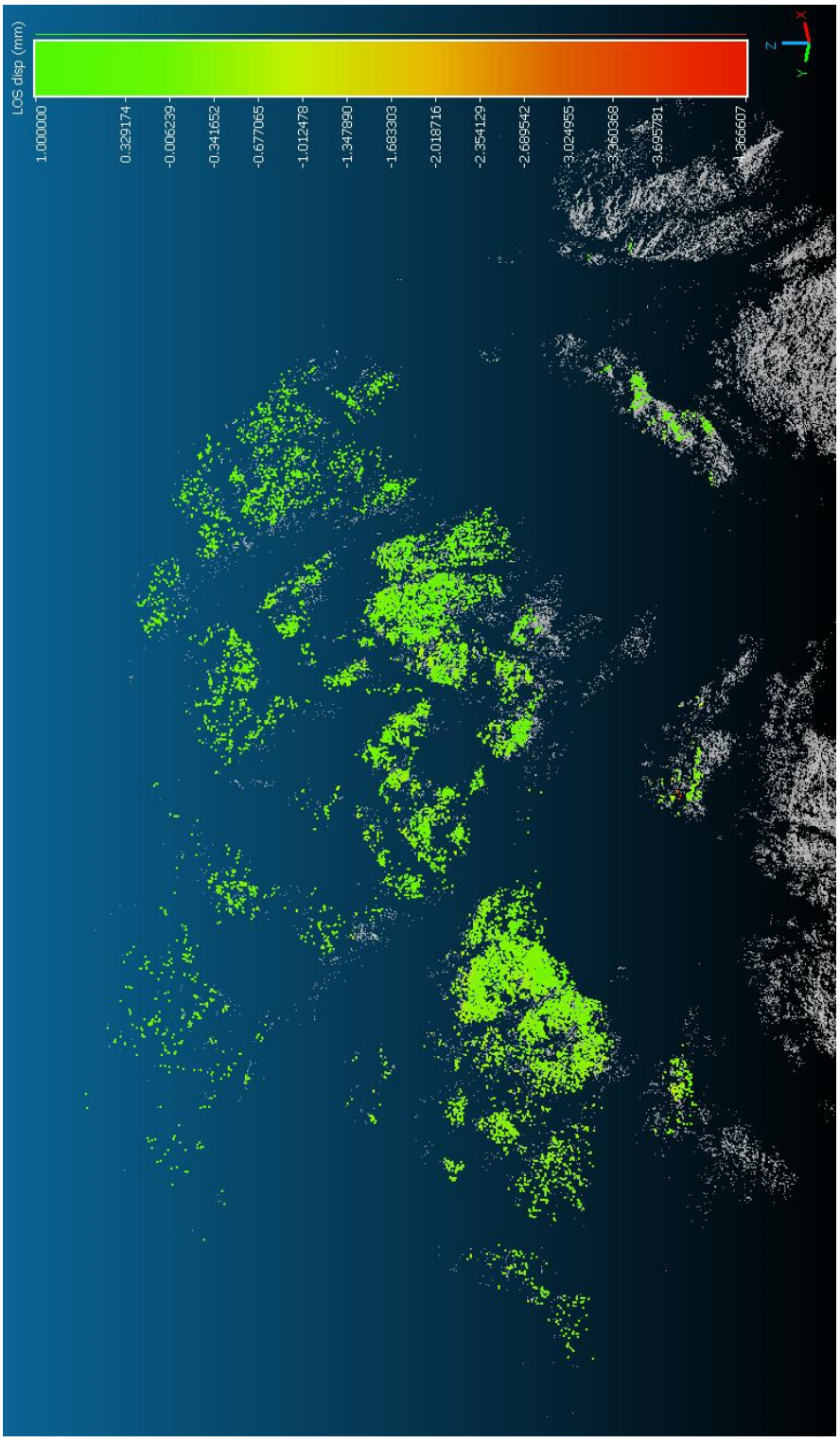


Figura 34: mappa di spostamento a breve termine tridimensionale dal 20 – 24 Maggio 2022 elaborata su Point Cloud 3D..

POSTAZIONE OVEST, Sottofinestra *Far*

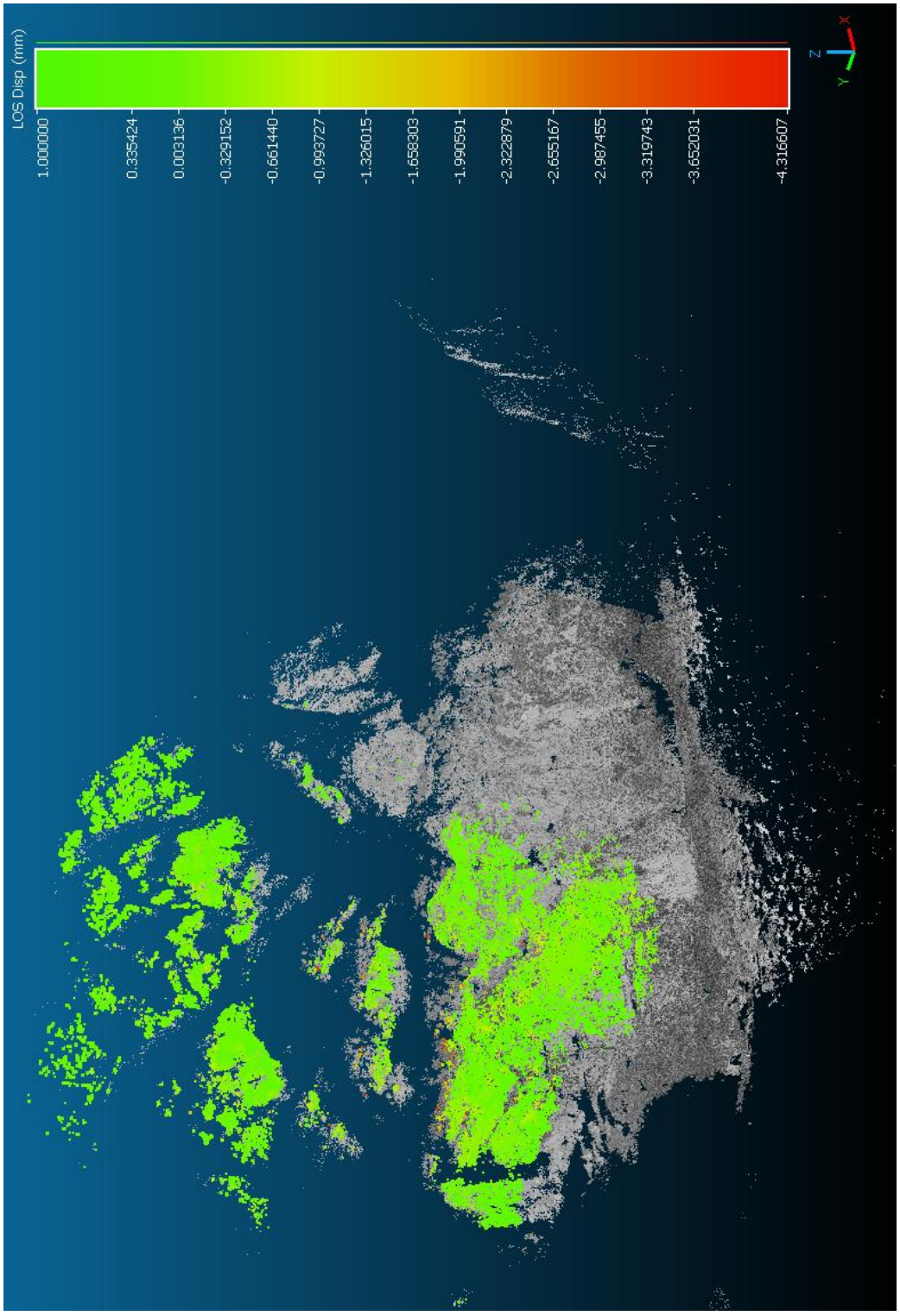


Figura 35: mappa di spostamento a breve termine tridimensionale dal 20 – 24 Maggio 2022 elaborata su Point Cloud 3D. con rappresentati in una sola vista tutte le acquisizioni da entrambe le postazioni e per entrambe le sottofinestre.

Analisi quantitativa

Per migliorare la comprensione del fenomeno, nei prossimi report assieme al Committente verranno scelti dei Punti di Interesse (POI) distribuiti lungo lo scenario osservato. Per ognuno di questi punti verranno calcolati i valori degli spostamenti misurati lungo la LOS del sistema GBInSAR LiSALab tra le varie campagne a partire dalla misura di zero.
In questo report non avendo rilevato nessun'area in movimento nell'intervallo di breve termine non si è provvedo a determinare alcun POI.

Conclusioni

Dopo aver analizzato i dati acquisiti nella campagna di misura attuale (Maggio 2022), che rappresenta il I Periodical Check, ovvero la misura di Zero, del rilievo con tecnologia GBInSAR LiSALab per il monitoraggio delle pareti rocciose del Monte Avedée nel Comune di Novate Mezzola (SO), si può concludere che:

1. Il 20 Maggio 2022 due sistemi GBInSAR LiSALab sono stati installati sugli appositi basamenti preparati nella Postazione Est e nella Postazione Ovest. Preliminarmente sono stati installati i piedistalli metallici che fungeranno da riscontri per le future campagne e che verranno rimossi al termine del servizio. Sono stati installati due radar che hanno acquisito in contemporanea i dati delle due postazioni di misura.

2. I sistemi hanno funzionato correttamente e continuativamente dal 20 Maggio 2020 fino al 24 Maggio 2022, acquisendo un totale di 1121 e 1175 immagini per la Postazione Est e per la Postazione Ovest, rispettivamente.

3. Lo scenario in esame è risultato visibile al radar da entrambe le postazioni, le aree che rispondono meglio sono quelle corrispondenti alle aree non vegetate. I dati acquisiti sono stati elaborati su due finestre spaziale per entrambe le postazioni, una prima finestra spaziale (Near) ha coperto le regioni più vicine alle postazioni e di maggiore interesse. La seconda finestra spaziale (Far) copre invece le aree poste a quote più elevate.

4. Per migliorare la qualità dei risultati ed aumentarne il rapporto segnale-rumore sono state elaborate delle immagini "mediate" su intervalli temporali di circa 24 ore. Dalle immagini così mediate è stata quindi prodotta una mappa di spostamento per l'analisi a breve termine degli spostamenti misurati all'interno della campagna di misura attuale.

5. L'analisi a breve termine dal 20 al 24 Maggio 2022 non ha evidenziato aree del versante osservate dal sistema radar interessate da spostamenti e/o riconducibili a spostamenti generalizzati; il valore medio dello spostamento di tutti i pixel delle mappe di spostamento ottenute e compreso tra -0.1 e 0.0 mm e la deviazione standard e compresa tra 0.2 e 0.3mm.

6. La presenza invece di piccole aree caratterizzate da spostamenti di pochi pixel non desta alcuna preoccupazione in quanto queste aree sono particolarmente localizzate e quindi possono essere affette da fenomeni di disturbo che possono generare dati non affidabili, vista anche la presenza di vegetazione nella regione monitorata.

7. L'analisi a lungo termine non è stata eseguita in quanto questa rappresenta la prima ed unica misura eseguita del versante. Con l'esecuzione della prossima misura tra circa 120 giorni si darà avvio a questo tipo di indagine.

8. I risultati a breve termine sono stati elaborati anche su di un DEM in formato Point Cloud ottenuto da rilievi Lidar fornito da Comunità Montana Valchiavenna. Si segnala che il DEM ha poche informazioni per le aree del versante poste alle quote più elevate e non copre a sufficienza l'area immediatamente sopra la località Foppa, che presenta il pilastro roccioso attivo che è oggetto del monitoraggio dalla Postazione Ovest.

9. L'analisi quantitativa del POI non è stata eseguita in quanto questa rappresenta la prima ed unica misura eseguita del versante e non sono state identificate aree con spostamenti a breve termine. Con l'esecuzione della prossima misura tra circa 120 giorni si darà avvio a questo tipo di indagine definendo in accordo con il Committente i POI oggetto di analisi.

Allegati

Al presente si allegano le seguenti mappe in formato elettronico:

a) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 20 e il 24 Maggio 2022 ottenuta dalla Postazione Est, finestra Near;
b) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 20 e il 24 Maggio 2022 ottenuta dalla Postazione Est, finestra Far;
c) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 20 e il 24 Maggio 2022 ottenuta dalla Postazione Ovest, finestra Near;
d) Risultati in formato elettronico della mappa in 3D di deformazione tra il 20 e il 24 Maggio 2022 ottenuta dalla Postazione Ovest, finestra Far.

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.

L'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.

L'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.