

INTEGRAZIONE DI TECNICHE DI MONITORAGGIO DA TERRA E DA SATELLITE PER LO STUDIO DI DUE FRANE A CINEMATICA LENTA

Diego Di Martire e Massimo Ramondini

Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Geotecnica ed Ambientale

Università degli studi di Napoli "Federico II"

diego.dimartire@unina.it, ramondin@unina.it

Roberto Vassallo e Caterina Di Maio

Dipartimento di Strutture, Geotecnica, Geologia applicata

Università degli studi della Basilicata

roberto.vassallo@unibas.it, caterina.dimaio@unibas.it

Sommario

In questo lavoro è stata applicata una tecnica interferometrica sviluppata dal Dipartimento de Teoria del Senyal della UPC di Barcellona, basata sul principio dei Coherent Scatterers (Schneider et al., 2006), per la valutazione degli spostamenti superficiali nell'ambito del monitoraggio della frana di Costa della Gaveta (PZ). Tale algoritmo di tipo SBAS (Berardino et al., 2002, Lanari et al., 2004) denominato CPT (Coherent Pixels Technique – Mora et al., 2003) consente di calcolare le velocità medie di spostamento nell'intero periodo di osservazione. Il set di immagini utilizzato è quello relativo alla Track 086 Frame 798 in orbita *ascending* consistente in 24 immagini che coprono il periodo 2007-2010. Tali risultati sono stati poi confrontati con le misure GPS effettuate in situ nello stesso periodo di monitoraggio.

Interferometria differenziale

Nell'ambito delle diverse tecniche di interferometria differenziale possono essere individuati due approcci: quello dei Persistent Scatterers (Ferretti et al., 2001) e quello SBAS (Small Baseline Subset - Berardino et al., 2002, Lanari et al., 2004).

La tecnica PS si fonda sull'ipotesi che i riflettori, detti scatteratori persistenti (PS), siano caratterizzati da una riflettività pressoché invariante rispetto al tempo ed allo spazio (*baseline*) tra le orbite relative alle coppie di immagini SAR analizzate; pertanto le decorrelazioni spaziale e temporale risultano trascurabili. Gli approcci SBAS, invece, si basano sull'ipotesi che la variabilità della *baseline* spaziale e temporale introducono effetti di rumore (decorrelazione); pertanto sono costituiti da algoritmi che utilizzano esclusivamente interferogrammi con baseline ridotte, al fine di minimizzare la decorrelazione e massimizzare, quindi, il numero di punti analizzabili.

Area di studio

Le frane analizzate si sviluppano su un versante in sinistra idrografica del fiume Basento in località Costa della Gaveta, ad est della città di Potenza (Fig. 1). Sono antiche frane che si sviluppano nella formazione strutturalmente complessa delle Argille Varicolori.

Per ridurre il rischio ad esse connesso, la Regione Basilicata ha finanziato uno studio geotecnico con la realizzazione di undici coppie di fori di sondaggio (Fig. 1), strumentati con piezometri e tubi inclinometrici.

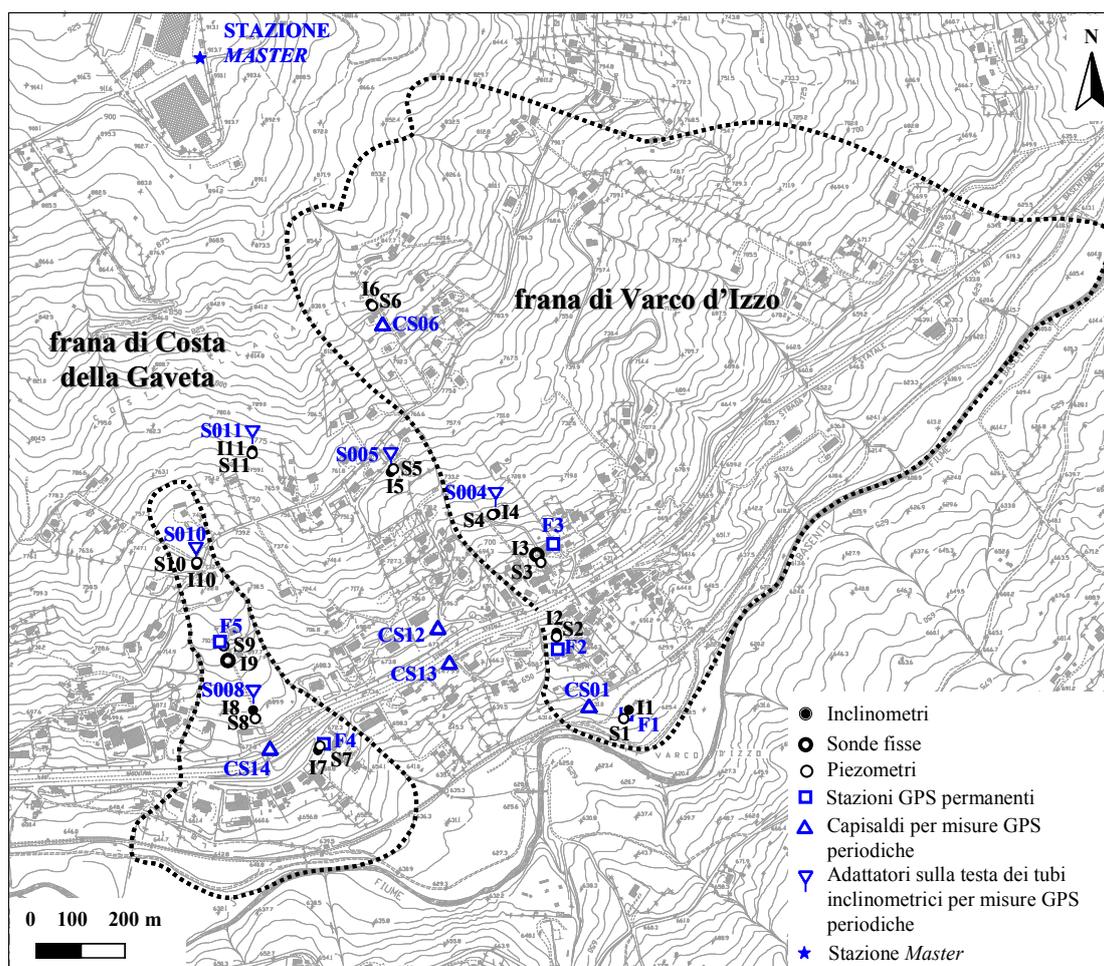


Figura 1. Area di studio con delimitazione delle frane in esame e ubicazione delle postazioni strumentate.

Nel 2006, nel tubo inclinometrico I9 sono state installate sonde fisse in corrispondenza della superficie di scorrimento precedentemente individuata tramite misure periodiche. Nello stesso periodo, il Servizio Geologico Italiano ha installato una rete di stazioni GPS permanenti e non (Calcaterra et al., 2010).

I dati topografici, i segni geomorfologici, le misure inclinometriche e GPS hanno permesso di caratterizzare la frana dal punto di vista geometrico e cinematico.

La Fig. 2 riporta il campo delle velocità di spostamento in superficie dedotto con i diversi strumenti di misura che è stato utilizzato per il confronto con i dati da satellite.

Monitoraggio da satellite

Per le elaborazioni interferometriche sono state utilizzate 24 immagini ENVISAT (Track 086 Frame 798) acquisite in orbita *ascending* che coprono il periodo 28/01/2007 – 11/07/2010. E' stata quindi applicata l'intera catena di elaborazioni al fine di ottenere la mappa delle velocità. Il primo passo nella sequenza delle elaborazioni è consistito nella coregistrazione delle immagini che hanno consentito successivamente di elaborare la mappa di Amplitude in alta risoluzione riportata nella figura 3.

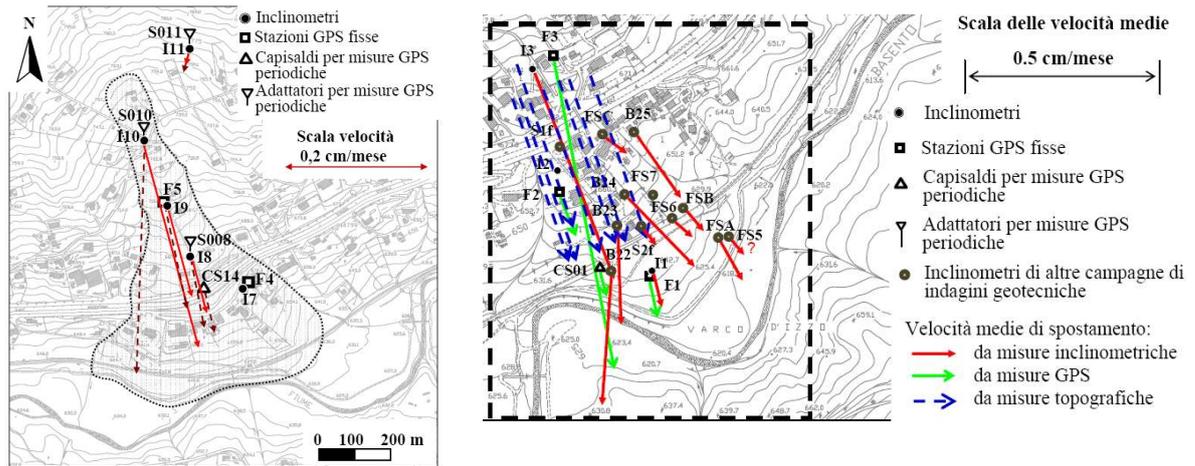


Figura 2. Area di studio con delimitazione delle frane in esame e ubicazione delle postazioni strumentate. Nella figura di sinistra, i vettori tratteggiati si riferiscono ai dati GPS e quelli continui ai dati inclinometrici

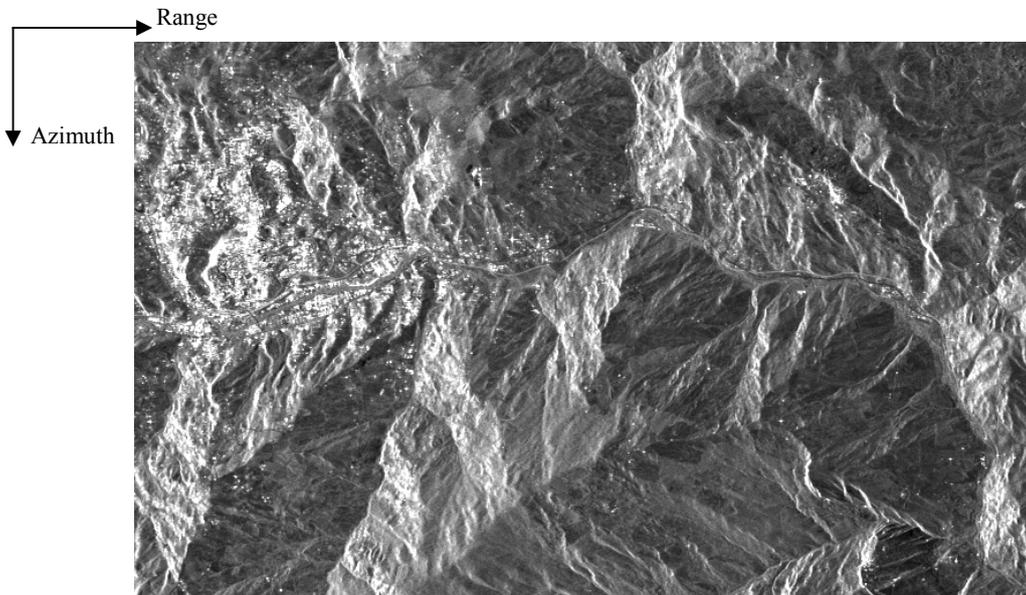


Figura 3. Mappa di Amplitude per l'area di studio in coordinate azimuth/range.

A sinistra dell'immagine è facilmente individuabile la città di Potenza (zona bianca), e la SS 407 Basentana. L'elaborazione è proseguita con l'individuazione delle coppie interferometriche caratterizzate da *baseline spaziali e temporali* sufficientemente ridotte. Sono state poste rispettivamente le soglie di 250 m e 211 giorni, che hanno consentito di generare 60 interferogrammi.

E' stata inoltre elaborata la mappa di coerenza media, (parametro che consente di valutare l'affidabilità delle misure derivate), riportata in Fig. 4, sulla quale sono stati individuati i punti utili per le elaborazioni.

A tale scopo è stata posta una soglia di coerenza pari 0.4 che, attraverso specifici estimatori, consente di ottenere una deviazione standard di fase pari a 15°.

E' stata quindi realizzata la mappa delle velocità medie di spostamento, riportata in Fig. 5.

E' opportuno sottolineare che, per la bassa risoluzione delle immagini utilizzate (ENVISAT) e per l'esigua presenza di riflettori naturali presenti nella zona, è stato possibile stimare la velocità media in un numero ridotto di punti all'interno dei perimetri delle frane cartografate.

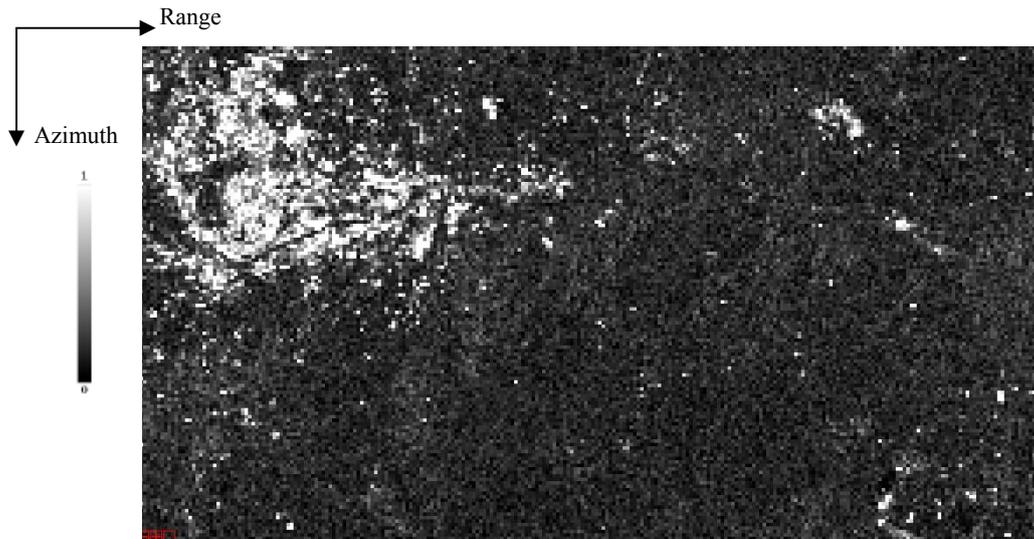


Figura 4. Mappa di coerenza media per l'area di studio.

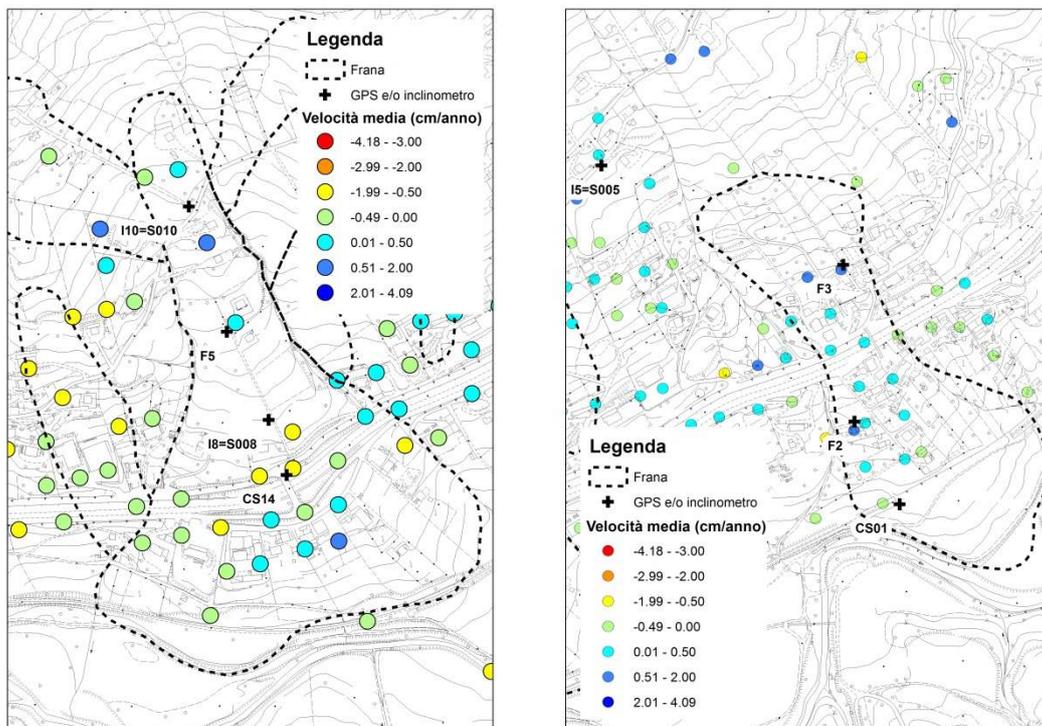


Figura 5. Mappa delle velocità di spostamento nel periodo gennaio 2007 – luglio 2010 per le frane di Costa della Gaveta (a sinistra) e Varco d'Izzo (a destra).

Sulla stessa figura sono riportate le ubicazioni degli strumenti a terra (capisaldi GPS e tubazioni inclinometriche) utilizzate come riferimento per il confronto dei risultati. Con riferimento alla Fig. 2 si può osservare che le velocità misurate a terra risultano circa un ordine di grandezza maggiori di quelle riportate nella Fig. 5 (es. 1.6 cm/anno per il punto F2 e 2.0 cm/anno per il punto F5 a fronte di circa 0.47 e 0.37 cm/anno letti dal satellite); va però considerato che le velocità lette dal satellite sono riferite alla direzione della congiungente sensore-bersaglio (LOS – Line of Sight), orientata da Ovest ad Est (immagini *ascending*). Al fine di effettuare un confronto tra le misure interferometriche e quelle effettuate a terra (GPS ed inclinometri) si è resa necessaria la creazione di una mappa, riportata in Fig. 6, nella quale

è stato possibile stimare la percentuale del movimento reale che il satellite è capace di individuare in funzione della geometria di acquisizione e delle caratteristiche topografiche del sito (Plank et al., 2010).

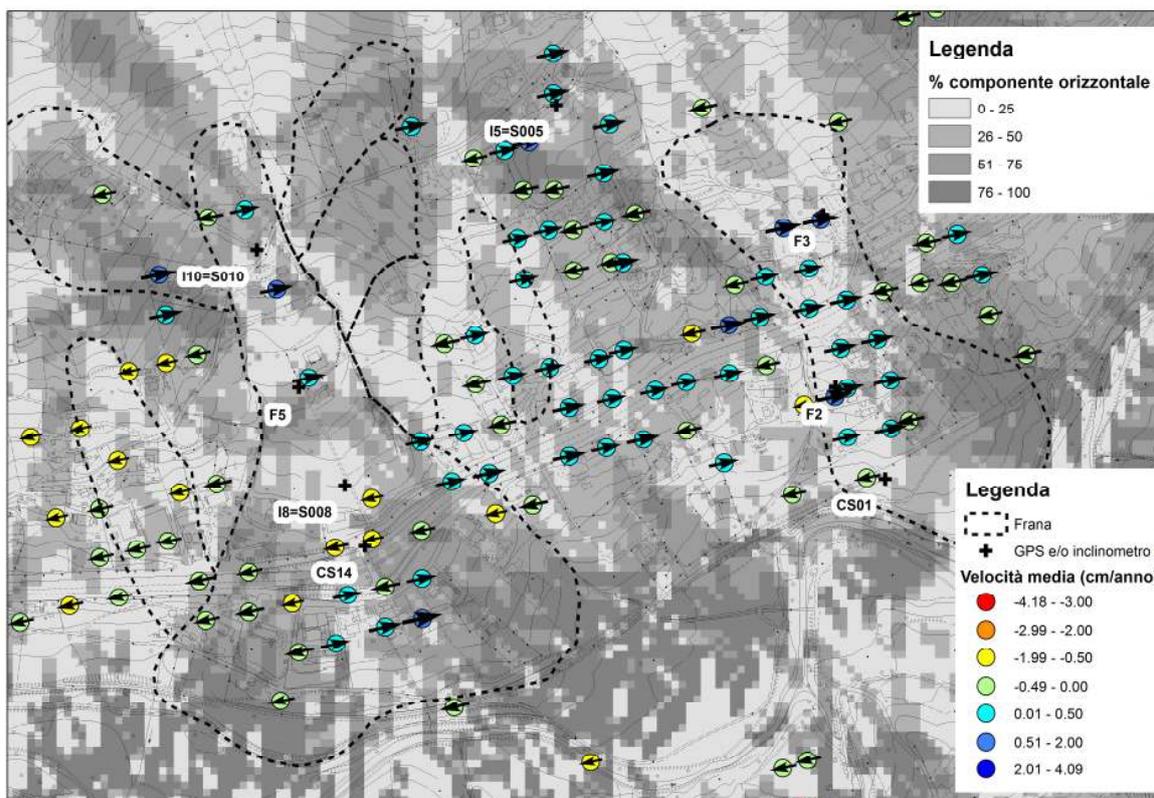


Figura 6. Mappa delle percentuali di spostamento reale calcolabile in funzione della geometria di acquisizione e quella del sito. Le frecce indicano le direzioni delle componenti orizzontali del vettore velocità lungo la LOS.

Nella tabella I sono riportati i risultati di tale confronto per alcuni punti di riferimento. Dall'esame dei risultati si osserva che per sei degli otto punti analizzati le misure appaiono in sufficiente accordo.

Tabella I. Confronto tra le misure effettuate a terra ed i risultati delle elaborazioni satellitari.

Costa della Gaveta	Velocità media (cm/anno)			
	GPS/Inclinometro	SAR	%	Totale
I10	3.6	0.56	15	3.7
F5	1.8	0.47	30	1.6
CS14	0.72	-0.57	55	1.0
I8	0.98	-1.25	40	3.1
Varco d'Izzo	Velocità media (cm/anno)			
	GPS/Inclinometro	SAR	%	Totale
F3	10	1	12	8.3
F2	1.3	0.37	20	1.8
CS01	0.84	-0.34	20	1.7
I5	1.3	0.37	38	1.0

A titolo di esempio nel punto F5, ubicato nella frana di Costa della Gaveta, le misure col GPS hanno stimato una velocità di circa 1.8 cm/anno; la stima delle velocità dedotte dalle elaborazioni dei dati satellitari è di circa 0.47 cm/anno in direzione della LOS, che per effetto della geometria di acquisizione e delle condizioni topografiche corrisponde a circa il 30% della misura reale, che pertanto è dell'ordine di 1.6 cm/anno. Analogamente per il punto F3, nella frana Varco d'Izzo, le misure con GPS restituiscono una velocità di circa 10 cm/anno, a

fronte di circa 1 cm/anno misurato dal satellite; tenendo conto delle correzioni per topografia e geometria di acquisizione, tale misura corrisponde al 12% del valore reale, che quindi risulta dell'ordine degli 8.3 cm/anno.

Conclusioni

Lo studio proposto ha mostrato che le misure di velocità di spostamento effettuate con tecnica SAR risultano, per il caso in esame, in buon accordo con i dati rilevati a terra con tecniche tradizionali. Sono però da tenere ben presente i limiti delle misure da satellite quando si voglia utilizzarle in sostituzione delle misure tradizionali, in quanto la loro applicabilità è legata ad una serie di fattori, primo tra tutti quali l'orientazione del corpo frana: in particolare per le frane che si sviluppano in direzione prossima alla N-S, la componente "visibile" risulta alquanto ridotta. Un indubbio miglioramento può essere fornito dall'utilizzo di immagini di ultima generazione (CosmoSkyMed, TerrasarX) e dall'installazione di riflettori artificiali, in quanto viene migliorata la coerenza complessiva dell'immagine e quindi il numero di punti che è possibile monitorare, per i quali sarà quindi possibile eseguire analisi statistiche più raffinate.

Ringraziamenti

Per la realizzazione di questo lavoro si ringrazia il Ministero dell'Ambiente per la Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) per la fornitura delle immagini ENVISAT ed il Prof. J.J. Mallorqui del RSLab del Departamento de Teoria del Senyal della UPC di Barcellona per la supervisione nelle elaborazioni con l'algoritmo CPT.

Bibliografia

- Berardino P., Fornaro G., Lanari R., & 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, 11, pp. 2375-2383.
- Calcaterra, S., Cesi, C., Di Maio, C., Gambino, P., Merli, K., Vallario, M. e Vassallo, R. (2010). Surface displacements of two landslides evaluated by GPS and inclinometer systems: a case study in Southern Apennines, Italy. *Natural Hazards*. DOI: 10.1007/s11069-010-9633-3.
- Ferretti A., Prati C., Rocca F., (2001). Permanent scatterers in SAR interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 39(1),8–20.
- Lanari R., Mora O., Manunta M., Mallorqui J.J., Berardino P., Sansosti E., (2004). A small baseline approach for investigating deformations on full resolution Differential SAR Interferograms. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42: 1377–1386.
- Mora O., Mallorquí J.J., and Broquetas A., (2003). "Linear and nonlinear terrain deformation maps from a reduced set of interferometric SAR images," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 41, pp. 2243-2253, Oct. 2003.
- Schneider, R.Z.; Papathanassiou, K.P.; Hajnsek, I.; Moreira, A., (2006). Polarimetric and interferometric characterization of coherent scatterers in urban areas. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol.44, no.4, pp. 971-984.
- Plank S., Singer J., Minet Ch., Thuro K., (2010). GIS based suitability evaluation of the differential radar interferometry method (D-InSAR) for detection and deformation monitoring of landslides, In H. Lacoste (ed.), *Proceedings of FRINGE'09 Workshop*, Frascati, ESA SP-677 (CD-ROM), ESA Publications Division, European Space Agency, Noordwijk, 8 p., 2010 *Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol.44, no.4, pp. 971- 984.