



Il monitoraggio delle frane in tempo reale

L'INTERFEROMETRIA RADAR DA TERRA E IL NUOVO SOFTWARE EWUSAR POSSONO ESSERE EFFICACEMENTE ADOTTATI PER LA CREAZIONE DI UN SISTEMA DI ALLERTAMENTO RAPIDO E LA GESTIONE DELLE SITUAZIONI DI EMERGENZA ASSOCIATE A FENOMENI FRANOSI



Leggi i contenuti multimediali su www.stradeautostrade.it
Segui le istruzioni di pag. 4.

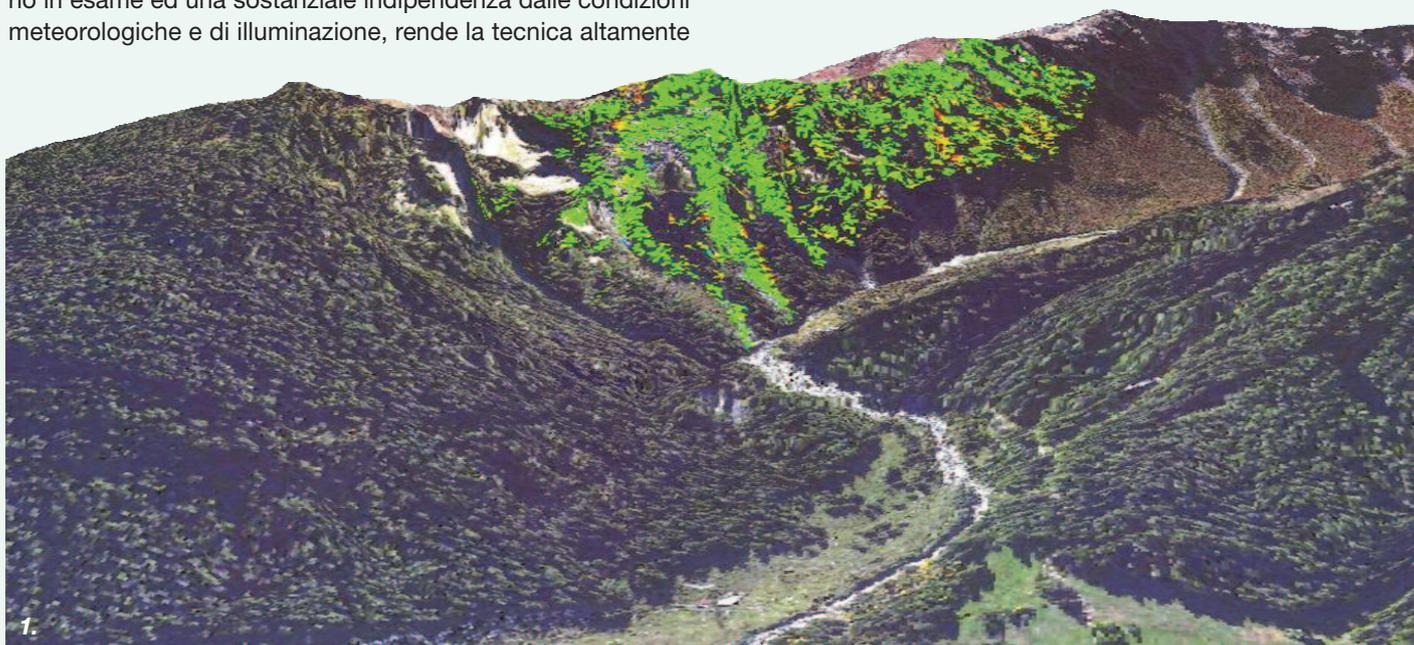
Marco Barla* Francesco Antolini** Stefano Dao***

Nella gestione del rischio associato ai fenomeni franosi, ricoprono un ruolo fondamentale le attività di monitoraggio. Gli strumenti adottati devono essere in grado di misurare in continuo ed in tempo reale, o comunque con un'alta frequenza temporale, grandezze fisiche la cui lettura ed interpretazione sia semplice, automatizzabile e ripetibile nel tempo. Nel caso dei fenomeni franosi in roccia, le grandezze fisiche che si sono rivelate più interessanti per il monitoraggio in tempo reale sono lo spostamento (misurabile sia in superficie che in profondità) e il suo andamento nel tempo, ovvero la velocità che in alcuni casi può fornire anche indicazioni dirette sull'istante di collasso attraverso le relazioni empiriche sviluppate da Saito (1965), Voight (1989), e Fukuzono (1990).

La tecnica dell'interferometria radar da terra (GBInSAR), di recente introduzione in campo ingegneristico, consente di ottenere una ricostruzione spazialmente continua ed estesa arealmente fino ad alcuni chilometri quadrati del campo degli spostamenti superficiali dei versanti instabili con precisione millimetrica (Atzeni et al. 2014). Queste caratteristiche, unitamente al fatto che non è necessario un contatto diretto con lo scenario in esame ed una sostanziale indipendenza dalle condizioni meteorologiche e di illuminazione, rende la tecnica altamente

appetibile ai fini del monitoraggio in tempo reale e come strumento di allertamento rapido (early warning). Diviene così possibile creare dei sistemi efficaci che possono consentire alle popolazioni di allontanarsi per tempo dall'area esposta al rischio. L'applicazione ottimale dell'interferometria radar da terra riguarda quindi il monitoraggio di fronti minerari, frane ma anche grandi strutture quali dighe e ponti.

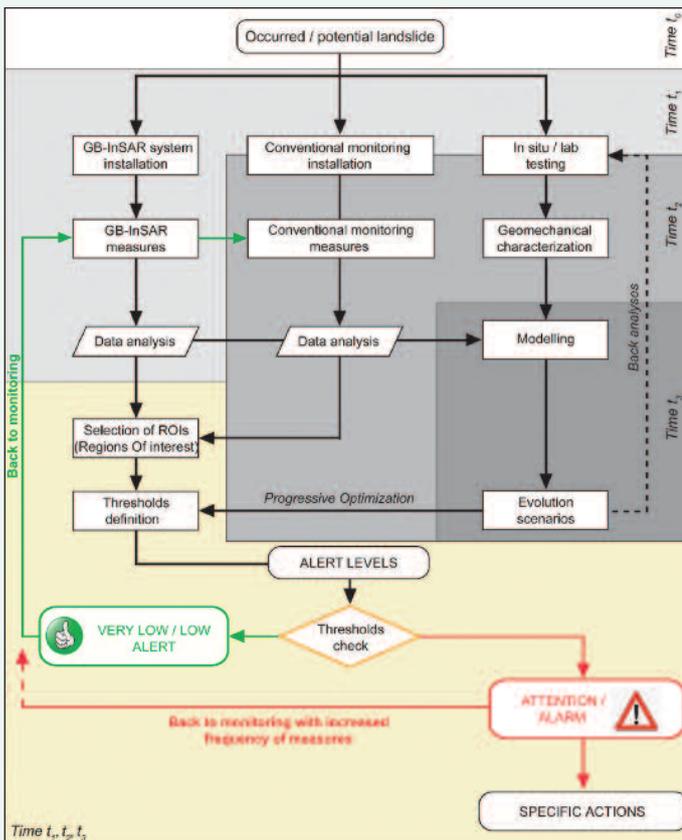
Per realizzare un sistema di allertamento rapido è quindi necessario disporre degli strumenti di monitoraggio più avanzati e all'avanguardia, ma è altrettanto fondamentale avere a disposizione un ulteriore strumento che permetta di analizzare i dati del GBInSAR ed individuare in tempi rapidi le possibili condizioni di criticità connesse al fenomeno osservato. Per questo motivo, al Politecnico di Torino è stato sviluppato il nuovo software denominato EWuSAR (dall'acronimo di Early Warning using Synthetic Aperture Radar) che, accoppiato al sistema di monitoraggio radar da terra, crea un sistema di allertamento rapido in grado di controllare in tempo reale l'evoluzione di un fenomeno franoso e di individuarne le possibili condizioni di criticità.





Il sistema di allertamento rapido

La Figura 2 descrive la metodologia proposta da Barla e Antolini (2012) per la creazione di un sistema di allertamento rapido per le frane in roccia che integra attività di monitoraggio e di modellazione numerica. La prima operazione che si propone di attuare, ferme restando l'adozione delle necessarie misure di sicurezza e protezione, è l'installazione del sistema interferometrico radar da terra (GBInSAR) che permette di ottenere le prime mappe di spostamento e velocità dopo poche ore dalla messa in opera della strumentazione.



2. Il diagramma di flusso del sistema di allertamento rapido (Barla & Antolini, 2012)

Le operazioni di installazione della piattaforma radar, nonostante la complessità dell'attrezzatura, possono avvenire in maniera speditiva grazie ad un nuovo sistema di installazione rapido consistente in blocchi di calcestruzzo alleggerito muniti delle barre di posizionamento del binario e da un sistema di rilevamento di posizione GPS (Figura 3).

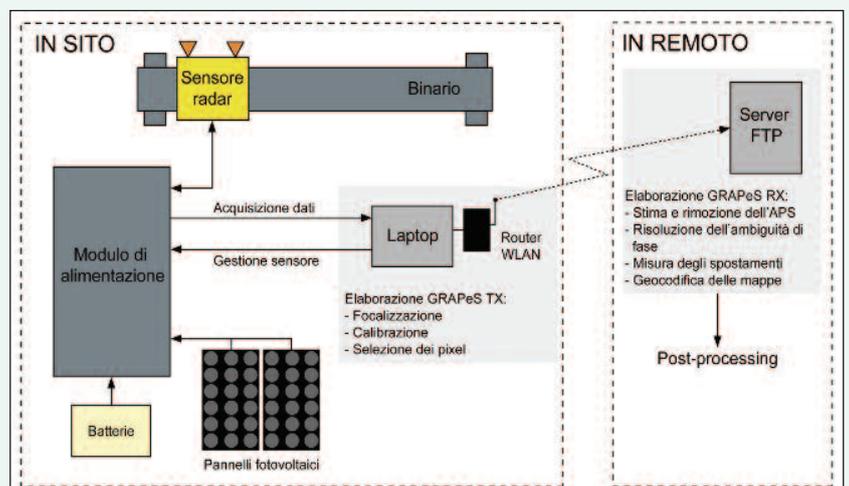
La configurazione del sistema di monitoraggio è riportata nella Figura 4. Il modulo di alimentazione, collegato alle batterie e ai pannelli fotovoltaici (quando presenti), fornisce l'energia necessaria per il funzionamento del sensore radar montato sull'apposito binario e del laptop. Il PC gestisce il funzionamento del GBInSAR e acquisisce i dati che sono rilevati in continuo.



3. La strumentazione GBInSAR IBIS-L di IDS in posizione di lavoro

Tramite il software di elaborazione GRAPeS (Aresys Srl) si individuano i pixel dotati di un buon rapporto segnale/rumore, detti Persistent Scatterers (PS), che vengono utilizzati nelle analisi successive. I dati relativi ai PS sono trasmessi, tramite un router WLAN, ad un server FTP. In remoto è quindi possibile processare ulteriormente i dati in modo da ottenere le mappe di spostamento, velocità e qualità per il post-processing che viene effettuato con il software EWuSAR.

Dall'analisi delle prime mappe di spostamento, in assenza di ulteriori informazioni, sarà possibile ricostruire il quadro deformativo superficiale del fenomeno franoso in esame, selezionando e concentrando l'analisi al contempo sulle zone, identificate nel seguito come Region Of Interest (ROI), più utili per la comprensione dei meccanismi di evoluzione del fenomeno franoso.



4. La configurazione del sistema e della procedura di elaborazione dati (Barla e Antolini, 2012)



Attraverso l'analisi temporale degli spostamenti di queste aree sarà inoltre possibile definire soglie di spostamento connesse con livelli di criticità. In questa fase, vista la mancanza dell'utilizzo di strumenti predittivi e di simulazione del fenomeno in esame (ad esempio modelli numerici), le soglie di spostamento saranno scelte sulla base della diretta osservazione dell'evoluzione del fenomeno e delle serie temporali degli spostamenti ottenute per mezzo dell'interferometria radar da terra e dovranno essere in generale marcatamente conservative. Alle differenti soglie saranno associati differenti livelli di criticità e tramite una continua verifica sulle ROI si potrà definire la prosecuzione normale del monitoraggio (nel caso di criticità assente o ordinaria) oppure, al contrario, si potranno attivare le specifiche azioni di protezione civile (nel caso di criticità moderata o elevata), incrementando al contempo la frequenza delle misure. In un tempo successivo (da alcuni giorni ad alcune settimane a seguito dell'inizio delle attività), le soglie potranno essere ridefinite acquisendo ulteriori elementi di conoscenza per mezzo del monitoraggio convenzionale (inclinometri, estensimetri, tiltmetri, accelerometri, ecc.) di specifiche indagini geotecniche e della modellazione numerica. La relativa analisi dei dati potrà concorrere inoltre ad un progressivo affinamento nella selezione delle ROI e di conseguenza ad una definizione più precisa e completa dei livelli di soglia da utilizzare nella verifica.

Il nuovo software EWuSAR

Il processo metodologico presentato trova il suo complemento nel software EWuSAR, specificamente sviluppato per permettere di individuare le possibili condizioni di criticità relative ad un fenomeno franoso monitorato con radar da terra. Tali criticità sono poi tradotte, se necessario, in segnali di allarme tali da permettere l'attivazione delle procedure volte alla gestione del rischio associato al fenomeno osservato.

Il software acquisisce in automatico le mappe di spostamento, di velocità e di qualità generate in modo continuo dal sistema di monitoraggio GBInSAR e ne esegue l'analisi di criticità (con soglie differenziate in base al tipo di mappa fornita).

L'analisi di criticità può essere effettuata con riferimento a mappe georeferenziate, espresse nel sistema di coordinate geografiche WGS84, o con mappe in coordinate locali, aventi origine degli assi al centro del binario del sistema GBInSAR. Oltre alla modalità di funzionamento manuale, che consente l'analisi di criticità su singole mappe selezionate dall'utente, il software è stato appositamente creato per analizzare in automatico, ad intervalli temporali stabiliti dall'utente, le mappe progressivamente generate dal sistema di monitoraggio. In caso di superamento delle soglie di attenzione o allarme, il software, oltre ad avvisare l'utente con un pop-up a video e un avviso sonoro, consente di inviare l'avviso di criticità e le relative mappe allegate in formato ASCII e pdf tramite e-mail ad una serie di indirizzi desiderati.

L'interfaccia grafica di EWuSAR, semplice ed intuitiva, consente di sovrapporre le mappe di criticità all'immagine georeferenzata dello scenario osservato e di visualizzarle in modo interattivo in modo da garantire la massima flessibilità e la possibilità per l'utente di individuare rapidamente l'origine degli allarmi.

L'interfaccia grafica si presenta organizzata in tre pannelli distinti:

- ◆ il primo pannello, sulla parte sinistra dell'interfaccia, contiene i comandi relativi alla gestione del funzionamento del software, ovvero i pulsanti per l'inserimento delle mappe e per la selezione tra la modalità di funzionamento automatica e quella manuale ed i relativi pulsanti di avvio e termine;
- ◆ il pannello centrale è utilizzato per visualizzare la mappa di criticità, eventualmente georeferenzata e sovrapposta ad una ortofoto. In questa sezione sono presenti i pulsanti che consentono all'utente di interagire con la mappa creata, gestendo i comandi di zoom (avanti e indietro), pan e interrogazione del punto che consente di identificare la sua posizione, espressa nel sistema di coordinate della mappa visualizzata;
- ◆ il terzo pannello, posizionato nella parte destra dell'interfaccia, controlla infine tutti i valori selezionabili dall'utente e le opzioni di funzionamento del software come l'inserimento dell'immagine georeferenzata, l'attivazione degli avvisi tramite e-mail e l'analisi in modalità Stereo Radar (ovvero con possibilità di sfruttare i dati di spostamento provenienti contemporaneamente da due strumenti GBInSAR differenti).

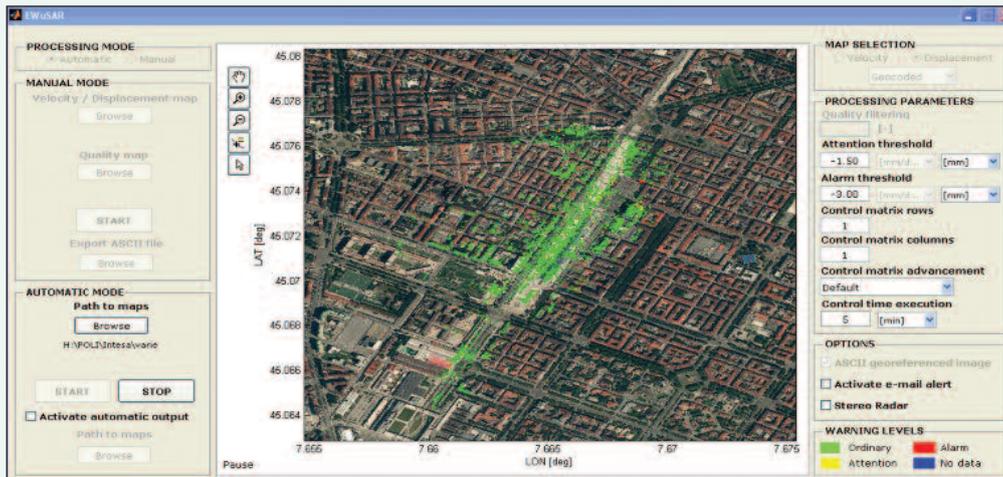
Il software consente quindi di mantenere un costante controllo del sito osservato, anche in remoto e senza necessità di accesso diretto al PC su cui è in funzione EWuSAR.

Esempi di applicazione

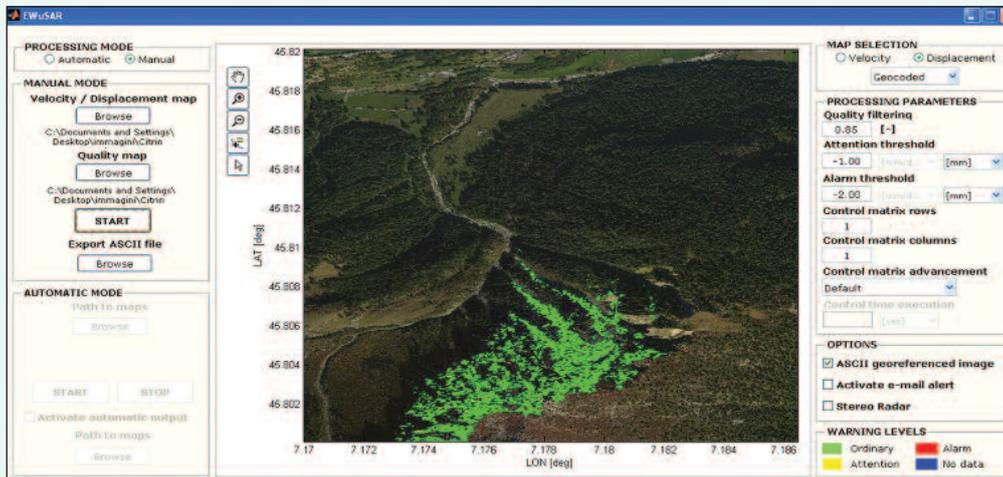
Il sistema di allertamento rapido descritto è già stato oggetto di diverse sperimentazioni in laboratorio ed in sito.

Una recente prova della funzionalità completa è avvenuta tra il 16 e il 18 Giugno 2014 presso il Politecnico di Torino. Lo strumento radar GBInSAR, alimentato con pannelli fotovoltaici, è stato installato sul tetto del nuovo edificio a ponte del Politecnico posto in corrispondenza di Corso Castelfidardo ed ha monitorato lo scenario urbano del centro di Torino in direzione Nord. Tra la moltitudine di strutture ed edifici monitorati, risultavano ben visibili sia il grattacielo di Intesa San Paolo attualmente in costruzione che la torre della Radio Televisione Italiana posta nei pressi di Piazza XVII Dicembre a circa 1,2 km di distanza. In totale sono state acquisite 336 immagini SAR dello scenario con una frequenza di acquisizione di circa un'immagine ogni 7 minuti.

Dopo aver messo in opera il sistema di monitoraggio, il software EWuSAR è stato attivato in modalità automatica, eseguendo quindi l'analisi di criticità delle mappe di velocità e spostamento ad intervalli prefissati. La Figura 5 mostra un esempio delle videate di EWuSAR durante la campagna di monitoraggio. Come prevedibile, nello scenario monitorato i movimenti sono stati minimi durante la giornata. Sono state comunque registrate le deformazioni termiche (dilatazione e contrazione) di alcune strutture ed oggetti metallici presenti a terra e sui tetti degli edifici più alti. Il corpo principale del nuovo Centro Direzionale di Intesa Sanpaolo non ha invece evidenziato movimenti significativi mentre alcune strutture metalliche (gru) installate nello stesso cantiere hanno evidenziato chiare deformazioni termiche.



5. Una videata di EWuSAR durante la prova presso il Politecnico di Torino



6. Una videata di EWuSAR durante la prova presso la frana di Citrin (AO)

Un'ulteriore prova è stata effettuata presso la frana di Citrin (Saint-Rhemy en Bosses) in Valle d'Aosta, il 10 Luglio 2014. Il sistema ha funzionato con alimentazione a batteria e ha acquisito 49 immagini SAR (una immagine ogni 8 minuti), anche queste elaborate in modalità automatica. I risultati del monitoraggio elaborati con EWuSAR sono mostrati nella Figura 6. Come si evince dalla Figura, nonostante la breve durata della campagna e la generale assenza di movimenti registrati, è stato possibile monitorare tutte le zone del versante poste tra 1.750 e 2.500 m di quota, su oltre 15.000 punti di misura, fino ad una distanza massima di circa 2,3 km. Il software EWuSAR nel test effettuato, volto a riprodurre un monitoraggio in condizioni di emergenza, ha mostrato un'ottima affidabilità unitamente ad un'elevata facilità di impiego. Il test dimostra inoltre come per mezzo dell'utilizzo combinato del sistema GBInSAR e del nuovo software EWuSAR sia possibile mantenere costantemente sotto controllo in totale sicurezza il comportamento di interi versanti in frana che altrimenti sarebbero difficilmente accessibili. Tale aspetto risulta essere di vitale importanza nell'ambito della creazione dei sistemi di allertamento rapido da utilizzare per la mitigazione del rischio di frana.

Conclusioni

Il monitoraggio con interferometria radar da terra integrato con il nuovo software EWuSAR consente di realizzare un sistema di allertamento efficiente ed affidabile, particolarmente utile nel caso di applicazione a frane in roccia o a fronti minerari. Grazie alla possibilità di controllare in remoto fenomeni che si trovano anche a distanze elevate, l'utilizzo combinato dell'interferometria radar da terra e del nuovo software consente l'attivazione tempestiva delle procedure volte ad una corretta gestione del rischio associato all'evoluzione del fenomeno esaminato.

Il sistema di allertamento rapido è stato sviluppato presso il Politecnico di Torino e costituisce la base del servizio offerto dalla Società spin-off Resolving Srl che utilizza in esclusiva il software EWuSAR.

* *Ricercatore Confermato e Professore Aggregato del Politecnico di Torino*

** *Assegnista di Ricerca del Politecnico di Torino*

*** *Borsista di Ricerca del Politecnico di Torino*

RINGRAZIAMENTI

Gli Autori desiderano ringraziare il Dipartimento Programmazione, Difesa del suolo e Risorse idriche della Regione Autonoma Valle d'Aosta, nella persona del Dott. Geol. Davide Bertolo, per aver consentito l'attività di monitoraggio presso la frana di Citrin.

BIBLIOGRAFIA

- [1]. C. Atzeni, M. Barla, M. Pieraccini, F. Antolini - "Early warning monitoring of natural and engineered slopes with Ground-Based Synthetic Aperture Radar". *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 2014.
- [2]. M. Barla, F. Antolini - "Integrazione tra monitoraggio e modellazione delle grandi frane in roccia nell'ottica dell'allertamento rapido", XIV ciclo di conferenze di meccanica e ingegneria delle rocce, 2012.
- [3]. T. Fukuzono - "Recent studies on time prediction of slope failure", *Landslide News*, 4, 9-12, 1990.
- [4]. M. Saito - "Forecasting the time of occurrence of a slope failure", In *Proceedings of the 6th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Montréal, Que., Pergamon Press, Oxford, 537-541, 1965.
- [5]. B. Voight - "A relation to describe rate-dependent material failure", *Science*, 243, 200-203, 1989.