

## **Progetto SloMove – Validazione di sistemi di monitoraggio satellitari e terrestri per deformazioni del suolo**

Christian Iasio (\*), Giulia Chinellato (\*), Volkmar Mair (\*\*), Claudia Strada (\*\*),  
David Mosna (\*\*)

(\*) Accademia Europea della Ricerca, Istituto di Telerilevamento applicato, Bolzano, giulia.chinellato@eurac.edu

(\*\*) Ufficio Geologia e Prove materiali, Provincia Autonoma di Bolzano

### **Riassunto**

Le indagini basate su sistemi radar-satellitari rappresentano, per operatività, risoluzione e copertura, una soluzione ottimale alla domanda di monitoraggio ordinario di porzioni estese di territorio soggetto a dissesto idrogeologico, ma hanno bisogno di essere validate con misure terrestri nella prospettiva di confermare una eventuale tendenza ad un aumento delle condizioni di rischio. Per la loro stessa definizione, questo tipo di strumenti non può rispondere a esigenze di allerta precoce; per cui è opportuno prevedere, sin dalle prime fasi di pianificazione, l'integrazione di diversi sistemi di misura per poter far evolvere, in caso di necessità, il monitoraggio in un sistema di allerta. Il progetto Interreg SloMove aspira a valorizzare l'utilizzo integrato dell'interferometria differenziale radar satellitare insieme a tecniche di rilevazione terrestre più comuni, come il D-GPS e il Laser Scanner da terra. Il progetto mira a consolidare conoscenze ed esperienze nello studio di fenomeni di deformazione gravitativa a cinematica lenta attraverso lo studio di due siti campione posti a quote comprese tra i 2500 e i 3000 m, in Val Senales (Alto Adige, Italia) e Pontresina (Cantone dei Grigioni, Svizzera). Il monitoraggio da satellite impiegato in SloMove si basa sull'utilizzo di elementi riflettenti già presenti sulla superficie e di riflettori artificiali. Nell'ambito del progetto sono stati sviluppati specifici *corner reflectors* con associati altri tipi di *target* di riferimento per il *laser scanner* terrestre e punti di misurazione per il rilievo GPS, al fine di facilitare la validazione dei dati e il passaggio da un sistema di misura all'altro. In questo contributo preliminare sono illustrate le attività finora condotte per la messa in opera del sistema di monitoraggio integrato nei due siti campione, tenendo conto delle particolari limitazioni tecnico-operative delle tecnologie di misura selezionate in un contesto di alta montagna.

### **Abstract**

The monitoring carried out by radar satellite systems represents, for practicability, resolution and cover, the best solution for keeping under observation extensive areas affected by hydrogeological instability. On the other hand, satellite remote sensing needs to be corroborated by terrestrial measurements particularly in the case they are used to evaluate an increasing of the deformation trend for community protection. Since this technique needs some time between detection activity and resulting output, it needs to be integrated with other system in order to make possible to switch from ordinary monitoring to early warning system in case this is required by its evolution. The Interreg funded project SloMove aims to structure and consolidate methodologies aimed to integrate differential interferometry technique with most common terrestrial technologies as D-GPS and Terrestrial Laser Scanning for the monitoring of slow mass movements in two test sites located between 2500 and 3000 m of altitude, in Val Senales (South Tyrol, Italy) and Pontresina (Grisons Canton, Switzerland). The satellite monitoring techniques used in SloMove is based on natural persistent scatters and artificial reflectors. Within the aim of the project we designed and installed specific artificial reflectors associated with reference target for terrestrial laser scanning

measurement points for periodic GPS surveys, to facilitate the data cross validation and, in the perspective of an operational use, to be able to consistently switch from one system to the other. In this preliminary contribution we present the activities performed so far to set up the integrated monitoring system in the two test sites, taking in consideration the peculiar technical and operational constraints of the selected technologies in a such as challenging high mountain environment.

## **Introduzione**

Il monitoraggio dei fenomeni d'instabilità del terreno costituisce lo strumento principale per creare un quadro conoscitivo attendibile e indispensabile per la gestione del pericolo e delle conseguenti condizioni di rischio. Il controllo di deformazioni di versante tramite l'impiego di immagini satellitari acquisite con frequenza molto alta, da pochi giorni a poche settimane, permette la stima della loro evoluzione nel tempo e nello spazio, con particolare attenzione alle variazioni del trend delle deformazioni. Tra gli strumenti disponibili, temporalmente lineari o non lineari, si annoverano l'interferometria multi-temporale e le misure GPS. La differente risoluzione spaziale e temporale a cui è possibile riferire la misura, il significato dimensionale e l'accuratezza della misura stessa, rende le due tecnologie complementari: il posizionamento che si ottiene con il GPS è tridimensionale e con una alta risoluzione temporale; le tecniche SAR multi-temporali, offrono invece informazioni sullo spostamento solo lungo la linea di vista del satellite, restituendo però una informazione distribuita sul territorio secondo una griglia di risoluzione del sensore impiegato, in genere superiore al metro. Con l'aggiunta di una terza tecnologia, il Terrestrial Laser Scanner (TLS), il progetto SloMove, ambisce ad approfondire la tematica dell'integrazione dei metodi di controllo di processi naturali a scopo di monitoraggio e di allertamento precoce, documentando in maniera più accurata cosa è necessario tenere in considerazione e come ottimizzare il passaggio senza soluzione di continuità da una tecnologia remota satellitare ad una terrestre. Ognuna delle tre tecnologie impiegate nel Progetto, multi-interferometria radar-satellitare, GPS (Global Positioning System) differenziale e TLS (Terrestrial Laser Scanner), presenta proprietà differenti ma fondamentali nel costituire il valore aggiunto dei risultati finali del monitoraggio. I dati ricevuti dai satelliti coprono aree molto ampie a costi contenuti; tuttavia le immagini si ottengono con frequenza plurigiornaliera, che ha vincoli di programmazione e pianificazione imposti da sistemi satellitari complessi e rigidi, vincolati ai tempi di rioccupazione delle piattaforme costituenti la costellazione satellitare. I dati ottenuti tramite rilievi terrestri con strumenti GPS o laser possono essere invece molto precisi e la frequenza delle misure è stabilita direttamente da chi progetta il monitoraggio ed adeguata all'evoluzione del fenomeno osservato. Il progetto intende ottimizzare l'impiego di entrambi gli approcci di monitoraggio sommandone i vantaggi e cercando di superarne i limiti: sfruttare appieno i dati satellitari per il monitoraggio dei movimenti di versante fino a quando l'intervallo delle deformazioni rimane sotto una certa soglia ed intervenire invece con un monitoraggio in loco più accurato e frequente che permetta una valutazione del rischio quasi in tempo reale in caso di necessità. In alta montagna molti versanti sono soggetti a lente e continue deformazioni del suolo la cui evoluzione non è prevedibile a priori. In questi ambienti, l'integrazione di sistemi di monitoraggio secondo l'approccio proposto dal progetto, offre la possibilità di riconoscere precocemente zone potenzialmente pericolose, di modellizzare e prevedere il loro sviluppo al fine di rilevare condizioni limite che possono mettere a rischio la sicurezza di strutture e persone. Al Progetto SloMove, finanziato dal Programma Interreg Italia-Svizzera, partecipano l'Ufficio Geologia e prove materiali (Provincia Autonoma di Bolzano, Italia), Eurac – Istituto di Telerilevamento applicato (Provincia Autonoma di Bolzano, Italia), WSL - Istituto per lo studio della neve e delle valanghe (Cantone dei Grigioni, Svizzera) e Abenis AG - Ingenieure + Planer (Cantone dei Grigioni, Svizzera).

### Inquadramento dei siti campione

I siti di studio del progetto, localizzati in Val Senales, nella Provincia Autonoma di Bolzano, e a Pontresina, nel Cantone dei Grigioni (Svizzera), sono affetti da processi di deformazione a cinematica lenta. Le due aree presentano caratteristiche morfologiche e ambientali che consentono la buona applicabilità operativa della tecnica interferometrica differenziale e delle altre due tecnologie impiegate (GPS e TLS). L'area test italiana è ubicata a nord-ovest della Val Senales, nella località sciistica di Maso Corto, Comune di Senales. L'area ha un'estensione di ca. 45 ha e comprende un dislivello di quota di ca. 500 m (da ca. 2300 a 2800 m s.l.m.). Dal punto di vista geologico (Progetto CARG, Foglio 012 Silandro, dati non pubblicati, elaborati dal dott. Gianluca Piccin) il sito s'inserisce nel Complesso Ötztal-Stubai, l'unità cristallina più estesa delle Alpi Orientali, costituito da rocce metamorfiche come gneiss, paragneiss e micascisti. Il substrato è ricoperto da sedimenti quaternari del Sub-sintema Weissbrunnalm (Sintema del Garda) di origine glaciale e misto di versante. La porzione occidentale della cima Punta delle Frane presenta distintamente un processo di deformazione gravitativa tipo *rock slide*, con immersione SSE ed inclinazione dei piani sub-verticale, come testimoniato da trincee, contropendenze e sdoppiamenti di cresta (**fig.1**).

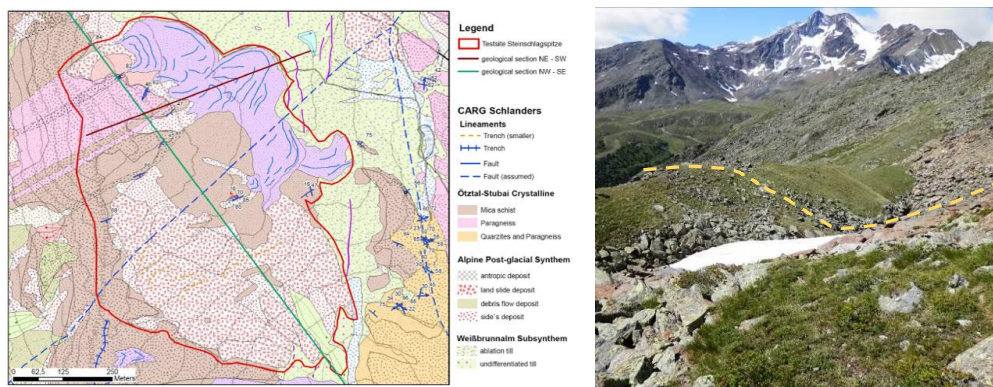
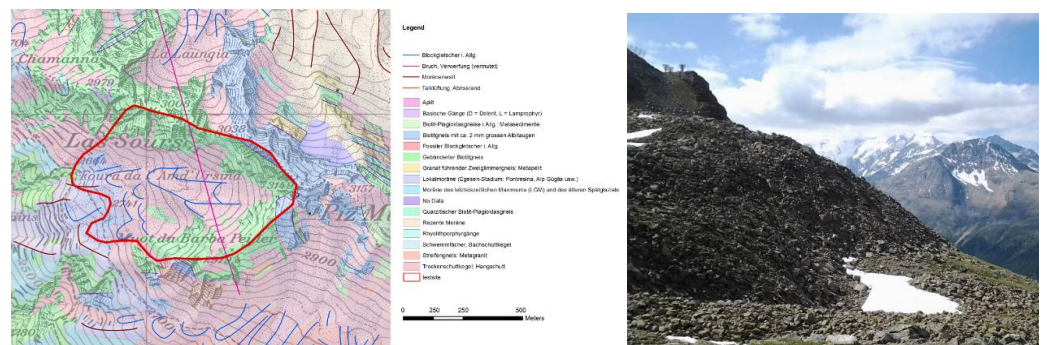


Figura 1. Estratto della Carta Geologica D'Italia (Progetto CARG, Foglio 012 Silandro, dati non pubblicati, elaborati dal dott. Gianluca Piccin (sinistra); trincea e contropendenza (in giallo tratteggiato, destra).

L'estremo grado di fratturazione della roccia dovuto alla foliazione e alla presenza di lineamenti strutturali locali ai quali sono associati i set principali di discontinuità, predispone alla formazione di enormi quantitativi di detrito che ricopre abbondantemente il sito. Frequenti, come indicato anche dal toponimo della cima, sono i fenomeni di crollo che raggiungono alte volumetrie e dimensioni metriche dei blocchi. Nella porzione più settentrionale del rilievo si rinvencono fenomeni di permafrost tipo *rock glacier*, tipici di ambienti di alta quota (superiore ai 2200-2500 m). I *rock glacier* (Krainer&Mostler, 2000) sono corpi costituiti da una o più lingue e forme lobate, caratterizzati da detrito con intercalate lenti di ghiaccio di spessore variabile, affetti da un movimento lento di creep per deformazione e modificazione del ghiaccio e per uno scivolamento alla base. Su questa zona è stato possibile raccogliere informazioni preliminari sui tassi di deformazione attraverso le serie temporali di dati radar acquisiti dai satelliti ERS, Envisat e Radarsat e processati con algoritmi proprietari dalla società TeleRilevamento Europa nell'ambito del progetto europeo GMES "SAFER". Questi dati hanno fornito una prima indicazione relativa al tasso di deformazione osservabili e alla densità dei riflettori naturali rilevabili in sito. L'intervallo di deformazione massimo per i processi sopra descritti lungo la LoS è risultato essere di ca 10 mm/a.

Nel sito campione svizzero (Schafberg) è presente il *rock glacier* Foura da l'amd Ursina, complesso di tre indipendenti *rock glacier* ubicati in un circo glaciale sopra l'abitato di Pontresina, nella Valle



*Figura 2. Estratto dalla Carta Geologica della Svizzera (map © swisstopo (DV03349.2) (sinistra); fronte del rock glacier (destra).*

## Metodologia

Nelle fasi preliminari di pianificazione del monitoraggio integrato si è proceduto alla valutazione delle limitazioni associate alle tre tecnologie impiegate, tenendo conto dei condizionamenti logistici e operativi imposti dagli ambienti dei siti sperimentali. L'impiego della multi-interferometria nello studio di fenomeni geologici in ambiente montano e collinare deve preventivamente considerare l'assetto morfologico e la variabilità stagionale della copertura dell'area di studio, al fine di pianificare correttamente modi e tempi delle acquisizioni e sfruttare così al meglio il potenziale di questa tecnica di monitoraggio. È dunque necessario procedere a un'attenta valutazione della geometria di acquisizione del satellite più idonea rispetto all'orientamento dei versanti, verificare che la densità di oggetti riflettenti naturali sia effettivamente sufficiente a rappresentare esaurientemente il fenomeno, e stimare le caratteristiche della cinematica attesa del fenomeno da indagare. Pianificando un monitoraggio ordinario continuo per alcuni anni, soprattutto in ambiente alpino, va stimata la persistenza della copertura nevosa che può mascherare i riflettori naturali presenti al suolo limitando il periodo di acquisizione alla sola stagione estiva. In alternativa, quando è necessario ottenere informazioni sulle deformazioni anche durante il periodo invernale, si può procedere installando una rete di riflettori artificiali rilevabili tra la neve. La selezione del sensore, del satellite (o della costellazione di satelliti) e della geometria di acquisizione, deve rispondere alle esigenze di accuratezza dei risultati attesi e di granularità (frequenza di acquisizione) che dipendono dalla cinematica del processo di studio e dal tasso di deformazione che si è interessati ad osservare. Per il progetto SloMove si è deciso di elaborare i dati SAR seguendo il metodo di processamento multi-interferometrico denominata SBAS, acronimo di Small BASeline Subset, sviluppato interamente presso l'IREA-CNR di Napoli. Questo algoritmo consente di generare mappe di velocità media di deformazione e di seguire l'evoluzione temporale degli spostamenti di singoli punti riflettenti con caratteristiche costanti (*persistent scatterers*) presenti in tutte le immagini radar processate. Anche questo metodo, come la maggior parte di quelli basati su telerilevamento da satellite, permette di coprire con una stessa elaborazione ampie superfici. La mappa non è continua ma risulta filtrata di quei pixel che hanno valore di coerenza inferiore ad un limite predefinito, consentendo di minimizzare alcuni effetti (rumore di decorrelazione spaziale e temporale) che rendono più difficile l'interpretazione comprensiva dei dati. Le mappe di deformazione ottenute con

questo metodo, a differenza dei primi algoritmi sviluppati per essere utilizzati soprattutto in altri contesti e per altre applicazioni, sono caratterizzati da un'elevata densità spaziale di punti monitorabili e da un'accuratezza nella stima della velocità di spostamento di circa 1 mm/anno e di circa 5 mm sulle misure di deformazione (Casu et al., 2006). Per ottenere queste accurattezze, il processamento con l'algoritmo SBAS deve prevedere un dataset minimo di 15-20 immagini.

Per valutare la migliore geometria di acquisizione, sono state simulate alcune mappe di *layover*, *shadowing* e *foreshortening*. Questo tipo di elaborato permette di stimare dove si localizzano aree prive di informazioni o affette da distorsioni geometriche dovute all'interazione fra angolo di acquisizione dei dati radar e morfologia del versante, e quindi non sempre utilizzabili per ricavare i dati necessari allo studio delle aree instabili. La simulazione ha permesso di selezionare le geometrie di acquisizione dei dati satellitari più idonee al monitoraggio dei siti sperimentali. Sulla base dei risultati di tutte le valutazioni preliminari si è scelto di acquisire immagini utilizzando la costellazione di ultima generazione Cosmo SkyMed, con risoluzione 3m\*3m e tempi di rivisitazione di 8-16 giorni. Le acquisizioni sono state programmate in modalità STRIPMAP *right looking* ascendente (N 362°, *incidence angle* 33.09) per il sito italiano e discendente (N 187°, *incidence angle* 31.45) per quello svizzero. Per raggiungere il numero minimo (15-20 immagini), d'immagini necessario per ottenere una misura affidabile delle deformazioni si prevede di realizzare il monitoraggio nel 2013 e nel 2014 e solo durante i periodi in cui le superfici non sono coperte dal manto nevoso. Inoltre si acquisteranno dati di archivio relativi al 2012. Quest'anno le immagini sono state acquisite fra giugno e settembre. Per integrare e "ancorare" la rete di *persistent scatterers* (naturali) ricavati dall'elaborazione delle immagini SAR con i risultati dei rilievi GPS e TLS, nei due siti sperimentali sono stati installati un totale di 7 riflettori artificiali che costituiscono punti fissi di controllo comuni. Tre riflettori artificiali, o *corner reflectors*, sono stati installati nel sito svizzero e 4 in Val Senales, su aree valutate "stabili" rispetto a quelle circostanti. Ad essi sono stati associati punti di misura GPS e altri *reference target* per il TLS, attraverso un sistema e dei criteri sviluppati durante il progetto. I *corners* sono stati testati nell'autunno 2012 per verificarne la "visibilità" nell'immagine SAR, in funzione anche della loro dimensione, composizione e orientamento rispetto alla linea di vista del satellite; contemporaneamente è stata realizzata la prima campagna di misura con GPS e con TLS. Questi due metodi di rilevazione da terra presentano limitazioni tecnico-operative legate principalmente all'accessibilità al sito e all'estensione dell'area d'indagine, mentre sono molto utili nella validazione dei dati ottenuti con il telerilevamento radar e per lo studio di fenomeni ad evoluzione più rapida. Prima dell'inizio delle misure si è proceduto alla messa in opera della rete geodetica dei punti GPS e alla localizzazione delle basi per il posizionamento del *laser scanner*: queste attività hanno richiesto una lunga fase di programmazione, l'organizzazione di un nutrito gruppo di operatori e numerosi giorni di lavoro ad alta quota. Per quanto riguarda il rilievo GPS il posizionamento, e conseguentemente gli spostamenti che si ricavano da rilievi ripetuti sugli stessi punti, è tridimensionale, ovvero planimetrico e altimetrico. La procedura di misura "differenziale" impiegata nel progetto consiste nel determinare non tanto la posizione di punti isolati e indipendentemente l'uno dall'altro, ma la distanza (o linea di base, *baseline*) fra coppie di punti. Pertanto è necessario lavorare con almeno due ricevitori; essi devono essere posti sui due estremi della base e misurare la propria posizione contemporaneamente per una durata che va da qualche decina di minuti a qualche ora a seconda dell'accuratezza che si vuole ottenere. Maggiore è il tempo di stazionamento, migliore sarà la stima del vettore *baseline* nelle tre componenti. La durata della misura è stabilita in base al numero di satelliti rilevati, che deve essere un minimo di 4, e della loro configurazione, segnalata in tempo reale da parametri geometrici forniti dal sistema stesso sulla base delle effemeridi di costellazione. La rete di monitoraggio materializzata (fig. 3) in entrambi i siti è stata rilevata con 2 ricevitori a doppia frequenza operanti come basi di riferimento e un ricevitore analogo come *rover* che occupava, una alla volta, i punti da rilevare. La misura di ogni *baseline* è durata un minimo di 30 minuti (modalità **statico-rapida**). In questo modo si è voluto dare ridondanza alle osservazioni, per ottenere una migliore stima dell'accuratezza delle misure. In questo contesto, per ridondanza, si

intende la differenza tra il numero di osservazioni (le misure effettuate) e il numero di parametri incogniti (le posizioni dei punti).

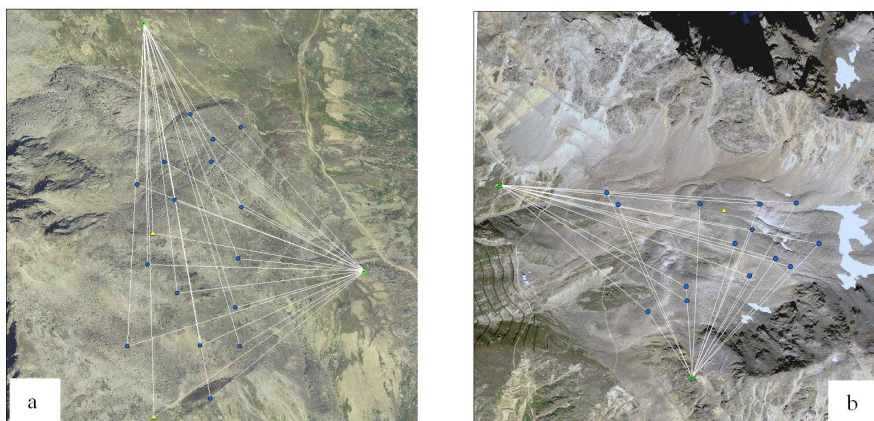


Figura 3. Rete di misura in a. Val Senales e b. Schafberg; triangoli gialli: riflettori artificiali con innesto a baionetta per sensore GPS, triangoli verdi: riflettori artificiali con innesto a baionetta per sensore GPS che fungono da BASE, pallini blu: capisaldi. In bianco sono indicate le baseline.

Nella fase di progettazione del sistema di monitoraggio integrato, per quanto concerne il GPS si è prestato particolare attenzione a come strutturare la rete di rilievo in funzione dei settori del versante caratterizzati da differenti velocità di deformazione e delle direzioni preferenziali dei movimenti. Si è poi proceduto alla materializzazione dei capisaldi, costituiti da barre filettate completate da innesti a baionetta (**fig. 4**), inseriti su blocchi e roccia affiorante in prossimità di alti topografici rispetto alle zone circostanti.



Figura 4. Riflettore artificiale e antenna di una “Base station” della rete GPS (sinistra); Caposaldo (centro); strumento di valutazione della rotazione dei blocchi (destra).

Si è tenuto conto inoltre che i punti ubicati su blocchi di roccia potevano essere interessati non solo da un moto traslativo ma anche rotazionale, dando luogo a misure di spostamento falsate in pianta e in quota. Per valutare la componente rotazionale del blocco è stato ideato un supporto (**fig. 4**) che, con l’ausilio di una livella elettronica e di una bussola, permette di ottenere dati ancillari per la correzione del modulo di spostamento rilevato con il GPS. Il calcolo e la correzione della componente rotazionale viene eseguito in fase di post elaborazione dei dati GPS. Nel 2013 sono stati condotti 3 rilievi GPS (luglio, agosto, settembre) per ogni sito campione. Durante le estati del 2012 e del 2013, il gruppo di lavoro svizzero del WSL-SLF ha realizzato due rilievi con *laser scanner* da terra. Questo metodo di rilievo fornisce una nuvola di punti che rappresenta la superficie

dell'oggetto scansionato e permette la creazione di un modello del terreno con una precisione centimetrica ed una risoluzione dell'ordine del decimetro. La tecnologia, quando impiegata per analisi multi-temporali, rende possibile l'elaborazione di un modello di deformazione 3D della superficie e il monitoraggio di singoli elementi. Al fine di consentire l'integrazione di questi dati nel sistema di monitoraggio, è stato necessario materializzare in sito dei punti di controllo con target retro-riflettenti che permettono di riportare le misure nel sistema di coordinate comune. I punti di controllo sono costituiti da fogli riflettenti posti sopra una piastra di metallo (**fig. 5**) che devono essere posizionati su punti esterni all'area in movimento o ritenuti stabili.



*Figura 5. Punto di controllo TLS (sinistra); esempio di configurazione combinata dei reference point per le tre tecnologie (riflettore artificiale SAR con innesto per il sensore GPS e punto di controllo TLS) installati in maniera solidale su un blocco di roccia omogeneo e stabile, (destra).*

I punti di controllo, mai inferiori a 3, sono stati installati in siti ben spazati e distribuiti fra loro, valutandone la visibilità rispetto alla posizione e all'orientamento dello scanner. Lo scanner deve essere installato su superfici assolutamente stabili, con la migliore visibilità possibile dell'area da rilevare e ad una distanza sensore-superficie bersaglio conforme alla tipologia di scanner impiegato. In entrambi i siti sono state effettuate misure da più punti di stazionamento dello scanner, integrando in post-elaborazione le nuvole di punti in modo da colmare le rispettive lacune di dati prodotte per *shadowing* del *laser beam*. A differenza della tecnica radar e del segnale GPS, la qualità dei dati rilevati con TLS e l'operatività complessiva di questo sistema possono essere fortemente influenzati dalle condizioni meteorologiche, in particolare pioggia, nuvole, nebbia e forte vento, soprattutto quando impediscono la visibilità della superficie d'interesse o producono importanti artefatti nella nuvola di punti rilevata.

### **Sintesi e considerazioni generali sui criteri di progettazione di un sistema di monitoraggio integrato in un contesto di alta montagna**

Le attività condotte nell'ambito del progetto SloMove, riguardano la verifica delle modalità d'integrazione di diversi sistemi di monitoraggio, al fine di applicarli in maniera ottimizzata a zone soggette a deformazioni lente e potenzialmente pericolose, su vasta scala. La verifica e la "normalizzazione" dell'approccio di monitoraggio proposto prendono in considerazione anche i limiti tecnico-operativi legati alle condizioni morfologiche ed ambientali del contesto applicativo di alta quota. La potenzialità della multi-interferometria è limitata da fattori come l'esposizione e la pendenza dei versanti, la copertura boschiva e la presenza di bersagli naturali, oltre che dalla congruenza fra cinematica (velocità e andamento) del fenomeno e frequenza di acquisizione dei dati satellitari. L'impiego di algoritmi per elaborati multi-interferometrici da SAR richiedono dataset minimi superiori a 15 immagini se si vogliono ottenere accuratèzze adeguate. L'utilizzo di piattaforme satellitari duali, disponibili per applicazioni sia civili che militari, a causa di possibili conflitti sulla programmazione delle acquisizioni dei dati radar, rende difficile lo studio di siti ad alta quota e l'impiego di soli riflettori naturali. Di conseguenza, soprattutto quando sono previsti lunghi periodi di monitoraggio, è preferibile utilizzare satelliti destinati esclusivamente a fini civili e

ad applicazioni di tipo interferometrico, come le future missioni Sentinel-1 dell'ESA e se necessario, impiegare una rete di *corner reflectors* adeguatamente dimensionata per ottenere informazioni rappresentative dell'evoluzione del fenomeno anche durante la stagione invernale. In quest'ultimo caso, e in generale propedeuticamente all'impiego di tutte le tecniche di monitoraggio che implicano lavoro di campagna e l'installazione in loco di strumentazione, è necessario valutare l'accessibilità al sito e le condizioni di pericolo esistenti per gli operatori. Per quanto concerne questo genere di problematiche, le maggiori difficoltà riscontrate durante la fase iniziale del progetto SloMove riguardano la materializzazione della rete geodetica, la posa delle basi per lo *scanner* e i riflettori, nonché la conduzione stessa delle misure GPS e TLS. Con la campagna di monitoraggio iniziata nel 2012 e portata avanti nel 2013, si disporrà a breve di un set di dati sulla base dei quali si procederà alla prima fase di elaborazione ed interpretazione delle deformazioni attive nei due siti sperimentali.

### Bibliografia

- Berardino P., Fornaro G., Lanari R. e Sansosti E. (2002), "A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms" IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 40(8): 1173-1182
- Colesanti C., Wasowsky J., (2006), "Investigation landslides with space-born Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry"
- F Casu, M Manzo, R Lanari (2006), "A quantitative assessment of the SBAS algorithm performance for surface deformation retrieval from DInSAR data".
- Casu F., Manconi A., Pepe A. and Lanari R., (2011), "Deformation Time-Series Generation in Areas Characterized by large displacement dynamics, the SAR amplitude PixelOffset SBAS technique"
- Ferretti A., Prati C., Rocca F. (2001), "Permanent scatterers in SAR interferometry", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 39(1): 8-20
- Fornaro G., Lanari R., Sansosti, E. (2002), "A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms"
- Gili J. A., Corominas J., Rius J., (1998), "Using Global Positioning System techniques in landslides monitoring"
- Hanssen R., Usai S. (1997), "Interferometric phase analysis for monitoring slow deformation processes" Proc. 3th ERS Symposium Space at the Service of our Environment, Florence, Italy
- Lanari R., Mora O., Manunta M., Mallorqui J.J., Berardino P. e Sansosti E. (2004), "A smallbaseline approach for investigating deformations on full-resolution differential SAR interferograms", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 42(7): 1377-1386
- Lauknes T.R. (2004), "Long-Term Surface Deformation Mapping using Small-Baseline Differential SAR Interferograms", Thesis for the Degree of Candidatus Scientiarum, University of Tromsø, Norway
- Lauknes T. R., (2010), "Rockslide mapping in Norway by means of interferometric SAR time series analysis". Degree of Philosophiae Doctor
- Linee guida per l'analisi di dati interferometrici satellitari in aree soggette a dissesti idrogeologici, (2009) Piano Straordinario di Telerilevamento ambientale. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare
- Pesci A., Conforti D., Fabris M., Loddo F. , (2006), Quaderni di geofisica. GPS; fotogrammetria digitale e Laser Scanner: un sistema integrato di rilevamento
- Squarzoni. C, Delacourt C., Allemand P., (2003), "Differential single-frequency GPS monitoring of the La Valette landslide (French Alps)"