

## **Studi interferometrici sul terremoto de L'Aquila del 6 Aprile 2009**

Licia Mangione (\*), Fabiano Costantini (\*\*), Maurizio Fea (\*\*\*)

(\*) Università di Roma "La Sapienza", Piazzale Aldo Moro 5, 00185 Roma, 3382026444, licia.mangione@gmail.com

(\*\*) Università di Roma "Tor Vergata", Via del Politecnico, 00100 Roma, 3333021829, fabiano.costantini@gmail.com

(\*\*\*) Associazione Geofisica Italiana, c/o CNR, Via dei Taurini, 19, 00185 Roma, 3281771383, maufea@gmail.com

### **Riassunto**

L'Abruzzo è considerato "zona sismica" per il particolare sito geologico in cui si trova, vale a dire la Piattaforma Laziale-Abruzzese, tanto è vero che anche nel passato ha subito terremoti di forte intensità. La scelta di esaminare il terremoto avvenuto nell'Aprile del 2009 e, in particolare, di studiare in maniera più approfondita la zona de L'Aquila è motivata dal fatto che l'evento rappresenta un fenomeno attuale, i cui danni sono ancora subito quotidianamente dalla popolazione. L'argomento è affrontato, sotto l'aspetto tecnico-scientifico, verificando quale sia stato l'impatto territoriale e i danni causati, ricercando le eventuali cause scatenanti del sisma e studiando le faglie sismogenetiche attive per cercare di capire se in qualche modo potessero essere collegate a terremoti passati. Dopo un approfondito studio a livello geologico, si è esaminato l'effetto del sisma con le moderne tecniche di Telerilevamento da satellite, in particolare per valutare se fosse stato possibile prevedere il terremoto stesso e di conseguenza predisporre misure preventive. A questo scopo, è stata utilizzata la tecnica dell'interferometria differenziale, con la quale, tramite la generazione di una pseudo-immagine detta interferogramma differenziale, si possono evidenziare le deformazioni del terreno causate da eventi di questo tipo. E' da sottolineare il fatto che le probabilità di identificare segnali premonitori con questa tecnica erano state considerate già a priori molto scarse; il lavoro è stato ugualmente svolto sia per avere una conferma negativa sia perché si è voluto dimostrare che questa tecnica funziona molto bene per quantificare a posteriori le deformazioni del terreno, dovute sia alla scossa principale sia alle scosse successive.

### **Abstract**

The Abruzzo Region is considered a "seismic zone" for the special geological site on which is located, that is to say the Laziale-Abruzzese Platform, as it has suffered strong earthquakes also in the past. The choice to examine the earthquake of April 2009 and, in particular, to study more in depth the area of L'Aquila is due to the fact that the event represents a very recent phenomenon, whose damages are daily suffered by the population still today. The theme is tackled, from a technical and scientific viewpoint, by verifying its territorial impact and consequent damages, by investigating on possible triggering causes and studying active sismogenetic faults to try to understand if somehow they were linked to past earthquakes. After an in-depth geological study, the consequences of the event have been studied with the modern remote sensing techniques, in particular to evaluate if would have been possible to forecast the earthquake and consequently prepare adequate protections. To this goal, the differential interferometry technique has been used with which, through the generation of a differential interferometry pseudo-image, it is possible to identify soil deformations caused by this type of events. It is important to note that the probability of identifying early warning signals with this technique was considered a priori very low; however, the work has been done both to have a negative confirmation and to demonstrate that this technique works very well to quantify a-posteriori soil deformation caused by main shocks and by successive shocks.

## Materiali e metodi

Nel caso in cui già si abbia a disposizione un modello digitale di elevazione (DEM) dell'area di studio e, quindi, si possa sottrarre il contributo di fase dovuto alla topografia, un interferogramma differenziale è il risultato di un'elaborazione di due immagini da satellite della stessa area, rilevate nella banda spettrale delle microonde e scelte con almeno due criteri fondamentali: una piccola distanza geometrica delle posizioni di osservazione del satellite tra due passaggi successivi, detta *baseline*, e una distanza temporale tra un'acquisizione e l'altra compatibile con la durata del fenomeno sotto osservazione, in questo caso un terremoto. Infatti, ad esempio, per misurare deformazioni avvenute in seguito ad eventi di origine vulcanica, essendo la deformazione piuttosto lenta, la distanza temporale necessaria tra un'acquisizione e l'altra deve essere considerevole, affinché si possa avere una percezione dello spostamento; viceversa nel caso di un terremoto la deformazione avviene in modo repentino, per cui, di norma, si utilizzano l'immagine antecedente e quella immediatamente successiva all'evento sismico preso in esame. La *baseline*, o base di presa, è data dalla distanza cui si trovano le due posizioni successive dell'antenna. Nella figura seguente si distinguono le posizioni rispettive nelle due orbite percorse dal satellite e la *baseline*,  $B_n$  (Figura 1). La distanza temporale è calcolata col ciclo delle orbite di un satellite, vale a dire dal cosiddetto tempo di rivisita, che è definito dai giorni che intercorrono tra un passaggio e l'altro del satellite sulla stessa area con la stessa geometria di osservazione.

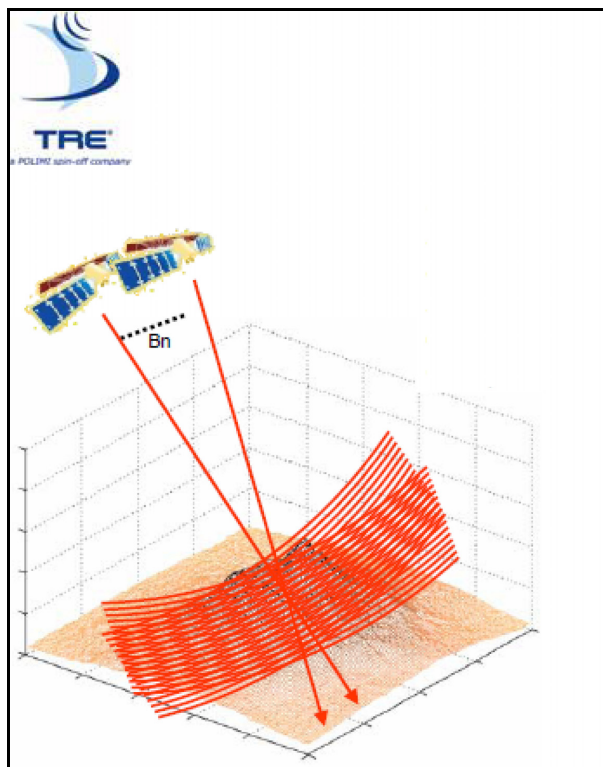


Figura 1 – Rappresentazione schematica della baseline (cortesia T.R.E., Milano).

In questo caso, sono state utilizzate immagini del satellite ambientale europeo ENVISAT, progettato, costruito e lanciato il 28 febbraio 2002 dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA). Il satellite vola lungo un'orbita quasi-polare eliosincrona, a una quota di circa 780 km, osservando la medesima porzione del globo terrestre alla stessa ora solare locale con un periodo di 35 giorni.

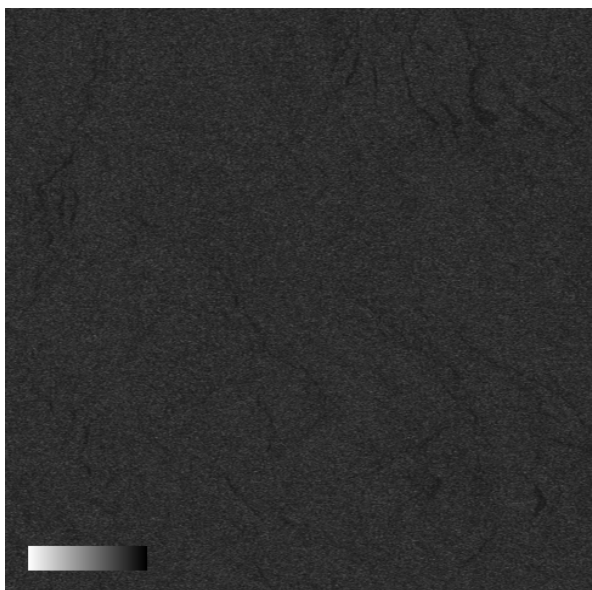
### **Analisi ed interpretazione degli interferogrammi differenziali del terremoto del 6 Aprile 2009**

Per questo lavoro è stato utilizzato il software *Doris*, sviluppato dal gruppo di osservazione della Terra dell'università tecnica di Delft (Kampes et al., 1998).

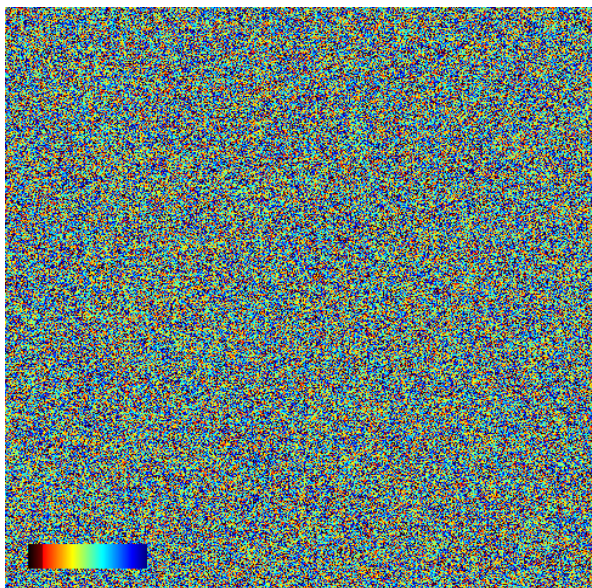
Partendo da due immagini precedentemente selezionate, denominate una *master* ed una *slave*, sono state eseguite diverse elaborazioni, ma non tutte hanno portato a buoni risultati o comunque a quelli sperati. Sono state scelte diverse coppie di immagini con una baseline piccola, ma non sempre con una distanza temporale lunga. In questo lavoro sono presentati soltanto i risultati di tre diverse coppie per mostrare le diverse soluzioni possibili. Il primo interferogramma è stato realizzato utilizzando immagini successive all'evento, al fine di verificare se fossero visibili i movimenti del terreno causati dalle scosse seguenti. La coppia utilizzata è relativa al 12 Aprile 2009 (*master*) e 17 Maggio 2009 (*slave*). Di seguito, è illustrata l'immagine di coerenza (Figura 2), ovvero di un parametro compreso tra zero, quando i retrodiffusori appaiono completamente diversi nelle due immagini, come ad esempio nel caso del mare o di fitta vegetazione, e uno, quando i retrodiffusori sono stabili nelle due immagini, come nel caso di rocce esposte, palazzi o infrastrutture, quali strade, ponti o ferrovie. La coerenza è convenzionalmente rappresentata con una scala di grigi che va dal nero, coerenza nulla, al bianco, coerenza unitaria (massima).

Questa coppia di immagini non ha prodotto frange: l'interferogramma generato (Figura 3) presenta solo rumore, detto di correlazione, dovuto alla perdita di coerenza, e non si può procedere ad alcun tipo di interpretazione. Inoltre, probabilmente, il tempo trascorso tra un'immagine e l'altra è troppo breve ed è troppo grande la *baseline*.

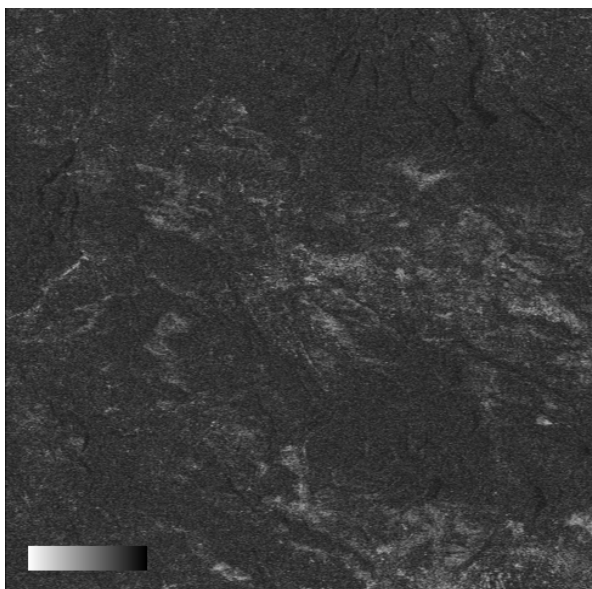
Un altro interferogramma è stato realizzato utilizzando come *master* l'immagine del 1 Febbraio 2009 e come *slave* l'immagine immediatamente successiva al terremoto, ossia quella del 12 Aprile 2009. In questo caso, l'immagine di coerenza (Figura 4) presenta delle zone bianche ed il risultato dell'elaborazione è un interferogramma (Figura 5) che non si presenta chiarissimo: si manifesta la presenza di rumore, distinguibile nell'immagine mediante i puntini colorati, e sono inoltre presenti delle frange colorate nel centro e in basso a destra della stessa, che approssimano delle figure semicircolari. Nel caso di interferogrammi meno rumorosi risulta possibile individuare la direzione dello spostamento e intercettare il piano di faglia.



*Figura 2 – Immagine di coerenza relativa alla coppia del 12 Aprile 2009 e 17 Maggio 2009.*



*Figura 3 – Interferogramma differenziale relativo alla coppia del 12 Aprile 2009 e 17 Maggio 2009.*



*Figura 4 – Immagine di coerenza relativa alla coppia del 1Febbraio 2009 e 12 Aprile 2009.*

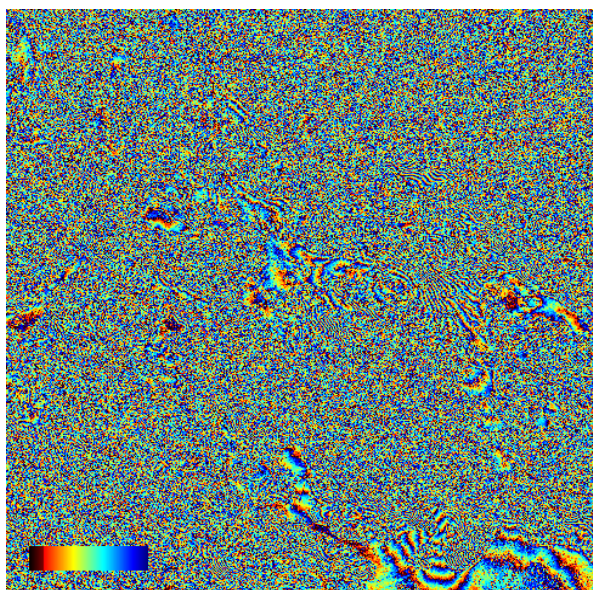
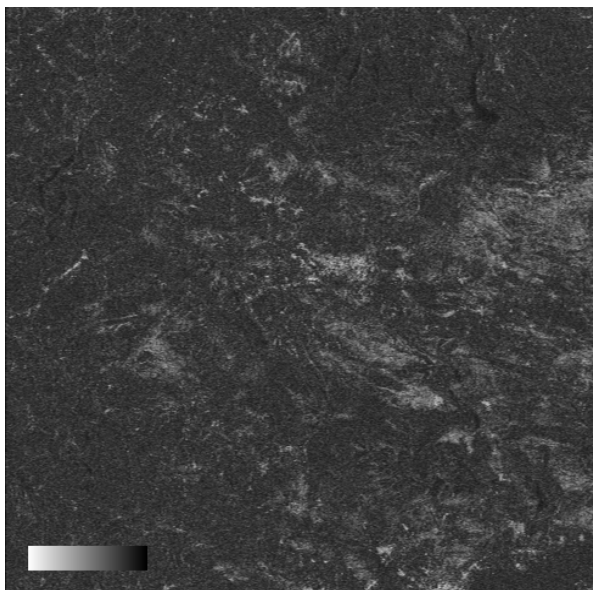


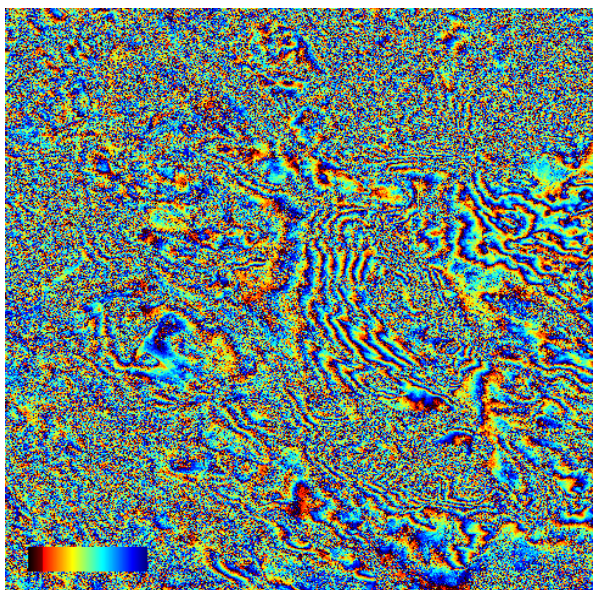
Figura 5 – Interferogramma differenziale relativo alla coppia del 1Febbraio 2009 e 12 Aprile 2009.

L'ultimo interferogramma qui presentato è stato realizzato utilizzando come *master* l'immagine del 27 Aprile 2008 (una situazione precedente di riferimento) e come *slave* l'immagine immediatamente successiva al terremoto, ossia quella del 12 Aprile 2009. Tra tutti gli interferogrammi creati, è sicuramente quello che ha prodotto il risultato più significativo: infatti, sono stati rispettati i due criteri base, vale a dire che il tempo trascorso è piuttosto lungo, poco più di un anno, e la *baseline* ha una lunghezza ottimale; anche l'immagine di coerenza presenta buoni risultati (Figura 6).

Nella figura (Figura 7) si distinguono chiaramente le frange, in tutte le località in cui si sono verificati spostamenti del terreno. Ciascuna frangia dell'interferogramma, nel caso di interferometria differenziale, corrisponde ad una deformazione pari a metà della lunghezza d'onda: essendo quest'ultima di 5,6 cm nel caso di satelliti ERS e ENVISAT, lo spostamento per ogni frangia risulta essere di 2,8 cm nella direzione di vista del radar, e ciascun pixel contiene lo spostamento (e un errore residuo dovuto all'accuratezza diversa da zero del DEM utilizzato). Nella parte centrale della figura si notano le frange con andamento circolare; ipotizziamo di dividere a metà l'ovale delle frange: i colori della parte sinistra sono messi esattamente al contrario di quelli della parte destra, indicando che lo spostamento del terreno è avvenuto verso la destra della figura.



*Figura 6 – Immagine di coerenza relativa alla coppia del 27 Aprile 2008 e 12 Aprile 2009.*



*Figura 7 – Interferogramma differenziale relativo alla coppia del 27 Aprile 2008 e 12 Aprile 2009*

## **Conclusioni**

In questo lavoro si è cercato di verificare se, tramite le attuali tecniche di Telerilevamento, esista una metodologia scientifica che possa aiutare a rilevare in anticipo segnali di questa tipologia di eventi, per aprire una nuova strada di previsione o quanto meno di mitigazione del disastro. Il risultato del lavoro svolto conferma l'utilissimo potenziale dei dati acquisiti nelle microonde dai satelliti forniti di strumenti radar per l'osservazione della Terra a rilevare e quantificare movimenti verticali e deformazioni subite dal suolo in seguito ad un evento sismico, anche nel caso di deformazioni avvenute in seguito a piccole scosse, pure in caso di elevata distanza temporale. Tuttavia, lo studio effettuato ha mostrato anche un limite: la metodologia è sicuramente efficace, ma nel fornire dati post-evento. La tecnica utilizzata ed esistente al momento non risulta ancora essere un metodo utile per quanto riguarda la previsione di un fenomeno sismico, proprio perché gli unici risultati ottenibili oggi sono relativi ad evento già avvenuto.

L'analisi svolta degli eventi e dei dati e le discussioni avute nello stesso periodo su questi temi confermano una volta di più il fatto che ad oggi sta solo all'uomo adottare delle misure preventive per cercare di limitare i danni a cose e persone, nella consapevolezza che i terremoti sono ricorrenti, soprattutto nell'area di studio de L'Aquila, e che al momento non si possono fare previsioni scientificamente certe su quando, dove e come (intensità) si manifesterà un futuro sisma. Infine, è utile sottolineare che i progressi della tecnologia in generale e delle applicazioni dei dati di osservazione della Terra da satellite sono particolarmente rapidi, tanto è vero che già si utilizzano operativamente gli sviluppi dell'interferometria differenziale, nella tecnica chiamata "dei diffusori permanenti", per valutare da 800 km di quota spostamenti millimetrici verticali legati a piccoli cedimenti degli edifici, spesso segni premonitori di un possibile crollo. Pertanto, mentre si fa esperienza sui dati ottenuti dalla modernissima e recente rete dei satelliti radar italiani *Cosmo Skymed* dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), nel contesto di questo lavoro si attendono nuovi ed utili risultati anche nel campo della sismologia dai dati delle future generazioni dei satelliti ambientali *Sentinel* che l'Agenzia Spaziale Europea (ESA) sta costruendo per l'Unione Europea e che saranno lanciati a partire dal 2012.

## **Bibliografia**

- Kampes B.M., Hansen R.F., Marinkovic P.(2008), *Radar Interferometric processing with the Doris software. The Cookbook*. Delft University of Technology, 35-55
- Massonet D. (1998), *Radar interferometry and its application to change in the Earth's surface*, Centre National d'Edutes Spatiales, Toulouse, France, 441-493