

STIMA DI MOVIMENTI SUPERFICIALI DEL TERRENO E DI MAPPE DIGITALI DI ELEVAZIONE IN CINA TRAMITE DATI SAR DA SATELLITE

Daniele PERISSIN, Claudio PRATI, Fabio ROCCA, Teng WANG

Politecnico di Milano, Via Ponzio 34/5, 20133 Milano, Italy
daniele.perissin@polimi.it

Riassunto

Dal 2004 ad oggi è in atto un progetto di ricerca sino-europeo centrato su tematiche legate al telerilevamento, finanziato dalle agenzie spaziali cinese (NRSCC) ed europea (ESA). In questo contesto, il Politecnico di Milano ha operato in collaborazione con l'università di Wuhan nell'analisi di fenomeni chiave in territorio cinese quali le subsidenze urbane, frane in zone montane ed il monitoraggio di grandi infrastrutture per mezzo di dati radar ad apertura sintetica (SAR) acquisiti da piattaforme satellitari (prevalentemente dai satelliti ESA ERS ed Envisat). La capacità di estrazione di modelli digitali di elevazione (DEM) da tali dati è stata inoltre oggetto di studio in particolare nella zona della Diga delle Tre Gole, mastodontico progetto per la generazione di energia elettrica che ha visto modificare il paesaggio lungo il corso del fiume Yangtze per centinaia di chilometri. In questo lavoro vengono mostrati i principali risultati ottenuti nel corso del progetto e le tecniche sviluppate per risolvere i problemi incontrati, quali l'esiguo numero di dati disponibili e la decorrelazione dovuta al terreno vegetato. Le analisi riguardano le zone urbane di Shanghai e Tianjin, e aree montane nella zona delle Tre Gole, in particolare in corrispondenza della città di Badong. In ultimo, si riportano i risultati relativi al terremoto del 12 maggio 2008 nella provincia del Sichuan, ricavati dall'analisi dei dati in banda X dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) acquisiti dal nuovo satellite Cosmo SkyMed.

Abstract

Since 2004 a cooperation project between Europe and China, financed by the respective space agencies ESA and NRSCC, has been conducted on the field of remote sensing. In this context, Politecnico di Milano has been working together with the Wuhan University on key phenomena in the Chinese country as urban subsidences, landslides in mountainous areas and big structures monitoring by means of synthetic aperture radar (SAR) data acquired by spaceborne platforms (mainly ESA satellites ERS and Envisat). The capacity of producing digital elevation models (DEM) from such data has been analysed, in particular in the area of the Three Gorges Dam, colossal project for the generation of electrical power that modified the landscape along the Yangtze River for hundreds of kilometres. In this work the main results obtained within the project are shown, together with the techniques developed for solving the encountered problems, as the small number of available images or the decorrelation due to vegetated terrain. The analyses concern the urban areas of Shanghai and Tianjin and mountainous areas near the Three Gorges, in particular around Badong city. Finally the results achieved by processing X band SAR data acquired by the Italian Space Agency (ASI) new satellite Cosmo SkyMed are reported.

Introduzione

Considerando la vastità e la varietà dell'immenso territorio cinese, i satelliti risultano particolarmente utili per il suo studio. La Cina si estende infatti su di una superficie di 9,6 milioni di



Figura 1. Circa 10,000 PSs rilevati nella città di Tianjin. Scala di colori: tasso di spostamento medio (-30 ÷ 30 mm/anno)

chilometri quadrati, dalle vette himalayane alle pianure tropicali. In tutto il pianeta, 1 persona su 5 è di nazionalità cinese e la Cina rappresenta la seconda economia più grande al mondo e quella con la crescita più rapida. Il Programma Dragon è un'iniziativa congiunta che coinvolge l'Agenzia Spaziale Europea, il Ministero della Scienza e della Tecnologia (MOST) cinese e il Centro di Telerilevamento Nazionale della Cina (NRSCC). Il suo obiettivo è quello di incoraggiare il maggiore sfruttamento delle risorse spaziali dell'ESA all'interno della Cina e favorire una più intensa cooperazione scientifica tra Cina ed Europa nel campo della scienza e della tecnologia di Osservazione della Terra.

Il prof. Fabio Rocca del Politecnico di Milano è il co-P.I. insieme al prof. Deren Li dell'Università di Wuhan per il progetto di rilevamento preciso della topografia e del movimento del suolo, che sfrutta i dati dei radar dell'ESA. L'Interferometria SAR (Synthetic Aperture Radar), o in breve InSAR, prevede la combinazione di due o più immagini radar dello stesso punto, in modo da effettuare misurazioni esatte del movimento del suolo che si verifica tra le acquisizioni.

La subsidenza è un problema che si riscontra in diverse aree della Cina. Le tecnologie europee ne consentono il rilevamento con precisione millimetrica e costi estremamente contenuti, rendendo la materia interessante per ulteriori sviluppi congiunti. La cooperazione, infatti, consente di lavorare combinando l'efficacia del telerilevamento e l'analisi approfondita delle condizioni del terreno per creare protocolli d'interpretazione e un'immediata reazione in presenza di nuovi dati. L'intento è lo sviluppo di strumenti d'utilizzo immediato per gli enti di protezione civile. Il valore del Programma Dragon, nella sua interezza, risiede nella possibilità di avere contatti più stretti con la Cina, un grande Paese con migliaia di esperti scienziati, con un programma spaziale ben sviluppato e nel quale il telerilevamento è un fattore importante per uno sviluppo rapido e sicuro.

In questo articolo si riportano i principali risultati ottenuti nell'ambito del progetto Dragon per ciò che concerne il telerilevamento SAR da satellite.

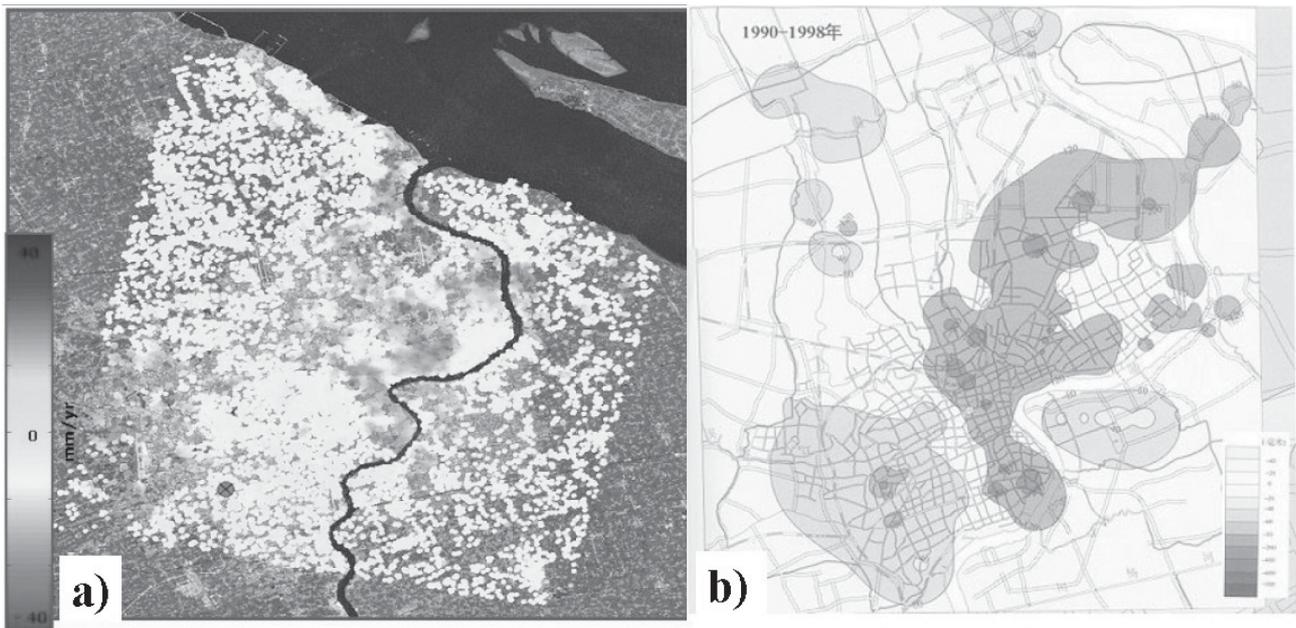


Figura 2. Confronto tra tasso di spostamento stimato con la tecnica PS (sinistra) e con livellazione ottica (destra) nell'area urbana di Shanghai.

Subsidenza in Tianjin

L'area della Repubblica Popolare cinese che si estende tra la capitale Pechino ed il Mar Giallo è nota essere affetta da instabilità geologica. Il terremoto avvenuto a Tangshan il 28 luglio 1976 è stato uno tra i più devastanti in termini di perdita di vite umane nella storia moderna. L'epicentro del terremoto era nei pressi della città industriale di Tangshan, provincia Hebei, che ospita circa un milione di abitanti. Ma gli eventi sismici non sono l'unico problema che affligge la stabilità del suolo di quest'area. A causa della rapida crescita dell'economia locale, la subsidenza del terreno causata da prelievi idrici ha cominciato a riguardare molte città. Tianjin è uno dei quattro maggiori comuni in Cina, con elevata popolazione e storia particolarmente antica. Nel 1960, a causa dello sviluppo dell'industria locale ed il conseguente incremento di abitanti, l'approvvigionamento idrico divenne di primaria importanza. In tali condizioni, fu prelevata acqua dalla falda in eccesso, causando una subsidenza progressiva che ha raggiunto finora fino a 3 metri di spostamento. Secondo le indagini locali, negli ultimi anni il tasso di subsidenza nel centro di Tianjin è diminuito a 10 mm/anno. In Figura 1 è riportato il tasso di spostamento medio stimato con la tecnica dei diffusori permanenti (Permanent Scatterers, PS, Ferretti et al 2001) nel centro urbano di Tianjin (sullo sfondo la mappa di riflettività radar dell'area). L'immagine mostra che in centro città non ci sono spostamenti relativi rilevanti, mentre nelle zone più periferiche, in particolare sul lato destro del fiume Hai He, è attiva una subsidenza con tasso di spostamento fino a -15mm/anno, in buon accordo con le conclusioni tratte dalle indagini locali (Perissin et al, 2005).

Subsidenza in Shanghai

Costruita su un substrato costale sabbioso ed argilloso a 70m sotto la superficie terrestre, Shanghai è affetta da una subsidenza strisciante come Los Angeles, Città del Messico, New Orleans, Osaka e Venezia. Esperti locali concordano che lo smodato sfruttamento della falda acquifera resta la principale causa della subsidenza urbana. Shanghai iniziò l'estrazione di acqua dalla falda nel 1860 quando i commercianti internazionali vi si riversarono ed iniziarono a trasformare la piccola cittadina in una metropoli. Allorchè immensi edifici di granito di banche e centri d'affari spuntarono formando il distretto Bund a lato del fiume, la popolazione della città crebbe fino a circa 5 milioni negli anni '40. Già nel 1921 i geologi scoprirono che Shanghai stava lentamente sprofondando. Dagli anni '20 600kmq dell'area centrale della città sono sprofondati in media di 2m

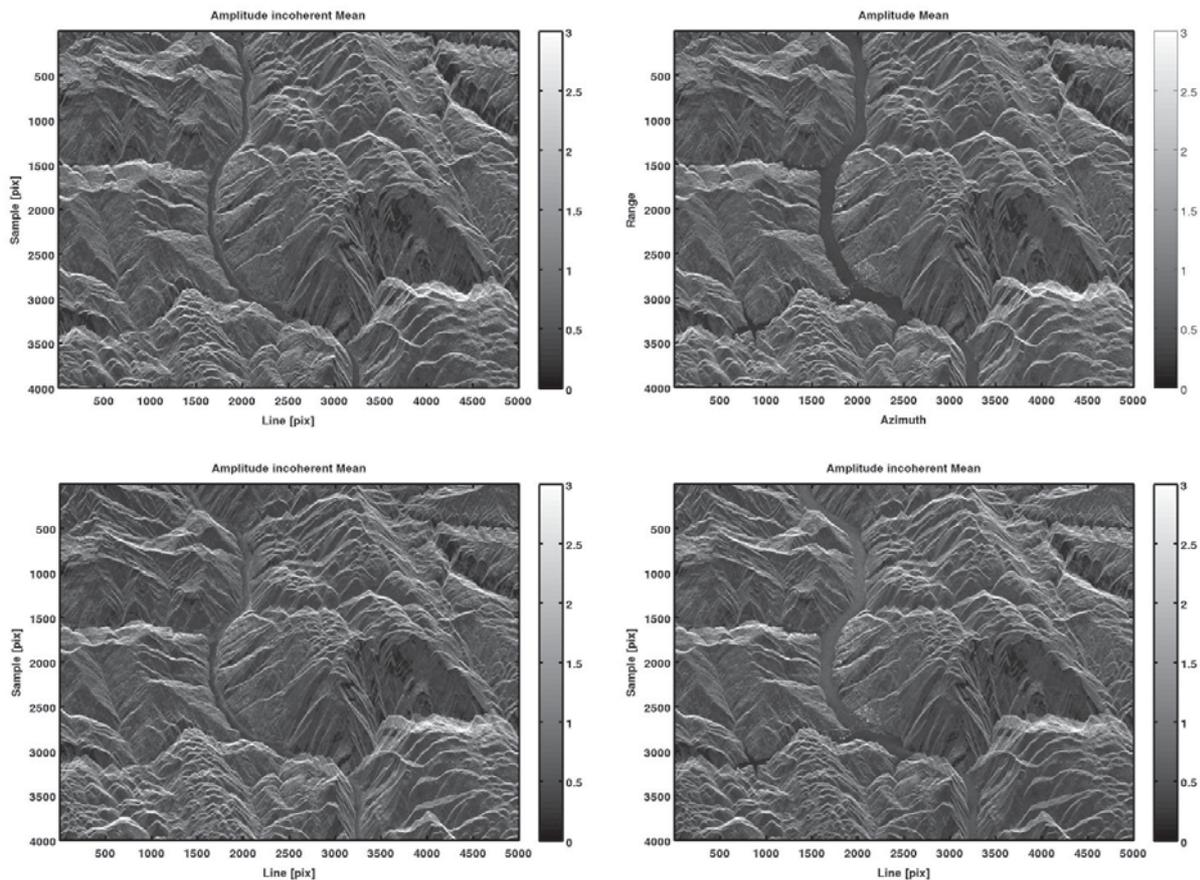


Figura 3. Mappe di riflettività nella zona delle Tre Gole intorno alla città di Badong. Immagini in alto: Track 75; in basso: Track 347. Immagini di sinistra: ERS (prima del 2002); destra: Envisat (dopo il 2003). L'innalzamento del livello del fiume è evidente.

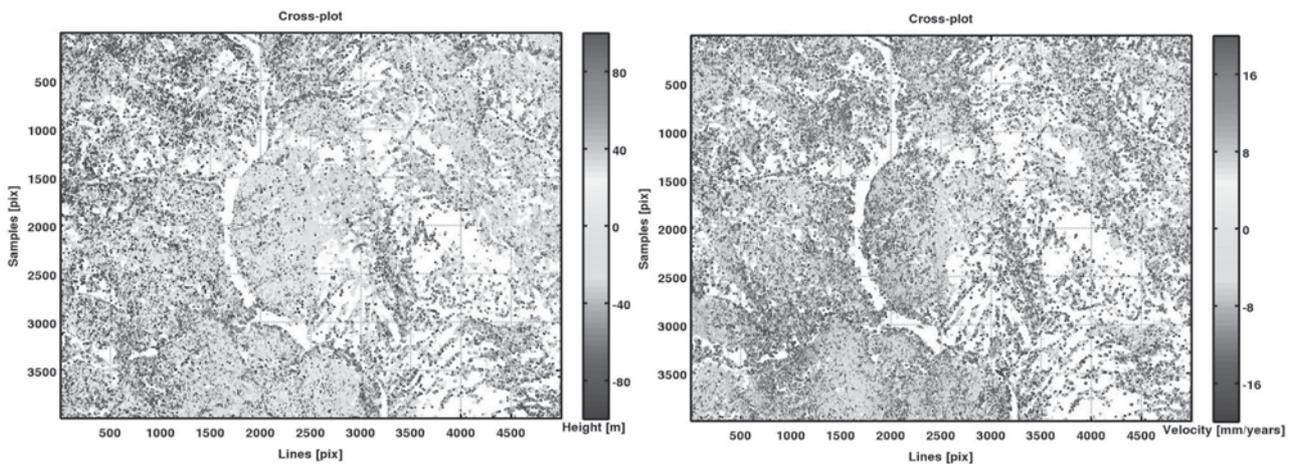


Figura 4. Topografia residua (sinistra) e tasso di spostamento lineare (destra) stimati in Badong. Circa 200.000 punti senza post-selezione.

e fino a 3m in alcune aree. Come la maggior parte delle metropoli urbane in terra cinese, il terreno di Shanghai ora sorregge più di 2000 edifici alti almeno 100m nei soli 600kmq del centro città. Così, oltre allo sfruttamento smodato della falda, gli esperti sono convinti che lo spuntare dei grattacieli nel centro di Shanghai faccia la sua parte nella subsidenza in atto.

Il risultato principale dell'analisi PS condotta con 43 dati ERS, acquisiti nel periodo 1992-2003 è mostrato in figura 2a. Ciascun punto colorato nell'immagine corrisponde a un PS (circa 30.000 in 1000kmq) ed il colore mostra il trend di spostamento lineare. La scala di colori si estende tra -40 e

40 mm/anno. Le aree rosse nell'immagine identificano le zone di Shanghai con il tasso di subsidenza più elevato. La figura 2b riporta la mappa di subsidenza prodotta dal centro di indagini geologiche cinese per mezzo di dati da livellazione ottica raccolti negli anni 1990-1998. La buona correlazione spaziale trovata rappresenta la prima validazione della tecnica usata. Per quantificare l'accordo tra le due misure, le serie temporali di spostamento di 10 capisaldi della rete di livellazione sono state comparate con quelle dei PS più prossimi. La deviazione standard tra le due misure è risultata essere inferiore a 2mm/anno (Perissin et al, 2007a).

Frane e DEM nell'area delle Tre Gole

Badong si trova sulla sponda meridionale del fiume Yangtze, a est delle montagne Daba. La città è uno snodo di comunicazione strategico tra le province del Sichuan e del Hubei ed è il principale centro di raccolta e smistamento di beni provenienti dall'area montana del Hubei occidentale. Con l'avvento della diga delle Tre Gole, Badong fu ricostruita circa 2 miglia a monte sulla riva sud, in fronte a Guandukou, con la quale è ora collegata per mezzo di un ponte sorretto da cavi metallici. Da quando la diga è stata costruita ed il livello del fiume si è alzato di 135m, l'area circostante ha iniziato ad essere affetta da movimenti del terreno.

I dati ESA disponibili nell'area di interesse sono stati acquisiti dai satelliti ERS ed Envisat lungo le track 347 (35 immagini) e 75 (45 immagini). La figura 3 mostra 4 mappe di riflettività, 2 per track, ottenute come media incoerente delle immagini radar acquisite da un singolo sensore. Per ciascuna track si hanno dunque una mappa ERS (immagini acquisite prima del 2002) ed una Envisat (immagini acquisite dopo il 2003). Confrontandole, è facile riconoscere l'innalzamento del livello dell'acqua lungo il fiume e la migrazione dell'area urbana.

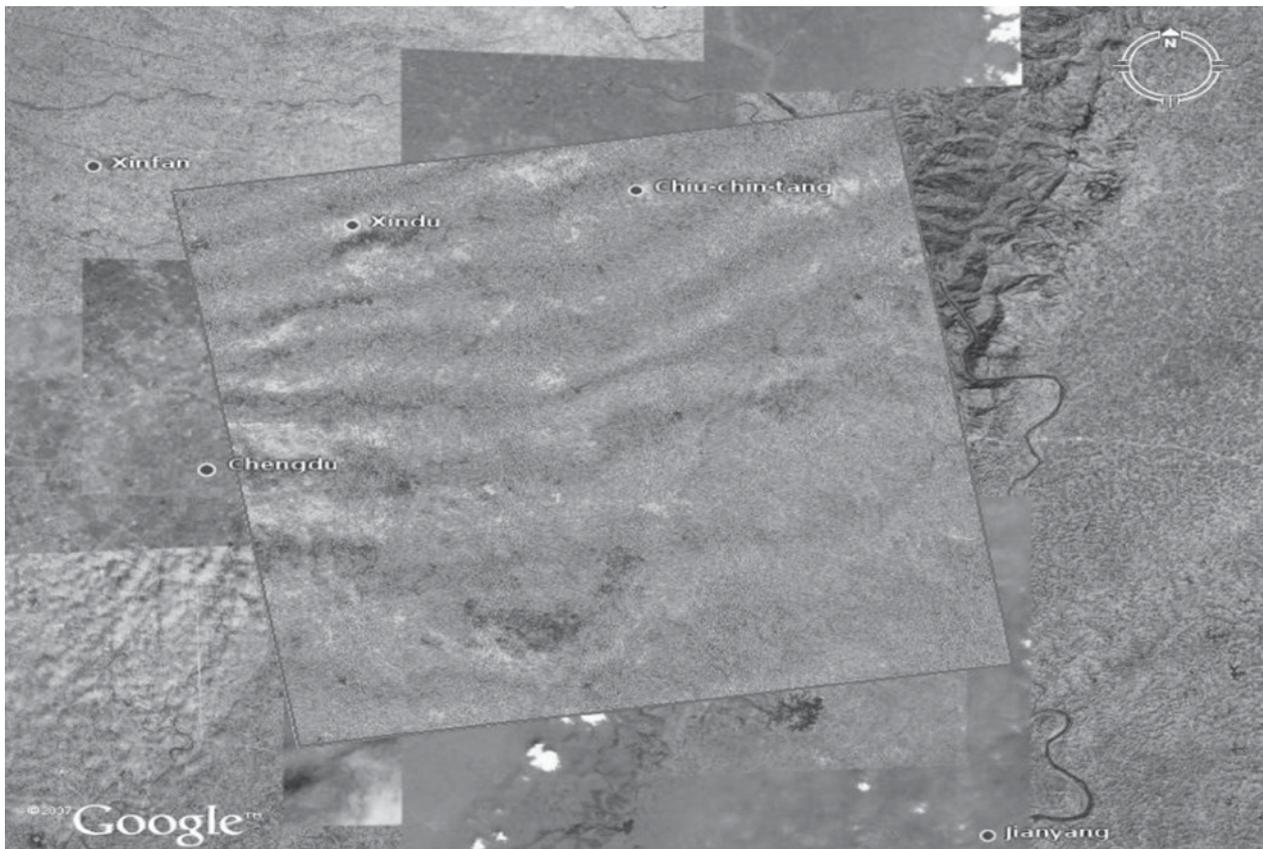


Figura 5. Interferogramma cosismico geocodificato nell'area a oriente di Chengdu ottenuto dai dati in banda X acquisiti dal satellite dell'ASI Cosmo SkyMed. Si distinguono chiaramente le frange dovute allo spostamento con una coerenza notevole persino in aree vegetate.

In figura 4 sono mostrati i risultati della tecnica denominata “quasi-PS” (Perissin et al., 2007b) che sfrutta anche diffusori parzialmente coerenti per ricavare una stima della quota del terreno e dello spostamento superficiale. Nelle 2 immagini sono riportati i 200.000 punti analizzati, senza alcuna post-selezione. Sulla sinistra il colore è proporzionale alla topografia residua stimata (+-100m dopo aver sottratto la quota SRTM), mentre sulla destra al trend di spostamento medio (+-20mm/anno). Le quote stimate sono particolarmente ragionevoli ed il risultato permette di apprezzare molti dettagli in più rispetto al dato SRTM. Lo spostamento stimato è più rumoroso. Inoltre, un piano di errore di velocità (probabilmente dovuto a possibili errori orbitali) può essere notato (da blu a rosso da sinistra a destra). Nondimeno, le aree in subsidenza (blu) lungo il fiume sono facilmente identificabili (Wang et al 2008 e Perissin et al, 2007c).

Terremoto in Sichuan

L'ultimo risultato che si riporta riguarda il devastante terremoto avvenuto della provincia del Sichuan, epicentro a meno di 100km da Chengdu, nel maggio del 2008. Il bilancio definitivo del sisma non è noto, ma la cifra degli 80.000 morti è stata certamente superata (probabilmente oltre i 100.000). Grazie ai dati acquisiti dal sistema satellitare dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) COSMO SkyMed, il Politecnico di Milano, in collaborazione con il Dipartimento di Protezione Civile, ha realizzato quello che è in assoluto il primo interferogramma dell'evento sismico, qui riportato in figura. Delle due immagini utilizzate, la prima è stata acquisita il 13 aprile, la seconda il 15 maggio, a tre giorni dal terremoto. La risoluzione è di 10x10 mq. Le frange interferometriche mostrano lo spostamento del terreno tra le due riprese. È impressionante notare l'alta coerenza dell'interferogramma persino in presenza di terreno vegetato.

Conclusioni

In questo lavoro vengono presentati alcuni fra i principali risultati ottenuti all'interno del programma di scambio sino-europeo sui temi del telerilevamento sul suolo cinese. Analisi di subsidenze urbane (come Tianjin e Shanghai) sono riportate insieme allo studio delle frane e della topografia nell'area delle Tre Gole. Infine, viene mostrato il primo interferogramma del terremoto avvenuto in Sichuan nel maggio del 2008 per mezzo dei dati acquisiti dal sistema Cosmo SkyMed, che rileva lo spostamento cosismico avvenuto nella piana ad oriente di Chengdu.

Riferimenti bibliografici

- Ferretti A., Prati C., Rocca F. (2001), “Permanent Scatterers in SAR Interferometry”, IEEE TGARS, Vol. 39, no. 1.
- Perissin D., Parizzi A., Prati C., Rocca F. (2005) "Monitoring Tianjin subsidence with the Permanent Scatterers technique", Proceedings of Dragon Symposium 2005, Santorini (Greece), 27 June - 1 July.
- Perissin D., Prati C., Rocca F., Li D., Liao M. (2007a), "Multi-track PS analysis in Shanghai", ENVISAT 2007, Montreux (Switzerland), 23-27 April.
- Perissin D., Ferretti A., Piantanida R., Piccagli D., Prati C., Rocca F., Rucci A., de Zan F., (2007b) "Repeat-pass SAR interferometry with partially coherent targets", Fringe 2007, Frascati (Italy), 26-30 November.
- Perissin D., Rocca F., Wang T., (2007c) “DEM retrieval and landslide monitoring in Badong, Three Gorges, China by means of InSAR partially coherent targets”, Proceedings of Dragon Symposium 2007, Aix en Provence, (France) 18-22 June.
- Wang T., Liao M., Perissin D., Rocca F., (2008) “Deformation monitoring by long term D-InSAR analysis in Three Gorges area, China”, Proceedings of IGARSS 2008, Boston, MA, 6-11 July.