

## **L'IMPIEGO DI DATI DInSAR NELLA CARATTERIZZAZIONE A SCALA DI BACINO DI FENOMENI FRANOSI A CINEMATICA LENTA**

Leonardo Cascini, Settimio Ferlisi, Dario Peduto, Livia Arena  
*Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Salerno*

*e-mail: [l.cascini@unisa.it](mailto:l.cascini@unisa.it); [sferlisi@unisa.it](mailto:sferlisi@unisa.it); [dpeduto@unisa.it](mailto:dpeduto@unisa.it); [liviaarena@libero.it](mailto:liviaarena@libero.it)*

Gianfranco Fornaro  
*IREA-CNR, Napoli*

*e-mail: [fornaro.g@irea.cnr.it](mailto:fornaro.g@irea.cnr.it)*

### **Abstract**

Nell'ultimo decennio lo sviluppo di tecniche interferometriche di elaborazione di immagini acquisite con Radar ad Apertura Sintetica (DInSAR) ha favorito l'utilizzo delle misure di spostamento/velocità da esse conseguibili in studi riguardanti le frane a cinematica lenta. La presente comunicazione evidenzia il contributo che i dati DInSAR possono fornire nella caratterizzazione dei predetti fenomeni in analisi a scala di bacino con riferimento ad una vasta area dell'Italia centro-meridionale.

### **Introduzione**

La frane a cinematica lenta sono estremamente diffuse sul territorio italiano come, peraltro, testimoniato dalle oltre 17.500 frane cartografate – a scala 1:25.000 – nel territorio dell'Autorità di Bacino Nazionale dei fiumi Liri-Garigliano e Volturno (ABN LGV) (Cascini, 2002) e dai circa 32.000 fenomeni inventariati – a scala 1:25.000 – nell'Appennino Emiliano-Romagnolo (Bertolini et al., 2005). La caratterizzazione di tali fenomeni rappresenta il primo fondamentale passo nel processo di gestione del rischio da frana (Fell et al., 2005). Come messo in luce da Fell et al. (2008), tale caratterizzazione si traduce nella acquisizione di informazioni da riversare nella Carta Inventario dei fenomeni franosi il cui dettaglio cresce al crescere del livello di zonazione da perseguire. Con riferimento, ad esempio, ad analisi da condurre a media scala (da 1:25.000 a 1:100.000) e ad un livello "preliminare" di zonazione, le informazioni da includere nella Carta Inventario contemplan la localizzazione, la classificazione e la perimetrazione delle aree in frana nonché la definizione dello stato di attività dei fenomeni franosi. Appare, quindi, evidente l'enorme onere in termini di lavoro e di tempo che tale studio comporta, specialmente se riferito ad aree di rilevante estensione.

Il gruppo di Ingegneria Geotecnica dell'Università di Salerno conduce, da alcuni anni, attività di ricerca finalizzate a testare il contributo che può essere fornito da misure di spostamenti di punti della superficie topografica, quali quelle derivate dal processamento di immagini acquisite da Radar ad Apertura Sintetica con tecniche interferometriche differenziali (DInSAR), negli studi riguardanti la caratterizzazione dei fenomeni franosi a cinematica lenta a diverse scale di riferimento. Come già evidenziato in precedenti comunicazioni (Cascini et al., 2007a; 2008) è proprio in analisi su area vasta che si possono meglio apprezzare i vantaggi derivanti dall'uso di queste tecniche innovative.

Nella presente comunicazione, con riferimento ad un'area campione dell'Italia centro-meridionale dell'estensione di circa 500 km<sup>2</sup>, si illustrano le potenzialità d'impiego – sulla base di una procedura originale – di due tecniche DInSAR nella caratterizzazione di fenomeni franosi a cinematica lenta cartografati a scala 1:25.000 sulla base di criteri euristici e si evidenzia il contributo che gli stessi dati DInSAR possono fornire nell'aggiornamento delle Carte Inventario.

### **La tecnica DInSAR ed il dataset utilizzato**

L'Interferometria Differenziale DInSAR (DInSAR) rappresenta una tecnica avanzata che, nella sua formulazione originaria, utilizzava due passaggi del satellite consentendo di misurare, con accuratezza pari a frazioni della lunghezza d'onda (5,6 cm), la variazione di distanza sensore-bersaglio lungo la congiungente Line of Sight (L.O.S.), inclinata di 23° sulla verticale. Il recente sviluppo di tecniche multipassaggio (Ferretti et al., 2000; Bernardino et al., 2002; Fornaro et al., 2009) permette, oggi, il rilievo di spostamenti su aree di rilevante estensione di punti a terra nonché la misura delle relative velocità. I dati DInSAR utilizzati nella presente comunicazione sono stati processati sia con l'algoritmo SBAS (Bernardino et al., 2002) sia con l'algoritmo ESD (Fornaro et al., 2009) diffusamente impiegati in problematiche ambientali legate alla deformazione della superficie topografica. Il vantaggio dell'impiego delle suddette tecniche SBAS è rappresentato dalla possibilità di restituire il dato a due diverse scale di analisi: a bassa risoluzione l'informazione sullo spostamento di un pixel coerente è mediata su di un'area di 80 x 80 m; ad alta risoluzione il dato è rappresentativo di un'area di circa 10 x 10 m.

L'applicazione dei dati DInSAR allo studio dei fenomeni franosi presenta alcuni limiti intrinseci ampiamente trattati nella letteratura scientifica (Colesanti e Wasowski, 1996) ed essenzialmente rappresentati da: impossibilità dei sistemi operanti in banda C di penetrare la coltre vegetata e, pertanto, la scarsa copertura di aree densamente vegetate; effetto della pendenza dei versanti che, per la particolare geometria di acquisizione del sensore, limita la visibilità solo ad alcune porzioni della scena osservata; tempi di rivisitazione che consentono di ricavare informazioni solo su fenomeni da estremamente lenti a molto lenti (Cruden e Varnes, 1996); interpretazione quantitativa delle misure di spostamento fornite lungo il L.O.S. che, per i satelliti ERS dell'ESA, non possono essere superiori a circa  $\pm 1,21$  cm/mese per problemi di corretto campionamento nel tempo del segnale di fase (Colesanti et al., 2003). Per tali motivi le applicazioni ai fenomeni franosi necessitano della messa a punto di idonee procedure al cui sviluppo il gruppo di Ingegneria Geotecnica dell'Università di Salerno lavora già da alcuni anni (Cascini et al., 2009; 2010).

Il dataset di dati DInSAR utilizzati nelle analisi svolte nell'ambito del presente lavoro comprende: 33 immagini acquisite dai satelliti ENVISAT su orbita ascendente (periodo 2002-2008) processati mediante l'algoritmo ESD e 26 immagini su orbita discendente (periodo 2003-2010) processate mediante l'algoritmo SBAS. La possibilità di impiego congiunto di dati DInSAR processati con tali algoritmi è stato già testato con successo in Cascini et al. (2007b).

### **La procedura proposta per l'analisi dei dati DInSAR**

La procedura messa a punto (Fig. 1) contempla l'uso dei dati DInSAR a diverse scale di studio (Cascini et al., 2010). Il primo passo consiste nella generazione della Carta della Visibilità a priori (Cascini et al., 2009) che consente di individuare le porzioni di aree in frana per le quali si prevede un'adeguata copertura di dato telerilevato su orbita sia ascendente sia discendente. All'interno di queste aree è possibile applicare le procedure di trattamento del dato DInSAR che – attraverso l'uso di un modello digitale del terreno, di considerazioni sulla

geometria di acquisizione dei sensori e di modelli geomorfologici semplificati – consentono una più corretta interpretazione dei valori di velocità/spostamento lungo la Line of Sight (L.O.S.) del sensore (Cascini et al., 2010). Come evidenziato in Figura 1, l'analisi dei dati DInSAR (sia a bassa e sia ad alta risoluzione) a media scala (da 1:100.000 a 1:25.000) può fornire un contributo alla caratterizzazione dei fenomeni franosi ed utili informazioni per l'aggiornamento delle Carte Inventario. Le analisi a grande scala (da 1:25.000 a 1:5.000) di dati DInSAR ad alta risoluzione possono consentire studi alla scala del singolo fenomeno ed il monitoraggio/controllo di strutture/infrastrutture con essi interagenti.

I risultati di seguito illustrati si riferiscono ad uno studio svolto a media scala con riferimento ad un'area di studio dell'Italia centro-meridionale per la quale sono già state condotte analisi con tecniche DInSAR sulla base di un dataset più limitato di immagini satellitari (Cascini et al., 2008).

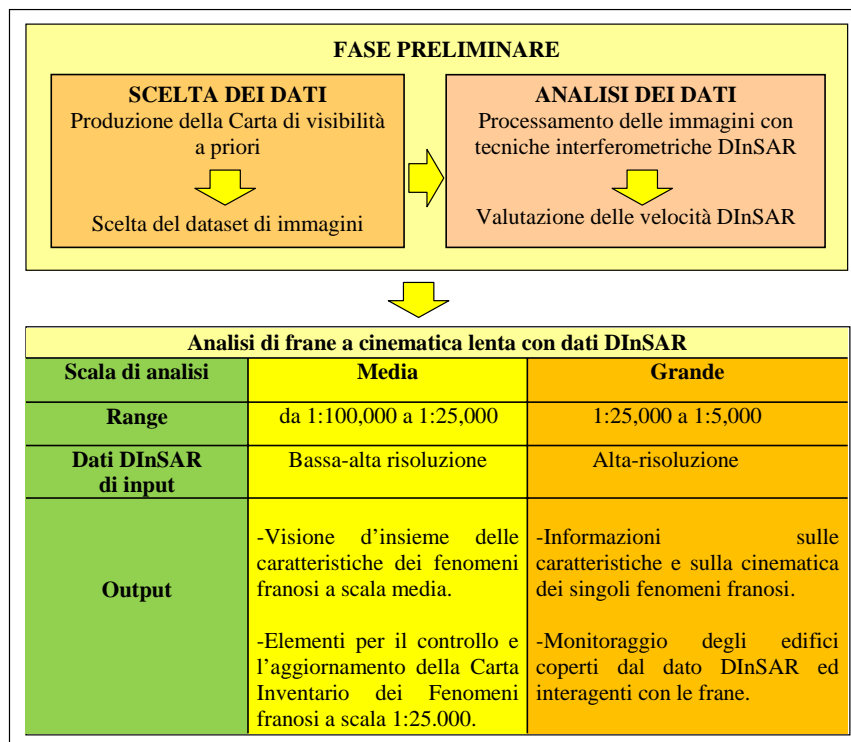


Figura 1. Schema metodologico per l'impiego dei dati DInSAR nelle analisi dei fenomeni franosi a cinematica lenta.

### Analisi a media scala



Figura 2. Area di studio

L'area di studio, dell'estensione di 489 km<sup>2</sup> e comprendente 11 territori Comunali, è ubicata nella porzione nord del territorio dell'ABN-LGV (Fig. 2). Al suo interno, nella Carta Inventario dei fenomeni franosi redatta a scala 1:25.000 nell'ambito del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico – Rischio da frana (anno 2001), sono state cartografate 896 frane, di estensione compresa tra 3.000 m<sup>2</sup> e 0.3 km<sup>2</sup> e che coprono il 5% circa dell'intera area campione. Sulla base della classifica di Cruden e Varnes (1996) le

tipologie più frequenti sono gli scorrimenti rotazionali (204), le colate lente (238), gli scorrimenti rotazionali-colate (78) e i creep (336).

Per l'area di studio Cascini et al. (2009) hanno prodotto la Carta della Visibilità a priori dalla quale, attraverso l'analisi del dataset aggiornato, discende che: *i*) le aree in frana nella zona di studio sono visibili prevalentemente sull'orbita discendente del satellite ENVISAT; *ii*) a seguito del processamento dei dati, circa il 79% dei pixel DInSAR coerenti ricadono in aree definite a priori come visibili su orbita discendente e il 74% in aree definite a priori come visibili su orbita ascendente. A valle di questa fase preliminare si è proceduto al controllo della copertura del dato DInSAR sulle aree in frana. A tal fine, la mappa dei pixel DInSAR coerenti è stata confrontata con la Carta Inventario dei fenomeni franosi redatta a scala 1:25.000 dall'ABN LGV. Assumendo che, a questa scala di analisi, un fenomeno franoso è coperto dal dato DInSAR se almeno un pixel coerente ricade all'interno del suo perimetro, è stato possibile verificare che la percentuale di fenomeni coperti risulta pari a circa il 41% di tutte le frane a cinematica lenta inventariate (Fig. 3).

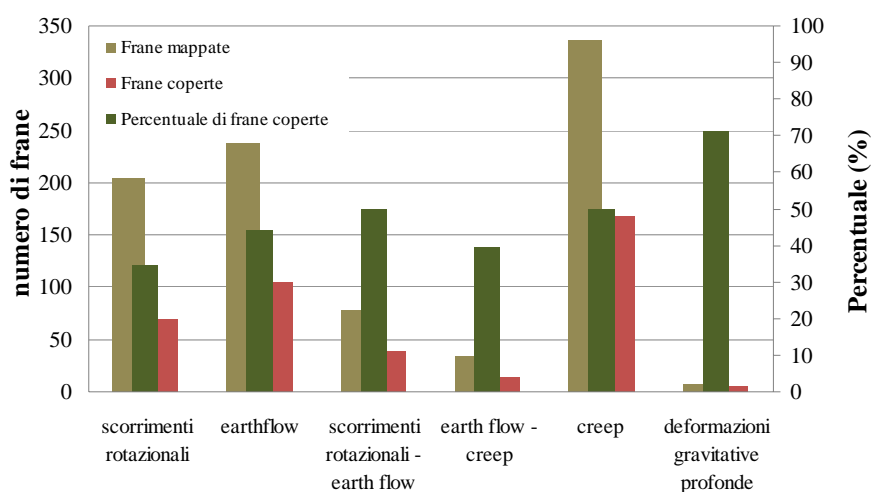


Figura 3. Distribuzione del dato DInSAR per tipologia di fenomeno franoso con indicazione della percentuale di frane coperte da dati acquisiti su entrambe le orbite.

Con riferimento ai fenomeni franosi per i quali si dispone di copertura satellitare si è, quindi, verificata la possibilità di utilizzare il dato DInSAR quale indicatore dello stato di attività. A tal fine, in Figura 4 sono riportati i valori di velocità media annuale dei punti di misura in funzione della tipologia e dello stato di attività delle frane (come riportati sulla Carta Inventario); nella stessa Figura è, altresì, riportata la soglia di 1,5 mm/anno – conservativa rispetto alla precisione conseguibile sulle velocità medie (Colesanti et al., 2003) – come indicativa di condizioni di movimento. Come si può notare i valori di velocità che superano la soglia stabilita vengono attinti in fenomeni indifferentemente cartografati come attivi o quiescenti. Tenuto conto che i dati DInSAR utilizzati nelle analisi svolte si riferiscono ad un periodo successivo alla redazione della Carta Inventario, si può ipotizzare che nel periodo 2003-2010, l'attingimento di valori di velocità/spostamento superiori a una data soglia possa associarsi a riattivazioni periodiche (Leroueil, 2001), parziali o totali, dei fenomeni classificati nel 2001 come quiescenti su basi euristiche.

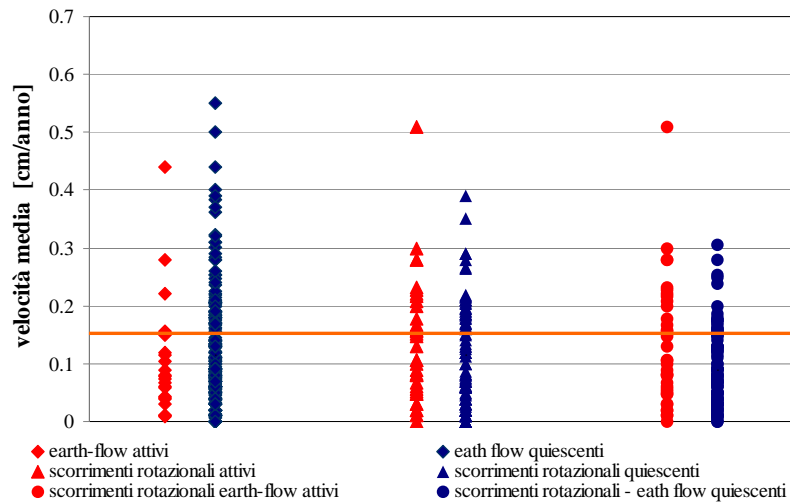


Figura 4. Velocità DInSAR per ciascuna tipologia di frana da dati ENVISAT (periodo 2003-2010)

Al fine di poter meglio investigare questo aspetto, si è assunto come attivo un fenomeno franoso al cui interno almeno un pixel DInSAR coerente attinge valori di velocità superiori alla soglia prefissata e si è attribuito a ciascun fenomeno un nuovo stato d'attività sulla base di tale ipotesi di lavoro. I risultati sono stati, quindi, confrontati con lo stato di attività riportato nella Carta Inventario dell'ABN LGV (Fig. 5). Il diagramma di Figura 5 evidenzia che, mediamente, si ha una conferma dello stato d'attività dei fenomeni per il 56% circa delle frane (67% di quelle indicate come quiescenti ed il 34% di quelle attive).

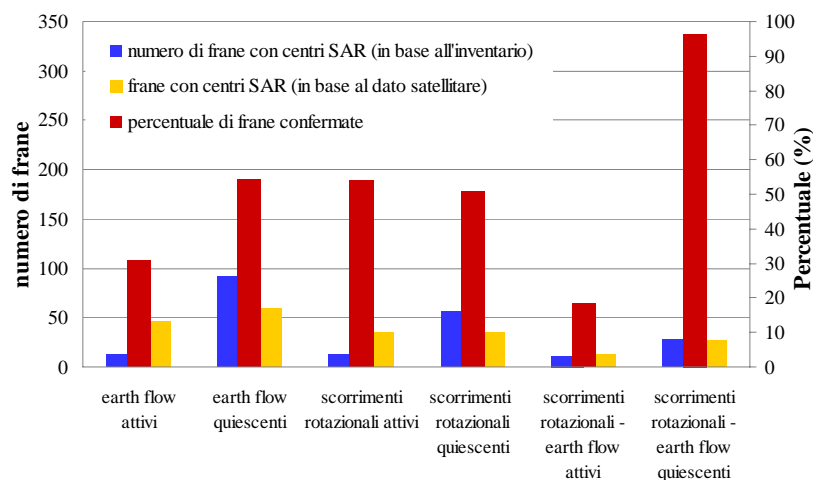


Figura 5. Confronto tra lo stato di attività derivato da criteri geomorfologici e da dati ENVISAT (periodo 2003 – 2010).

Sulla base dei risultati ottenuti si può ritenere che nell'ambito di procedure mirate alla Carta Inventario, le analisi di maggiore dettaglio potrebbero riguardare solo quei fenomeni franosi per i quali lo stato di attività è diversamente classificato (44% del totale).

A tal riguardo, si sottolinea che sfruttando il vantaggio di disporre di dati su entrambe le orbite, si è effettuato il controllo della distribuzione dei dati DInSAR sulle valleciole che, come già descritto in Cascini et al. (2009), sono unità morfologiche con caratteristiche molto simili a quelle delle aree in frana. Su un totale di 1.261 valleciole, 468 sono risultate coperte da dati DInSAR e 205 sono risultate in movimento. Anche in questo caso la fase di individuazione di nuovi fenomeni da riportare in un inventario aggiornato potrebbe partire

proprio da una verifica attraverso indagini di campo delle suddette aree in movimento. In conclusione gli studi in corso offrono interessanti prospettive di sviluppo dell'impiego delle tecniche satellitari anche alla luce dell'aumentata disponibilità di dati nell'ambito di progetti sia nazionali (Piano Straordinario di Telerilevamento) e sia regionali (Progetto PODIS-TELLUS della Regione Campania).

## **Bibliografia**

- Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R., Sansosti, E. (2002). "A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential DInSAR interferograms". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40(11), 2375-2383.
- Bertolini, G., Guida, M., Pizzaiolo, M. (2005), "Landslides in Emilia-Romagna region (Italy): strategies for hazard assessment and risk management". *Landslides*, 2, 302-312.
- Cascini L., Ferlisi S., Peduto D., Pisciotta G., Fornaro G. (2008), "I dati DInSAR e i danni al costruito come indicatori dello stato di attività di fenomeni franosi a cinematica lenta", *Atti dell'Incontro Annuale dei Ricercatori di Ingegneria Geotecnica – IARG Catania* – pubblicati su CD-ROM.
- Cascini, L., Di Nocera S., Ferlisi, S., Fornaro, G. & Peduto, D. (2007b). "A land subsidence study via DInSAR technique over large urbanized areas". *Urban Remote Sensing Joint Event URS 2007*, Parigi. 11-13 April 2007. IEEE Catalogue number: 07EX1577, ISBN:1-4244-0712-5.
- Cascini L., Fornaro G., Peduto D. (2007a), "Il contributo delle tecniche interferometriche DInSAR nello studio dei fenomeni franosi su area vasta". *Incontro Annuale dei Ricercatori di Ingegneria Geotecnica – IARG, Salerno*. <http://www.unisa.it/Laboratori/Geotecnica/iarg2007/index.php>
- Cascini L, Fornaro G, Peduto D (2009), "Analysis at medium scale of low-resolution DInSAR data in slow-moving landslide-affected areas". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(6), 598-611.
- Cascini L, Fornaro G, Peduto D (2010), "Advanced low- and full-resolution DInSAR map generation for slow-moving landslide analysis at different scales". *Engineering Geology*, 112 (1-4), 29-42.
- Colesanti, C., Ferretti, A., Novali, F., Prati, C., Rocca, C. (2003). "SAR Monitoring of progressive and seasonal ground deformation using the permanent scatterers technique". *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 41(7), 1685-1701.
- Colesanti C, Wasowski J (2006), "Investigating landslides with space-borne Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry". *Engineering Geology*, 88: 173–199.
- Cruden, D.M. & Varnes, D.J. 1996. Landslide types and process. In "*Landslides – Investigation and Mitigation*", *Transportation Research Board Special Report No. 247* (A.T. Turner & R.L. Schuster ed.), National Academy Press, Washington DC: 36-75.
- Fell R., Corominas J., Bonnard Ch., Cascini L., Leroi E., Savage W.Z. on behalf of the JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes (2008), "Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning". *Engineering Geology*, 102, pp. 85-98.
- Fell, R., Ho, K.K.S., Lacasse, S., Leroi, E. (2005). "A framework for landslide risk assessment and management". In: Hungr, O., Fell, R., Couture, R., Eberhardt, E. (Eds.), *Landslide Risk Management*. Taylor and Francis, London, pp. 3–26.
- Ferretti, A., Prati, C. & Rocca, F. (2000). "Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry", *IEEE Transaction Geoscience and Remote Sensing*, 38 (5): 2202–2212.
- Fornaro G., Pauciuolo A., Serafino F., (2009). "Deformation monitoring over large areas with multipass differential SAR interferometry: a new approach based on the use of spatial differences". *International Journal of Remote Sensing* 30 (6), 1455–1478
- Leorueil, S (2001), "Natural slopes and cuts: movement and failure mechanisms". *Géotechnique*, 51 (3), 197-243.