

Applicazione delle Tecniche Interferometriche differenziali SAR per il monitoraggio degli spostamenti di fabbricati nella località di Maratea

Cosimo Marzo (*), Angela Losurdo (**), Antonio Colangelo (**), Maurizio Leggeri (***)

(*) Agenzia Spaziale Italiana, Centro di Geodesia Spaziale - Matera, 0835377326, cosimo.marzo@asi.it

(**) Geocart s.r.l., Via del Basento 120 - Potenza, 097156671, a.losurdo@geocart.net, a.colangelo@geocart.net

(***) Centro di Geomorfologia Integrata per l'area del Mediterraneo, Via F.Baracca 175 - Potenza , 0971470020, maurileg@tin.it

Riassunto

Il lavoro svolto è consistito nello sviluppo di un sistema denominato "SLIDE", acronimo di Sar Land Interferometry Data Exploitation, che consente di elaborare i dati SAR (acquisiti da satellite) e misurare gli spostamenti subiti dal territorio, utilizzando le tecniche interferometriche differenziali note in letteratura (Ferretti, et al., 2001), (Werner et al., 2003). L'area di test è stata Maratea, qui sono stati segnalati quattro fabbricati interessati da evidenti lesioni strutturali.

Nella introduzione verrà descritta la motivazione dell'attività, i risultati ottenuti sono frutto del lavoro di approfondimento svolto intensamente dal 2001. Nel secondo paragrafo si darà spazio alla descrizione dello strumento SLIDE in cui sono stati integrati gli algoritmi sviluppati e testati nell'arco degli ultimi cinque anni. Il terzo paragrafo contiene i risultati ottenuti sul sito di Maratea utilizzando un dataset di circa 50 dati SAR (ERS1/ERS2) discendenti e un DEM di origine cartografica.

Abstract

The aim of this work has been the development of an automatic system which is able to process SAR data (acquired by satellite) and to measure the land displacement. The system is called "SLIDE" (Sar Land Interferometry Data Exploitation) and it adopts the differential interferometry technique (Ferretti, et al., 2001), (Werner et al., 2003). The test area of study is Maratea, where four buildings with large fractures have been identified.

In the introduction the motivation of the activity will be presented, the results were obtained after an intensive study that started in 2001. In the second paragraph the operational interferometry system "SLIDE", Sar Land Interferometry Data Exploitation, will be described. SLIDE was developed for operational mass data processing and interpretation of the SAR dataset and consists of the algorithms developed and validated in the last five years. The last paragraph shows the results which have been obtained on the Maratea area employing 50 descending SAR data and a cartographic DEM.

Introduzione

La tecnica denominata Interferometria differenziale è stata oggetto da ormai un decennio di sperimentazioni di piccola e grande scala. Utilizzando la suddetta tecnica si è in grado di calcolare misure di spostamento di precisione millimetrica (Ferretti et al., 2001). Requisiti necessari sono un numeroso set di dati SAR, almeno 30 sulla zona da esaminare, e condizioni di buona coerenza temporale su un numero di punti di densità minima 50-150/km² (Colesanti et al., 2000).

La Geocart dal 2001 ha investito al fine di accrescere il proprio know-how per costruire uno strumento valido e specifico per il controllo di spostamenti millimetrici utilizzando le tecniche interferometriche differenziali SAR, nell'ambito del progetto dal titolo "Progetto e sviluppo di metodologie per il monitoraggio delle deformazioni crostali con l'utilizzo di tecniche interferometriche da dati SAR (ERS1, ERS2, ENVISAT)" approvato dall'Agenzia Spaziale Italiana

in occasione dell'“Invito alla Presentazione di Proposte per Progetti di Sviluppo Tecnologico. L'attività suddetta ha permesso alla Geocart di essere inserita nel Laboratorio del Centro di Geodesia Spaziale “G. Colombo” dell'ASI nel periodo 2001-2004. In questo periodo il gruppo di lavoro ha approfondito i temi basilari circa l'acquisizione del dato SAR e la geometria orbitale di ripresa, a tal uopo ha collaborato a diversi lavori di Tesi e di Stage. In seguito ha studiato le tecniche di elaborazione degli interferogrammi differenziali con l'utilizzo dei Permanent Scatters (Ferretti et al., 2001), con la tecnica di analisi dei Point Target (Werner et al., 2003) e con l'approccio metodologico che utilizza coppie interferometriche differenziali con baseline geometriche basse (Berardino et al., 2002). L'esperienza acquisita è stata messa a frutto nello sviluppo degli algoritmi dedicati alla produzione degli interferogrammi differenziali, alla geocodifica (Marzo et al., 2005) e alla estrazione ed elaborazione delle fasi differenziali dei Point Target.

Nel giugno'04 si è presentata l'opportunità di testare gli algoritmi implementati per il monitoraggio degli spostamenti di alcuni edifici nel Comune di Maratea (PZ).

Gli studi storici geologici e le perizie geomorfologiche - ingegneristiche effettuate nel sito hanno già confermato l'entità e la gravità dei fenomeni di dissesto, per cui le finalità della attività non consistono nell'accertamento di una situazione di pericolo ma bensì nella valutazione numerica dell'entità dello spostamento subito dagli edifici in oggetto. Un sopralluogo fotografico svolto nelle zone individuate dallo studio interferometrico come le più pericolosamente instabili ha portato alla validazione del metodo di analisi utilizzato.

Procedura operativa: Software SLIDE

SLIDE, acronimo di Sar Land Interferometry Data Exploitation, è stato progettato e sviluppato dalla Geocart per controllare ed effettuare le operazioni da svolgere sui dati radar. Esso è stato sviluppato in ambiente IDL, consente di svolgere operazioni ed elaborazioni quali: ritaglio, interpolazione in direzione range, registrazione rispetto al dato Master, proiezione del DEM in geometria orbitale, produzione degli interferogrammi differenziali, estrazione della mappa dei Point Target, elaborazione del dato di fase puntuale del Point Target con il calcolo dello spostamento relativo di punti vicini, determinazione dell'errore atmosferico ed elaborazione dei dati di fase integrati su tutta l'immagine da cui si determina la mappa di velocità di spostamento. La elaborazione dei dati satellitari è gestita da un file detto “project” che contiene i parametri di controllo dei singoli processi della elaborazione interferometrica, quali il dettaglio dei dati utilizzati (SAR e DEM), le coordinate geografiche dell'area da ritagliare, i fattori di interpolazione e registrazione. Per la operazione di registrazione e per le trasformazioni geografiche SLIDE richiama le librerie di Best Beta e Geotrans rispettivamente.

SLIDE è stato costruito con una interfaccia grafica in cui si trovano allineati in alto una serie di menù a tendina, separati per tipologia di processi.

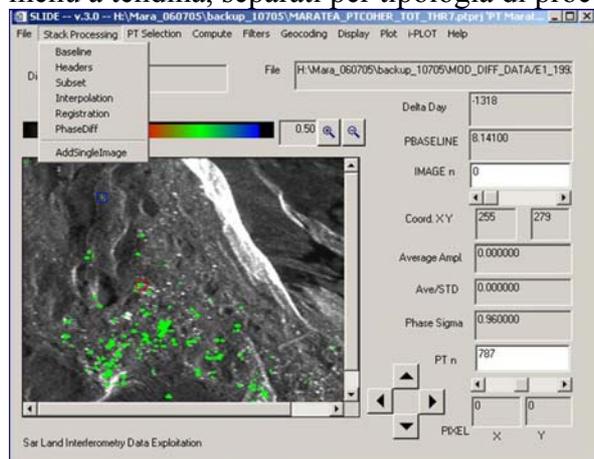


Figura 1 – Interfaccia grafica di SLIDE, Sar Land Interferometry Data Exploitation implementato per la elaborazione dei dati SAR.

Il primo menù è “File”, con esso si attivano le operazioni di lettura e scrittura del file progetto, quindi con “Stack Processing” è possibile effettuare i processi di ritaglio, interpolazione, registrazione, produzione dell’interferogramma differenziale sulla pila di dati radar, “PT Selection”, è utile per ottenere la mappa dei punti naturali riflettenti, “Compute” attiva il tool che analizza l’informazione elaborata da dati radar e la trasforma in informazione di spostamento, “Filters” attiva le operazioni di filtraggio di supporto ai processi di Compute, “Geocoding” viene utilizzato per localizzare la misura di spostamento e per geocodificare tutti i prodotti radar, “Display”, “Plot” e “i-Plot” sono tool di grafica per il controllo delle elaborazioni intermedie e finali, ed infine “l’Help” contiene l’informazione della versione del software e del modo di funzionamento di esso stesso. L’interfaccia è quindi completata a sinistra con un area display in cui si visualizza l’immagine intensità media su cui si sovrappone la mappa dei PT e a destra con altre finestre in cui vengono riportate le informazioni dei singoli dati radar, o dei punti naturali estratti che vengono selezionati nella area display.

Di interesse è inoltre la possibilità di visualizzare su un’area separata i grafici dei valori estratti di fase interferometrica differenziale, sia per singoli punti che per coppie di punti, ciò diviene di rilevanza per la valutazione della bontà del processamento dei dati SAR.

A tal uopo si ricorda che utilizzando la tecnica dei Point Target (Werner et al., 2003) la fase interferometrica sintetica associata a tali punti risulta la sommatoria della fase topografica ϕ_{topo} , che dipende dalla orografia e dalla geometria orbitale di ripresa, della fase di deformazione ϕ_{def} , componente proporzionale allo spostamento subito dal punto in direzione slant range, della fase atmosferica ϕ_{atm} , che varia per condizioni metereologiche e della fase rumore ϕ_{noise} generata dalla decorrelazione temporale e o geometrica.

$$\phi_{wrap} = \phi_{topo} + \phi_{def} + \phi_{atm} + \phi_{noise} \quad [1]$$

Con il calcolo degli interferogrammi differenziali la componente ϕ_{topo} viene valutata a meno di possibili errori dovuti ad un valore impreciso di baseline geometrico o di quota del punto.

La relazione che lega la differenza di fase interferometrica, valutata tra due punti, alle suddette componenti geometriche è la seguente (Adam et al., 2003):

$$\Delta\Phi_{topo} = \frac{4\pi}{\lambda} \cdot \frac{B_N}{r \cdot \sin \theta} \cdot \Delta h_{topo} \quad [2]$$

con Δh_{topo} differenza di quota dei due punti, B_N baseline geometrico normale, λ lunghezza d’onda del SAR, r distanza satellite punto a terra, θ angolo di look.

Si considera inoltre che le componenti ϕ_{atm} e ϕ_{noise} sono di tipo locale per cui possono essere trascurate se si va a considerare i contributi $\Delta\phi_{atm}$ e $\Delta\phi_{noise}$ di Point Target vicini.

La grafica della fase interferometrica differenziale rispetto al tempo restituisce l’informazione circa l’entità di un eventuale spostamento subito, mentre la grafica della fase interferometrica in funzione della baseline geometrica permette il calcolo di un errore di quota del dem utilizzato.

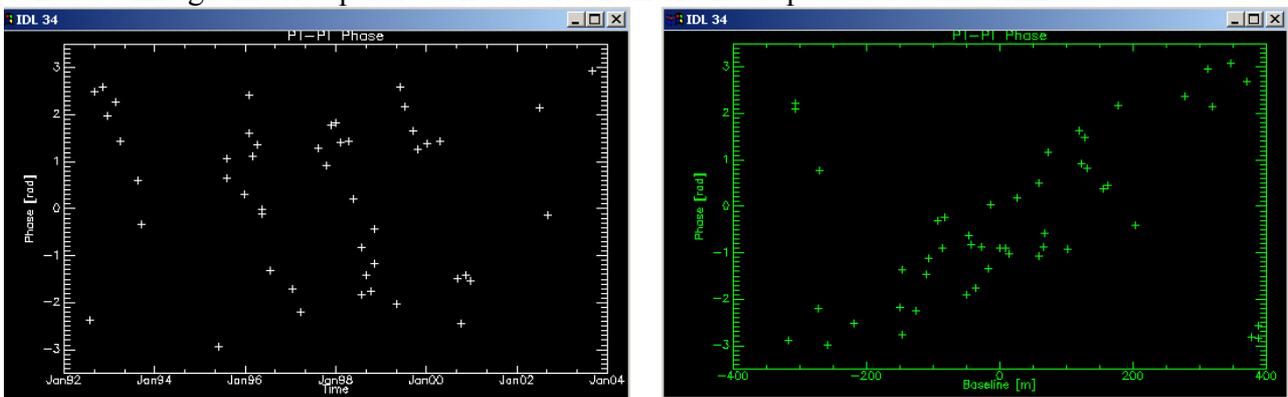


Figura 2-3 A sinistra: grafico XY della differenza di fase differenziale per una coppia di punti Point Target vicini, in funzione del tempo; A destra: corrispondente grafico della differenza di fase differenziale riordinati per valori di baseline geometrica

Il grafico in figura 2 indica che nell'intervallo temporale Gennaio'92 - Gennaio'04 i due punti si sono spostati di più di 2 volte la lunghezza d'onda del radar, la misura esatta è di 13 cm (per ottenere lo spostamento si divide il numero di rotazioni di fase per due poichè le distanze sono da considerarsi di andata e ritorno), mentre dalla figura 3 considerando la [2] si valuta un errore di quota di 13.44 m.

Analisi dei Risultati raccolti nel test-site di Maratea

Situazione locale: Località Giardelli

Con un dataset di 48 dati SAR si è calcolata la mappa di Point Target utilizzando i prodotti di fase differenziale e in Località Giardelli di area circa 1600 m² ne vanno a ricadere 10. La densità di Point Target è di 6250 per km² di gran lunga maggiore della soglia minima di 150/Km² (Colesanti et al.,).

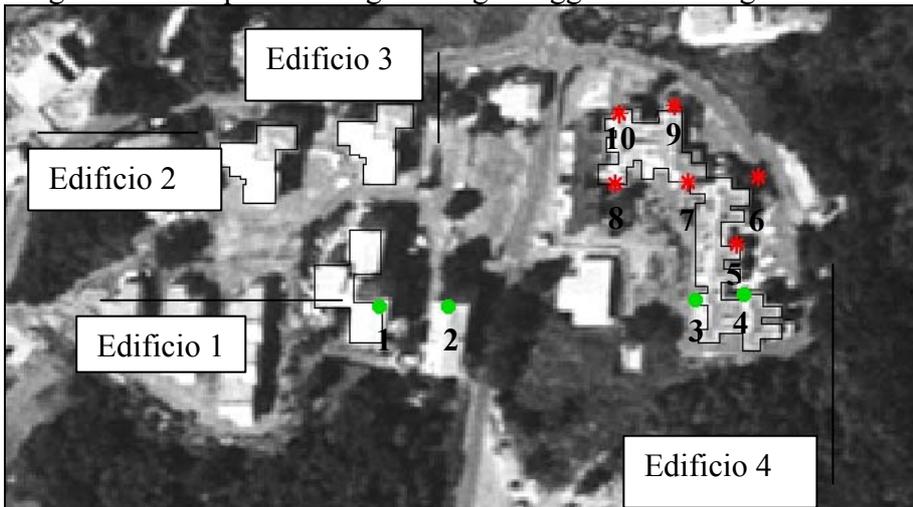


Figura 4 - Ortofoto aerea della località Giardelli, gli edifici con contorno nero sono quelli oggetto di studio, i punti numerati indicano la localizzazione dei Point Target. La ricerca di questi punti è stata fatta utilizzando i dati di fase. La differente forma e colore dei punti indica l'intervallo entro cui cade la velocità di spostamento, i pallini verdi hanno velocità compresa tra -0.7 cm/anno e -0.0 cm/anno, mentre gli asterischi rossi hanno velocità compresa tra -1.56 cm/anno e -0.7 cm/anno.

Le misure di spostamento in Località Giardelli confermano una situazione di allarme nel quartiere di Maratea. La posizione di frattura, secondo le misure di seguito riportate, si trova lungo la congiungente dei Point Target 3-4 e del 5 (figura 4) dove c'è un incremento di velocità maggiore del centimetro. Questi punti ricadono sull'edificio maggiormente esteso, l'edificio 4.

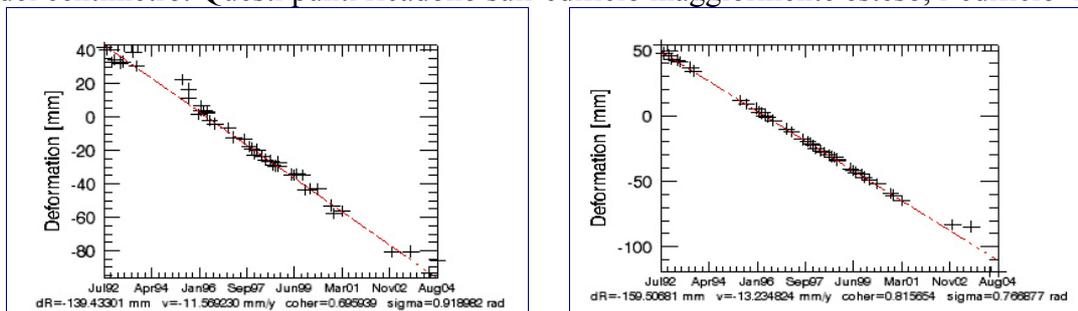


Figura 5-6 A sinistra $Diff_s (Pt5-Pt3) = 139 \text{ mm}$; A destra $Diff_s (Pt1-Pt10) = 159 \text{ mm}$

La velocità relativa tra i punti 3 e 5 è di 1.1 cm per anno e i punti distano solo 23 metri.

La velocità relativa tra gli edifici 1 e 4 misura circa 1.4 cm per anno (figura 6).

Il sopralluogo fotografico ha fornito l'evidenza degli spostamenti calcolati, in particolare lungo la retta congiungente i punti 3-4 e 5 si è constatata una frattura di notevole entità (figura 7).



Figura 7 - Foto relative all'edificio 4 nella zona dei punti 3 e 5.

Risultati globali di spostamento su Maratea

Una diversa elaborazione è stata effettuata per valutare gli spostamenti subiti da tutto il territorio su cui i Point Target sono distribuiti in modo non uniforme. A tal fine sono stati sviluppati algoritmi per la triangolazione dei punti e quindi dei metodi di integrazione e interpolazione. Il risultato ottenuto è la mappa di velocità media di spostamento spalmata sulla immagine SAR, il dato è maggiormente attendibile nelle aree in cui è presente un maggior numero di Point Target.

La mappa delle velocità è stata rappresentata graficamente con un tema di linee che indicano il passaggio tra aree caratterizzate da una differente velocità di valore pari a 0.1 cm.

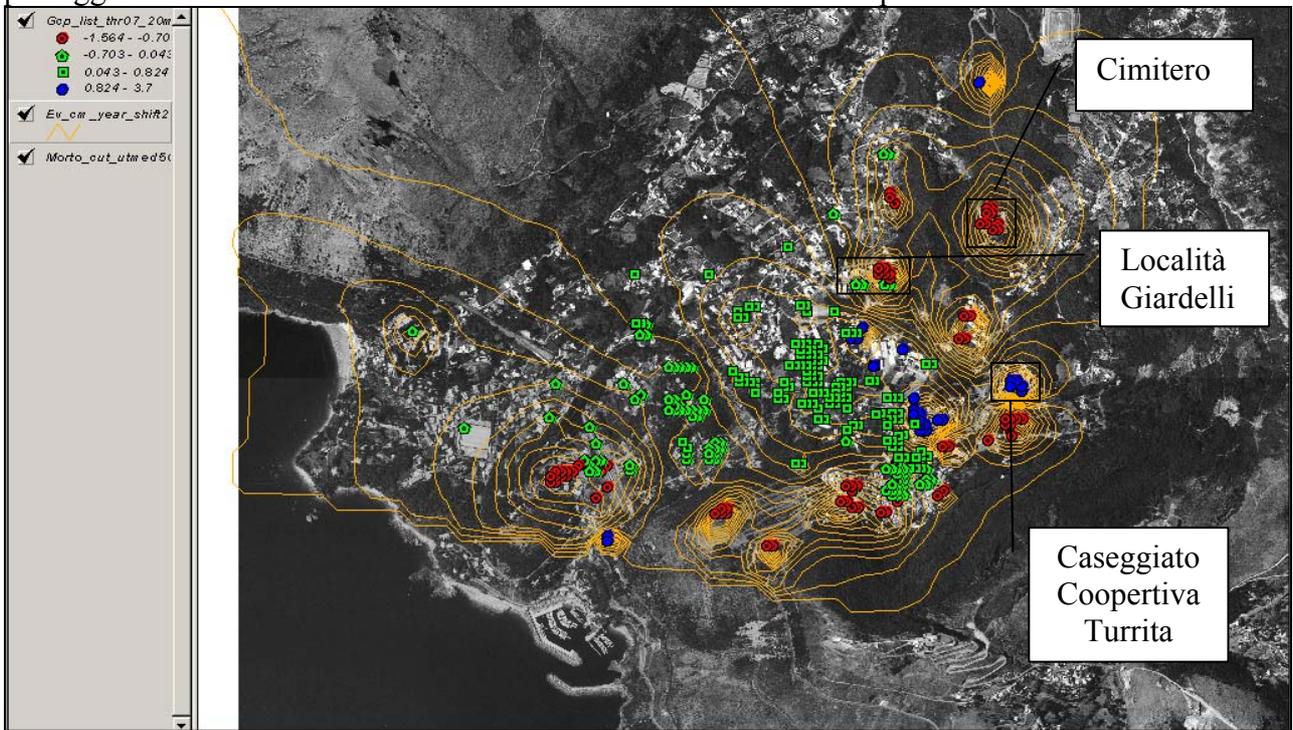


Figura 8- La figura è rappresentativa della area di Maratea, su di essa sono riportati il tema di velocità di spostamento e la distribuzione dei Point Target i cui colori-forme dipendono dall'intervallo di velocità di spostamento degli stessi misurata in centimetro per anno. Le aree cerchiare sono state oggetto del sopralluogo fotografico.

Interessante è notare che le aree con valori di velocità più alti sono localizzate ai piedi del monte Crivo, situato a sud-est rispetto al paese, e a ridosso della costa, mentre si riscontrano velocità più basse nella parte centrale dell'area di Maratea. Tra le aree più pericolose individuate con le misure interferometriche vi sono oltre alla località Giardelli, il Cimitero e il caseggiato edificato dalla Cooperativa Turrita, in questi siti è stato effettuato il sopralluogo fotografico.

Dalle risultanze del sopralluogo si evince la direzione lungo la quale avviene la frattura, essa è disegnata unendo due fratture localizzate nel Cimitero e le lesioni degli edifici 1 e 4 in località Giardelli.

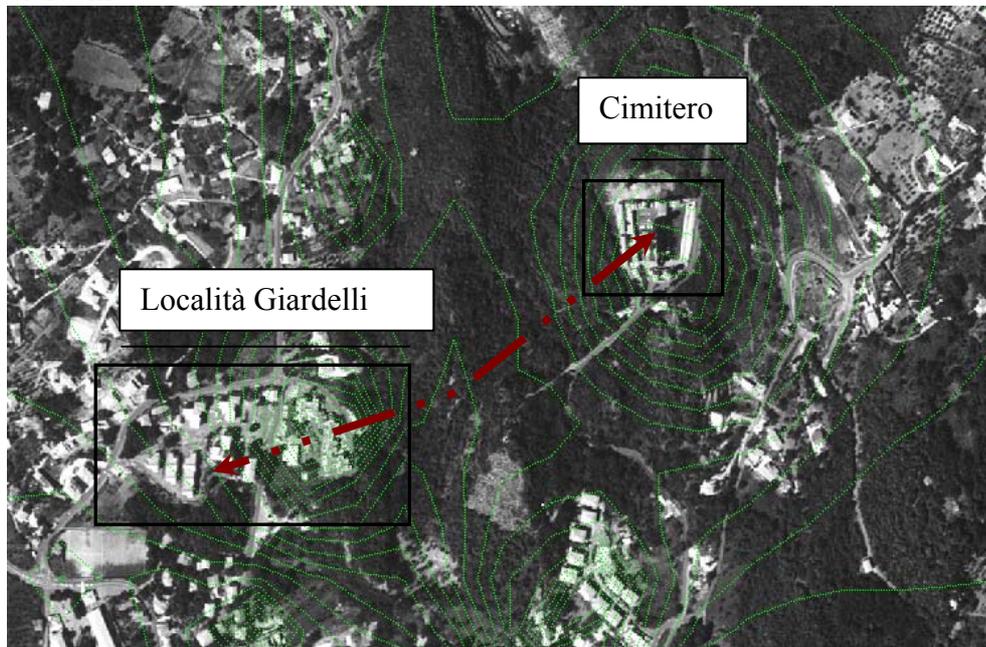


Figura 9 - Localizzazione della linea di frattura che va ad unire il Cimitero con la Località Giardelli

Ringraziamenti

Si ringrazia per i preziosi suggerimenti il professore Luciano Guerriero, referente scientifico dell'attività, e per la disponibilità l'Ing. Lorenzo Motta, l'Arch. Piero Romaniello, l'ATER di Potenza e l'Amministrazione comunale di Maratea.

Riferimenti bibliografici

- Adam et al. (2003), "The Development of a Scientific Permanent Scatterer System", Joint Workshop of ISPRS WG I/2, I/5 and IC WG II/IV and EARSeL Special Interest Group 3D Remote Sensing, Hannover 6-8 Ottobre 2003
- Berardino et al. (2002), "A New Algorithm for Surface Deformation Monitoring Based on Small Baseline Differential SAR Interferograms", IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 40: 2375-2383
- Colesanti et al. (2000), "Monitoring Known Seismic faults using the Permanent Scatterers (PS) technique", International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Honolulu, Hawaii, 24-28 July 2000
- Ferretti et al. (2001), "Permanent Scatterers in SAR Interferometry", IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 39: 8-20
- Marzo et al. (2005), "Esperienze di utilizzo di tecnologie SAR nel calcolo del Digital Elevation Model e nel monitoraggio di strutture edilizie interessate da deformazioni del territorio", Atti del Convegno AIC, Trieste 20-22 Aprile 2005
- Werner et al. (2003), "Interferometric Point Target Analysis for Deformation Mapping", IGARSS'03