

# Tecnica PS: nuove misure radar per il monitoraggio ambientale

La Tecnica **PS (PSInSAR™)** costituisce un miglioramento sostanziale delle tecniche classiche di *interferometria SAR (Synthetic Aperture Radar) satellitare* volte alla ricostruzione di accurate mappe di deformazione della superficie terrestre. Queste informazioni possono essere utilizzate con successo nello studio di faglie sismiche, vulcani, zone soggette a fenomeni di instabilità di versante, subsidenza, ecc. ed hanno un potenziale enorme in numerosi campi applicativi e di protezione civile.

L'idea alla base dell'interferometria SAR è semplice. Ciascuna "immagine radar" si compone di modulo (o ampiezza) e fase. Il modulo è legato alla parte di campo elettromagnetico che gli oggetti illuminati riflettono verso il sensore; la fase racchiude invece l'informazione relativa alla distanza sensore-bersaglio.

Le tecniche *interferometriche* si basano sul confronto dei valori di fase di coppie di immagini che sono state acquisite durante due passaggi successivi del satellite sulla medesima area. Poiché le lunghezze d'onda impiegate dai sensori SAR sono centimetriche, eventuali variazioni di distanza anche di pochi millimetri danno luogo, almeno in teoria, a variazioni di fase misurabili.

In generale, le misure interferometriche possono essere determinate con successo solo qualora gli oggetti illuminati mantengano inalterata la loro "firma radar". Il concetto è semplice: si può pensare di misurare con precisione pari ad una frazione della lunghezza d'onda illuminante una roccia o un manufatto (che hanno una risposta al radar costante nel tempo), ma non un albero o della vegetazione (che modificano la loro risposta nell'arco di pochi minuti a causa, ad esempio, del vento). La lettura delle mappe di variazione dei valori di fase (*interferogrammi*) è pertanto complicata dai cosiddetti *fenomeni di decorrelazione*, ovvero di variazione della risposta radar degli oggetti in funzione del tempo e di possibili variazioni dell'orbita del sensore. Altri problemi sono poi creati dalle condizioni atmosferiche agli istanti di acquisizione: la velocità della luce infatti cambia in funzione dei parametri atmosferici e questo complica no-

tevolmente le misure di distanza a partire dai tempi di volo degli impulsi radar.

Entrambe le difficoltà, che hanno comportato un sostanziale blocco all'impiego operativo delle tecniche radar satellitari, sono state brillantemente superate dalla Tecnica PS sviluppata dal Politecnico di Milano. La Tecnica utilizza lunghe serie storiche di immagini radar (tipicamente più di 15 set di dati) e cerca di identificare un sottoinsieme di bersagli radar, chiamati *Permanent Scatterers (PS)*, che risultano praticamente immuni dagli effetti di decorrelazione e in corrispondenza dei quali è possibile stimare e rimuovere i contributi atmosferici.

Per ogni singolo PS si può ricavare il trend medio di deformazione, con un'accuratezza compresa tra 0.1 e 1 mm/anno, e l'intera serie temporale di deformazione (in questo caso la precisione arriva a 1 mm su ogni singola misura, per i PS migliori, ed è tale da far apprezzare fenomeni di dilatazione termica stagionale di singole strutture).

Si può pensare alla griglia dei PS come ad una sorta di *rete geodetica naturale* utilizzabile sia per conoscere lo spostamento puntuale, sia per ricostruire, tramite tecniche di interpolazione, l'andamento globale dei movimenti superficiali. I parametri relativi ai PS (coordinate geografiche, velocità, serie storica di spostamento, parametri di qualità) sono poi facilmente importabili e consultabili in ambiente GIS, con la possibilità di usufruire degli strumenti di consultazione e analisi disponibili su tali piattaforme informatiche.

Oltre ad accuratezza e densità spaziale dei punti di misura (>300 PS/kmq in area urbana), un vantaggio fondamentale è costituito dalla ricchezza di immagini radar nell'archivio storico dell'Agenzia Spaziale Europea (sensori SAR sono montati a bordo dei satelliti ERS ed ENVISAT dell'ESA). Tramite un'analisi PS si è in grado di ricostruire oggi la dinamica dell'area di interesse a partire dal 1992.

I limiti consistono nella possibilità di apprezzare solo le deformazioni lungo la direzione sensore-bersaglio, cioè approssimativamente lungo la verticale (almeno con la geo-

*Scopo di questo articolo è approfondire la conoscenza di una nuova tecnologia per il monitoraggio ambientale, la Tecnica PS, brevettata al Politecnico di Milano ed oggi commercializzata dalla sua prima società di spin-off, Tele-Rilevamento Europa.*

metria di acquisizione dei satelliti ERS), e nel fatto che per portare a termine l'analisi è necessario che l'area oggetto di studio presenti una densità sufficiente di PS (> 5-10 PS/Kmq, vincolo sempre verificato in aree urbane e semi-urbane dove si raggiungono, in genere, valori di 100-300 PS/Kmq). Difficili da individuare, in mancanza di informazioni a priori, sono anche i fenomeni di deformazione ad evoluzione rapida (maggiore di 50 mm/anno).

## L'importanza degli archivi storici

Da quanto si è detto finora, risulta evidente come, per un'analisi PS, diventi strategica la presenza di archivi aggiornati di dati radar: più è fitto e regolare il campionamento temporale degli eventi, più precisa sarà la misura del movimento e più tempestiva sarà la caratterizzazione dei fenomeni di instabilità nell'arco del tempo.

Ulteriori progressi derivano dalla possibilità di utilizzare dati SAR acquisiti da piattaforme satellitari diverse. In primo luogo, ciò permette di aumentare l'affidabilità dei risultati, confrontando l'informazione estratta da data set indipendenti, sulla medesima area di interesse. Inoltre, sfruttando diverse geometrie di acquisizione, risulta possibile ricostruire il vettore di spostamento nelle tre dimensioni spaziali.

A titolo di esempio, in Figura 1, sono messi a confronto i risultati raggiunti utilizzando due differenti data set, sulla stessa regione geografica (Tokyo, Giappone). In particolare, sono mostrati i valori di quota stimati in corrispondenza dei PS presenti nell'area di interesse. A sinistra sono riportati i risultati ottenuti elaborando dati SAR acquisiti dal satellite Radarsat, dell'Agenzia Spaziale Canadese, mentre a destra l'equivalente ottenuto con immagini dei satelliti ERS, dell'Agenzia Spaziale Europea. Come si può osservare, le stime dei valori di quota risultano in buon accordo in ciascuno dei due casi. Tuttavia, la densità di punti di misura è superiore nel caso di Radarsat, che ha garantito un campionamento temporale più regolare, con un periodo di rivisita-



zione inferiore (24 giorni anziché 35).

Dal punto di vista della lunghezza d'onda, sia ERS che Radarsat operano in banda C (lunghezza d'onda di 5.66 cm), ma mentre ERS trasmette e riceve impulsi radar in polarizzazione VV, Radarsat impiega la polarizzazione HH.

Per quanto riguarda la politica di acquisizione dei dati, mentre le acquisizioni ERS (ormai alla fine del ciclo operativo) non dovevano venire programmate dagli utenti, per Radarsat ed Envisat (il nuovo satellite ESA di telerilevamento) è necessaria una preventiva fase di pianificazione.

Data l'importanza applicativa degli archivi storici di dati satellitari, TRE, a partire dal Marzo 2003, ha pianificato l'acquisizione sistematica di immagini Radarsat su tutto il territorio italiano, mentre recentemente è stato siglato l'accordo anche per le acquisizioni del dato Envisat. Il lavoro già svolto con dati ERS potrà così continuare in futuro potenziato dalla presenza di nuovi archivi. A partire da Gennaio 2005 si potranno effettuare analisi PSInSAR™ molto sofisticate impiegando congiuntamente dati ESA (ERS e Envisat) e dati Radarsat che sicuramente segneranno un punto di svolta in questo tipo di osservazioni.

### Conclusioni: uno sguardo al futuro della tecnologia

Uno dei fattori chiave dello scenario delle tecnologie satellitari di telerilevamento è che ci troviamo di fronte ad un mercato in continua crescita con potenzialità ancora tutte da scoprire. I prossimi anni vedranno poi il moltiplicarsi di sensori radar che potranno essere utilizzati per indagini PS. Un passo avanti importante si avrà nel 2006, quando saranno disponibili i dati dei satelliti Radarsat-2 e TerraSAR-X, dotati di sensori con una risoluzione spaziale estremamente più elevata rispetto a quanto disponibile oggi. È facile prevedere che questi dati porteranno un ulteriore aumento dei punti di misura, tale da poter assi-

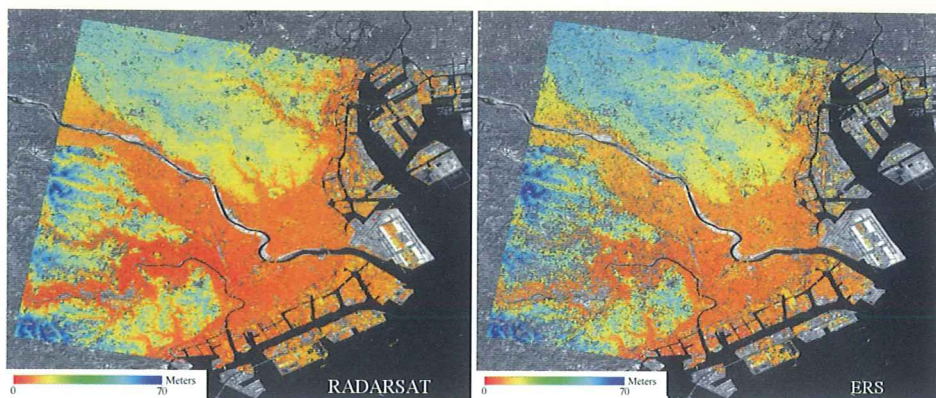


Figura 1 - Mappa dei valori di elevazione dei Permanent Scatterers - PS - individuati (Tokyo, Giappone). A sinistra: data set Radarsat A destra: data set ERS1/2

curare, su aree urbane, almeno un PS per abitazione (oggi siamo al 70-75%). Questo aprirà le porte ad interessanti applicazioni di Protezione Civile e controllo dei beni immobili. Interessanti saranno poi gli studi sulle risposte dei bersagli a terra a diverse polarizzazioni dell'onda incidente: sicuramente si miglioreranno le potenzialità degli algoritmi di classificazione automatica. Infine, verranno individuati gli oggetti migliori per creare punti di misura su aree coperte da vegetazione e dove, in generale, non si riescono ad ottenere informazioni di spostamento da bersagli naturali. Già oggi si stanno sperimentando riflettori artificiali di natura e forme diverse che andranno ad essere perfezionati nei prossimi mesi. Questi oggetti giocheranno un ruolo fondamentale per il monitoraggio delle aree in frana, dove talvolta non è possibile ottenere la densità di punti necessaria per un monitoraggio efficace.

### Autori

**A. Ferretti, S. Cespa, C. Gervasi, G. Savio**

Tele Rilevamento Europa - T.R.E. s.r.l.

Via V. Colonna, 7 - 20146 Milano (Italy)

### Bibliografia

- A. Ferretti, C. Prati, F. Rocca, "Permanent Scatterers in SAR Interferometry", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 39, n.1, Gennaio 2001.
- J. Allievi, C. Ambrosiani, M. Ceriani, C. Colesanti, G.B. Crosta, A. Ferretti, D. Fossati, R. Laffi, "Nuove strategie per il monitoraggio di aree soggette a deformazione superficiale e/o profonda". Atti della 6ª Conferenza Nazionale ASITA - Perugia, 5-8 novembre 2002.
- A. Ferretti, G. Franchioni, L. Jurina, "Valutazione degli effetti di scavi in falda sui cedimenti strutturali di edifici mediante utilizzo di tecniche satellitari SAR". Atti del Convegno Internazionale "Crolli e Affidabilità delle Strutture", Università degli studi di Napoli Federico II - Napoli, 15-16 maggio 2003.
- J. Allievi, F. Monsignore, S. Cespa, C. Colesanti, D. Colombo, A. Ferretti, M. Morelli, A. Pistocchi, "Analisi di fenomeni di deformazione superficiale sul territorio dell'Autorità dei bacini romagnoli a partire da serie di dati radar satellitari elaborati con tecnica dei Diffusori Permanenti". Atti della 7ª Conferenza Nazionale ASITA - Verona, 28-31 ottobre 2003.
- G. E. Hilley, R. Bürgmann, A. Ferretti, F. Novali e F. Rocca, "Dynamics of Slow-Moving Landslides from Permanent Scatterer Analysis". Science Magazine - Volume 304, n.5679, pagg. 1952-1955, 25 giugno 2004

Figura 2 - Lucca e Pisa: campo delle velocità medie di deformazione dei Permanent Scatterers (1992 - 2004)

