

Analisi combinata Laser Scanner ed Interferometria SAR Terrestre per l'analisi dei crolli in roccia: un caso di studio nella città di Bolzano

Paolo Mazzanti (*, **), Stefano Moretti (*, ***), Ottavio Tripoli (*, ***), Ivan Cipriani (*),
Claudio Carraro (°), Emanuele Sascor (°°), Davide D'Aria (°°°), Davide Giudici (°°°)

(*) NHAZCA *Spin-off* S.r.l., Via Cori s.n.c., Roma, paolo.mazzanti@uniroma1.it

(**) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Roma "Sapienza"

(***) IMG, S.r.l., Via Cori s.n.c., Roma

(°) Provincia Autonoma di Bolzano, Servizio Geologico

(°°) Comune di Bolzano, Servizio Geologico

(°°°) Aresys S.r.l.

Riassunto

A partire da Maggio 2008 è stato attivato un progetto pilota tra le società IMG S.r.l. e NHAZCA S.r.l., la Provincia di Bolzano ed il Comune di Bolzano con l'obiettivo di investigare, attraverso l'utilizzo dell'Interferometria SAR Terrestre e il Laser Scanner Terrestre, una scarpata in roccia soggetta a crolli che insiste su alcuni edifici di civile abitazione. Nell'arco del primo anno di attività sono state effettuate 6 campagne di monitoraggio nelle quali sono state acquisite un totale di circa 5500 mappe SAR. E' stato inoltre eseguito un rilievo Laser Scanner ad elevata risoluzione dell'intera scarpata, successivamente combinato con le mappe SAR attraverso un'apposita campagna di georeferenziazione. Tale attività ha permesso di ottenere mappe tridimensionali di spostamento, consentendo così un'analisi simultanea di tutta la scarpata e la precisa identificazione di eventuali settori affetti da condizioni di instabilità.

Abstract

In May 2008 a "pilot project" involving private consulting IMG S.r.l. and NHAZCA S.r.l. together with the Province of Bolzano and the Bolzano Municipality, has been activated. The aim of the project is to investigate a rock scarp frequently affected by rock falls and topples by means of Ground Based SAR Interferometry (GBInSAR) and Terrestrial Laser Scanner (TLS). Six radar surveys have been performed during the first year of activity, thus collecting more than 5500 SAR maps. Furthermore, a Terrestrial Laser Scanner survey has been performed in order to obtain a detailed DTM of the rock scarp. Then, GBInSAR maps and TLS derived DTM have been combined by a georeferencing survey. Hence, 3D maps of displacement of the overall scarp have been achieved and they allowed us to simultaneously investigate the entire scarp, thus identifying sectors affected by instability conditions.

1) Introduzione

I fenomeni di crollo e ribaltamento di blocchi da versanti in roccia sono molto frequenti in aree montuose e collinari. Pur non essendo eventi caratterizzati solitamente da un'elevata magnitudo (in quanto coinvolgono volumi di roccia piuttosto limitati), presentano però una frequenza temporale di accadimento molto elevata ed una frequente interazione con l'uomo e le sue attività. Fenomeni di crollo e ribaltamento si possono verificare in versanti naturali così come in versanti e scarpate realizzate dall'uomo per la realizzazione di vie di comunicazione, insediamenti urbani, ecc. L'elevata velocità (Cruden and Varnes, 1996) di accadimento e la difficile previsione di questi eventi rappresentano i due elementi di maggiore difficoltà nella loro analisi, sia essa finalizzata al controllo o alla mitigazione del rischio. In alcune regioni le aree potenzialmente soggette a crolli

sono molto diffuse ed estese e quindi una loro analisi di dettaglio con tecniche tradizionali risulta molto dispendiosa e difficilmente applicabile. La Provincia Autonoma di Bolzano presenta numerose criticità riguardo ai fenomeni di crollo e guarda con forte interesse a possibili soluzioni fornite da tecnologie innovative di monitoraggio ed indagine remota quali il Laser Scanner Terrestre (Lichti et al., 2002) e l'Interferometria SAR Terrestre (Tarchi et al., 1999; Bozzano et al., 2008). Nel Maggio 2008, nell'ambito di un accordo quadro tra la Provincia Autonoma ed il Comune di Bolzano, è stato avviato un progetto pilota per il monitoraggio con tecniche innovative di una scarpata in roccia che insiste su alcuni edifici di civile abitazione nella città di Bolzano. Il progetto avrà la durata complessiva di 2 anni e, nel presente lavoro, vengono presentati i risultati preliminari relativi al primo anno di attività.

2) Il caso di Studio

Dal punto di vista geologico la conca di Bolzano è ubicata interamente all'interno del "Gruppo Vulcanico Atesino", formatosi tra 285 e 276 Ma. (Permiano), e costituito da una successione di potenti ed estesi banchi ignimbritici, talora intercalati da arenarie, conglomerati, tufti e brecce. Le ignimbriti, che affiorano sulla scarpata oggetto del monitoraggio, sono in genere rocce dall'aspetto massiccio di colore rosso, violaceo o grigio – rosa; l'aspetto e l'uniformità rimangono macroscopicamente costanti per centinaia di metri di spessore. La parete presenta un'altezza massima prossima a 100 m ed una marcata fessurazione verticale con giunti molto netti e persistenti, che conferiscono all'ammasso roccioso il tipico aspetto colonnare prismatico. Al piede della scarpata, in corrispondenza della fascia di accumuli detritici, sono presenti opere di difesa passiva di diversa generazione. La parete è stata inoltre recentemente attrezzata con alcuni fessurimetri a barra per il monitoraggio periodico di alcune fratture.



Figura 1 – Foto della scarpata oggetto di monitoraggio.

3) Metodologia di indagine

Le analisi sono state svolte attraverso l'utilizzo integrato dell'Interferometria SAR Terrestre e del Laser Scanner Terrestre, ovvero due tecniche di telerilevamento estremamente innovative che presentano il grande vantaggio di operare completamente "in remoto", senza cioè la necessità di intervenire direttamente sull'area indagata. A differenza di altre tecniche di monitoraggio, infatti, queste non richiedono né l'installazione di sensori né di *target* riflettenti nell'area di indagine.

L'approccio utilizzato nell'ambito del presente lavoro consta dei seguenti passaggi:

1. esecuzione del rilievo TLS per la realizzazione del modello 3D ad elevata risoluzione in colori reali della scarpata;
2. esecuzione del monitoraggio GBInSAR;
3. identificazione di punti comuni tra il rilievo Laser Scanner e le mappe radar;
4. georeferenziazione delle mappe radar e del rilievo Laser Scanner.

3.1) Rilievo Laser Scanner

Il Laser Scanner Terrestre è uno strumento capace di rilevare le coordinate spaziali 3D di numerosi punti dello scenario osservato, ovvero nuvole di punti tridimensionali che costituiscono poi la base per ottenere DTMs (*Digital Terrain Models*) molto accurati. Gli strumenti utilizzati per applicazioni geologiche sono caratterizzati solitamente da lunghe portate (oltre 1 km), precisioni di circa 0,5-1 cm ed elevate velocità di acquisizione (oltre 10.000 punti al secondo). Tramite questa tecnica è

quindi possibile ottenere in poco tempo modelli digitali del terreno su aree piuttosto estese e con elevata precisione.

Il sensore utilizzato nel presente lavoro è un Riegl LMS-Z420i dotato di fotocamera digitale calibrata Nikon D70 attraverso la quale è possibile associare ad ogni cella che costituisce il DTM il vero colore del versante. Il rilievo è stato eseguito attraverso due scansioni eseguite da posizioni diverse (Fig.2) al fine di avere la migliore copertura possibile dell'intera scarpata. L'unione delle due scansioni e la loro georeferenziazione nel sistema di riferimento geografico assoluto UTM32 ETRF89 è stata effettuata attraverso il posizionamento di alcuni *target* ad elevata riflettività nell'intorno delle aree di misura. Le coordinate di questi punti (che ricadevano all'interno delle scansioni eseguite con il Laser Scanner) sono state poi ricavate tramite rilievi topografici tradizionali con stazione totale. In Figura 3 è mostrato il risultato finale.

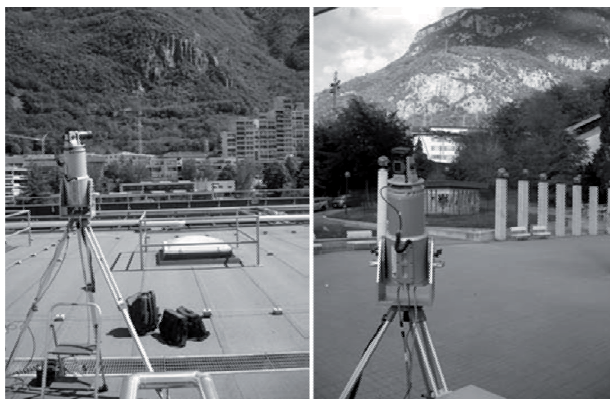


Figura 2 – Foto delle due posizioni di misura con Laser Scanner Terrestre.

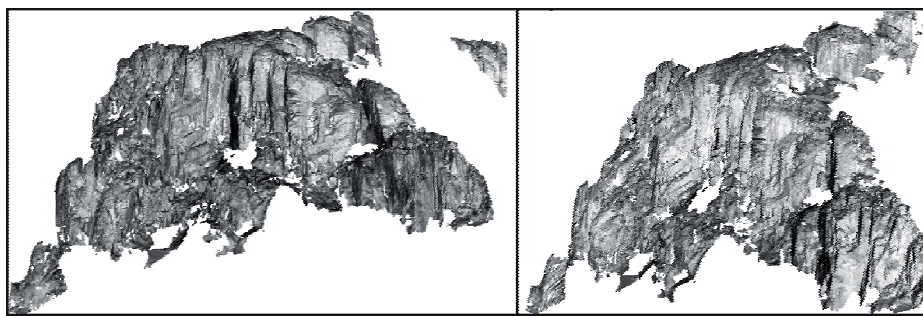


Figura 3 –Due diverse prospettive del DTM derivante dal rilievo Laser Scanner Terrestre.

3.2) Monitoraggio con Interferometria SAR Terrestre

L'Interferometria SAR Terrestre è una tecnica di monitoraggio delle deformazioni sviluppata sul finire degli anni '90 dalla trasposizione su strumentazioni basate a terra di tecnologie già in uso da satellite (Massonnet, Fiegl, 1998). Questa tecnica di monitoraggio è in grado di fornire mappe bidimensionali di spostamento dell'areale monitorato con un'accuratezza di alcuni decimi di mm. Le mappe SAR sono costituite da pixel di dimensioni variabili tra pochi decimetri e pochi metri (a seconda della distanza dello scenario) e sono riferite ad un sistema di coordinate locali del sensore dove la direzione di *range* corrisponde alla distanza radiale strumento-target e quella di *cross-range* alla direzione normale a quest'ultima (ovvero direzione parallela al binario) (Fig.4). L'elevata frequenza temporale di acquisizione del dato (una mappa ogni pochi minuti), la portata sino a 3-4

km e l'operatività in qualsiasi condizioni meteo-climatica e di illuminazione (grazie all'utilizzo di segnali nel dominio delle microonde) sono alcune delle ulteriori caratteristiche che fanno del GBInSAR una delle tecniche più avanzate per il monitoraggio dei versanti instabili. Lo strumento utilizzato nel presente lavoro è un IBIS-L della IDS S.p.A. avente una lunghezza del binario di 2 metri, emissioni del segnale in banda Ku (~ 16.75 GHz) e larghezza di banda di 300 MHz. Il sistema di monitoraggio è stato ubicato all'interno del campo di atletica del CONI di Bolzano ad una distanza compresa tra 700 m e 1000 m dalla scarpata di interesse (Fig.5). Nell'ambito del primo anno di progetto (Maggio 2008 - Maggio 2009) sono state eseguite 6 campagne di misura con una cadenza circa bimestrale per una totale di 40 giorni di dati con l'acquisizione di oltre 5500 mappe SAR.

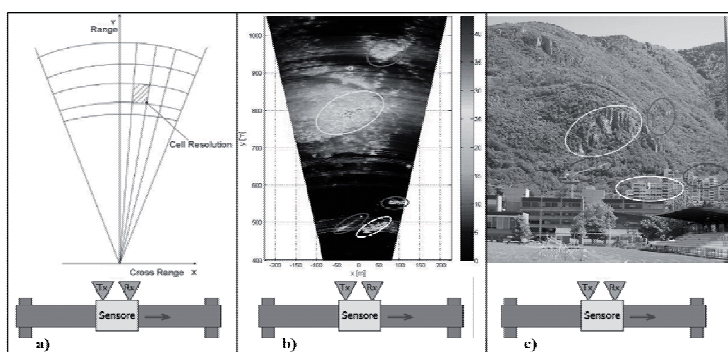


Figura 4 – Schema di acquisizione mappe SAR: a) schema esemplificativo del sistema di coordinate locali; b) mappa in potenza dell'area di studio; c) foto dello scenario. Le ellissi di figura b) e c) identificano aree corrispondenti.

Contestualmente ai dati SAR sono stati acquisiti anche dati meteo (pluviometria, pressione atmosferica, umidità relativa, temperatura, direzione ed intensità del vento) attraverso un'apposita stazione ubicata in prossimità della postazione di monitoraggio GBInSAR.

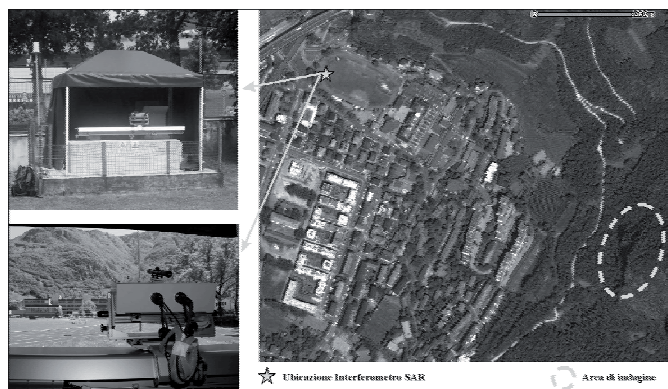


Figura 5 – Foto e vista aerea della postazione di monitoraggio.

3.3) Integrazione Dati

L'integrazione dei dati TLS e GBInSAR ha richiesto un'apposita campagna di georeferenziazione che ha permesso di identificare contestuale sulle mappe radar e sul DTM alcuni punti comuni sulla scarpata. Nel dettaglio sono stati posizionati *corner reflectors* per il radar e prismi per la stazione totale su alcune zone prescelte della scarpata. Contestualmente sono state eseguite acquisizioni

radar e sono stati rilevati i punti con stazione totale. Sono stati così identificati 12 punti omogeneamente distribuiti sulla scarpata (Fig.6) e sono state poi ricavate le loro coordinate radar e topografiche. Nel dettaglio l'attività è stata eseguita attraverso le seguenti azioni:

- calate di rocciatori nella porzione di scarpata prescelta;
- posizionamento del *corner reflector* (tramite ancoraggio a parete) e orientazione dello stesso nella direzione dell'Interferometro SAR;
- acquisizione di una mappa SAR con il *corner reflector* posizionato;
- rimozione del *corner reflector*;
- posizionamento del prisma per stazione totale ed orientamento verso la stazione totale;
- rilevamento del punto tramite stazione totale;
- rimozione del prisma;
- trasferimento al punto successivo.

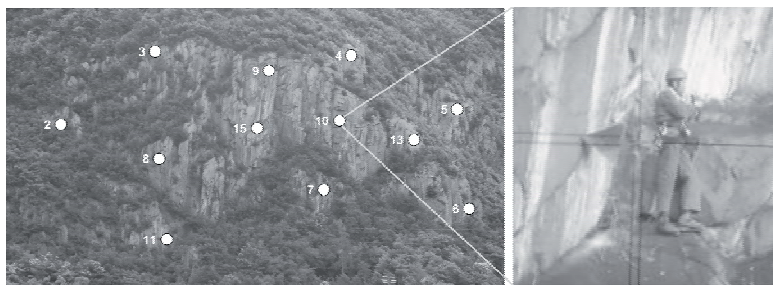


Figura 6 – Ubicazione dei punti utilizzati per la georeferenziazione dei dati TLS e GBInSAR attraverso l'ubicazione di un *corner reflector* e prismi.

Ottenuti i punti di riferimento in parete è stato possibile georeferenziare e sovrapporre con elevata precisione i dati TLS e GBInSAR. Per tale operazione è stato appositamente sviluppato un modello numerico denominato LARA (LAser-RAdar) in grado di garantire, per il caso in questione, una precisione media di georeferenziazione sul punto nell'ordine di 1 metro.

L'algoritmo LARA permette di effettuare la mappatura dei pixel radar sul DTM sfruttando la conoscenza delle coordinate dei *corner reflectors* nei due sistemi di riferimento: radar e geografico. La ricostruzione delle coordinate radar da bi-dimensionali a 3D avviene tramite tecnica tomografica sul set di dati GBInSAR acquisiti con differenti offset verticali della testa radar (*baselines*).

Tale georeferenziazione garantisce una più chiara lettura ed interpretazione delle mappe SAR grazie alla loro visualizzazione 3D (Fig.7) permettendo così di identificare ed ubicare con esattezza eventuali settori della scarpata che presentino condizioni di instabilità o anomalie nel comportamento deformativo.

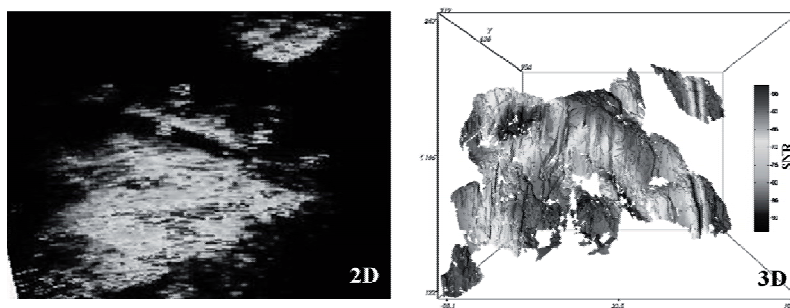


Figura 7 – Mappa dell'SNR termico in coordinate locali SAR (a sinistra); mappa dell'SNR termico in coordinate topografiche, sovrapposta al DTM derivante da Laser Scanner (a destra).

4) Conclusioni

Nel primo anno di attività sono state acquisite oltre 5500 mappe radar con tecnica GBInSAR, dati topografici di elevata accuratezza (tra 2 e 5 cm) derivanti da rilievi con TLS e dati meteorologici. I dati GBInSAR e TLS sono stati integrati ottenendo così mappe SAR ed interferogrammi 3D (Fig.8).

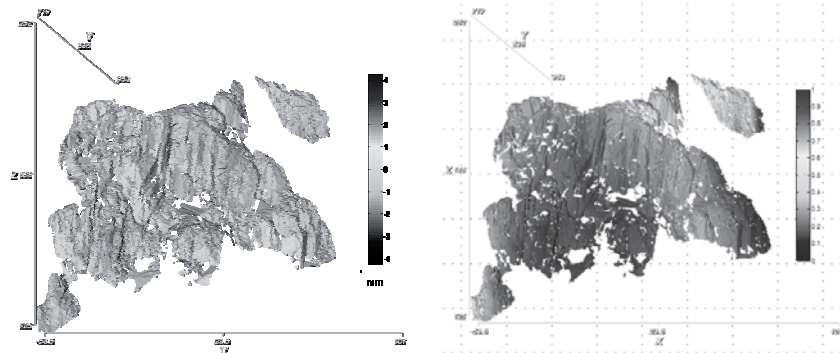


Figura 8 – Interferogramma tra due dati SAR, in coordinate topografiche, sovrapposto al DTM derivante da Laser Scanner (sinistra) e coerenza interferometrica (destra).

L'analisi delle deformazioni ottenute con Interferometria SAR Terrestre nell'arco del primo anno di progetto ha evidenziato che nessun settore della scarpata è affetto da deformazioni permanenti superiori a 1-2 mm. Tuttavia, dall'analisi integrata con i dati meteo è stato possibile identificare in alcuni settori della scarpata (cunei di roccia) un "comportamento elastico" più evidente, specialmente in corrispondenza di eventi meteorici particolarmente intensi. L'esatta ubicazione di questi settori è stata poi ottenuta per mezzo della georeferenziazione delle mappe GBInSAR e del DTM derivante da TLS. Nel secondo anno di progetto, oltre ad eseguire ulteriori campagne di monitoraggio con Interferometria SAR Terrestre, verranno installati fessurimetri a barra con lettura manuale in corrispondenza di alcune fratture che isolano cunei di roccia nei settori sopradetti. Nell'ambito del presente lavoro sono state mostrate le potenzialità della combinazione delle tecniche GBInSAR e TLS per l'analisi dei crolli in roccia. In particolare è stato dimostrato come la tecnica GBInSAR possa essere utilizzata, oltre che come metodo di "monitoraggio", anche come strumento di "indagine" e mappatura di settori suscettibili a fenomeni di instabilità di versante per crollo.

Riferimenti bibliografici

- Bozzano F, Mazzanti P, Prestininzi A. (2008), "A radar platform for continuous monitoring of a landslide interacting with an under-construction infrastructure", *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, 2: 71-87.
- Cruden DM, Varnes DJ. (1996), "Landslide types and processes", in: *Landslides Investigation and Mitigation*; Transportation Research Board, Turner AK, Shuster RL (eds), National Research Council, Special Report 247. National Research Council: Washington, DC; 36-75.
- Lichti DD, Gordon SJ, Stewart MP. (2002), "Ground-based Laser Scanners: Operation, Systems and Applications", *Geomatica*, 56: 21-33.
- Tarchi D, Rudolf H, Luzi G, Chiarantini L, Coppo P, Sieber AJ. (1999), "SAR interferometry for structural changes detection: A demonstration test on a dam", in: *Proc. IGARSS*: 1522-1524.
- Massonnet D, Feigl KL. (1998), "Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface", *Reviews of Geophysics*, 36: 441-500.