DIREZIONE REGIONALE LAVORI PUBBLICI, STAZIONE UNICA APPALTI,
RISORSE IDRICHE E DIFESA DEL SUOLO

AREA TUTELA DEL TERRITORIO
SERVIZIO GEOLOGICO E SISMICO REGIONALE

Monitoraggio delle deformazioni al suolo del territorio della Regione Lazio tramite Interferometria Satellitare

Linee guida per l'utilizzo dei dati pubblicati sul GEOPORTALE della Regione Lazio

1. Introduzione

La Regione Lazio, nell'ambito dell'attività istituzionali, ha stipulato un accordo di collaborazione con il centro di ricerca CERI della Università La Sapienza di Roma, per effettuare il monitoraggio radar satellitare delle deformazioni del terreno.

L'obiettivo principale di quest'attività è fornire un quadro generale delle deformazioni del terreno presenti sul territorio regionale con l'utilizzo di dati radar interferometrici satellitari acquisti dalla costellazione Sentinel-1 dell'ESA (Agenzia Spaziale Europea). Essa è costituita da 2 satelliti gemelli (Sentinel 1A e Sentinel 1B) dotati di sensori SAR (Synthetic Aperture Radar) in banda C, che acquisiscono immagini con una risoluzione spaziale di 5 m x 20 m. Inoltre, per alcune piccole aree indagate con maggior dettaglio, vengono forniti anche i risultati provenienti dall'analisi di immagini SAR provenienti dalla costellazione COSMO-SkyMed[11] (*Constellation of Small Satellites for Mediterranean basin Observation*), il primo programma spaziale per applicazioni duali (civili istituzionali/commerciali e militari) pensato e finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) e dal Ministero della Difesa. I satelliti COSMO-SkyMed sono dotati di sensori SAR che acquisiscono immagini in banda X, con una risoluzione spaziale 3 m x 3 m. Entrambi i sistemi di satelliti (Sentinel-1 e COSMO-SkyMed) acquisiscono in modalità ascendente (abbreviazione *"asc"* nei nomi dei files) quando l'orbita è percorsa da S verso N, e in modalità discendente con percorrenza da N verso S (abbreviazione "*desc*" nei nomi dei files).

L'interferometria SAR satellitare si basa sull'analisi di serie di immagini radar acquisite da una piattaforma satellitare, sulla stessa area in tempi diversi. Grazie all'individuazione di oggetti a terra che mantengono la stessa "firma elettromagnetica" in tutte le immagini e che agiscono dunque da "scatteratori permanenti" (**P**ersistent **S**catterers - PS), è possibile misurare spostamenti del terreno sfruttando la variazione di fase del segnale radar, che fornisce informazioni sulla distanza sensore-bersaglio. I PS vengono rappresentati in genere da manufatti o edifici, come anche da rocce esposte, poiché tali oggetti hanno ottime caratteristiche riflettenti per il segnale radar, mentre sono invece assenti nelle aree molto vegetate.

Il prodotto generato da un'analisi interferometrica multi-immagine, e in questo caso specifico da un'analisi PSI (Persistent Scatterers Interferometry), è rappresentato da (i) mappe di velocità media di spostamento (in mm/anno) misurata lungo la linea di vista del satellite (Line Of Sight, LOS) e (ii) serie temporali di spostamento per ogni PS, rappresentate da grafici che mostrano l'andamento della deformazione del terreno o delle strutture nel tempo, con un valore di spostamento per ognuna delle immagini utilizzate nell'analisi. La precisione della stima della velocità ottenibile con un'analisi multi-interferometrica è variabile in funzione della tipologia di prodotto (Sentinel-1 o CosmoSkyMed) e delle caratteristiche di ogni singolo scatteratore permanente, ma si attesta nella gran parte dei casi su valori di ±2 mm/anno sulle serie di lungo periodo, e di 5 mm per la singola misura di spostamento.

Tra i principali vantaggi di questa tecnologia vi è quello di ottenere stime accurate della velocità di spostamento su ampie aree di indagine (a scala regionale) senza dover installare strumentazione al suolo e di poter ottenere tale misurazione su tutto il periodo di tempo coperto dalle immagini SAR disponibili negli archivi delle agenzie spaziali. Il monitoraggio del territorio attraverso le tecniche PSI può essere inoltre aggiornato e pianificato nel futuro, grazie all'esistenza di numerose missioni spaziali ancora attive.

I campi di applicazione principali dell'interferometria sono:

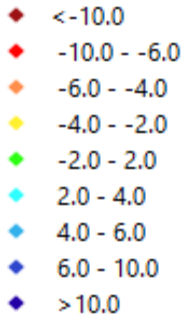
- ✓ individuazione e mappatura su larga scala di aree in deformazione, quali ad esempio aree in subsidenza o movimenti di versante (con l'eccezione di fenomeni rapidi, quali crolli e colate rapide)
- ✓ analisi dell'andamento della deformazione nel tempo.

[1] Product processed by CERI under a license of the Italian Space Agency (ASI); Original COSMO-SkyMed Product - ©ASI - (2022)

Di seguito è riportata una breve sintesi di quanto pubblicato sul GEOPORTALE della Regione Lazio, delle modalità di consultazione dei dati e alcune indicazioni per evitarne un uso improprio ed infine i termini di utilizzo del servizio fornito.

2. I dati interferometrici della Regione Lazio

I dati prodotti dall'analisi interferometrica multi-immagine costituiscono il risultato di approfondite elaborazioni; ogni punto visualizzato è caratterizzato da un valore di velocità media annua (espressa in mm/anno) misurata lungo la linea di vista dal satellite e da una serie temporale di spostamento: per ogni punto di misura è quindi possibile conoscere lo spostamento dall'inizio del periodo monitorato fino alla data dell'ultima acquisizione satellitare disponibile. I dati PS (Persistent Scatterers), consultabili nel GEOPORTALE, sono classificati secondo la velocità media annua di deformazione (espressa in mm/anno) e rappresentati utilizzando una specifica scala colori, di seguito riportata:



- il colore verde corrisponde a quei punti la cui velocità di deformazione è prossima allo zero o molto bassa: compresa tra -2,0 e +2,0 mm/anno, e pertanto corrisponde all'intervallo di sensibilità definito sulla base della deviazione standard dei dati utilizzati;
- con i colori da giallo a rosso sono classificati i punti di misura con velocità di deformazione negativa, che corrisponde a movimenti in allontanamento dal satellite, lungo la linea di vista sensore-bersaglio;
- con i colori da azzurro a blu sono classificati i punti di misura con velocità di deformazione positiva, che corrisponde a movimenti in avvicinamento al satellite, lungo la linea di vista sensore bersaglio.

Di seguito sono elencati i campi che contraddistinguono ogni punto:

ID	codice identificativo del punto
VEL	velocita media del punto (mm/anno)
COHER	coerenza (parametro di aderenza del dato al modello lineare di velocità utilizzato)
D20170414 (anno_mese_giorno)	valore di spostamento (mm) di ogni punto per ogni data, (ad es: D=displacement; 20170414=14 aprile 2017)

3. Utilizzo improprio

La pubblicazione dei dati interferometrici rappresenta un notevole strumento di arricchimento conoscitivo per la mappatura dei processi attivi di deformazione del terreno e per la comprensione della loro dinamica; in tal senso essi possono fornire un contributo alla pianificazione territoriale e alla definizione degli interventi di mitigazione, ma **è fondamentale conoscere quali sono i limiti tecnici e quindi di utilizzo**[2].

[2] http://www.lamma.toscana.it/monitoraggio-radar-delle-deformazioni-del-terreno - Linee guida per l'utilizzo dei dati interferometrici del geoportale

In generale è utile ricordare che per una corretta interpretazione delle misure interferometriche è necessario il supporto di dati cosiddetti ancillari: geologici, geomorfologici e idrogeologici etc., come anche la conoscenza dell'uso del suolo, della presenza di infrastrutture, impianti, sedi industriali, discariche cave e miniere etc. Tali informazioni permettono di guidare e assistere il processo di interpretazione e di estrazione delle informazioni utili. Quando possibile, inoltre, è sempre raccomandabile fare verifiche di sito degli effetti delle deformazioni riscontrate e valutare lo stato dei luoghi e degli edifici. La disponibilità di dati di monitoraggio tradizionali (misure GPS, dati inclinometrici, monitoraggio con fessurimetri, estensimetri etc.) costituisce un prezioso supporto integrativo per un'analisi approfondita delle deformazioni del suolo e degli edifici.

I principali utilizzi da evitare dei dati ad oggi forniti dalla Regione Lazio sono:

- ✓ Utilizzo di un PS isolato con velocità significativa: singoli punti isolati che mostrano valori di velocità media annua significativa potrebbero essere determinati da problematiche locali del manufatto che funge da riflettore, da effetto termico, oppure da errori intrinseci nella misura interferometrica. Di conseguenza, è sconsigliato utilizzare l'informazione presente in singoli punti isolati per dedurre informazioni affidabili su un eventuale fenomeno di deformazione al suolo.
- ✓ Interpretare l'assenza di punti PS come assenza di deformazioni in atto: le zone molto vegetate sono di per sé difficili da analizzare con la tecnica PS, dato che questa non permette di individuare oggetti che non riflettono in modo costante il segnale radar. Ciò non significa che le aree vegetate non siano soggette a fenomeni di deformazione e pertanto le stesse andranno indagate attraverso altri tipi di dati (topografici, geomorfologici, tematici etc.). Analogamente, l'assenza di PS su di un edificio o in una determinata infrastruttura non comporta l'assenza di movimento. I punti di misura vengono selezionati in modo semi-automatico a scala regionale, basandosi su valori soglia decisi a priori in fase di processamento; non è quindi detto che ogni manufatto sia sempre associabile ad un PS.
- ✓ Valutazione della stabilità strutturale di singoli edifici: i dati PS si localizzano frequentemente in corrispondenza di manufatti ed edifici. In presenza di valori di velocità che indicano spostamento, essi potrebbero costituire un indizio di deformazioni a carico delle strutture; tale indizio è da considerarsi del tutto preliminare e, al fine di essere confermato, deve essere necessariamente oggetto di approfondimenti rigorosi che prevedono sopralluoghi in sito e integrazione di competenze specifiche. Parimenti, PS con valori di velocità che indicano assenza di spostamenti potrebbero costituire un indizio di stabilità del manufatto, che però deve essere anch'esso oggetto di approfondimento. L'utilizzo del dato PS Sentinel-1 per valutazioni di stabilità e integrità dei manufatti è pertanto sconsigliato. Analoghi limiti possono intendersi validi anche per quanto attiene i dati COSMO-SkyMed.
- ✓ Misurare movimenti in aree con copertura nevosa perenne, corpi d'acqua o in aree umide: in queste aree il segnale radar viene totalmente assorbito e non è possibile identificare PS.
- ✓ Interpretare come reale l'entità della velocità dei PS e la direzione di spostamento: le velocità di spostamento misurate con l'interferometria SAR satellitare sono lungo la LOS, ciò significa che solo la componente della deformazione reale proiettata sulla LOS è misurabile attraverso questa tecnica. Ne consegue che solamente nel caso della subsidenza o di un sollevamento questa misura è legata a movimenti prettamente verticali. Invece nel caso di frane, la componente di spostamento misurata lungo la LOS deve essere considerata una proiezione della velocità reale con direzione lungo il versante. Perciò, a causa dell'effetto dell'esposizione dei versanti rispetto alla geometria di acquisizione del satellite, la misura interferometrica molte volte sottostima il movimento reale. Questo si verifica in particolar modo per le frane con direzione di movimento verso Nord o Sud, poiché la direzione di spostamento Nord-Sud risulta orientata in modo sfavorevole alla geometria di acquisizione satellitare (perpendicolare rispetto alla LOS).

4. Termini di utilizzo dei dati interferometrici

Date le caratteristiche del dato e i limiti intriseci della tecnica, in nessun caso il dato interferometrico pubblicato può essere considerato come una misura in tempo reale dei movimenti del terreno.

In nessun caso il dato interferometrico può essere utilizzato per scopi di allertamento o per la previsione delle deformazioni future.

Le informazioni fornite costituiscono un prodotto di elevato livello scientifico, frutto delle migliori tecniche attualmente disponibili. **Pertanto, esse devono essere interpretate ed utilizzate da personale tecnico adeguatamente formato.**

La Regione Lazio e il CERI declinano ogni responsabilità derivata da un uso improprio dei dati pubblicati.

I dati pubblicati costituiscono un prodotto non interpretato. Il loro utilizzo deve essere consapevole, prudente e deve essere condotto sotto l'esclusiva responsabilità dell'utente finale, il quale può disporre del dato secondo i presenti termini di utilizzo, ma non può in alcun modo modificarlo rispetto a quanto pubblicato.

La Regione Lazio e il CERI non potranno essere ritenuti responsabili per i danni risultanti da un uso non autorizzato, improprio o scorretto dei dati. La Regione Lazio e il CERI non potranno essere ritenuti in nessun caso responsabili per le conseguenze dannose o pericolose che derivino dall'utilizzo dei dati forniti.

La Regione autorizza la libera consultazione, l'estrazione e la riproduzione dei dati interferometrici pubblicati nel rispetto dei termini della licenza d'uso con la quale sono rilasciati.