

Il contributo dell'interferometria SAR terrestre per il monitoraggio di una colata in terra

Francesca Bozzano (*, **), Ivan Cipriani (**), Carlo Esposito (**), Paolo Mazzanti (*), Alberto Prestininzi (*, **)

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

(**) Università di Roma "Sapienza", Centro di Ricerca CERI "Previsione, Prevenzione e Controllo dei Rischi Geologici" - Piazza U. Pilozzi, 9 - Valmontone, Italia

Riassunto

Il 12 Dicembre 2008 nella media valle del Tevere a seguito di un periodo di precipitazioni abbondanti ed intense si è verificato un fenomeno franoso che ha interessato una rilevante infrastruttura pubblica e alcune abitazioni ad uso civile. L'instabilità gravitativa, che ha coinvolto circa 1300 m³ di depositi sabbioso-ghiaiosi e limo-argillosi, si è innescata con un cinematismo complesso di tipo roto-traslazionale con evoluzione in colata; il detrito di frana ha raggiunto alcune abitazioni rendendo necessaria l'evacuazione temporanea delle stesse. Al fine di mitigare la fase di emergenza e di acquisire informazioni di dettaglio sull'evoluzione del fenomeno è stato predisposto dal Centro di Ricerca Ceri un sistema di monitoraggio in continuo del versante mediante la tecnica GBInSAR.

Abstract

On December 12 2008, after a period of heavy and intense rainfalls, a landslide phenomenon, which caused the interruption of a main lifeline and the evacuation of some buildings, occurred in the Tiber river valley. This landslide involved about 1300 m³ of gravel, sands and clayey silts that failed according to a roto-translational mechanisms evolving into an earthflow. In order to deal with the emergency and to acquire some detailed data about the evolution of the phenomenon a real-time monitoring of the slope by means of the GBInSAR technique has been designed and realized by the CERI Research Center.

Introduzione

I fenomeni franosi rappresentano eventi ordinari che si inquadrano nella naturale evoluzione geomorfologica dei pendii e che assumono però una rilevanza di gran lunga maggiore allorché vengono ad interagire con l'uomo e le sue attività. Per definire il cinematismo di un corpo di frana e prevedere il suo comportamento a breve termine è utile disporre di dati di deformazione dello stesso sia in profondità (es. estenso-inclinometri) che in superficie (GPS, estensimetri, distometri, stazioni totali, ecc.). Tuttavia, le tecniche di monitoraggio elencate in precedenza misurano le deformazioni nel tempo di singoli punti dell'area di frana e non sono in grado di fornire una visione di insieme dell'intero versante affetto da instabilità. In frane di grandi dimensioni e in frane complesse questa caratteristica strumentale risulta molto svantaggiosa poiché non consente di determinare, con la necessaria precisione, i cinematismi di frana. Inoltre tutte queste tecniche sono invasive perché necessitano di installazioni di strumenti o target direttamente nell'area instabile. L'Interferometria SAR Terrestre è una tecnica innovativa di monitoraggio di spostamenti superficiali (Tarchi et al., 1999; Bozzano et al., 2008), che oltre a soddisfare il requisito di monitoraggio in tempo reale, permette un monitoraggio arealmente distribuito dell'intero versante.

Grazie a questa tecnica infatti si ottengono mappe di spostamento dell'intero scenario monitorato senza la necessità di alcuna installazione sull'area indagata.

I requisiti sopra elencati sono di particolare importanza per il monitoraggio dei movimenti superficiali di una frana complessa avvenuta nel mese di Dicembre 2008 nella media valle del Tevere, circa 40 km a nord di Roma. Questo dissesto ha causato l'interruzione del servizio di un'importante infrastruttura pubblica e la parziale evacuazione del centro abitato sottostante, lambito in parte dal fenomeno franoso.

Caso di studio

Il 12 Dicembre 2008 presso un rilievo posto in sinistra idrografica del fiume Tevere, circa 40 km a nord di Roma, si è verificata una frana complessa che ha mobilitato circa 1300 m³ di sabbie (prevalenti e a diverso tenore limoso-argilloso) e livelli di ghiaia, riferibili ad un ambiente deposizionale marino e di transizione del Pleistocene inferiore. Il fenomeno si è verificato, dopo un periodo di intense precipitazioni, secondo un cinematisma roto-traslattivo, per poi evolvere, incanalatosi in un invito morfologico preesistente, in una colata di detrito. La porzione terminale della colata ha poi raggiunto alcune abitazioni poste immediatamente a valle dell'area di frana. Per mezzo di un'analisi tramite foto aeree e di analisi geologico-tecniche in sito sono stati riconosciuti i principali elementi geologici e geomorfologici dell'area. Questi indizi suggeriscono la presenza di un dissesto gravitativo che coinvolge una porzione di versante entro cui si inserisce il fenomeno del Dicembre 2008 (Fig. 1).



Figura 1 – Immagine fotografica del dissesto gravitativo.

In particolare si osserva che un ampio settore del versante è caratterizzato dalla presenza di elementi morfologici, quali alternanza di piccole scarpate e ripiani morfologici, che lo differenziano rispetto alle aree circostanti, dove tuttavia affiorano i medesimi litotipi. Inoltre, sempre nello stesso settore, è stata osservata la perdita di organizzazione, in termini di strutture sedimentarie, dei depositi sabbiosi e ghiaiosi. Quest'ultima può essere ritenuta un'evidenza geologica di precedenti movimenti gravitativi che hanno interessato l'area. Nel contesto sopra descritto l'evento franoso del Dicembre 2008 può essere visto come una riattivazione parziale di un'area in frana in corrispondenza della zona di raccordo tra coronamento e spalla destra. In considerazione dell'assetto geologico locale e

delle caratteristiche idrogeologiche ad esse connesse, un ruolo significativo nel quadro di instabilità può essere giocato dalla presenza di alcune falde sospese, come testimoniato peraltro dall'evidente relazione tra l'innesco della frana del Dicembre 2008 e le precipitazioni intense che hanno preceduto ed accompagnato l'evento stesso.

Sistema di monitoraggio

Al fine di tenere sotto controllo l'evoluzione del fenomeno di dissesto è stato predisposto un sistema di monitoraggio in continuo basato sulla tecnica dell'interferometria SAR terrestre (Fig. 2a). Lo strumento utilizzato è un IBIS-L, prodotto e distribuito dalla IDS S.p.A. e presenta le seguenti caratteristiche: lunghezza del binario di 2 metri; emissioni del segnale in banda Ku (~16.75 GHz); larghezza di banda di 300 MHz. Il principio di funzionamento è basato su due tecniche radaristiche; SF-CW (*Stepped Frequency – Continuous Wave*); SAR (*Synthetic Aperture Radar*). La tecnica SAR permette di sintetizzare un'antenna di grandi dimensioni combinando i segnali retrodiffusi dallo scenario e ricevuti dal radar, mentre questo si sposta lungo un apposito binario (Fig. 2b). In questo modo si possono ottenere risoluzioni elevate sia in *range* (direzione strumento-target), che in *cross-range*, cioè lungo la direzione di scansione (ortogonale alla congiungente strumento-target) (Fig. 3). Il termine apertura sintetica indica appunto quel segmento, lungo la traiettoria di movimento, in cui si raccoglie, a opportuni intervalli spaziali, il segnale riflesso dallo scenario (porzione di territorio che viene illuminata dal segnale emesso e ne fornisce la riflessione) per formare l'immagine dello stesso. L'*output* strumentale è una mappa bidimensionale degli spostamenti, lungo la linea di vista dello strumento (*Line of Sight*), subiti da tutto lo scenario illuminato dalle antenne. Questa mappa bidimensionale presenta pixel di dimensioni pari a 0,5 m nella direzione di *range* (indipendentemente dalla distanza tra lo strumento e lo scenario) e variabile tra alcuni decimetri e pochi metri, a seconda della distanza tra lo strumento e il *target*, nella direzione di *cross-range*. L'elevata accuratezza nella misura degli spostamenti deriva dall'utilizzo della tecnica interferometrica, che si basa sul confronto della fase del segnale riflesso dallo scenario, in diversi istanti di tempo (Fig. 2a).

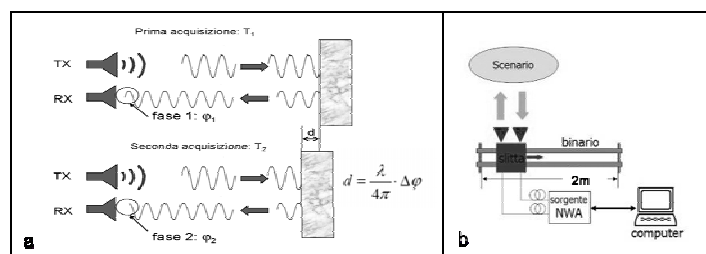


Figura 2 – a) schema raffigurante il principio fisico della tecnica interferometrica per il calcolo degli spostamenti; b) schema di acquisizione GBInSAR

Tale principio determina un limite massimo di spostamenti, misurabili tra due acquisizioni, nell'ordine di circa 4 mm (con lo strumento utilizzato), ma che può essere anche maggiore se vengono applicati opportuni algoritmi di *phase unwrapping* o utilizzate frequenze del segnale diverse.

L'accuratezza strumentale nel calcolo degli spostamenti è nell'ordine del centesimo di mm per elevati valori del rapporto segnale/rumore ma, a causa dei disturbi atmosferici, operativamente l'accuratezza da considerare è nell'ordine del mm entro una portata inferiore a 1 km.

Il sistema di monitoraggio è stato ubicato, nei giorni 21-22 Gennaio 2009, sul versante opposto rispetto a quello oggetto del monitoraggio, in destra idrografica del Fiume Tevere, ad una distanza compresa tra 250-500 m dal versante di interesse (Fig. 4). Il giorno 23 Gennaio 2009 l'IBIS-L ha cominciato ad acquisire i primi dati. Lo strumento è tuttora in esercizio acquisendo un'immagine radar ogni 5" e 30", per un totale finora di circa 50000 immagini.

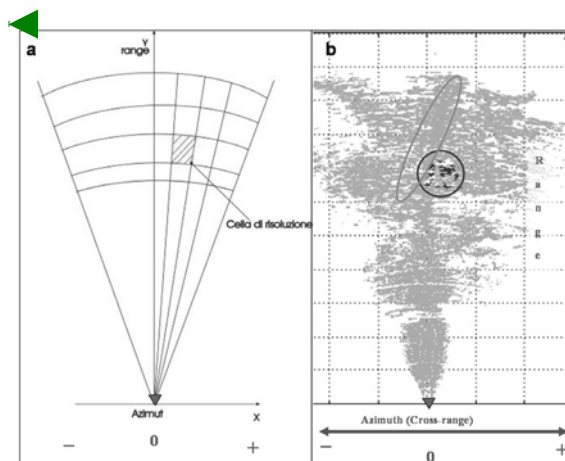


Figura 3 – Schema di acquisizione mappe SAR: a) schema esemplificativo del sistema di coordinate locali; b) mappa radar di spostamento. Nelle due immagini è indicato il sistema di riferimento (x = azimuth e y = range) e con un triangolo la posizione dello strumento corrispondente alle coordinate (0, 0).



Figura 4 – Foto e vista aerea della postazione di monitoraggio.

Discussione dei risultati

I dati acquisiti hanno mostrato una sostanziale assenza di deformazione nell'area della corona e della scarpata di frana, mentre nell'area della colata, dalla fine di Gennaio 2009 all'inizio di Settembre 2009, si sono raggiunte punte massime di spostamento cumulato pari a circa 5 metri lungo la LoS (*Line of Sight*) (Fig. 5). Gli spostamenti non si sono manifestati in maniera uniforme nell'intero lasso temporale, ma si sono concentrati tra la fine di Gennaio 2009 e la metà di Marzo 2009. Nell'ultima decade di Gennaio 2009 si è registrata la fase con le massime velocità di spostamento (30 mm/h), con valori massimi nell'arco delle ventiquattro ore di 700 mm. Successivamente è stata registrata un'alternanza di accelerazioni e decelerazioni protrattesi fino a metà Febbraio 2009; in questo periodo le velocità orarie massime sono state minori rispetto al precedente (20 mm/h) (Fig. 6). All'inizio di Marzo 2009 invece si è manifestata l'ultima fase di spostamenti, protrattesi per tre giorni, che hanno raggiunto un valore complessivo di 300 mm e una velocità massima di poco inferiore ai 10 mm/h. (Fig. 7).

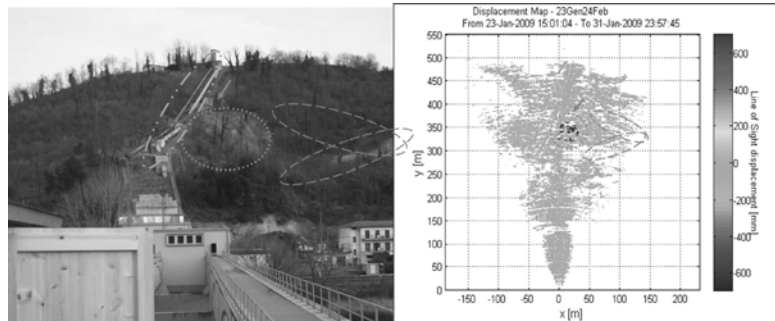


Figura 5 – Identificazione su immagine fotografica e mappa radar di spostamento delle aree di interesse all'interno dello scenario illuminato dall'interferometro; l'ellisse in sinistra (guardando la foto) individua l'infrastruttura; l'ellisse di centro la zona del colanto; la freccia la scarpata di frana; l'ellisse di destra le opere di risanamento dell'area.

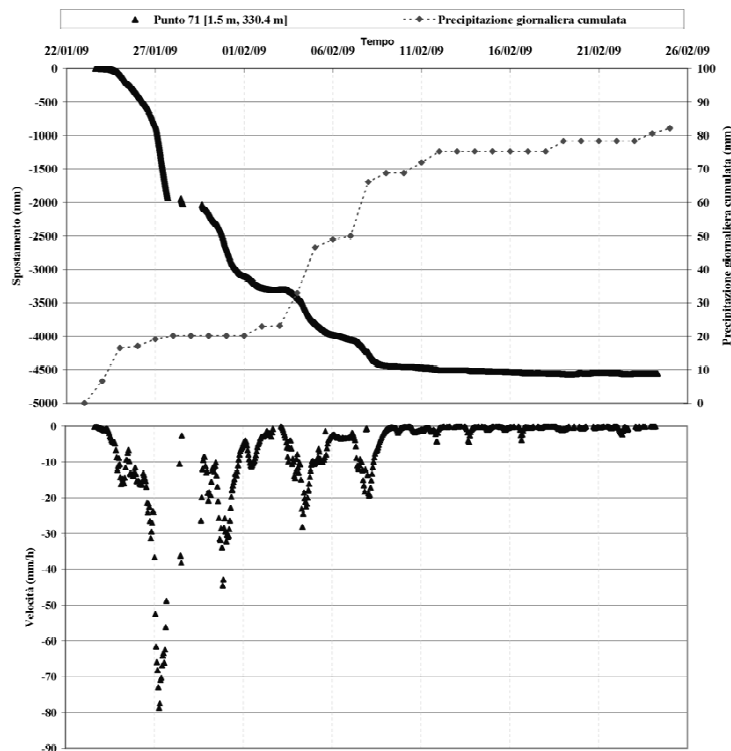


Figura 6 – Grafico di spostamento e velocità di un punto in destra idrografica del corpo di colata.

I risultati ottenuti dal monitoraggio interferometrico sono stati poi interpretati in funzione dei dati di precipitazione giornaliera estratti dal sito ufficiale di riferimento. Questa analisi mostra una relazione tra gli eventi di precipitazione più intensi e gli spostamenti; tuttavia l'entità delle deformazioni ha subito nel tempo una graduale attenuazione senza raggiungere i picchi di 700 mm/giorno anche in occasione di precipitazioni molto intense. Dalla seconda decade di Marzo 2009 fino alla fine di Agosto 2009 invece il versante non ha più mostrato segni di riattivazione e gli spostamenti si sono mantenuti al di sotto di alcuni mm.

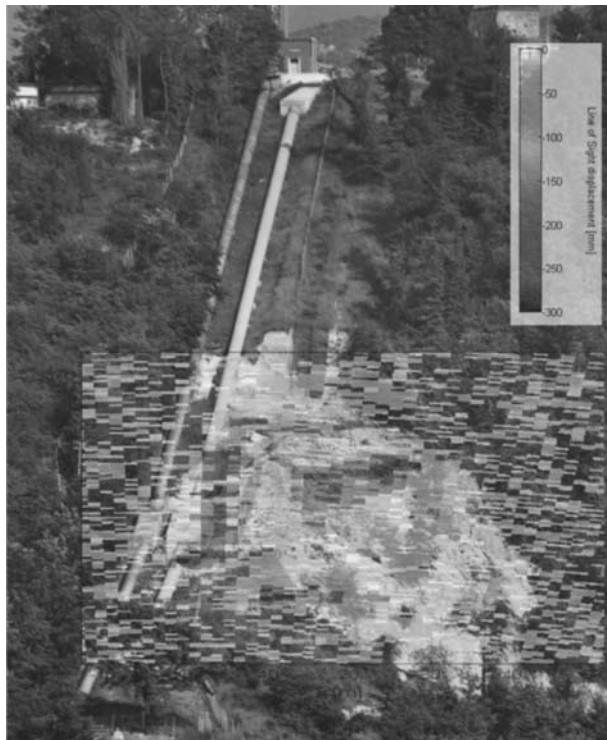


Figura 7 – Mappa di spostamento cumulato sovrapposta in trasparenza su un'immagine fotografica.

Conclusioni

Nei primi 7 mesi di monitoraggio sono state acquisite in continuo circa 50000 immagini interferometriche. L'analisi dei dati ha messo in evidenza una stretta relazione tra le deformazioni registrate dal sistema di monitoraggio e gli eventi di precipitazione più intensi. Tuttavia queste deformazioni hanno mostrato una tendenza alla diminuzione, con il progredire del tempo, fino a raggiungere la completa stabilità a partire dalla seconda metà di Marzo 2009.

Questa tecnica innovativa di monitoraggio, restituendo mappe di spostamento dell'intero scenario indagato, risulta essere molto funzionale per un'analisi a breve termine di una frana complessa avente movimenti superficiali non uniformi. Inoltre, operando completamente in remoto, ha permesso di mantenere sotto controllo l'evoluzione del fenomeno in condizioni operative di massima sicurezza. Il controllo continuo dello stato di attività della frana ha permesso di intraprendere azioni significative ai fini della gestione dell'emergenza. Il controllo rappresenta anche un importante supporto nella fase di bonifica del versante per valutare l'efficacia dei lavori svolti e permettere alle squadre di operare in sicurezza.

Riferimenti bibliografici

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.
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.