



Figura 2: Roma, subsidenza rilevata da satellite nell'area di Fiumicino

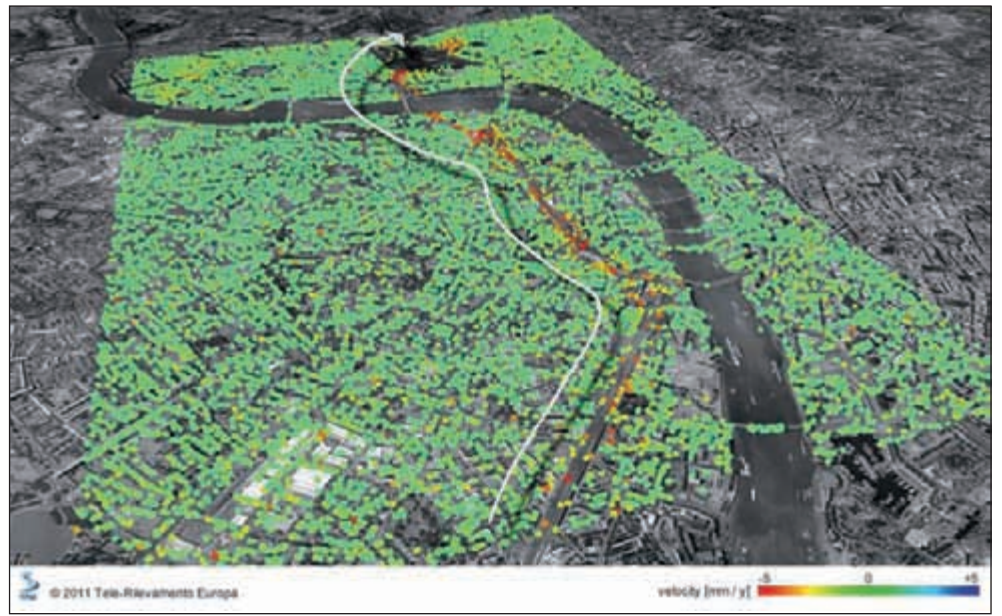


Figura 3: Londra, cedimenti indotti dallo scavo della Jubilee line

# Il monitoraggio satellitare: nuova frontiera per la studio di strutture e infrastrutture

Chiara Giannico\*

## I satelliti e le misure di spostamento

A partire dagli anni '90, i dati acquisiti dai satelliti di osservazione della Terra dotati di sensori radar hanno aperto nuovi scenari per il monitoraggio dei fenomeni di deformazione superficiale (frane, faglie sismiche, vulcani) e dei moti relativi a singole strutture. I satelliti radar permettono infatti di misurare spostamenti differenziali di punti al suolo con precisione millimetrica, grazie all'impiego di particolari tecniche di elaborazione dei dati radar dette "interferometriche" (l'acronimo utilizzato in letteratura è "InSAR"). Anche se la cosa è nota solo tra gli addetti ai lavori, in quest'ambito l'Italia ha da anni un ruolo di primo piano nel panorama mondiale. Un contributo essenziale per un utilizzo operativo di tali tecniche è stato dato dal Gruppo Radar del Politecnico di Milano e successivamente dalla Tele-Rilevamento Europa, primo spin-off dell'ateneo milanese. L'idea di base delle tecniche interferometriche è molto semplice e si basa sulla capacità del radar di misurare distanze. Il satellite invia, da una distanza di circa 800 km, un impulso elettromagnetico verso la superficie terrestre; elementi presenti al suolo come edifici, antenne, piloni, rocce, ecc. riflettono il segnale radar, rinviandone una porzione verso il satellite. Misurando il tempo trascorso tra l'invio del segnale e la ricezione del suo eco, il sistema radar è in grado di determinare la distanza tra il satellite ed il bersaglio (ad esempio un edificio). Dunque, se il punto di misura si trova in un'area affetta da fenomeni di deformazione, ad esempio una subsidenza del terreno, il sensore rileva una variazione di distanza tra una acquisizione e la successiva e può segnalare l'anomalia agli operatori. L'intervallo di tempo tra due acquisizioni consecutive varia in funzione del sensore, ma è dell'ordine di una settimana. Per raggiungere una precisione millimetrica della misura è necessario depurare il segnale radar da una serie di disturbi, dovuti, ad esempio, al rumore termico ed alle condizioni atmosferiche (che fanno variare le velocità di propagazione) e selezionare, all'interno dell'immagine radar, solo i punti che meglio si adattano a questo genere di misure: i cosiddetti Permanent Scatterers (PS). I lavori di ricerca del Politecnico sono culminati nella realizzazione del brevetto inter-

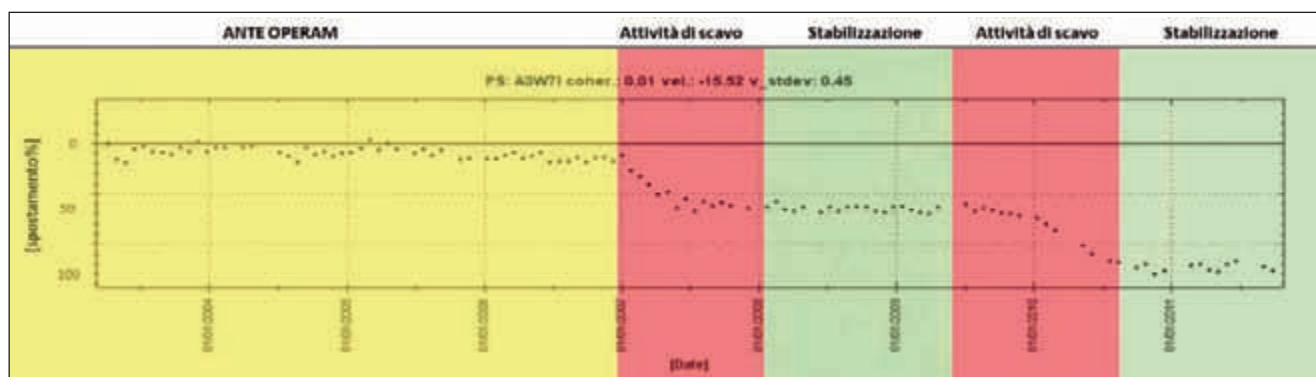


Figura 1: Serie storica di spostamento rappresentativa degli effetti indotti dallo scavo di una galleria

nazionale denominato PSInSAR™ (1999) ulteriormente perfezionato, in sinergia con TRE, con il nuovo algoritmo SqueeSAR™ (2009). Inizialmente questo genere di indagini era utilizzato principalmente su scala regionale, per identificare versanti instabili, aree soggette a subsidenze o zone in frana. Ad esempio, nel 2008 il Ministero dell'Ambiente ha dato il via ad una mappatura dell'intero territorio nazionale con tecnologie radar satellitari, completata nel 2011: il focus era la mappatura delle aree in frana. Ultimamente si è però evidenziata l'utilità della tecnologia satellitare anche nel monitoraggio di singoli fabbricati o infrastrutture, grazie alla disponibilità di nuovi sensori radar ad alta risoluzione.

**Misure satellitare e monitoraggi tradizionali a confronto**  
È opportuno sottolineare che

la tecnica satellitare non sostituisce i monitoraggi topografici al suolo, ma va ad integrare il sistema di misure disponibili a favore di una visione più completa dell'evoluzione dei fenomeni studiati. Per ciascun punto individuato da satellite è possibile avere informazioni sulla sua posizione (coordinate geografiche) e sulla velocità di spostamento nell'intervallo di tempo considerato, nonché il grafico spostamento nel tempo. I dati satellitari forniscono fino a 20.000 punti per kmq in area urbana (senza alcuna necessità di strumenti al suolo), una densità impensabile per una rete di strumentazione tradizionale. Le precisioni fornite raggiungono il millimetro e sono comparabili o addirittura migliori delle precisioni ottenibili da strumentazione GPS. Tuttavia il monitoraggio satellitare non costituisce uno strumento in tempo reale visto che attualmente i satelliti

in orbita forniscono al più un'immagine ogni 4 giorni.

## Sviluppo urbano e opere in sotterraneo: esempi di utilizzo delle misure satellitari

Le indagini satellitari sono diventate negli ultimi anni uno strumento di estrema utilità per lo studio e il monitoraggio del territorio. In particolare nel settore delle opere in sotterraneo (metropolitane, parcheggi, gallerie), la tecnica è utilizzata per il controllo degli spostamenti superficiali del contesto in cui l'opera è inserita, con il vantaggio, rispetto alle usuali tecniche di monitoraggio, di coprire aree ben più ampie di quelle tipicamente controllate dal monitoraggio di progetto, su un arco temporale più esteso, e senza installazione di strumentazione a terra. Inoltre, l'esistenza di dati storici d'archivio a partire dal 1992, consente di verificare anche il comporta-

mento deformativo dell'area ante operam.

La tecnologia è stata applicata con successo a diversi progetti di monitoraggio in Italia e all'estero, che hanno evidenziato le potenzialità dello strumento satellitare come utile supporto in tutte le fasi di vita di una infrastruttura: dal concepimento progettuale, alla fase realizzativa, e infine all'esercizio. Tra i più recenti casi di applicazione in ambito progettuale si ricorda l'utilizzo della tecnica nell'ambito dei lavori di ammodernamento della SS106-Jonica in Calabria dove, su commissione di ASTALDI Spa, l'analisi SqueeSAR™ è stata applicata con successo al lotto DG-41 (38 km di tracciato di cui 3 gallerie a doppia canna di lunghezza totale pari a 11,5 km) o, su commissione di ITALFERR, nella progettazione preliminare della nuova linea ferroviaria AV/AC Venezia-Trieste (tratta Rochi-

Trieste).

Nella progettazione di un'opera a grande sviluppo lineare come una strada o una ferrovia, il telerilevamento satellitare può fornire nelle fasi preliminari del progetto un'utile contributo allo studio del territorio, ottimizzando tempi e costi di indagine e in alcuni casi costituisce l'elemento chiave per la definizione e la scelta del tracciato dell'opera, rispetto a fenomeni deformativi non riconosciuti o censiti nei cataloghi regionali. In fase di realizzazione dell'opera il dato satellitare è stato utilizzato per il monitoraggio dei cedimenti in superficie correlati alla realizzazione della galleria ferroviaria di Bologna, per la nuova linea AV/AC Milano-Napoli. Considerato il delicato contesto urbano e geotecnico in cui l'opera si inseriva, è stato richiesto di integrare il monitoraggio di progetto a presidio lavori con l'analisi satellitare. I risultati dell'analisi (cfr serie storica) evidenziano le correlazioni tra l'attività di cantiere e l'avanzamento del fronte di scavo con i cedimenti e le interferenze a piano campagna. Infine in fase di esercizio l'aggiornamento delle immagini satellitari consente di monitorare i fenomeni deformativi a lungo termine, come viene attualmente fatto per il monitoraggio della Canada Line, linea metropolitana di Vancouver che collega l'aeroporto con il centro di città.

## Conclusioni

La tecnologia radar satellitare costituisce oggi uno strumento operativo per il monitoraggio da remoto di vaste aree della superficie terrestre senza la necessità dell'installazione di strumentazione a terra e con disponibilità sull'intero territorio nazionale di archivi storici di immagini satellitari sin dal 1992.

I dati SqueeSAR™ sono facilmente integrabili in qualsiasi Sistema Informativo Territoriale (GIS) dove possono essere integrati con altre informazioni provenienti da sorgenti diverse. In assenza di piattaforme GIS, i dati satellitari possono comunque essere consultati (anche su scala nazionale) con un semplice browser web.

L'elevata precisione dei risultati e la complementarietà con le tecniche di rilievo tradizionali, fanno delle indagini SqueeSAR™ uno strumento unico per studiare i movimenti del terreno ad ampia scala spaziale e temporale.

\*Project Engineer

Tele-Rilevamento Europa T.R.E. srl

## GEMOL un progetto europeo che coinvolge Lombardia e Cnr

### Obiettivo: realizzare un'inedita mappa in 3D del sottosuolo

Regione Lombardia è al lavoro per realizzare una moderna ed inedita mappa in 3D del proprio sottosuolo. Uno strumento avveniristico con enormi potenzialità sia per lo sfruttamento sostenibile delle risorse, sia ai fini di pianificazione e protezione civile, soprattutto per quanto riguarda la materia sismica". Lo ha detto l'assessore al Territorio, Urbanistica e Difesa del suolo della Regione Lombardia Viviana Beccalossi, illustrando l'accordo con il Cnr, il Consiglio nazionale delle ricerche, Istituto di geologia ambientale e geingegneria, nell'ambito del progetto europeo 'Geomol', finanziato dalla Giunta regionale con 70.000 euro.

Il progetto Geomol, capofila la Regione Baviera, è finalizzato alla realizzazione di modelli geologici tridimensionali per alcune aree pilota a ridosso delle Alpi, coinvolgendo Germania, Francia, Svizzera, Austria e Slovenia.

Per l'Italia partecipano le Regioni Lombardia ed Emilia Romagna, oltre a Ispra (Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale, servizio geologico nazionale). L'accordo con il Cnr, dieci anni dopo quello stipulato con Eni, che detiene le maggiori informazioni sul sottosuolo padano e che ha permesso di ricostruire l'architettura del sottosuolo della pianura lombarda nei primi 500-1000 metri di profondità, permetterà di potenziare le ricerche già in corso, incrociando tutte le banche dati a disposizione per la realizzazione della mappa in 3D. Il territorio italiano interessato dal progetto è, per ora, di circa 3.800

km quadrati e si estende dal margine alpino bresciano, attraverso la pianura bresciana e mantovana, fino all'area di Mirandola, in provincia di Modena.

"Approfondire le nostre conoscenze sul sottosuolo - ha ricordato Viviana Beccalossi - è fondamentale per una serie di ragioni diverse. Queste nuove mappe ci permetteranno di valutare meglio conoscenza e consistenza delle riserve idriche, così come di comprendere ancor più il comportamento di fenomeni, quali ad esempio i terremoti, che si originano e si propagano nel sottosuolo. Sarà possibile, inoltre, valutare la potenzialità per lo sfruttamento dell'energia geotermica. La maggior parte di noi ha già avuto occasione di esaminare o di osservare, almeno una volta, le usuali mappe geologiche, realizzate appunto in due dimensioni come le usuali cartine stradali o geografiche. Con questo nuovo strumento si aggiunge una terza dimensione, in grado di disegnare con precisione lo sviluppo nel sottosuolo dei diversi strati geologici; ciò che ci sta sotto i piedi non è per niente uguale, ma al contrario molto articolato e diversificato".

Anche a seguito del terremoto che nel maggio del 2012 ha colpito la provincia di Mantova e l'Emilia Romagna, il progetto approfondirà gli aspetti legati alla pericolosità sismica dell'area, offrendo una migliore valutazione della propagazione delle onde sismiche e, di conseguenza, delle diverse fasce di rischio.