

istituto per il rilevamento
elettromagnetico
dell'ambiente



Consiglio Nazionale delle Ricerche

Monitoraggio DInSAR di aree vulcaniche
Monitoraggio di Vulcano e Stromboli

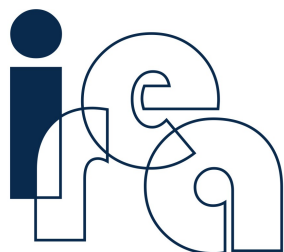
Analisi DInSAR di Vulcano tramite dati Sentinel-1
Aggiornamento al 2 dicembre 2023

Gruppo di lavoro:

Manuela Bonano, Francesco Casu, Claudio De Luca, Riccardo Lanari, Michele Manunta, Fernando Monterroso, Giovanni Onorato, Yenni Lorena Belen Roa, Pasquale Striano, Muhammad Yasir, Ivana Zinno

Rif: WP1_EOLI_SNT_23_12_V

6 dicembre 2023



istituto per il rilevamento
elettromagnetico
dell'ambiente

Sintesi

La presente relazione fornisce una descrizione degli spostamenti del suolo misurati nell'isola di Vulcano, nel periodo 24 aprile 2015 – 2 dicembre 2023, mediante tecniche di Interferometria Differenziale Radar ad Apertura Sintetica (DInSAR) applicate ai dati acquisiti dai sensori Sentinel-1 del programma europeo Copernicus.

Lo stato delle deformazioni osservate si può riassumere come segue:

- Vulcano è interessato sul lungo periodo da un abbassamento dell'area del cratere de La Fossa, con valori massimi dei tassi di deformazione verticale di poco inferiori a 2 cm/anno (fino ad agosto 2021).
- Dall'inizio di settembre 2021, la componente verticale evidenzia un'inversione dell'entità dello spostamento (sollevamento) in corrispondenza del cratere de La Fossa. Tale segnale ha raggiunto, intorno a dicembre 2021, un'entità massima di circa 5 cm in sollevamento.
- Da dicembre 2021, il tasso di sollevamento all'interno del cratere si è attenuato rispetto al trimestre settembre-novembre 2021 e mostra valori in generale stabili nel tempo. Dalla fine del 2022, in un'area molto localizzata all'interno de La Fossa, si è registrata una leggera variazione dei trend di deformazione. Negli ultimi mesi l'andamento appare stabile e non mostra accelerazioni.
- I versanti esterni del vulcano sono interessati da uno spostamento verticale in abbassamento, con valori massimi di circa 1,5 cm/anno. In queste aree non sono state registrate variazioni significative dei tassi di deformazione rispetto al mese precedente.

Vulcano: Analisi delle velocità medie e delle serie temporali di deformazione

L'analisi delle velocità medie di deformazione dell'isola di Vulcano (Figura 1a-b), nel periodo di osservazione (24 aprile 2015 – 2 dicembre 2023), mostra in generale un *pattern* di deformazione che evidenzia la presenza di fenomeni d'instabilità dei versanti orientali dell'isola lungo costa. Inoltre, il cratere de La Fossa mostra un comportamento di subsidenza sul lungo periodo, il quale interessa il fondo del cratere ed i suoi versanti.

Nel seguito, ci si focalizza sulle deformazioni registrate in corrispondenza de La Fossa, per la quale la Figura 2 mostra uno zoom delle mappe di velocità media di spostamento di Figura 1a-b. In particolare, la componente verticale mostra un abbassamento di lungo periodo interno al cratere (P1 in Figura 2a), con tassi massimi di poco inferiori a 2 cm/anno, pari a circa 11 cm di spostamento totale da aprile 2015 fino ad agosto 2021 (Figura 2c). La componente est-ovest, nello stesso periodo, mostra valori positivi e negativi, congruenti con l'abbassamento registrato (punti P1 e P2 in Figura 2b e grafici di Figura 2d,f).

I grafici della componente verticale relativi al punto P1 (Figura 2c) e in particolare P2 (Figura 2e), quest'ultimo localizzato al bordo dell'area di massima subsidenza, evidenziano, a partire da settembre 2021, un'inversione di tendenza dello spostamento (sollevamento) all'interno de La Fossa. Ciò è confermato anche dall'analisi della serie temporale di deformazione della componente verticale mostrata in Figura 2g e relativa al punto P3 (Figura 2a). Un'analisi di maggiore dettaglio degli spostamenti verticali (Figura 3) mostra che, lungo una sezione interna al cratere, il segnale di sollevamento ha fatto registrare uno spostamento massimo di circa 5 cm nel periodo che va da settembre 2021 a fine novembre 2021 (Figure 3b-f).

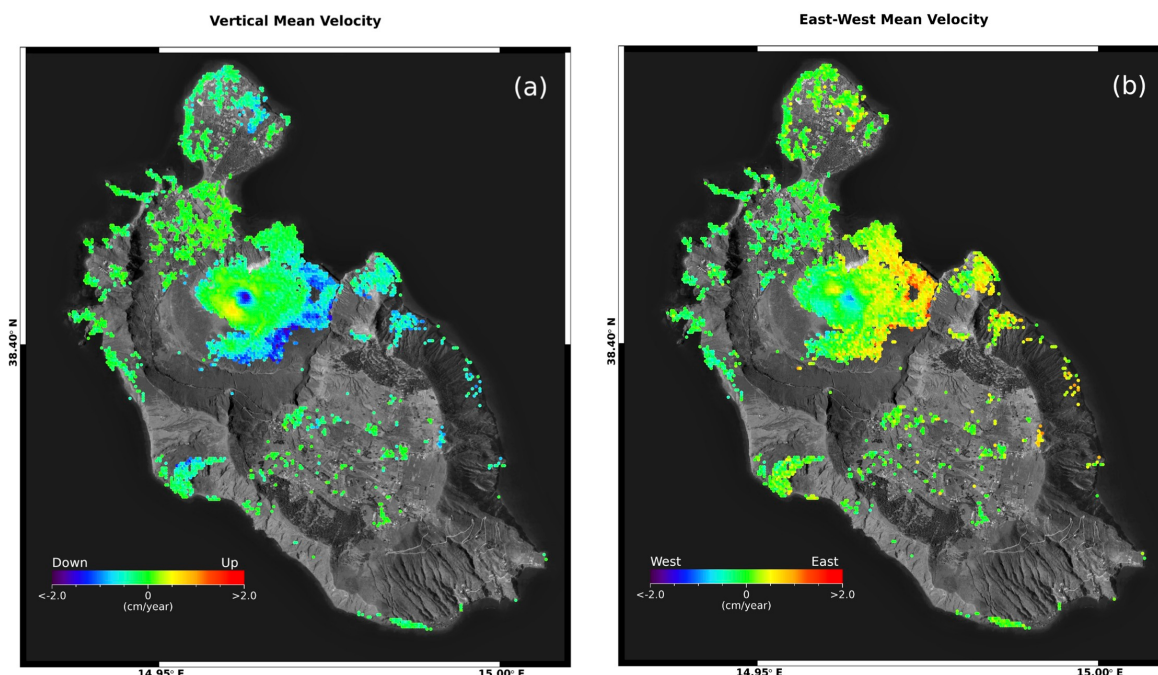


Figura 1. Vulcano: mappe delle componenti Verticale ed Est-Ovest della velocità media di deformazione relative al periodo 24 aprile 2015 – 2 dicembre 2023 generate a partire da dati Sentinel-1. a) Componente Verticale. b) Componente Est-Ovest.

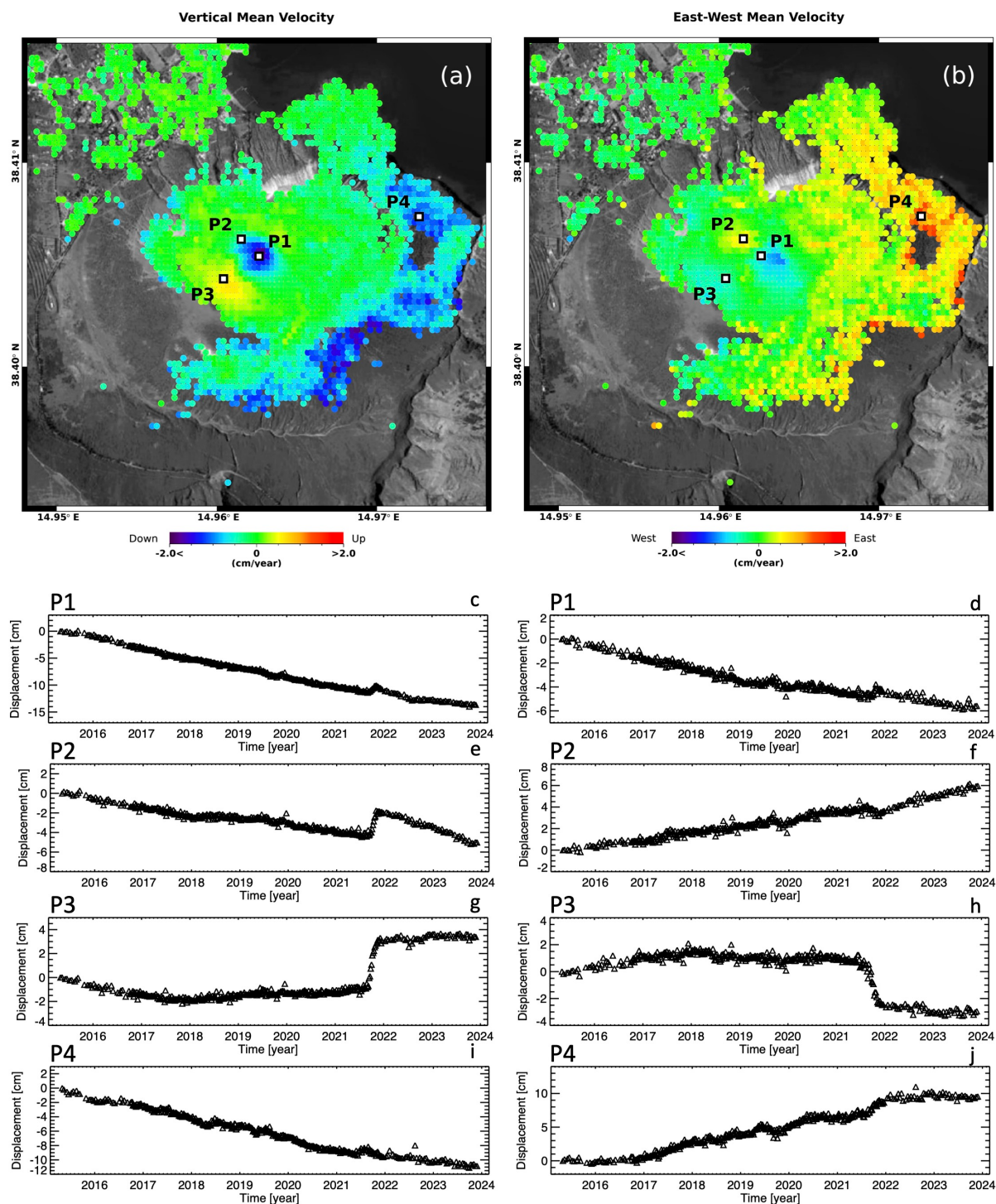


Figura 2. Vulcano – La Fossa: mappe delle componenti Verticale ed Est-Ovest della velocità media di deformazione relative al periodo 24 aprile 2015 – 2 dicembre 2023 generate a partire da dati Sentinel-1. a) Componente Verticale. b) Componente Est-Ovest. c-j) Andamento temporale della deformazione lungo la direzione Verticale (c)(e)(g)(i) ed Est-Ovest (d)(f)(h)(j) in corrispondenza di quattro punti identificati come P1, P2, P3 e P4 in (a)-(b).

A partire da novembre 2021 il tasso di sollevamento della componente verticale si è ridotto rispetto al periodo settembre-ottobre 2021. Da dicembre 2021 nell'area interna alla caldera i tassi dello spostamento verticale risultano in generale stabili nel tempo. Dalla fine del 2022, limitatamente ad alcuni punti all'interno de La Fossa, si registra una leggera variazione del trend di deformazione (Figura 3d1-d2). Negli ultimi mesi l'andamento appare stabile e non mostra accelerazioni.

Infine, sui versanti esterni de La Fossa sono stati registrati degli abbassamenti nel lungo periodo. In queste aree gli spostamenti massimi sono di circa 1,5 cm/anno (es. P4 in Figura 2a).

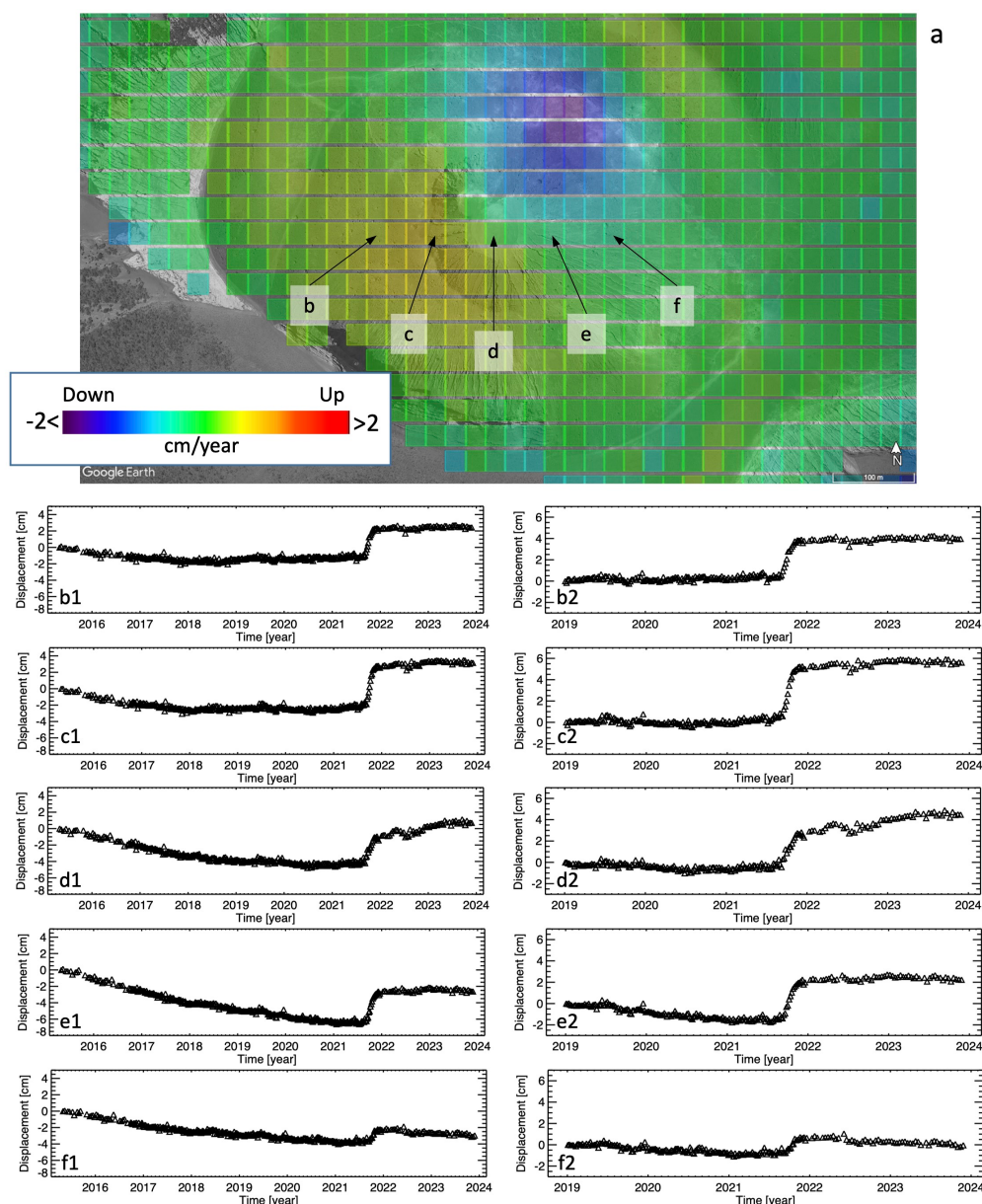
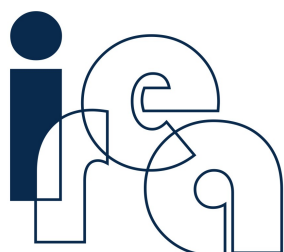


Figura 3. Vulcano – La Fossa: evoluzione temporale dello spostamento verticale per alcuni punti all'interno del cratere. a) mappa della componente Verticale della velocità media di deformazione relativa al periodo 24 aprile 2015 – 2 dicembre 2023. b1-f2) grafici dell'andamento temporale dello spostamento verticale per tutto il periodo analizzato (sinistra) e a partire da gennaio 2019 (destra), relativi ai punti identificati come b-f in Figura 3.



istituto per il rilevamento
elettromagnetico
dell'ambiente

In questo caso, il comportamento della deformazione verticale (Figura 2i, 2j), pressoché lineare nel tempo, non mostra anomalie nell'ultimo mese di osservazione.

Appendice A

Stato delle acquisizioni Sentinel-1 utilizzate e dettagli tecnici dell'elaborazione DInSAR

La deformazione superficiale dell'isola di Vulcano è stata studiata tramite i dati acquisiti dai sensori SAR della costellazione Sentinel-1. Dal 23 dicembre 2021 in poi il satellite Sentinel-1B non ha più acquisito a causa di un problema all'alimentazione del sistema radar. Di conseguenza, successivamente a questo evento, per generare le serie temporali delle componenti verticale ed est-ovest della deformazione, sono state utilizzate le acquisizioni del solo Sentinel-1A fino al 26 novembre 2023 per le orbite ascendenti, e al 2 dicembre 2023 per quelle discendenti. Nello specifico sono state impiegate 409 immagini SAR acquisite da orbite ascendenti (*Track* 44) e 407 da quelle discendenti (*Track* 124).

In Tabella A1 sono riassunte le principali caratteristiche dei dati Sentinel-1 utilizzati. In Figura A1 è mostrata la distribuzione delle acquisizioni nel piano Tempo/Baseline Perpendicolare nell'intervallo temporale 24 aprile 2015 – 2 dicembre 2023. Da questi dati sono state generate, per ciascun'orbita, le relative serie temporali di deformazione e le mappe di velocità media nella linea di vista del sensore (LOS), sfruttando l'algoritmo di interferometria SAR differenziale denominato SBAS (Small BASeline Subset) [1]. Per l'elaborazione SBAS è stato impiegato un DEM SRTM dell'area con una risoluzione spaziale di 30 m. Sia gli interferogrammi differenziali sia le successive mappe e serie storiche di deformazione hanno una risoluzione spaziale di circa 30 m, ottenuta a valle di un'operazione di *multilooking*. La disponibilità di informazioni da entrambe le orbite (ascendente e discendente) ha permesso di scomporre lo spostamento in LOS osservabile dal SAR lungo le direzioni Verticale ed Est-Ovest, seguendo l'approccio presentato in [2] (si noti che la proiezione della componente Nord-Sud dello spostamento lungo la linea di vista del sensore è trascurabile, dal momento che i satelliti percorrono orbite polari). Essendo lo scarto temporale fra passaggi ascendenti e discendenti di circa 12 ore e assumendo che la variazione di deformazione sia trascurabile in un intervallo così breve, è stato possibile combinare le singole acquisizioni ascendenti e discendenti per generare le serie temporali delle componenti di deformazione Verticale ed Est-Ovest. Ciò è valido da settembre 2016 al 23

Tabella A1		
Caratteristiche principali dei dati S1 utilizzati per l'analisi interferometrica		
	Ascendente	Discendente
Lunghezza d'onda	5,5 cm	
Modalità di acquisizione	Terrain Observation by Progressive Scans	
Angolo di vista a centro scena	~39°	
Risoluzione spaziale dato interferometrico	~30 m x 30 m	
Track	44	124
Periodo di osservazione	30/04/2015 – 26/11/2023	24/04/2015 – 02/12/2023
Numero di acquisizioni	409	407

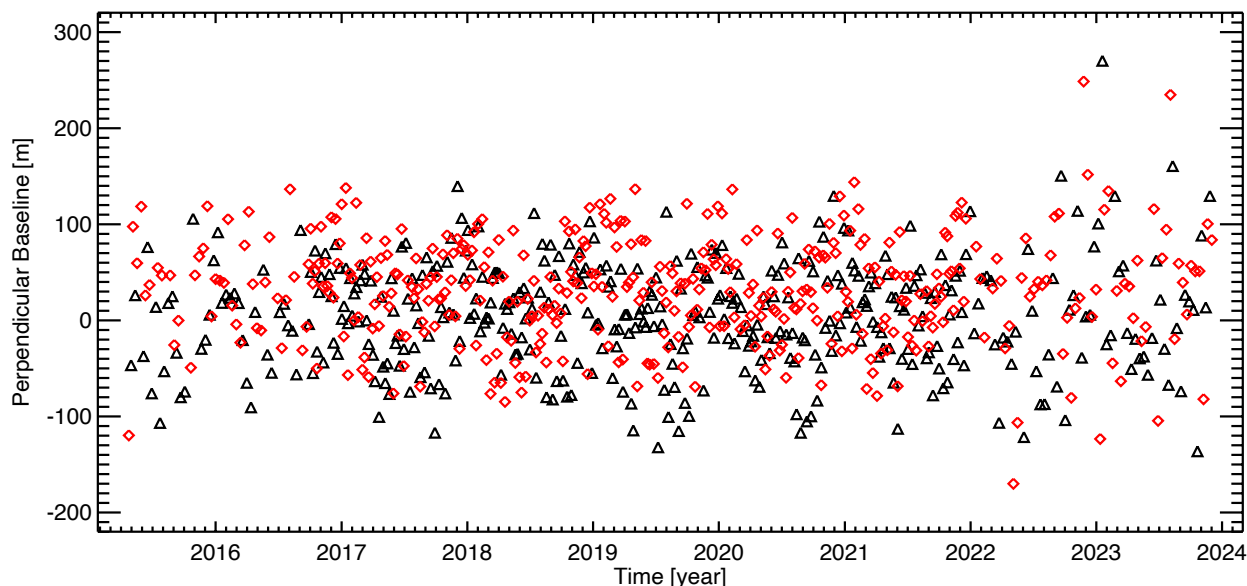


Figura A1. Distribuzione nel piano Tempo/Baseline Perpendicolare dei dati SAR Sentinel-1 utilizzati per l'analisi interferometrica SBAS. In nero e rosso sono rappresentati i dati acquisiti, rispettivamente, da orbite ascendenti e discendenti.

dicembre 2021, in concomitanza della piena operatività di Sentinel-1B. Per i periodi antecedente (aprile 2015 – settembre 2016) e successivo, per i quali si dispone di un unico sensore, si è assunto che la variazione di deformazione fra acquisizioni ascendenti e discendenti in 6 giorni fosse trascurabile. In generale, tali assunzioni sono valide nel momento in cui non avvengano deformazioni improvvise e di elevata entità (ad esempio terremoti di elevata magnitudo o eruzioni) nel periodo che intercorre fra i due passaggi, come nel caso in esame. Infine si rimarca che le misure relative a Vulcano sono riferite spazialmente ad un punto in località Piano.

Riferimenti

- [1] P. Berardino, G. Fornaro, R. Lanari, and E. Sansosti, "A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 40, no. 11, pp. 2375–2383, Nov. 2002.
- [2] F. Casu and A. Manconi, "Four-dimensional surface evolution of active rifting from spaceborne SAR data", *Geosphere*, 2016, doi: 10.1130/GES01225.1.