

Rilevamento di deformazioni del suolo in Daunia (Puglia) per mezzo di tecniche interferometriche SAR

Raffaele Nutricato (*), Davide Oscar Nitti (*), Maria Teresa Chiaradia (**)
Fabio Bovenga (***), Alberto Refice (***), Guido Pasquariello (***)

(*) GAP srl, c/o Dipartimento Interateneo di Fisica, Politecnico di Bari, Via Amendola 173, 70126 Bari, Italy
tel./fax +39 080 5442396, e-mail: raffaele.nutricato@gapsrl.eu

(**) Dipartimento Interateneo di Fisica, Politecnico di Bari, Via Amendola 173, 70126 Bari, Italy
tel./fax +39 080 5443, e-mail: davide.nitti@fisica.uniba.it, mariateresa.chiaradia@ba.infn.it

(***) CNR-ISSIA, Via Amendola 122/D, 70126 Bari, Italy, tel. 080 5929425
e-mail: {bovenga,refice,pasquariello}@ba.issia.cnr.it

Riassunto

Il lavoro presenta un'attività di ricerca condotta nell'ambito di un programma finanziato dalla Regione Puglia e finalizzata all'impiego di tecniche interferometriche SAR per lo studio delle deformazioni al suolo nel sub-appennino Dauno (Puglia). Tale area risulta di notevole interesse per la Protezione Civile – Regione Puglia, che è uno dei potenziali utenti dei prodotti di deformazione ottenuti dall'analisi multi-temporale interferometrica di immagini SAR acquisite da satellite.

I risultati sono ottenuti per mezzo della catena interferometrica SPINUA (Bovenga et al., 2004) che implementa un approccio di tipo Riflettori Permanenti e rappresenta uno strumento efficace per ispezionare periodicamente, su archi temporali di diversi anni, un vasto territorio al fine di rilevare movimenti deformativi sub-verticali con cinematiche lente e con la precisione di pochi millimetri all'anno per la velocità media. La catena di elaborazione è stata aggiornata negli ultimi anni per consentire l'utilizzo di dati SAR di ultima generazione che, grazie all'alta risoluzione spaziale, aprono nuove opportunità applicative.

Nell'articolo verranno presentati i primi risultati ottenuti elaborando dati acquisiti tra il 2002 ed il 2010 dal satellite ENVISAT dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA) in banda C a media risoluzione.

Abstract

In this paper we present the research activity carried out in the framework of a project funded by Puglia Region and aimed at using SAR Interferometry for measuring deformations induced by landslides in the Daunia region (Puglia). The area is of particular interest for the Civil Protection – Regione Puglia Authority which is one of the potential end users of the deformation map derived by multi-temporal interferometric analysis of satellite data.

The results have been obtained through the SPINUA processing chain (Bovenga et al., 2004) which performs a multi-temporal InSAR Persistent Scatterer-like analysis. These approaches are able to inspect periodically a wide area on the ground measuring sub-vertical displacements with a precision of few millimetres per year for the mean velocity. The algorithm is also able to process the new generation of X-band high resolution SAR data.

In the paper we present first results obtained by processing SAR data acquired between 2002 and 2010 by the ENVISAT ESA satellite which works at C-band and medium spatial resolution.

Introduzione

I recenti sviluppi nelle tecnologie di telerilevamento da satellite e la copertura frequente e regolare di vaste aree per mezzo di sistemi di Osservazione della Terra (OT) hanno portato ad un incremento nell'utilizzo delle immagini da satellite per la stima e il monitoraggio di rischi naturali (si veda CE-OS Report, 2000 e riferimenti in esso). Grazie alle capacità dei sistemi radar di poter operare in qualsiasi condizione meteorologica, sia di giorno sia di notte, e di poter misurare con precisione piccole deformazioni al suolo (variazioni di quota di qualche millimetro), le tecniche di interferometria SAR (*Synthetic Aperture Radar*) risultano interessanti per il rilevamento e il monitoraggio su vaste aree di fenomeni di deformazione al suolo tra i quali ricordiamo subsidenze, frane, sismi e movimenti tettonici. L'impiego di tale tecnologia per l'individuazione ed il monitoraggio di eventi franosi rappresenta uno dei casi applicativi più problematici in relazione all'estensione spesso limitata del fenomeno, alle caratteristiche orografiche su cui tipicamente insistono (pendenze del suolo elevate) ed alla copertura del suolo spesso ricca di vegetazione. Tali circostanze inducono in generale condizioni di basso rapporto segnale/rumore ed una maggiore variabilità della componente atmosferica nel segnale interferometrico SAR che rendono indispensabile l'impiego di un'analisi multi-temporale, quale quella dei *Persistent Scatterers* o PS (Ferretti et al., 2001), e per le quali l'uso di dati SAR di ultima generazione ad alta risoluzione (COSMO-SkyMed, TerraSAR-X) può apportare notevoli vantaggi.

Il presente studio si inquadra nell'ambito del progetto "FRANE PUGLIA - Rilevamento di deformazioni al suolo con tecniche satellitari avanzate" finanziato dalla Regione Puglia nell'ambito del Programma Operativo 2007-2013 Asse I, "Aiuti agli Investimenti in Ricerca per le PMI". Il progetto si pone come obiettivo primario quello di testare l'applicabilità, l'affidabilità e le potenzialità dei risultati prodotti dalla tecnica dei PS utilizzando dati interferometrici SAR acquisiti dai sensori COSMO-SkyMed e TerraSAR-X. A tale scopo è stata individuata come sito di studio l'area dell'Appennino Dauno (Puglia), un territorio caratterizzato da un'elevata incidenza, in termini percentuali, di fenomeni franosi di dimensioni spesso contenute e distribuiti su vaste superfici collinari e vegetate. Questo sito risulta di notevole interesse per la Protezione Civile – Regione Puglia che è uno dei potenziali utenti dei risultati prodotti dalla tecnica dei PS.

In particolare, con riferimento all'area di studio, il progetto si pone i seguenti obiettivi: i) aggiornamento delle mappe di deformazione ottenute a partire da sensori di prima generazione in banda C a media risoluzione; ii) generazione di mappe di deformazione con acquisizioni di sensori SAR in banda X di ultima generazione ad alta risoluzione; iii) confronto dei risultati ottenuti elaborando le due tipologie di dati; iv) validazione dei risultati ottenuti attraverso un confronto con le mappe delle frane nell'area della Daunia fornite dalla Protezione Civile della Regione Puglia.

Su quest'area GAP, CNR-ISSIA e Dipartimento Interateneo di Fisica dell'Università di Bari hanno maturato, nell'ambito di progetti finanziati dalla Unione Europea e dall'Autorità di Bacino Puglia, una pluriennale esperienza di analisi delle deformazioni utilizzando dati SAR in banda C. In particolare sono stati ottenuti diversi risultati elaborando dati acquisiti in geometria ascendente e discendente dai satelliti dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA) ERS-1/2 ed ENVISAT (Bovenga et al., 2005, Davenga et al., 2006, Wasowsky et al., 2008).

Nel presente lavoro sono descritti i risultati relativi all'aggiornamento delle mappe di deformazione utilizzando dati ENVISAT in banda C acquisiti fino all'inizio del 2010. Nell'ambito del progetto, con riferimento all'area di interesse, è stata avviata la richiesta di immagini ad alta risoluzione COSMO-SkyMed e TerraSAR-X. Attualmente sono già disponibili 7 acquisizioni TerraSAR-X (la copertura è indicata dal rettangolo rosso in figura 1), numero inferiore al limite minimo di circa 15 scene necessarie per una stima affidabile dei parametri di deformazione, e pertanto non ancora analizzati.



Figura 1 – Copertura delle immagini ENVISAT (giallo) e TerraSAR-X (rosso). I paesi selezionati sono 25 (si veda l'elenco in figura 2) e per essi sono mostrate le mappe di deformazione aggiornate ottenute con i dati ENVISAT in banda C.

ID	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Quota (m)	Sito
1	41.59	14.98	550	CARLANTINO
2	41.62	15.10	430	CASALNUOVO MONTEROTARO
3	41.594	15.11	480	CASALVECCHIO DI PUGLIA
4	41.58	15.12	550	CASTELNUOVO DELLA DAUNIA
5	41.54	15.13	440	PIETRAMONTECORVINO
6	41.506	15.115	640	MOTTA MONTECORVINO
7	41.48	15.125	720	VOLTURINO
8	41.495	15.05	520	VOLTURARA APPULA
9	41.56	14.98	470	CELENZA VALFORTORE
10	41.525	15.005	660	SAN MARCO LA CATOLA
11	41.43	15.12	740	ALBERONA
12	41.397	15.195	460	BICCARI
13	41.5	15.33	200	LUCERA
14	41.28	15.27	680	ORSARA DI PUGLIA
15	41.25	15.25	720	MONTAGUTO
16	41.36	15.31	430	TROIA
17	41.325	15.16	820	FAETO
18	41.37	15.095	640	ROSETO VALFORTORE
19	41.326	15.181	720	CELLE DI SAN VITO
20	41.341	15.20	610	CASTELLUCCIO VALMAGGIORE
21	41.25	15.34	580	BOVINO
22	41.222	15.275	730	PANNI
23	41.22	15.385	560	DELICETO
24	41.158	15.33	650	ACCADIA
25	41.151	15.38	750	SANTAGATA DI PUGLIA

Figura 2 – Elenco dei paesi selezionati per la sperimentazione.

Area di studio

L'area della Daunia è caratterizzata da rilievi collinari e montuosi che solo localmente superano i 1000 m sul livello del mare. La presenza di fenomeni franosi disseminati su tutto il territorio è fondamentalmente legata alla composizione del suolo ricco di materiali argillosi. Le cause di attivazione sono principalmente le precipitazioni piovose e gli interventi antropici in prossimità dei pendii che ne compromettono la stabilità. Di particolare interesse sono gli eventi franosi che nel recente passato hanno colpito diversi paesi (oltre 20) localizzati sulla vetta di rilievi collinari, eventi causati dall'espansione urbanistica che ha comportato la costruzione di infrastrutture e di nuovi edifici in aree sempre più prossime ai pendii. Ciò ha causato sia la riattivazione di corpi franosi pre-esistenti che l'insorgere di nuove instabilità. Lo studio delle aree in frana ed il loro monitoraggio è quindi particolarmente indicato proprio nei pressi degli insediamenti urbani dove i danni sul tessuto socio-economico hanno più rilevanza. In figura 2 sono indicati i centri abitati selezionati per la sperimentazione.

Analisi dei dati telerilevati

Come già specificato, durante la prima fase della sperimentazione, in attesa di accumulare un numero sufficiente di acquisizioni COSMO-SkyMed e/o TerraSAR-X, sono stati aggiornati i risultati precedentemente ottenuti con i dati in banda C. A tale scopo sono state utilizzate 47 immagini SAR acquisite tra il novembre del 2002 ed il gennaio del 2010 in modalità ascendente dal satellite ENVISAT dell'ESA (Track=358, Frame=824). L'elaborazione dei dati satellitari è stata effettuata tramite l'algoritmo SPINUA (*Stable Point Interferometry over Unurbanized Areas*) (Bovenga et al., 2004) che implementa un'analisi interferometrica multi-temporale in grado di generare mappe degli spostamenti millimetrici su particolari oggetti definiti "diffusori persistenti" (PS), anche in aree non densamente urbanizzate. La copertura delle immagini ENVISAT è rappresentata in figura 1 su un'immagine ottica in ambiente *Google Earth*. Sui siti di interesse elencati in figura 2 è stato possibile generare mappe di deformazione con una buona densità di punti di misura (PS). In figura 3 sono rappresentate alcune delle mappe di deformazione relative ai paesi di Volturino, Bovino, Orsara, Motta Montecorvino e Pietramontecorvino, selezionati in quanto mostrano alcune tra le deformazioni più interessanti. Le mappe mostrano i punti PS individuati applicando una soglia sulla coerenza inter-immagine (una cifra di merito compresa tra 0 e 1 che codifica l'affidabilità delle stime degli spostamenti) di 0.65. Il colore dei punti è rappresentativo della velocità media degli spostamenti lungo la direzione di osservazione del satellite e varia nell'intervallo [-5, +5] mm/anno, dove il segno negativo è indicativo di un allontanamento dal satellite.

Alcuni di questi siti erano stati precedentemente analizzati con dati in banda C ERS-1/2 ed ENVISAT nell'ambito di attività condotte per la Comunità Europea e per l'Autorità di Bacino di Puglia. In particolare in (Bovenga et al., 2005, 2006) è riportata un'analisi generale sull'area della Daunia ed un approfondimento sul paese di Volturino, mentre in (Wasowsky et al., 2008) sono mostrati ed interpretati i risultati per i paesi di Casalnuovo Monterotaro e Pietramontecorvino; infine in (Alemano et al., 2009) sono mostrati i risultati nel caso di Orsara.

Un confronto con le mappe di deformazione ottenute in periodi precedenti risulta di interesse per verificare eventuali cambiamenti delle condizioni di stabilità (variazione dell'area di instabilità e/o cambiamento del regime cinematico). Per agevolare il confronto, sono stati selezionati tra i risultati già a disposizione quelli ottenuti elaborando immagini acquisite con passaggi ascendenti: dati ERS-1/2 (Track=258, Frame=824) acquisiti nell'intervallo [09/1992, 12/1999] e dati ENVISAT (Track=086, Frame=826) acquisiti nell'intervallo [03/2003, 03/2008]. Il confronto mostra un sostanziale accordo tra i risultati più recenti e quelli relativi ad intervalli di analisi precedenti. Il risultato era prevedibile in relazione al fatto che i fenomeni in oggetto sono caratterizzati da cinematiche molto lente (pochi millimetri all'anno di velocità media) per cui, a meno di eventi eccezionali (precipitazioni intense o interventi antropici), peraltro non registrati, è plausibile non aspettarsi un cambiamento di regime quando si analizzano intervalli temporali che differiscono di pochi anni.

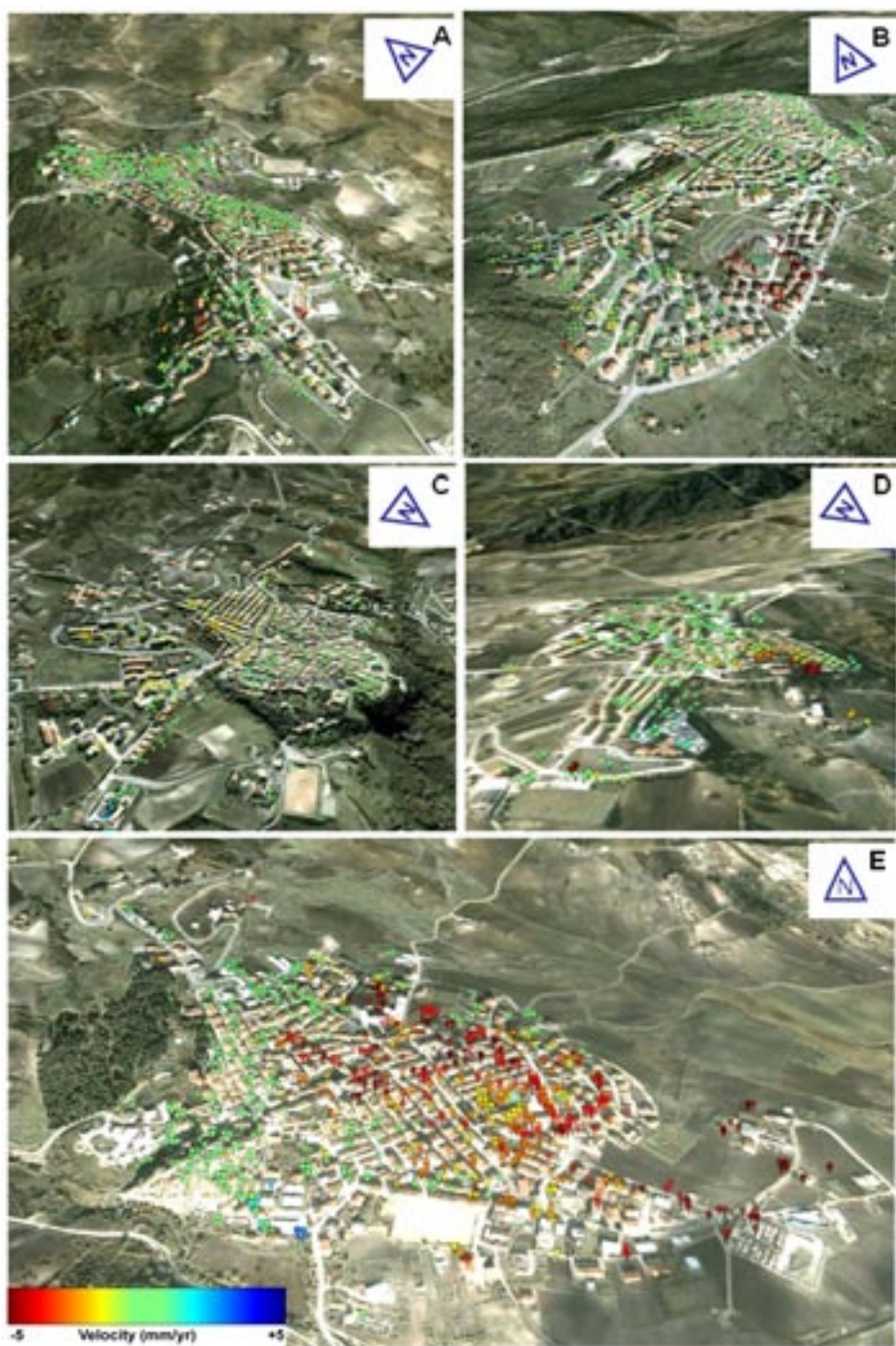


Figure 3 – Mappe di deformazione per alcuni dei paesi analizzati: Volturino (A), Bovino (B), Orsara (C), Motta Montecorvino (D) e Pietramontecorvino (E).

Conclusioni

Il lavoro presenta i primi risultati di un'attività di ricerca condotta nell'ambito di un programma finanziato dalla Regione Puglia e finalizzata all'impiego di tecniche interferometriche SAR per lo studio delle deformazioni al suolo nel sub-appennino Dauno (Puglia). Il territorio in oggetto è caratterizzato da un'elevata incidenza di fenomeni franosi e per questo risulta di notevole interesse per la Protezione Civile Regione Puglia che è uno dei potenziali utenti dei risultati prodotti dalla tecnica dei PS.

Nel presente lavoro sono presentate le mappe di deformazione ottenute utilizzando dati ENVISAT in banda C acquisiti fino all'inizio del 2010. Una prima analisi comparativa ha mostrato un sostanziale accordo con i risultati ottenuti in precedenza nell'ambito di altre attività con dati acquisiti fino al 2008.

Il progetto ha l'obiettivo di sperimentare tale tecnologia sul sito della Daunia utilizzando dati SAR in banda X ad alta risoluzione per verificarne le potenzialità ed i vantaggi applicativi rispetto ai dati in banda C a media risoluzione. Nell'ambito del progetto è stata avviata l'acquisizione sull'area di interesse di dati COSMO-SkyMed (Agenzia Spaziale Italiana) e TerraSAR-X (Agenzia Spaziale Tedesca) in banda X ad elevata risoluzione. L'attività proseguirà con l'elaborazione interferometrica di questi nuovi dati non appena sarà raggiunto un numero sufficiente di acquisizioni ed il successivo confronto dei relativi risultati con quelli ottenuti in banda C e mostrati nel presente lavoro.

Ringraziamenti

Le immagini sono state fornite dall'ESA nell'ambito del progetto CAT-1 id. 2653, "Advanced SAR Interferometry techniques for landslide warning management".

Riferimenti bibliografici

- Alemanno D., T. Caggiano, A. Castorani, D. Di Carne, A. R. Di Santo, A. Fiore, A. Refice, F. Bovenga, G. Pasquariello, R. Nutricato, D. Conte (2009), "Sistemi integrati di monitoraggio mediante telerilevamento e strumentazioni in foro di aree a criticità geomorfologica. Esempi di applicazioni nell'Appennino Dauno", *Atti della 13a Conferenza Nazionale ASITA*, 1-4 Dicembre 2009, Bari.
- Bovenga F., A. Refice, R. Nutricato, L. Guerriero, M.T. Chiaradia (2004), "SPINUA: a flexible processing chain for ERS / ENVISAT long term interferometry", *Proceedings of ESA-ENVISAT Symposium*, Salzburg, Austria, 6-10 September, 2004.
- Bovenga F., M.T. Chiaradia, R. Nutricato, A. Refice, J. Wasowski (2005), "On the application of PSI technique to landslide monitoring in the Daunia mountains, Italy", *Proceedings of FRINGE 2005, ESA-ESRIN*, Frascati (RM), Italy, 28 Nov.-2 Dec. 2005.
- Bovenga F., R. Nutricato, A. Refice, J. Wasowski (2006), "Application of Multi-temporal Differential Interferometry to Slope Instability Detection in Urban/Peri-urban Areas", *Engineering Geology, Special Issue on Remote sensing and ground-based geophysical techniques for recognition, characterisation and monitoring of unstable slopes*, Vol. 88, NOS 3-4, pp. 218-239, December 2006.
- CEOS Report (2000). Earth Observation for Landslide Hazard Support, in Report of the CEOS Disaster Management Support Group, <http://disaster.ceos.org/landslide.htm>
- Ferretti A., C. Prati, F. Rocca (2001), "Permanent Scatterers in SAR Interferometry". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 39, 8–20.
- Wasowsky, J., F. Bovenga, R. Nutricato, D.O. Nitti, A. Refice, A. & D. Casarano (2008), "Investigating landslide-prone towns in Daunia (Italy) with PS interferometry", *Proceedings of the 10th International Symposium On Landslides And Engineered Slopes*, June 30 – July 4, 2008. Xi'an, China.