

REPORT

**SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO “PERIODICAL CHECK” PER IL
CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT**

UTILIZZANDO IL SISTEMA GBInSAR LiSALab

Loc. Foppiano, Comune di Formazza (VB).

TERZA CAMPAGNA DI MISURA

5 Febbraio 2024 – 8 Febbraio 2024

Cliente: DOMO GRANITI S.R.L.

Località: Formazza (VB)

Contract #: 2000203dom

STRICTLY CONFIDENTIAL DOCUMENT

9					
8					
7					
6					
5					
4					
3					
2	26 febbraio 2024	Revision	AG	CR	DL
1	21 febbraio 2024	Revision	AG	CR	DL
0	5 febbraio 2024	Emissione	AG	CR	DL
Rev.	Data:	Note:	Scritto da:	Controllato da:	Approvato da:

INDICE

INDICE	3
GLOSSARIO	4
Convenzioni	6
<i>Sistema di riferimento</i>	6
<i>Unità di misura del tempo</i>	6
Introduzione	7
La tecnica SAR interferometrica	10
Specifiche del servizio	18
Punto d'installazione del sistema GBInSAR LiSALab	20
Analisi dei risultati	23
Parametri di misura e caratteristiche dell'immagine SAR	23
Elaborazione dei risultati, 5-8 Febbraio 2024	25
Mappa di spostamento a breve termine: 5 Febbraio – 8 Febbraio 2024	29
Mappa di spostamento a lungo termine: 26 Agosto 2023 – 6 Febbraio 2024	34
Analisi quantitativa	39
Conclusioni	44
Allegati 45	
Note, Avvertenze e Limitazioni di Responsabilità	46

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	3

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.

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	4

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.

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	5

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 trasversale (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.

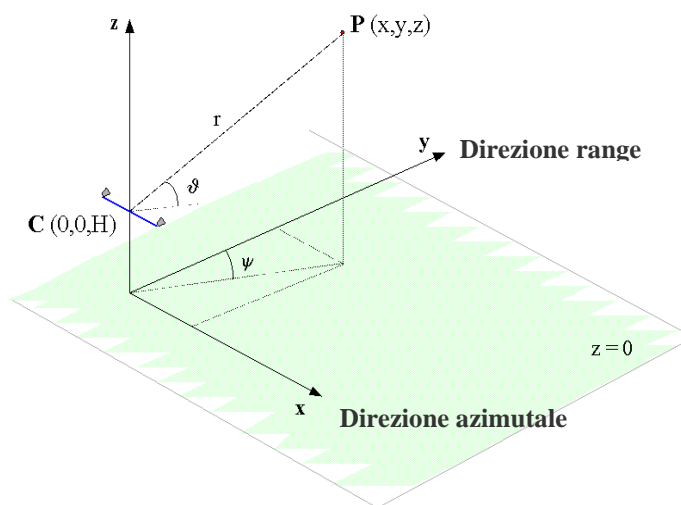


Figura 1: sistema di riferimento utilizzato.

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).

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	6

Introduzione

La società Domo Graniti srl di Trontano (VB), nel corso della progettazione degli interventi di messa in sicurezza dell'area estrattiva di Cava Bort (VB), ha assegnato alla Ellegi srl il monitoraggio interferometrico della parete rocciosa dei settori Ovest e Centrale dell'area di cava, sita sopra località Foppiano nel Comune di Formazza (VB) (Figura 2). Il monitoraggio, in particolare, riguarda la parete Nord interessata da due eventi di crollo spontaneo avvenuti rispettivamente in data 13 Febbraio 2022 e 24 Aprile 2022. Nel corso della progettazione degli interventi di messa in sicurezza dell'area di cava, infatti, è emersa la necessità di eseguire un monitoraggio con radar da terra per mappare le eventuali porzioni instabili del versante.

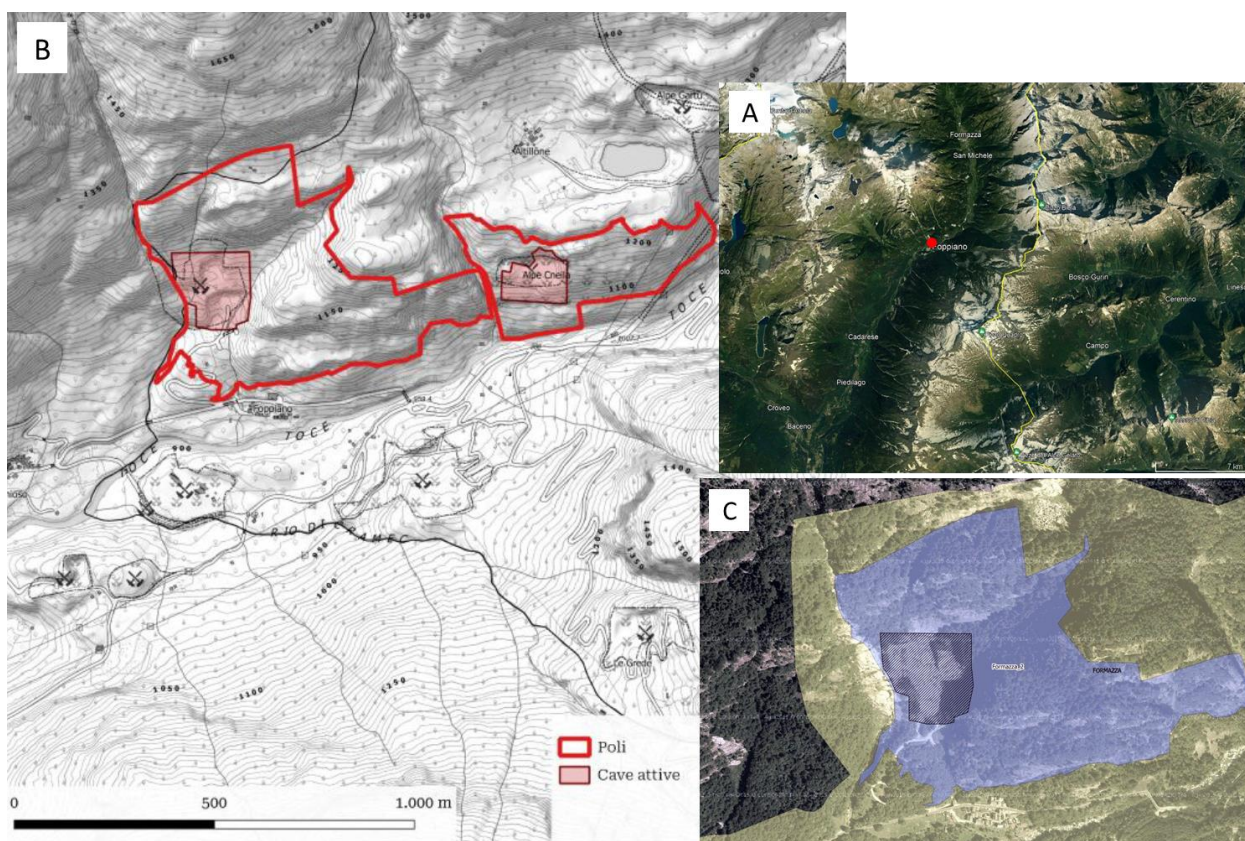


Figura 2: Ubicazione geografica della cava Bort (A), e indicazione dell'area di intervento (B e C, con cartografia estratta da "Istanza di Accertamento di Compatibilità Paesaggistica del Marzo 2023").

Il versante monitorato si trova sulla destra idrografica del Fiume Toce, in Val Formazza (VB) (Figura 2). Dal punto di vista geologico, l'area si colloca all'interno della catena alpina e più precisamente nel Dominio Pennidico inferiore. In questa zona il substrato roccioso è costituito da rocce metamorfiche dell'Unità Antigorio, formata da gneiss di Antigorio e subordinati micascisti e antigoriti (Figura 3).

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	7

L'attività estrattiva di Cava Bort riguarda il Serizzo Formazza, un ortogneiss granitoide con foliazione ben evidente. La natura metamorfica della roccia e la presenza di piani di foliazione nell'ammasso roccioso influiscono sulle proprietà meccaniche e sulla stabilità del versante monitorato, interessato da giunti e fratture disposte a franappoggio sul pendio. Come riporta lo "Studio per la Messa in Sicurezza della Cava Bort, Formazza, VB – Relazione Preliminare e Piano delle Attività dell'Aprile 2023", tali sistemi di fratture hanno certamente favorito i fenomeni di dissesto verificatisi nell'anno 2022. (Figura 5).

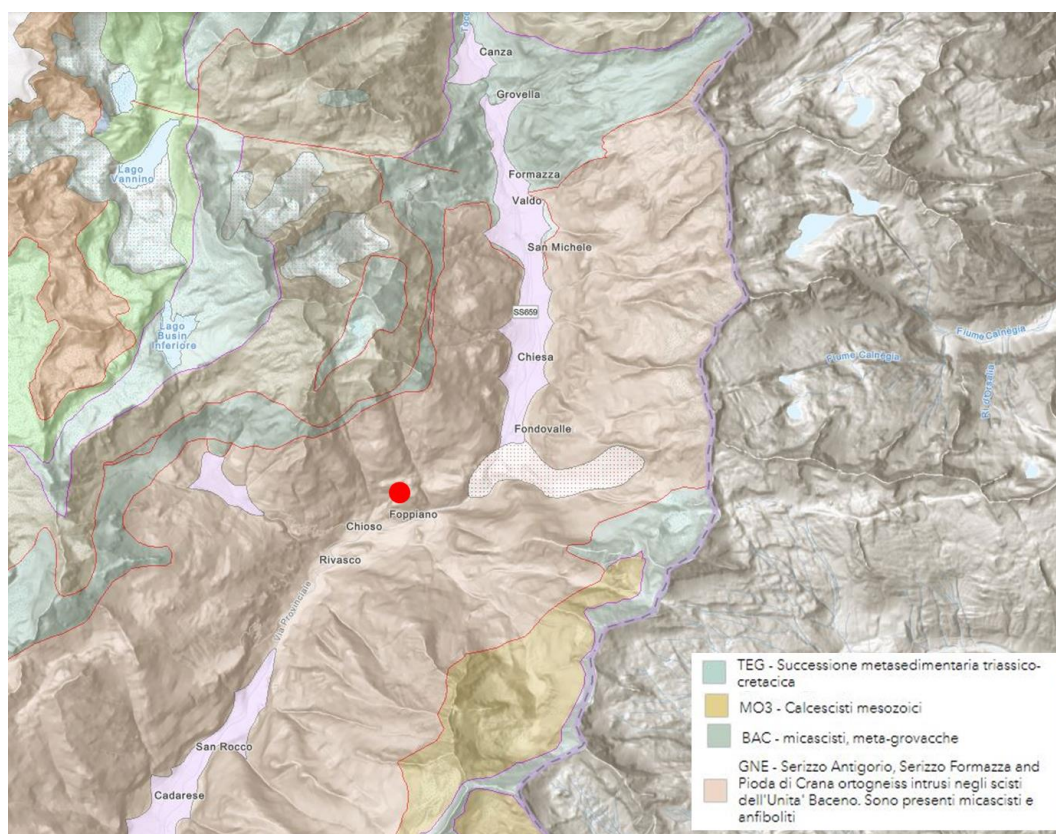


Figura 3: Estratto della carta geologica della Regione Piemonte. Il cerchio rosso indica l'ubicazione di Cava Bort. Fonte: Servizio WebGIS del Geoportale Arpa Piemonte "GeoPiemonte Map 2021".

Come indicato nel documento di "Istanza di Accertamento di Compatibilità Paesaggistica del Marzo 2023", l'area di dissesto corrisponde all'intero settore attivo della cava, ovvero alla parte centrale e occidentale del sito. Al di sopra del fronte della cava, il versante risultava coperto da un cono di materiale di natura detritico/glaciale che impediva una diretta verifica dell'assetto strutturale della roccia sepolta e delle effettive condizioni di stabilità con particolare riguardo alla propagazione e persistenza dei giunti e delle discontinuità a franappoggio visibili sulla parete del fronte. Al di sopra dell'area produttiva è stata

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	8

inoltre riscontrata la presenza di un canale di deforestazione prodotto dal periodico rotolamento di massi e di detrito verso la sottostante area produttiva (Figura 4).

Con provvedimento di sicurezza ai sensi dell'art. 674 del D.P.R. 128/59 la società ha provveduto: 1) alla realizzazione della completa scopertura dell'ammasso roccioso oltre il ciglio di cava a monte della superficie di crollo, 2) alla realizzazione di un muro in ca. per la deviazione delle acque di corrivazione e 3) alla realizzazione di una barriera paramassi in corrispondenza del canale di deforestazione (Figura 4).

La scopertura dell'ammasso roccioso ha permesso di evidenziare l'effettivo assetto geostrutturale della porzione a monte del ciglio di distacco. Le porzioni rocciose ritenute o risultanti instabili saranno oggetto di future operazioni di messa in sicurezza, anche con interventi di abbattimento controllato con esplosivo, fino alla definitiva protezione con posa di una rete paramassi (Fonte: Istanza di Accertamento di Compatibilità Paesaggistica del Marzo 2023).



Figura 4: A sinistra, ripresa sommitale da drone in data 21 aprile 2022, dopo il primo evento di crollo con barriera in blocchi sul gradone sommitale. A destra, ripresa frontale da drone in data 21 novembre 2022, al termine della scopertura dell'ammasso roccioso con il muro che agisce da presidio di sicurezza per le attività sottostanti in posizione sommitale, stabile ed estranea alla porzione di ammasso fratturato sottostante. (Fonte: Istanza di Accertamento di Compatibilità Paesaggistica del Marzo 2023).

A supporto delle operazioni di messa in sicurezza del versante e al fine di studiare lo stato deformativo del fronte di cava ed individuare eventuali spostamenti millimetrici di settori del fronte o di singoli volumi di roccia è stato attivato un servizio di monitoraggio con sistema GBInSAR (Ground-Based Interferometric Synthetic Aperture Radar) dell'intero fronte di cava (Figura 5). Il presente report riporta l'analisi dei dati acquisiti e la discussione dei risultati ottenuti nel terzo periodical check eseguito dal 5 all' 8 Febbraio 2024.

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	9



Figura 5: Fotografia del sistema di monitoraggio LiSAmobile impegnato nella campagna di monitoraggio delle pareti della cava Bort nel Comune di Formazza (VB), a sinistra; Fotografie delle pareti centrale ed occidentale della cava Bort con la zona centrale interessata dal crollo spontaneo dell'Aprile 2022 e oggetto di monitoraggio, a destra.

La tecnica SAR interferometrica

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 GBInSAR 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

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	10

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.

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 è efficacemente utilizzato in situazioni di emergenza, quando un evento critico è ritenuto imminente o 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, espansione, e creep in ammassi rocciosi).

Le attività di monitoraggio hanno 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 antropiche 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.

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	11

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 della 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 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 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.

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;**

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	12

- (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.

È 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 ed interpretare correttamente le discontinuità (chiamate frange) che appaiono in tale situazione.

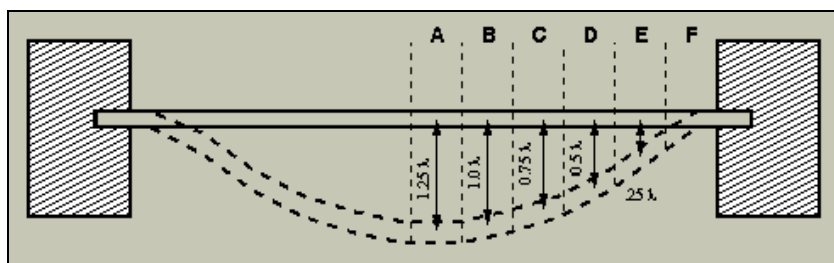


Figura 6: esempio di misura degli spostamenti in un caso mono-dimensionale

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".

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	13

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;

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	14

- (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.

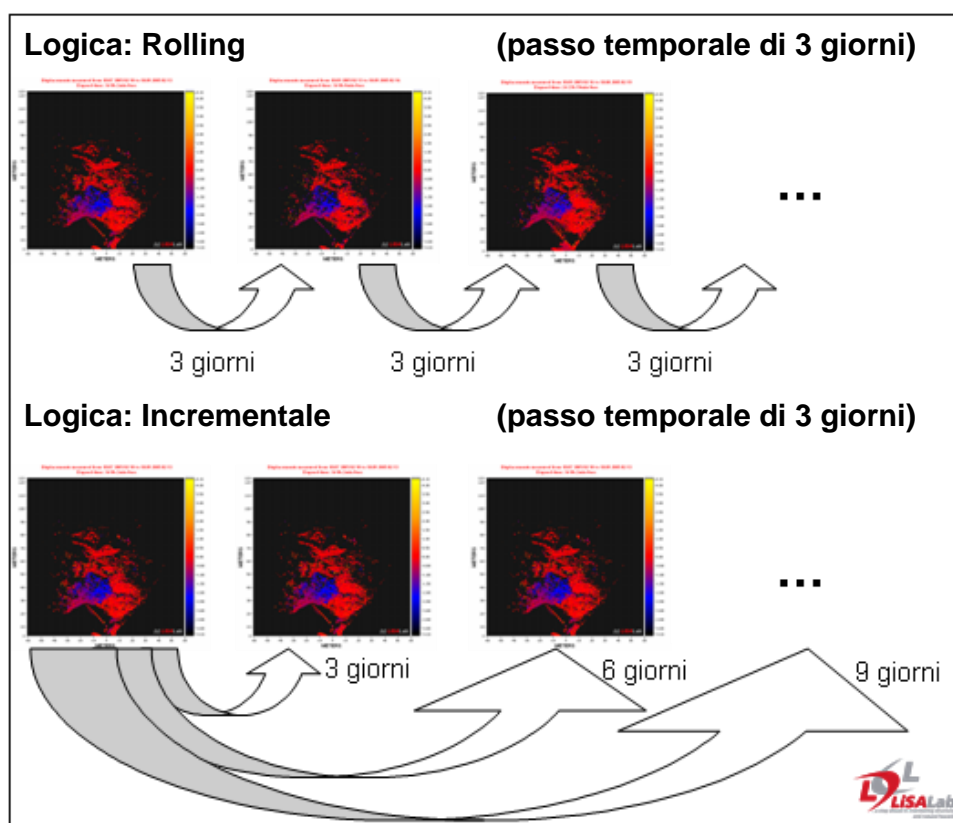


Figura 7: schematizzazione delle diverse logiche utilizzabili per confrontare gli interferogrammi (l'intervallo di tre giorni utilizzato ha esclusivamente in questo caso scopo esemplificativo)

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	15

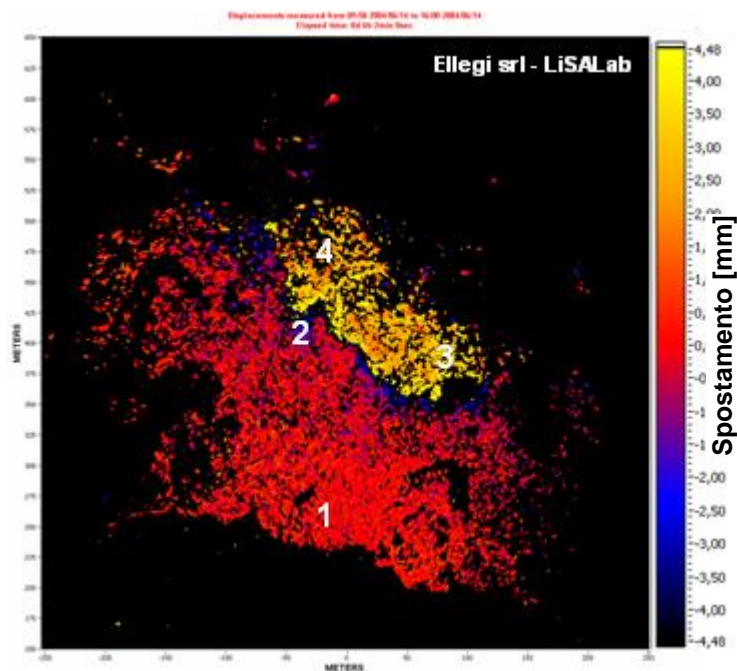
Spesso negli interferogrammi presentati di seguito, i valori di fase non sono “srotolati” e, di conseguenza, i valori delle deformazioni sono affetti intrinsecamente dall'ambiguità delle misure di fase.

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.

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.**

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO “PERIODICAL CHECK” PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	16



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 $-1/4\lambda$ ed uno spostamento di $\sim 2,24$ mm;

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

Punto 4: rosso, equivale ad una differenza di fase $n = -1\lambda$ (prima frangia) = $\sim 8,96$ mm di spostamento.

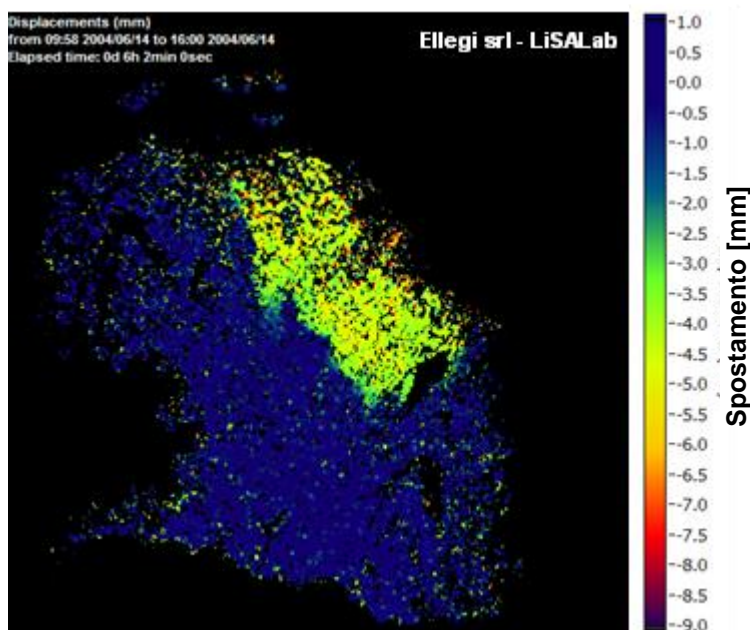


Figura 8: in alto: mappa di deformazione non "srotolata" e relativo esempio di lettura, in basso: mappa di deformazione "srotolata"

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura - Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	17

Specifiche del servizio

La società Domo Graniti srl di Trontano (VB) ha richiesto un servizio di monitoraggio di tipo "Periodical Check" per l'identificazione e la mappatura di eventuali porzioni instabili delle pareti del sito estrattivo di Cava Bort, sopra località Foppiano nel comune di Formazza (VB), con utilizzo del 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 10 giorni per la prima campagna, incluso giorno di installazione e disinstallazione mentre per le successive campagne la durata sarà di 5 giorni.

Al termine dei giorni previsti, il sistema verrà smontato, prelevato e riportato alla sede Ellegi srl. In sede si procederà quindi alla successiva elaborazione dei dati e la successiva analisi.

La prima misura è stata espressamente prevista della durata di 10 giorni al fine di poter valutare il grado di stabilità del versante nel breve termine.

Successivamente, trascorso un intervallo da definirsi con la Committenza, il sistema GBInSAR LiSALab verrà trasportato in loco, 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 il giorno di installazione e di 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 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 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 consisterà in una serie di report aventi i seguenti contenuti:

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	18

Definizione	Contenuti
1° Report	<ul style="list-style-type: none"> Definizione parametri di misura Analisi immagini radar acquisite Analisi delle immagini interferometriche relative alla campagna in oggetto Analisi delle serie temporali Riassunto e conclusione delle misure eseguite nel servizio
Successivi Report	<ul style="list-style-type: none"> 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.

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 (se presenti) 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 del 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. Riunioni tecnica con Committenza per discussione dei risultati al termine di ogni campagna.

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	19

Punto d'installazione del sistema GBInSAR LiSALab

Per poter operare correttamente nello specifico caso di misura dell'area Centrale ed Occidentale della cava di Bort, la postazione del sistema GBInSAR LiSALab è stata installata in un sito avente 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.

Si riportano di seguito le coordinate della postazione di misura nel sistema di riferimento UTM – WGS84 Fuso 32. Per il calcolo della quota del sistema si è fatto riferimento alle quote del rilievo GPS confrontate poi con quelle ottenute dal Point Cloud utilizzato per la georeferenziazione dei dati radar (per la georeferenziazione si vedano i paragrafi seguenti).

La postazione di misura GBInSAR LiSALab prescelta e posta frontalmente alla parete oggetto del monitoraggio ha le seguenti coordinate UTM – WGS84 Fuso 32:

x	453982.3 m E
y	5131507.5 m N
z	1058 m elevazione

La postazione asseconda 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, che permette di osservare nella sua quasi totalità l'area d'interesse.

L'installazione del sistema è stata effettuata mediante fissaggio diretto su di uno sperone roccioso, che si estende dal piazzale di cava, di un portale composto da due colonne ed una trave metallica. Su di esso, successivamente, è stato fissato il sistema di monitoraggio attraverso apposite contropiastre.

La trave metallica verrà lasciata in loco per tutta la durata del servizio, in quanto funge da riferimento univoco per le successive campagne di misura (Figura 9).

Il sistema è stato quindi allacciato all'alimentazione elettrica della cava.

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	20



Figura 9: A sinistra, dettagli del basamento roccioso a cui è stato fissato il portale in metallo e a destra come appariva 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.

In questo specifico caso, inoltre, si è provveduto anche all'installazione di una webcam connessa al WiFi del sistema per osservare l'eventuale evoluzione dello scenario osservato.

In Figura 10 si può osservare una ripresa fotografica del sistema LiSAmobile® durante la campagna di Misura di Febbraio 2024.

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	21



Figura 10: Postazione di misura del sistema GBInSAR LiSALab per il monitoraggio della cava di Bort; Febbraio 2024.

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	22

Analisi dei risultati

La campagna di misura si è svolta dal 5 all' 8 Febbraio 2023, in questo intervallo sono state acquisite un totale di 880 immagini radar.

La presente campagna rappresenta la seconda campagna di misura. Il confronto con i risultati di questa campagna con quelli della misura di zero permettono il rilevamento degli spostamenti intercorsi fra le due campagne di misura.

I dati acquisiti sono stati elaborati per ottenere le immagini radar e le mappe di spostamento che verranno presentate ed analizzate qui di seguito.

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

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:

$$\Delta r = \frac{c}{2B}$$

$$\Delta r_x = \frac{cR}{2Lf_c}$$

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.

Si riportano nella tabella seguente gli estremi, in coordinate radar, della finestra di elaborazione utilizzata:

Min Azimuth [m]	Max Azimuth [m]	Min Range [m]	Max Range [m]
-60	70	50	200

È bene anche sottolineare che la risoluzione ha una dipendenza con la posizione in azimut della cella rispetto alla collocazione del sensore.

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

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	23

In accordo con i parametri scelti, la risoluzione teorica in range è approssimativamente di 0.4 m, mentre quella in azimuth varia tra 0.1 m e 0.6 m.

La Figura 11 mostra la griglia utilizzata mentre la tabella seguente riassume le condizioni operative ed i parametri di misura utilizzati dal sistema:

Minima distanza osservata [m]	50
Massima distanza osservata [m]	200
Risoluzione teorica in azimuth alla distanza minima [m]	0.1
Risoluzione teorica in azimuth alla distanza massima [m]	0.6
Risoluzione teorica in range (costante) [m]	0.4
Tempo acquisizione singola immagine [min]	2.5
Revisiting time [min]	5
Accuratezza calcolata su risultati acquisiti [mm]	0.2
Precisione calcolata su risultati acquisiti 1σ [mm]	0.3

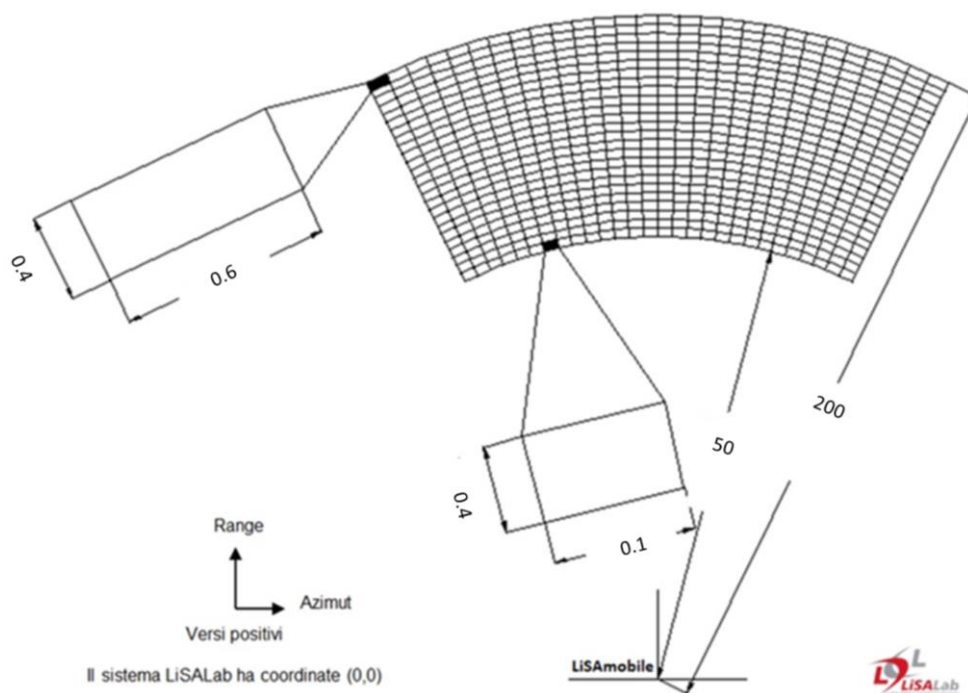


Figura 11: tabella con i parametri di acquisizione impostati e griglia di risoluzione del sistema GBInSAR LiSALab per la campagna in oggetto.

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	24

Elaborazione dei risultati, 5-8 Febbraio 2024

Nelle figure seguenti vengono presentate le immagini SAR in potenza acquisite dal sistema GBInSAR LiSALab secondo le griglie di risoluzione presentate nella sezione precedente. Ciascuna immagine 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 immagini in potenza si nota che le pareti rocciose verticali dello scenario sono ben visibili ed hanno una buona risposta al segnale radar, inoltre, il radar è in grado di osservare per la sua interezza la cava.

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, è stata effettuata una rappresentazione qualitativa con indicazioni delle zone radar sull'immagine fotografica dello scenario (Figura 13).

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	25

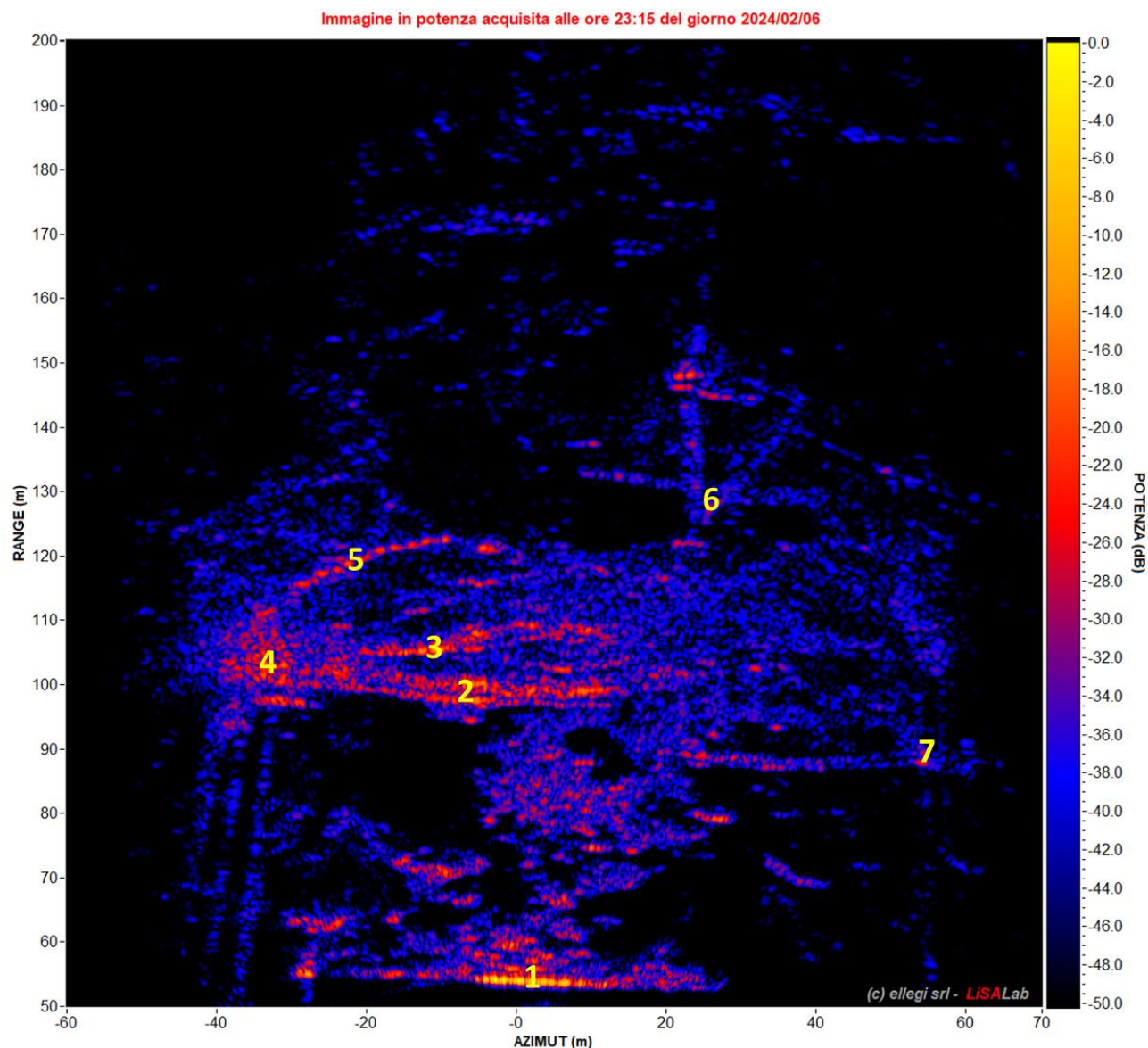


Figura 12: Immagine SAR in potenza in 2D dello scenario osservato dal sistema GBInSAR LiSALab, immagine del 6 febbraio 2024.
Immagine mediata su tutta la campagna di misura.

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	26

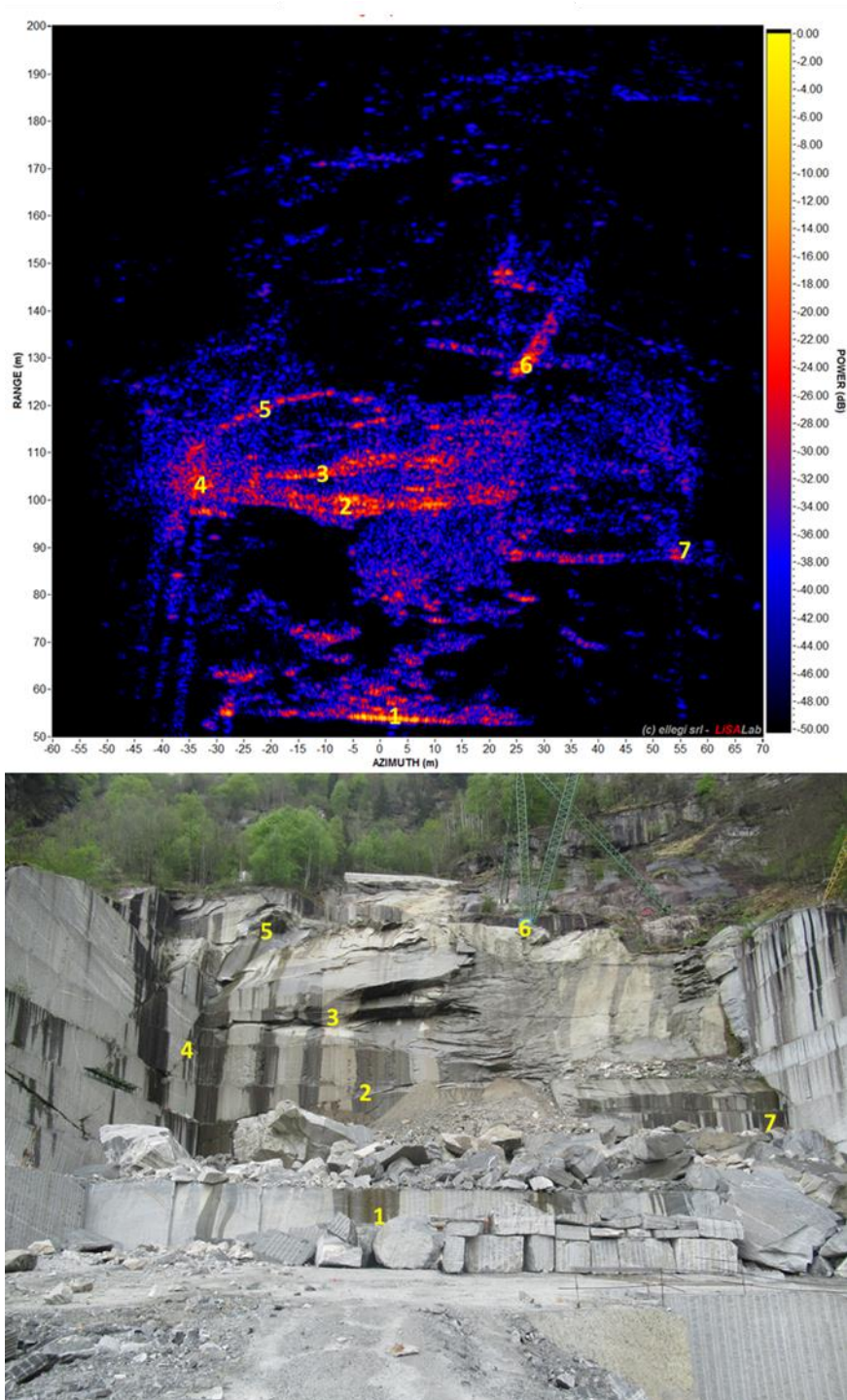


Figura 13: Georeferenziazione qualitativa delle immagini radar in potenza sulla fotografia del versante.

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	27

Si è provveduto successivamente ad elaborare e geo-referenziare i risultati sul Point Cloud fornito.

La visualizzazione dei dati in 3 dimensioni permette di localizzare in maniera univoca la posizione dei dati radar.

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.

Infine, i dati sono stati proiettati su un'immagine ottica del versante. Questa operazione permette di avere un ulteriore riscontro sulla posizione dei dati radar sulla parete monitorata (Figura 14).

Le mappe seguenti mostrano i risultati ottenuti nella campagna oggetto del presente report ed elaborati sul modello 3D e sull' immagine ottica.

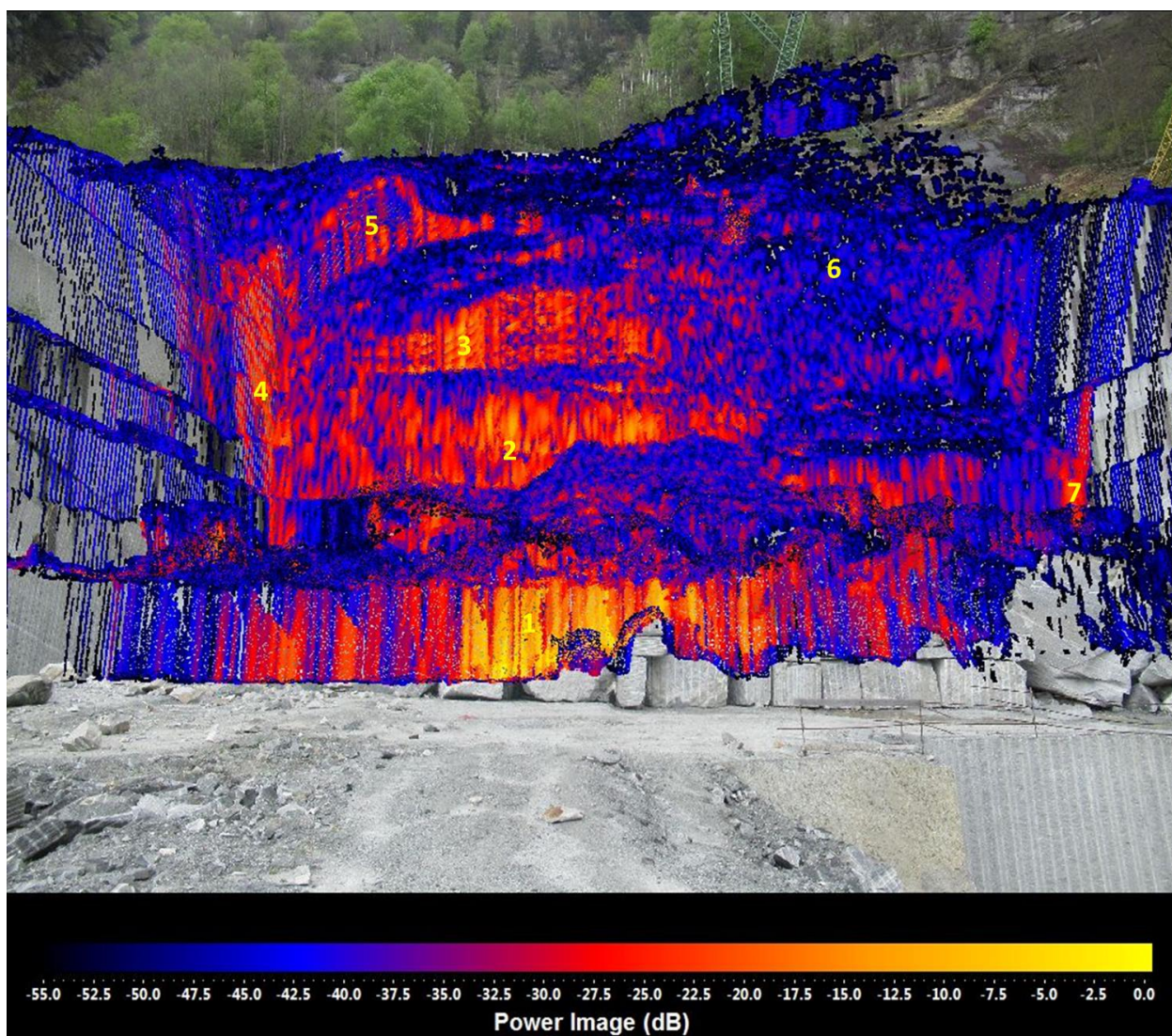


Figura 14: mappa in potenza proiettata su immagine ottica del versante.

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	28

Mappa di spostamento a breve termine: 5 Febbraio – 8 Febbraio 2024

In questa sezione vengono presentate le mappe a breve termine degli spostamenti rilevati durante la campagna di misura. Nelle mappe presentate l'obiettivo principale è verificare la stabilità o la presenza di deformazioni che intercorrono all'interno della campagna di misura, ad esempio a distanza di pochi giorni. Nella fattispecie, verranno quindi presentate le mappe degli spostamenti avvenuti fra il 5 Febbraio 2024 e l'8 Febbraio 2024 a copertura di un intervallo temporale di 2 giorni e 11 ore.

Le mappe di spostamento del periodo coperto dalla singola campagna 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 sono riportati nelle figure seguenti in cui vengono presentati:

- A) L'interferogramma degli spostamenti presentato 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, le zone con spostamenti fra i -2 e i -4 mm in avvicinamento hanno un colore blu, blu scuro mentre le 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.

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	29

L'analisi degli spostamenti all'interno della campagna è stata effettuata utilizzando immagini radar 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 della mappa ottenuta (Figura 15) è evidente che in tutta l'area osservata dal sistema GBInSAR LiSAmobile non sono presenti aree estese affette da movimenti nell'intervallo di 2 gg e 11 h coperto da questo report.

La presenza invece di piccole aree caratterizzate da spostamenti (identificabili nelle mappe come isolati pixel di colore diverso dal rosso nel caso dell'interferometria e dal verde nel caso della rappresentazione srotolata) non desta alcuna preoccupazione in quanto queste aree sono puntiformi. In particolare, tali spostamenti localizzati si rilevano per alcuni punti posti al di sopra delle pareti di cava, a causa della presenza di vegetazione, e nel detrito posto alla base della parete che ovviamente, per fenomeni gravitativi, presenta al suo interno dei movimenti di assestamento.

Al centro dell'immagine e circondata da una linea bianca tratteggiata si può osservare una deformazione residua di circa -2 mm che afferisce però alle deformazioni termiche nella struttura metallica della gru di sollevamento di cava. Queste deformazioni vengono proiettate dal radar sulla parete retrostante e quindi non sono da considerarsi come un reale movimento dell'ammasso roccioso.

Il valore medio dello spostamento di tutti i pixel delle mappe di spostamento a copertura dell'intervallo più lungo ottenibile in questa misura è 0.1 mm, mentre la deviazione standard è pari a 0.2 mm (Figura 16). Le mappe di spostamento e l'analisi statistica condotta su tutti i pixel dell'immagine confermano la generale assenza di spostamenti nell'analisi a breve termine di questa campagna.

In Figura 17 viene infine riportata la proiezione delle mappe di breve termine sull'immagine ottica del versante. In quest'ultima rappresentazione, con lo scopo di fornire il massimo dettaglio sugli eventuali spostamenti nell'ammasso roccioso, è stata mascherata la parte affetta dalle deformazioni sulla gru.

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	30

Spostamenti rilevati tra le ore 17:20 del giorno 2024/02/05 e le ore 05:10 del giorno 2024/02/08
Intervallo temporale: 2gg 11h 50min 0sec

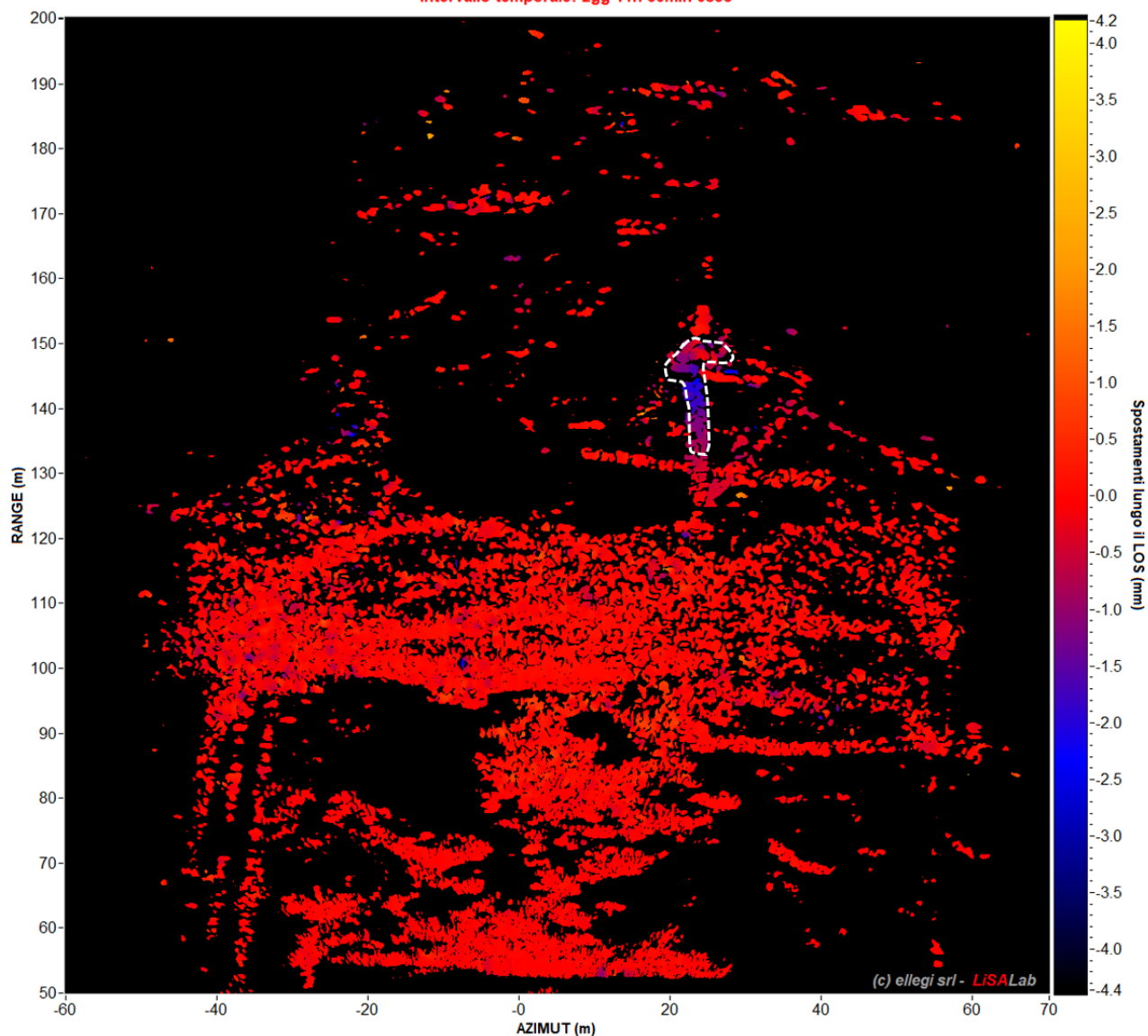
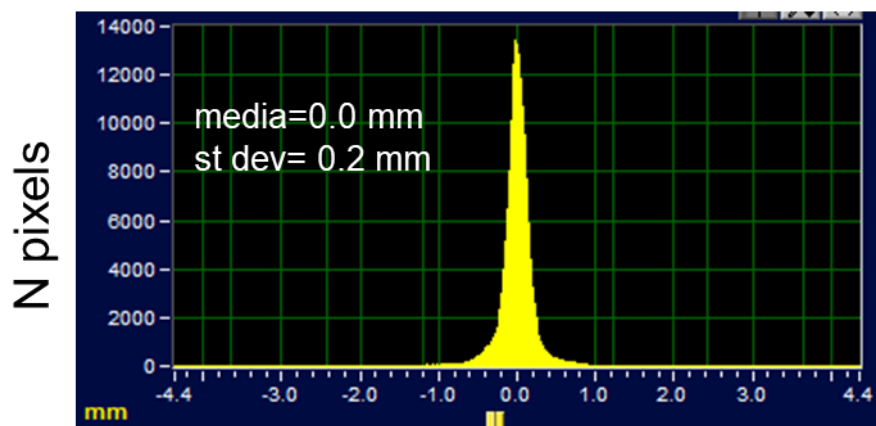


Figura 15: Mappa 2D degli spostamenti per il periodo 5 Febbraio 2024 –8 Febbraio 2024 – rappresentazione interferometrica. Immagini mediate a 24 ore. La zona della gru, affetta da deformazioni termiche è circonscritta da una linea bianca tratteggiata.

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	31



Spostamenti lungo il LOS (mm)

Figura 16: Istogramma della distribuzione degli spostamenti di tutti i pixel per il periodo 5-8 Febbraio 2024 ottenuta da immagini mediate a 24 ore.

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	32

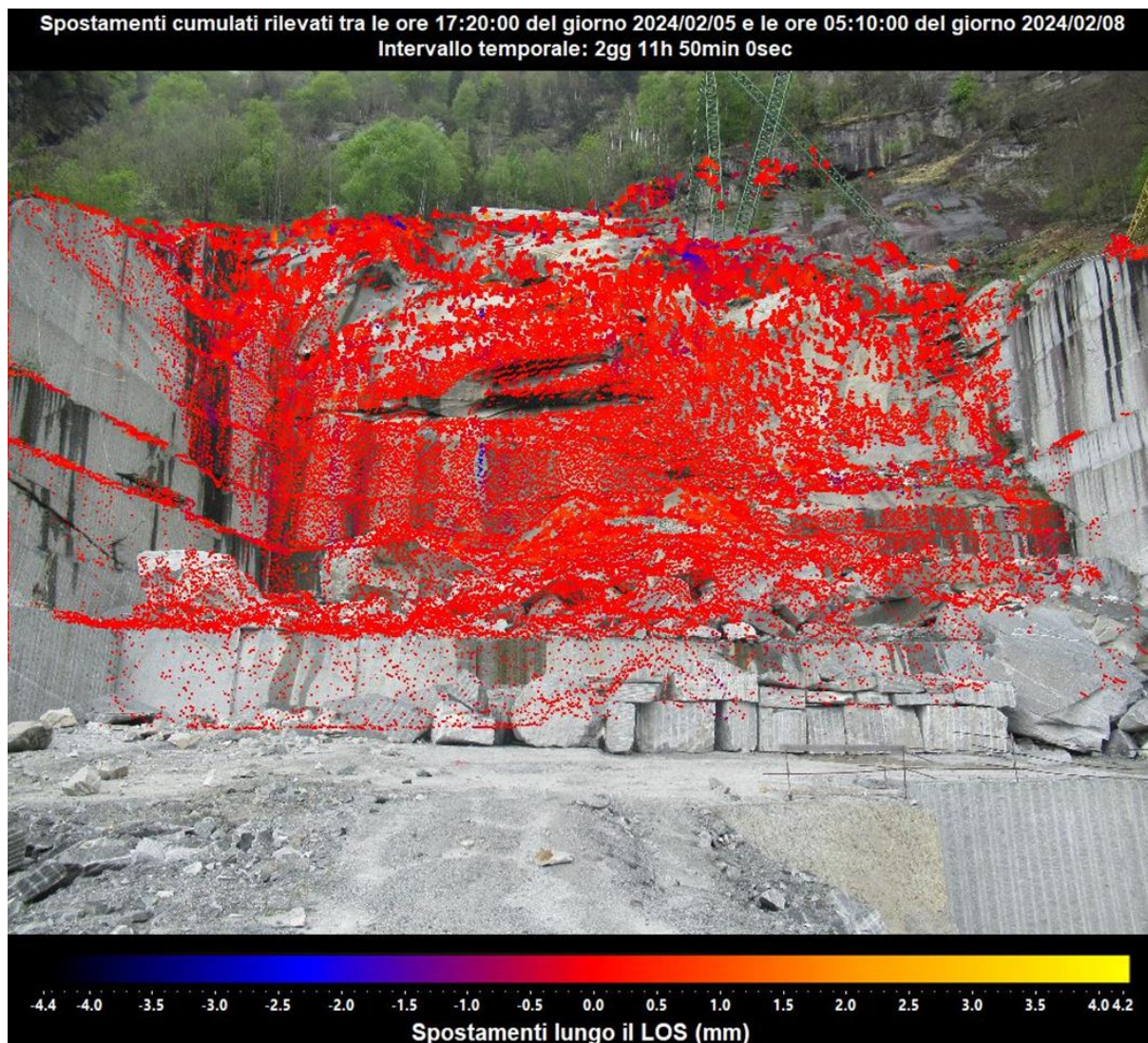


Figura 17: Mappa di spostamento srotolata a breve termine ottenuta per il periodo 5 Febbraio 2024 – 8 Febbraio 2024 e proiettata sull' immagine ottica del versante. Immagini mediate a 24 ore.

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	33

Mapa di spostamento a lungo termine: 26 Agosto 2023 – 6 Febbraio 2024

Vengono ora presentate le mappe di spostamento a lungo termine relative cioè al periodo intercorso fra la misura precedente (Agosto 2023) e la campagna di misura attuale (Febbraio 2024).

Per questa analisi sono stati analizzati tutti i dati delle due campagne e prodotte delle immagini radar mediate a 24 ore. Vengono quindi presentate le mappe degli spostamenti intercorsi fra il 26 Agosto 2023 e il 6 Febbraio 2024 a copertura di un intervallo di osservazione di circa 164 giorni.

Prima della lettura di queste mappe occorre precisare che la risposta interferometrica del segnale, e quindi la qualità del dato, è ottimale in presenza di roccia non vegetata. La presenza di vegetazione e di materiale incoerente tipicamente risulta nelle mappe interferometriche come agglomerati di pixels privi di coerenza spaziale e con una texture rumorosa.

In linea con quanto già fatto nella sezione dedicata alle immagini a breve termine i risultati sono presentati attraverso le seguenti visualizzazioni:

- Interferogramma 2D degli spostamenti fra il 26 Agosto 2023 e il 6 Febbraio 2024 (Figura 18).
- L'istogramma della distribuzione statistica degli spostamenti rilevati sulla parete monitorata (Figura 19).
- Proiezione degli spostamenti su immagine ottica dello scenario (Figura 20).
- L'analisi statistica areale delle zone localizzate aventi spostamenti al di sopra della precisione strumentale (Figura 21).

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	34

Spostamenti rilevati tra le ore 22:26 del giorno 2023/08/26 e le ore 23:15 del giorno 2024/02/06
Intervallo temporale: 164gg 1h 49min 0sec

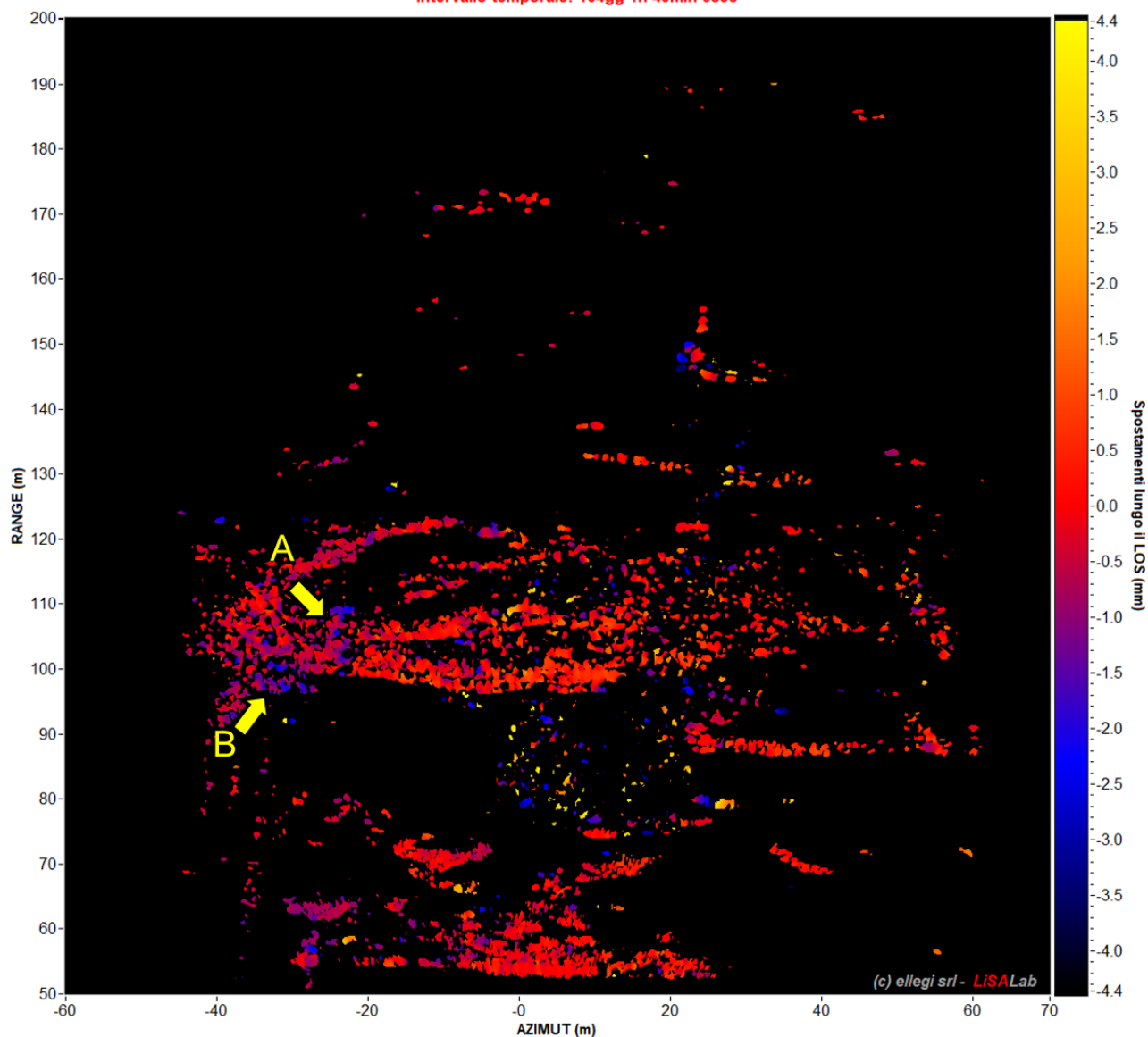


Figura 18: Mappa 2D degli spostamenti per il periodo 26 Agosto 2023 – 6 Febbraio 2024 – rappresentazione interferometrica. Immagini mediate a 24 ore. Le frecce gialle indicano zone isolate i cui spostamenti localmente superano la precisione strumentale e hanno picchi di circa -1.8 mm in avvicinamento nei 164 giorni di osservazione.

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	35

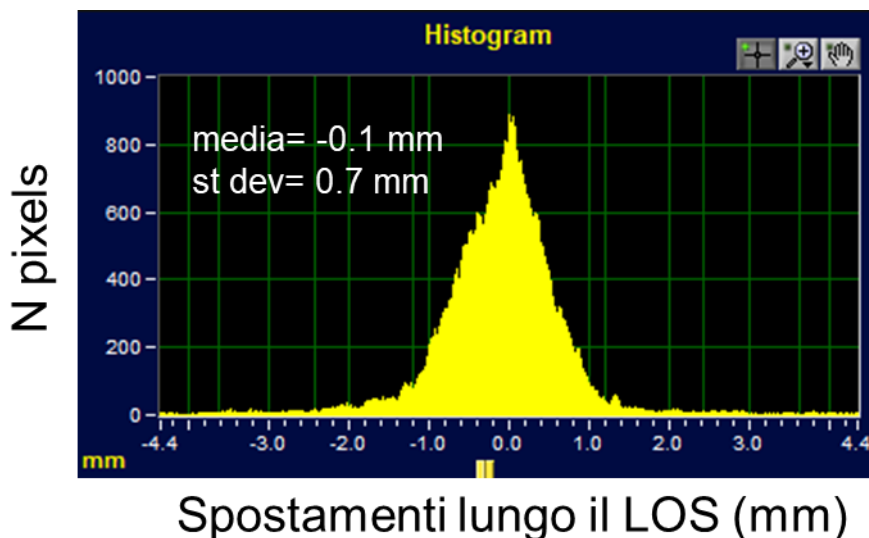


Figura 19: Istogramma della distribuzione degli spostamenti di tutti i pixel LT il periodo 26 Agosto 2023 – 6 Febbraio 2023.

Per la visualizzazione delle mappe è stato scelto di ottimizzare la presentazione del dato mascherando le zone più rumorose. Per tale motivo nelle mappe interferometriche non sarà visibile il rumore causato dal materiale incoerente mobilizzato durante le volate intercorse nell'intervallo afferente al presente report. Dall'analisi delle mappe a lungo termine si conferma una situazione di stabilità, con assenza di movimenti estesi e generalizzati sulle pareti rocciose nell'intero intervallo di tempo coperto dal presente report.

Nell'interferogramma di Figura 18 si possono però osservare alcune zone isolate il cui valore di spostamento supera la precisione strumentale e raggiunge il valore di picco di circa -1.5 mm. Queste zone, indicate con A e B in Figura 18, sono circoscritte ad aggregati di pixel inferiori ai 30 m² (stima in coordinate radar) e i loro spostamenti appaiono localizzati e non sono portavoce di deformazioni generalizzate sulla parete. Il baricentro generale della zona A ha coordinate x= 453939 m; y= 5131507 m e z= 1088 m mentre la zona B ha coordinate x= 453934 m; y= 5131595 m e z= 1070 m.

Viene quindi presentata una statistica dettagliata sugli spostamenti areali in queste due zone. Tale analisi è riportata in Figura 21 e, nella fattispecie, possiamo rilevare come, nella zona A, vi siano degli spostamenti medi di circa -1.3 mm in una regione che in coordinate radar ha una superficie di circa 20 m². La regione B occupa circa 25 m² e gli spostamenti medi sono di circa -1.4 mm in avvicinamento nei 164 giorni circa di osservazione.

La distribuzione statistica dei valori di spostamento calcolata a partire dalla mappa interferometrica è presentata in Figura 19. Anche questa statistica mostra molto chiaramente la generale assenza di spostamenti significativi sullo scenario. La media degli spostamenti rilevati su tutta l'immagine è infatti -0.1 mm con una deviazione standard di 0.7 mm.

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	36

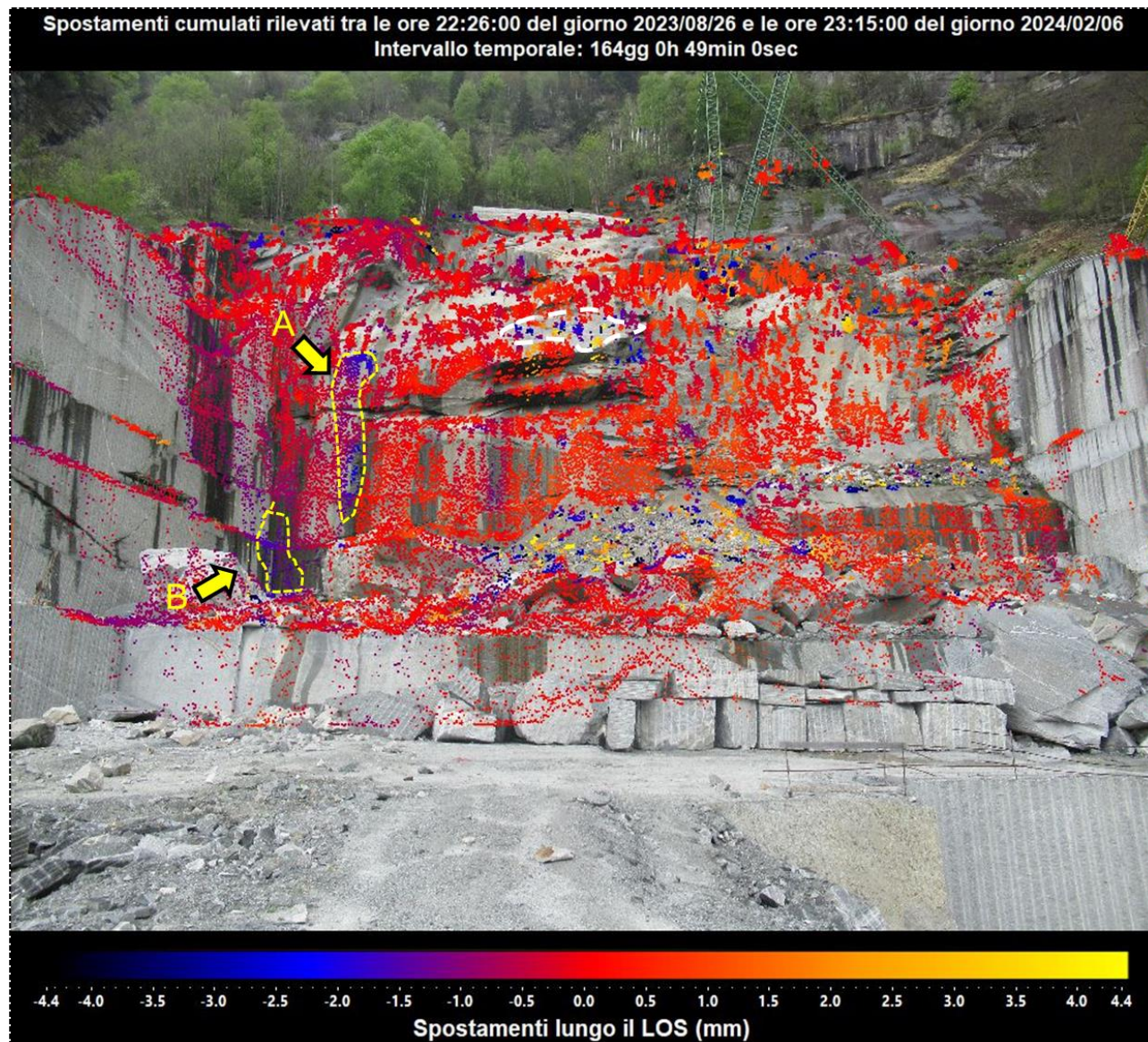


Figura 20: Mappa di spostamento al lungo termine per il periodo 26 Agosto 2023 – 6 Febbraio 2024 e proiettata sull' immagine ottica del versante. Immagini mediate a 24 ore.

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	37

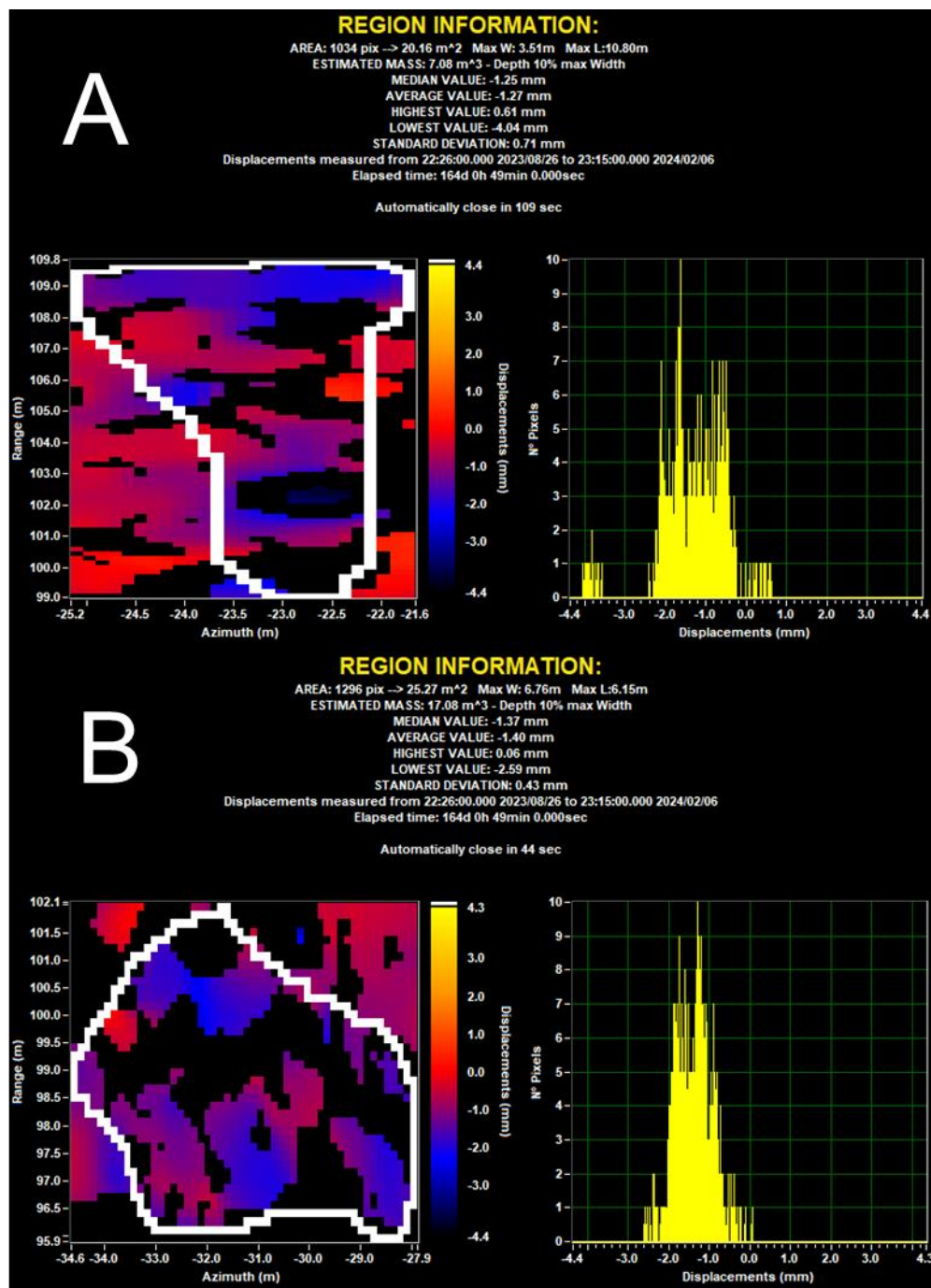


Figura 21: Statistiche areali relative alle zone A e B identificate in Figura 18.

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura - Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	38

Nell'interpretazione dei risultati mostrati in questa sezione va sottolineato che, nei pressi della zona A, si osserva frequentemente la presenza di fuoriuscite d'acqua e tali fuoriuscite spesso causano la formazione di una zona, allungata verso il basso, la cui umidità superficiale causa variazioni nelle proprietà dielettriche della superficie colpita dal radar. Gli spostamenti osservati nella zona A sono pertanto imputabili alla presenza di acqua e non sono immediatamente riconducibili a spostamenti reali nell'ammasso roccioso.

Si conclude questa sezione dedicata agli spostamenti a lungo termine descrivendo infine la zona posizionata al centro dello scenario e segnalata in Figura 20 con un'area bianca. In questa zona si notano infatti dati radar "decorrelati" e caotici. Tale configurazione di dati radar è spesso tipica di zone che, nell'intervallo di monitoraggio, hanno completamente cambiato la superficie riflettiva. Nel nostro caso la causa di questo drastico cambiamento delle proprietà dielettriche è molto chiara ed è mostrata in Figura 22. Fra le due campagne di misura descritte nel presente report si è infatti verificato un crollo in quella regione.

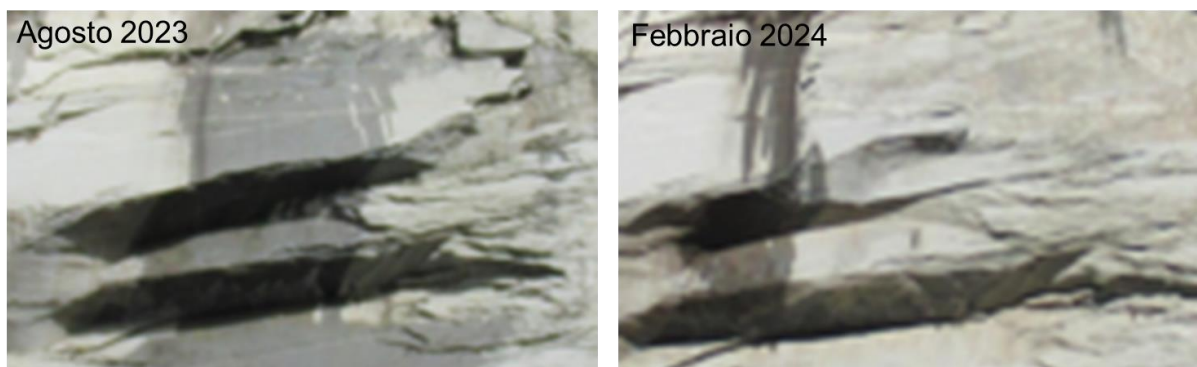


Figura 22: Confronto fotografico sulla zona decorrelata circoscritta in bianco in Figura 20. Le due immagini si riferiscono alle due campagne di misura oggetto di questo report.

Analisi quantitativa

Viene qui riportata l'analisi quantitativa dei 23 punti d'interesse già selezionati nel primo report e afferenti alla misura di zero. La selezione dei punti, fatta per la campagna di Maggio 2023, venne fatta suddividendo la cava in sette sezioni verticali.

Le 7 sezioni, ciascuna costituita da 3 Punti di Interesse (POI) posti a quote differenti, sono distribuite sul versante monitorato in modo tale da coprire tutta l'estensione dello stesso (cioè la parete Ovest e la parete Nord) (Figura 23). Queste sezioni sono costruite in modo tale da tagliare verticalmente i gradoni della coltivazione così da riscontrare, ove presenti, eventuali movimenti differenziali sulle pareti della cava. In particolare, 3 di queste sezioni si collocano sulla parete Ovest mentre 4 sono posizionate sulla

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	39

by ellegi srl

parete Nord, due nella zona del crollo e due nella restante porzione caratterizzata dai pervasivi piani a franappoggio citati precedentemente. I punti 1 e 23, invece, sono ubicati sulla struttura metallica della gru che poggia al di sopra del ciglio della cava e nelle analisi precedenti hanno mostrato gli unici spostamenti rilevati dallo strumento. (Figura 23).

ID	longitudine	latitudine	elevazione
1	453981.59	5131635.00	1137
2	453929.19	5131556.00	1095
3	453928.78	5131567.00	1099
4	453928.78	5131567.00	1099
5	453932.72	5131552.50	1084
6	453931.75	5131573.00	1085
7	453930.94	5131579.50	1085
8	453936.69	5131551.50	1077
9	453934.28	5131573.50	1079
10	453933.84	5131581.50	1078
11	453937.25	5131599.00	1079
12	453936.97	5131600.50	1099
13	453937.00	5131602.50	1120
14	453959.56	5131600.00	1081
15	453959.41	5131603.00	1104
16	453958.53	5131610.00	1118
17	453985.88	5131607.00	1089
18	453985.31	5131611.50	1099
19	453983.25	5131616.00	1116
20	454017.56	5131604.00	1082
21	454012.19	5131615.50	1100
22	454010.47	5131619.50	1111
23	453988.97	5131624.50	1125

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	40



Figura 23: Immagine fotografica dello scenario osservato con ubicazione dei 23 punti di interesse (POI) sulle pareti monitorate.

In questo report vengono presentati i risultati relativi ai primi due set di dati di spostamento a lungo termine di questi 23 punti d'interesse. Questo due set costituiscono l'inizio di una serie temporale qualora il monitoraggio vada a protrarsi nel tempo. Tipicamente la presentazione dei dati delle serie temporali viene fatta attraverso grafici in cui in ascissa vi è il tempo e in ordinata vi sono i valori di spostamento. Nella nostra situazione, avendo solamente due epoche di misura non verrà fornito il grafico ma semplicemente due tabelle con i valori di spostamento.

I valori di spostamento registrati da tutti i 23 punti di interesse sono presentati nelle Tabelle seguenti. La prima Tabella mostra i valori differenziali fra le campagne di misura mentre la seconda tabella riporta gli spostamenti relativi alla misura di zero. Il valore medio degli spostamenti dei punti d'interesse rilevato in questo periodical check è di -0.1 mm con una deviazione standard di 0.5 mm. Tutti i valori registrati dai punti d'interesse fanno escludere la presenza di spostamenti significativi. L'unica eccezione degna di nota è quella del Punto 10, appartenente all'area B discussa in precedenza, che ha registrato il valore di -1.0 mm in avvicinamento nel corso del 164 giorni di osservazione. Il comportamento di questo punto potrebbe essere correlabile a deformazioni di tipo termico in quanto nel precedente periodical check

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura - Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	41

rimase stabile. È possibile infatti che durante i periodi di raffreddamento (fra l'estate e l'inverno) si verifichino spostamenti lievemente in avvicinamento. In questo senso, i risultati dei prossimi Periodical Check permetteranno di confermare questo comportamento che è ora ipotizzabile.

Spostamenti relativi	Spostamenti I - II PC 11 Maggio 2023 26 Agosto 2023	Spostamenti II - III PC 26 Agosto 2023 6 Febbraio 2024
1	0.3	-0.2
2	0.5	0.1
3	0.0	-0.7
4	-0.1	-0.7
5	-0.5	-0.2
6	-0.2	0.3
7	0.7	0.0
8	0.1	-0.7
9	0.1	-0.4
10	-0.2	-1.0
11	0.1	-0.6
12	0.6	-0.6
13	-0.3	-0.7
14	-0.2	0.0
15	-0.6	0.0
16	0.3	0.7
17	-0.4	0.6
18	-0.7	0.4
19	0.1	0.0
20	-0.1	0.5
21	-0.4	0.1
22	-0.6	0.3
23	1.0	0.0

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura - Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	42

Spostamenti rispetto la misura di zero	IPC Misura di Zero 11 Maggio 2023	Spostamenti II PC 26 Agosto 2023	Spostamenti III PC 6 Febbraio 2024
1	0 mm	0.3	0.1
2	0 mm	0.5	0.6
3	0 mm	0.0	-0.7
4	0 mm	-0.1	-0.8
5	0 mm	-0.5	-0.7
6	0 mm	-0.2	0.1
7	0 mm	0.7	0.7
8	0 mm	0.1	-0.6
9	0 mm	0.1	-0.3
10	0 mm	-0.2	-1.2
11	0 mm	0.1	-0.5
12	0 mm	0.6	0.0
13	0 mm	-0.3	-1.0
14	0 mm	-0.2	-0.2
15	0 mm	-0.6	-0.6
16	0 mm	0.3	1.0
17	0 mm	-0.4	0.2
18	0 mm	-0.7	-0.3
19	0 mm	0.1	0.1
20	0 mm	-0.1	0.4
21	0 mm	-0.4	-0.3
22	0 mm	-0.6	-0.3
23	0 mm	1.0	1.0

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	43

Conclusioni

Dopo aver analizzato i dati acquisiti nella campagna di misura attuale (Febbraio 2024), che rappresenta la terza campagna di misura dopo la misura di Zero, del servizio di monitoraggio di tipo "periodica check" per identificazione e mappatura di eventuali porzioni instabili dei settori Ovest e Centrale dell'area della cava di Bot, sita sopra località Foppiano nel Comune di Formazza (VB), si può concludere che:

1. Il 5 Febbraio 2024 il sistema GBInSAR LiSALab è stato installato sul un piedistallo metallico predisposto per il servizio di monitoraggio.
2. Il sistema ha funzionato correttamente e continuativamente fino alle ore 10:17 UTC del 8 Febbraio 2024 acquisendo un totale di 880 immagini.
3. Lo scenario in esame è risultato visibile al radar dalla postazione. I dati acquisiti sono stati elaborati su una finestra spaziale adeguata che copre l'intera cava.
4. L'analisi degli spostamenti nell'arco della campagna di misura attuale (5- 8 Febbraio 2024) non ha evidenziato aree del versante interessate da spostamenti; il valore medio dello spostamento di tutti i pixel della mappa è pari a 0.0 mm con deviazione standard pari a 0.2 mm.
5. L'analisi degli spostamenti intercorsi fra il 26 Agosto 2023 e il 6 Febbraio 2024 (circa 164 giorni) conferma la stabilità generale con un valore medio degli spostamenti pari a -0.2 mm e deviazione standard pari a circa 0.7 mm.
6. Sono state identificate due aree circoscritte, A e B, i cui spostamenti nell'arco del periodo di osservazione di 164 giorni hanno superato la precisione strumentali. Le due aree hanno entrambe dimensioni inferiori ai 30 m² e hanno registrato spostamenti medi di -1.3 e -1.4 mm in avvicinamento, rispettivamente.
7. Gli spostamenti osservati nella zona A non sono immediatamente riconducibili a deformazioni nell'ammasso roccioso in quanto in questa zona si osserva frequentemente la presenza di fuoriuscite d'acqua. In queste situazioni, l'umidità superficiale causa variazioni nelle proprietà dielettriche della superficie colpita dal radar e gli spostamenti rilevati sono affetti da tale dinamica.
8. È stata infine fornita un'analisi quantitativa dei 23 punti d'interesse disposti su 7 sezioni subparallele. Tutti i valori registrati dai punti d'interesse fanno escludere la presenza di spostamenti. L'unica eccezione degna di nota è quella del Punto 10 che ha registrato circa -1.0 mm in avvicinamento nel corso dei 164 giorni di osservazione.

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	44

Allegati

Al presente si allegano i seguenti documenti in formato elettronico:

- a) Allegato A: Risultati in formato elettronico della mappa degli spostamenti in 3D per il periodo di analisi a breve termine (5 Febbraio – 8 Febbraio 2024).
- b) Allegato B: Risultati in formato elettronico della mappa degli spostamenti in 3D per il periodo di analisi a lungo termine (26 Agosto 2023 – 6 Febbraio 2024).
- c) Allegato C: Foglio Excel con coordinate geografiche dei POI, dati e serie temporali degli spostamenti rilevati sui POI.

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	45

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.

ellegi srl via bandello, 5 milano sede operativa via petrarca, 55 rovello porro	Argomento:	SERVIZIO DI MONITORAGGIO DI TIPO "PERIODICAL CHECK" PER IL CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELLA CAVA BORT - III Campagna di Misura – Febbraio 2024					Data di creazione:	12 Febbraio 2024
	Riferimento Cliente:	Domo Graniti srl	Rif. int.:	AG	Rev.:	02	Data di revisione:	26 Febbraio 2024
	File:	rep.dom.240212.ag.02.doc	Note:	CONFIDENZIALE			Page:	46