

## Utilizzo dell'interferometria SAR per la generazione di DSM ed il controllo delle deformazioni del suolo in Calabria Centrale

Gerardo FORTUNATO (\*), Fabrizio FERRUCCI (\*)

(\*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli studi della Calabria  
Ponte Pietro Bucci, 87036 Arcavacata di Rende (CS) – gerardo.fortunato@carthema.org

### Riassunto

Lo studio illustra i risultati di un'attività sperimentale basata su coppie di immagini SAR, svolta in Calabria centro-meridionale sul periodo 1998-2000 (ERS) e fino al 2005 (ENVISAT). L'obiettivo del progetto è quello del rilevamento tempestivo e della perimetrazione preliminare di aree urbane e peri-urbane in subsidenza. Nello specifico, l'attenzione è stata focalizzata sull'hinterland delle città di Vibo Valentia e Lamezia Terme, con particolare attenzione alla rete infrastrutturale presente nell'area, ivi incluse: la linea ferroviaria Tirrena Inferiore, l'autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria e l'aeroporto Sant'Eufemia di Lamezia Terme.

Malgrado i noti problemi di decorrelazione temporale in aree ad alto tasso di ricrescita, o di rotazione della vegetazione, e la significativa eterogeneità topografica di buona parte dell'area di studio, i risultati ottenuti appaiono sufficientemente robusti da essere confermati dalle analisi di verità al suolo.

### Abstract

This paper focuses on the geometric applications of the SAR interferometry, i.e. the generation of digital elevation model (InSAR) and the monitoring of deformations (DInSAR). Are presented the first results of an experimental activity which an application of ERS tandem data to fast DSM (Digital Surface Model) generation and deformation maps with the classic DInSAR approach for a central area of Calabria region.

The objective of the project is to use SAR derived elevation data to improve subsidence prediction, landslides, earth motion and damage assessment for a very important regional area as "Piana di Lamezia". In particular, we have dealt with the urban areas of Vibo Valentia and Lamezia Terme, and their surroundings, the network of infrastructures including the State road "Tirrena Inferiore", the A3 highway Salerno-Reggio Calabria and the Lamezia Terme -Sant'Eufemia Airport.

Considering the heterogeneous topography and the drastically coherence's loss for the images acquired with more than one day of interval the first results are very encouraging.

### Introduzione

Lo studio riguarda due aree strategiche per l'attuale assetto socio-economico della Calabria: la Piana di Lamezia Terme - sede dell'autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria, della ferrovia Tirrena Inferiore e dell'Aeroporto Sant'Eufemia di Lamezia - e la provincia di Vibo Valentia che ospita alcuni dei più importanti villaggi turistici internazionali della regione. Le città comprese nell'area di studio rappresentano i prototipi delle piccole cittadine dell'Italia meridionale con agglomerati urbani modesti in zone che talvolta restano ancora rurali e con passaggi netti a terreni ad alto tasso di copertura vegetale. Queste, tuttavia, mantengono delle particolarità: Lamezia Terme risulta collocata nella parte più occidentale del "Graben di Catanzaro" dove esistono evidenze di una tettonica attiva con chiari segni di instabilità gravitativa e subsidenza generalizzata testimoniata da resti di costruzioni romane individuate a decine di metri di profondità; Vibo Valentia situata su un *horst* dove il sollevamento neotettonico regionale mostra un'accelerazione dei processi di smantellamento dei versanti e una fragilità del territorio resa ancora più evidente dalla tragica

alluvione che ha interessato l'area il 3 Luglio del 2006. Dunque, la situazione generale del territorio evidenzia un'alta esposizione al rischio idrogeologico per le zone urbane e le infrastrutture.

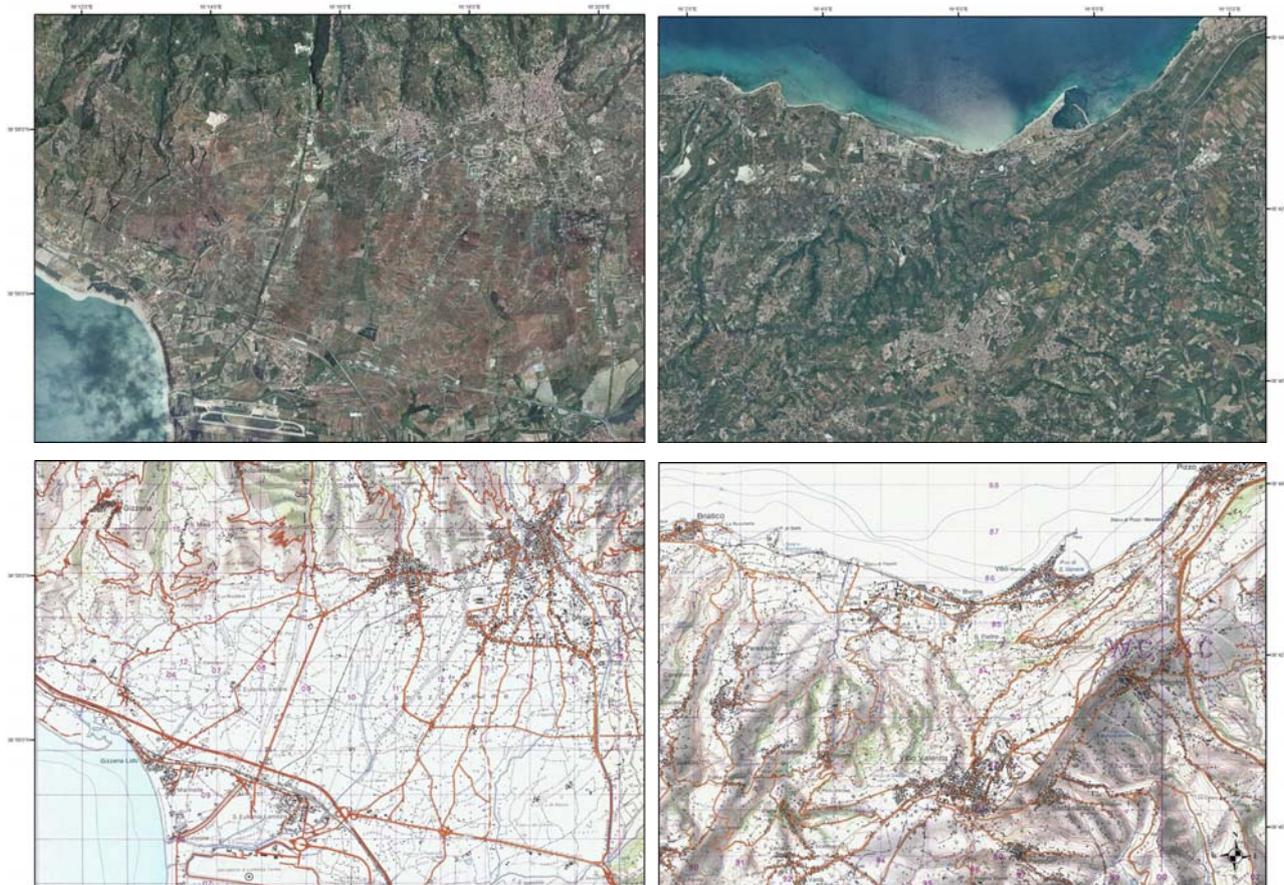


Figura 1 – Foto aerea (in alto) e carta (in basso) dell'hinterland e delle città di Lamezia Terme (a sinistra) e Vibo Valentia (a destra).

### Dati analizzati

Varie considerazioni sui fattori che condizionano tipicamente le acquisizioni SAR satellitari hanno portato ad optare per l'utilizzo di immagini ERS ed ENVISAT con orbita discendente distinguendo due "serie" temporali (ERS Ottobre 1998 – Agosto 2000; ENVISAT Marzo 2004 – Settembre 2005). Queste valutazioni si sono rese necessarie per ridurre l'effetto di "foreshortening" e avere dati più sensibili agli spostamenti presunti. L'analisi ha portato alla scelta dell'orbita discendente caratterizzata dal maggior numero di acquisizioni (track 451, frame 2825 – v. Fig.2).

DATA	SATELLITE ORBITA
1998 10 23	ERS2 18341
1999 10 07	ERS1 43024
1999 10 08	ERS2 23351
2000 02 25	ERS2 25355
2000 08 18	ERS2 27860
2004 03 05	ENV 10524
2004 04 09	ENV 11026
2004 10 01	ENV 13531
2004 12 10	ENV 14533
2005 04 29	ENV 16537
2005 07 08	ENV 17539
2005 09 16	ENV 18541



Figura 2 - Date, orbite e copertura delle acquisizioni SAR utilizzate.

## Metodologia

I dati sono stati processati con l'ausilio del software SARscape<sup>®</sup> (SARMAP) che fornisce un set di funzioni modulari dedicate alla generazione di prodotti derivati da satelliti SAR. Per la generazione dei prodotti finali si è proceduto secondo i seguenti passi:

- a) Coregistrazione delle immagini: la fase si è resa necessaria perché nell'analisi di tipo multitemporale a pixel omologhi deve necessariamente corrispondere la stessa impronta a terra.
- b) Generazione della fase sintetica: questa procedura permette l'utilizzo di un filtro speciale per lo *spectral shift* che consente la generazione di interferogrammi di migliore qualità.
- c) Generazione dell'interferogramma differenziale. Avendo proceduto alla generazione della fase sintetica di cui al punto b), il prodotto è già un interferogramma differenziale.
- d) Srotolamento della fase (*phase unwrapping*): l'interferogramma differenziale contiene il valore principale della fase nota a meno di multipli interi di  $2\pi$ . L'operazione ha permesso di stimare questi valori e di ottenere i dati di fase assoluta.
- e1) Generazione DSM: i valori della fase relativi agli interferogrammi derivati da immagini *tandem* sono stati convertiti in altezza e geocodificati nella proiezione desiderata.
- e2) Generazione mappe di deformazione: i valori di fase sono stati convertiti in spostamento e successivamente geocodificati. Nel nostro caso ogni ciclo completo di fase corrisponde a 2,8 cm di spostamento nella direzione di vista del satellite.

## Prodotti derivati (DSM)

Con l'accoppiamento tandem acquisito (1999\_10\_07 - 1999\_10\_08 Baseline  $\perp$ : 256 m) è stato possibile generare un Modello Digitale di Superficie (DSM) e diversi prodotti intermedi:

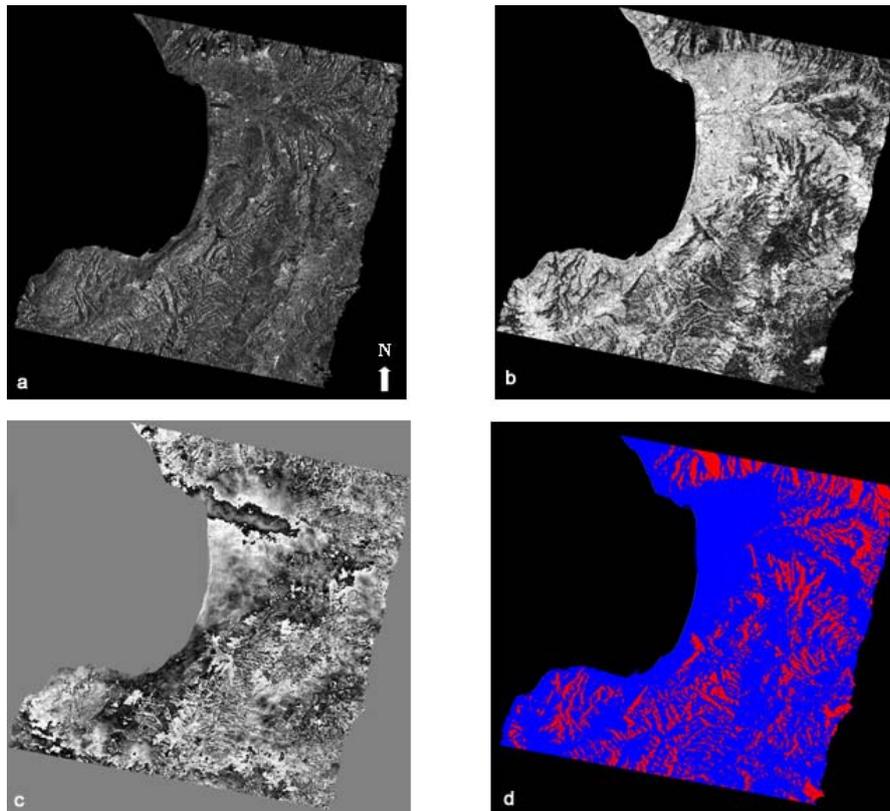


Figura 3 - Le immagini **a**, **b** e **c** rappresentano rispettivamente l'immagine di intensità, di coerenza e l'interferogramma per l'area di studio relative al tandem 19991007\_19991008. Nell'immagine **d** sono raffigurate in blu le zone direttamente coperte dal satellite. In rosso le zone di "foreshortening" e di "shadow" che, non risultando visibili alla radiazione incidente, vengono interpolate durante il processo.

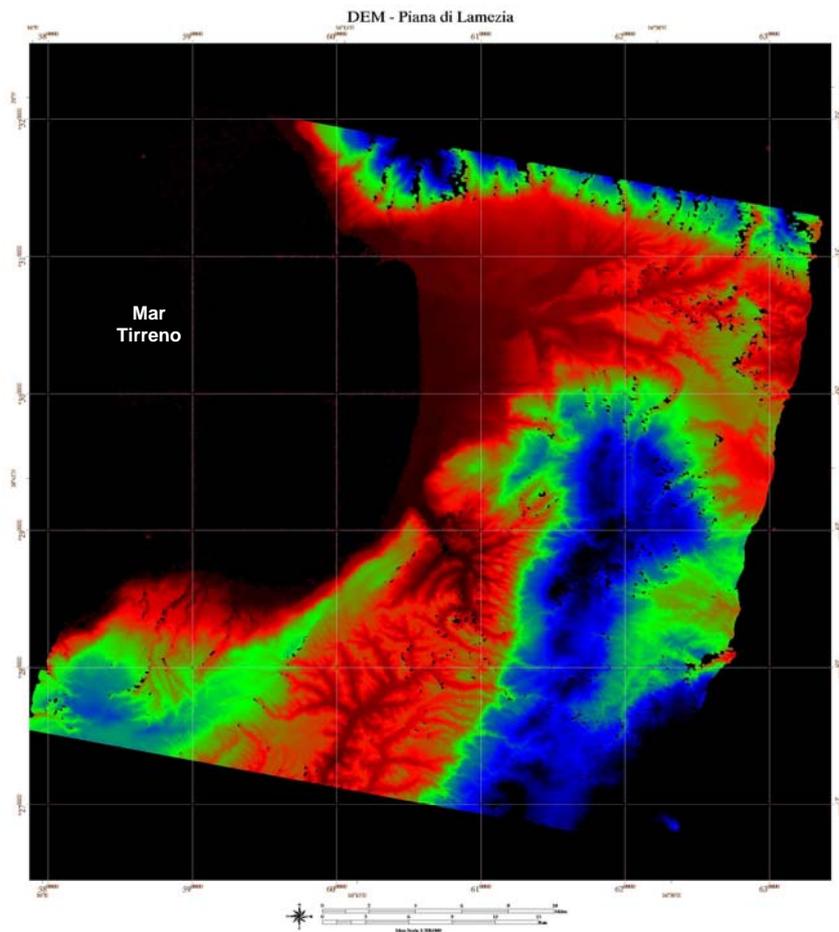


Figura 4 – Modello Digitale di Superficie (DSM) ottenuto dal processamento del Tandem e rappresentato in scala di colore (risoluzione pixel 25m). Le tonalità dal rosso al blu rappresentano quote crescenti s.l.m.. I punti neri corrispondono alle aree in cui il software non ha potuto chiudere l'interpolazione.

La qualità del DSM ottenuto dall'unico tandem processato risulta di buona affidabilità fuori dalle zone di *foreshortening* e di *layover* dove, invece, è fortemente interpolato e di insufficiente attendibilità.

Per ovviare a questi tipi di inconvenienti saranno combinate alla coppia tandem acquisita altre coppie riprese sia durante passaggi ascendenti che discendenti. In questo modo le osservazioni risulteranno complementari, le deformazioni geometriche verranno fortemente ridotte e le zone montuose potranno essere rappresentate con miglior dettaglio.

La tecnica impiegata dimostra comunque, anche per aree come quella analizzata, di essere fortemente operativa per la generazione veloce di DSM di discreta qualità da cui possono essere ricavate informazioni tipiche derivate dall'analisi di prodotti di questo tipo.

#### **Prodotti derivati (Mappe di deformazione)**

Con le immagini disponibili è stato possibile generare svariate coppie interferometriche, caratterizzate da *baseline* temporali e spaziali diverse.

Il dato interferometrico ha fornito informazioni relative all'entità dei movimenti avvenuti riferiti alla direttrice satellite-bersaglio. Da ciò è possibile dedurre la proiezione della componente di moto del bersaglio lungo la direzione di *slant-range* piuttosto che la componente del moto reale.

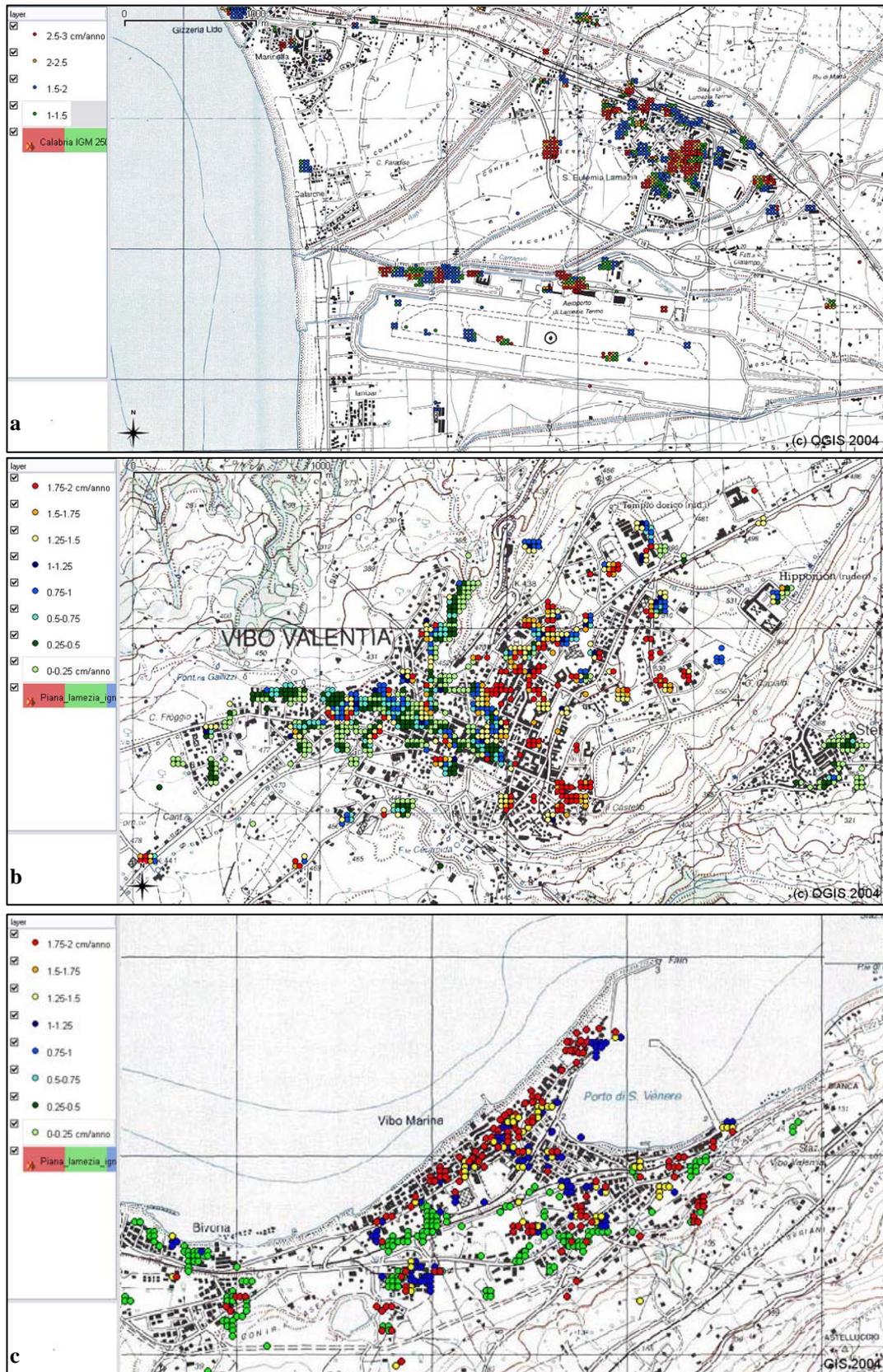


Figura 5 - Distribuzione dei dati di deformazione ricavati dalla serie ERS ed espressi in cm/anno rispettivamente per l'area dell'aeroporto Sant'Eufemia di Lamezia Terme (a), l'area urbana di Vibo Valentia (b) e il porto di Vibo Marina (c).

L'analisi DInSAR, argomento centrale dello studio, ha permesso di determinare dapprima su larga scala, attraverso l'analisi diretta degli interferogrammi, le aree in cui potessero esser presenti problematiche legate a fenomeni di dissesto e deformazione. Successivamente l'analisi specifica sui siti individuati ha portato alla produzione di mappe su cui è rappresentata la distribuzione dei dati di deformazione ricavati per ogni pixel ed espressi in cm/anno. Le osservazioni preliminari fatte relativamente alle deformazioni del suolo che interessano tutte le infrastrutture nell'area dell'Aeroporto di Sant'Eufemia, ai movimenti differenziali dell'area urbana di Vibo Valentia e alla subsidenza dell'area portuale di Vibo Marina costituiscono, in ogni caso, dati importanti e potenzialmente utili per l'interpretazione geotecnica e geostatica dell'area. Si deve tuttavia tener conto del fatto che il dato interferometrico è riferito con certezza alla sola componente di direzione di vista del sistema che opera con un angolo di incidenza di 23 gradi rispetto al terreno piatto. Poiché nell'area investigata il tipo di movimenti attesi sono sia di subsidenza che di scivolamento gravitativo, per quest'ultimo caso, la preponderanza della componente orizzontale su quella verticale può assumere aspetti più che significativi.

### **Sviluppo**

Recentemente le attività intraprese sono state centrate sul processo di ottimizzazione includendo:

- (i) Processing di nuove acquisizioni SAR con miglioramento della precisione delle osservazioni attraverso l'analisi degli effettivi contribute atmosferici;
- (ii) controlli sistematici di verifica a terra;
- (iii) implementazione dei risultati all'interno di un Sistema di Informazione Geografica.

### **Ringraziamenti**

Gli autori desiderano particolarmente ringraziare Paolo Sterzai dell'OGS-Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale di Trieste, per le utili discussioni tecniche e per aver messo a disposizione il codice SHISSOR.

### **Riferimenti bibliografici**

Allievi J., Cespa S., Colesanti C., Ferretti A., Locatelli R., Prati C., (2002), "Monitoraggio di instabilità di versante a partire da serie di dati SAR elaborati con la tecnica dei diffusori permanenti". *Atti della 6<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA – Perugia 5/8 Novembre 2002*.

Baran I., Stewart M.P., (2003). "Small scale surface deformation monitoring in mining regions using differential radar interferometry". *Proceedings of the 11<sup>th</sup> FIG Symposium on Deformation Measurement – Santorini, Greece, 2003*.

Colesanti C., Ferretti A., Ferrucci F., Prati C. and F. Rocca (2000). Monitoring known seismic faults using the Permanent Scatterers (PS) Technique. *Proceedings of IEEE- IGARSS 2000, Honolulu, paper no. 4988, 4 pp*.

Colesanti C., Ferretti A., Prati C., Rocca F., (2001). "Il radar satellitare misura le deformazioni relative del terreno con precisione millimetrica". *Atti della 5<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA – Rimini 9/12 Ottobre 2001*.

Coren F., Vidmar R., Sterzai P., De Cillia C., (2001). "Utilizzo dell'interferometria SAR per la localizzazione di movimenti franosi su larga scala". *Atti della 5<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA – Rimini 9/12 Ottobre 2001*.

Crippa B., Crosetto M., Biescas E., Monserrat O., (2004). "Monitoraggio di subsidenze mediante tecnica DInSAR". *Atti della 8<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA – Roma 14/17 Dicembre 2004*.

Ferretti A., Ferrucci F., Prati C. and F. Rocca (2000). SAR Analysis of Building Collapse by means of the Permanent Scatterers Technique. *Proceedings of IEEE- IGARSS 2000, Honolulu, paper no. 4776, 4 pp*.

Graham, L.C., (1974). "Synthetic Interferometer Radar for Topographic Mapping". *Proceedings of the IEEE, volume 62, publication 6, page 763, 1974*.

Jarosz A., Wanke D., (2003). "Use of InSAR for Monitoring of Mining Deformations". *Proceedings of FRINGE – Frascati 1/5 Dicembre 2003*.

Liang L.S., Wang C.T., Chen K.S., Tsai Y.B., Chen A.J., (2001). "Deformation of 921 Earthquake by Satellite Radar Interferometry: co-seismic and post-seismic estimation". *22<sup>nd</sup> Asian Conference on Remote Sensing – Singapore 5/9 Novembre 2001*.

Prati C., Rocca F., (1992). "Range Resolution Enhancement with Multiple SAR Surveys Combination". *Proceedings of IEEE- IGARSS 1992, pp 1576-1578*.