

istituto per il rilevamento  
elettromagnetico  
dell'ambiente

**Relazione sulle attività svolte nell'ambito dell'Accordo 2019-2021 tra la Presidenza del Consiglio dei Ministri Dipartimento della Protezione Civile e l'Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente del Consiglio Nazionale delle Ricerche**

***WP1 - Monitoraggio DInSAR di aree vulcaniche***  
**Task 1.3 – Monitoraggio di Vulcano e Stromboli**

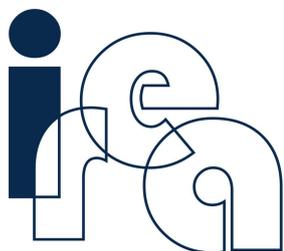
**Analisi DInSAR di Vulcano tramite dati Sentinel-1**  
**Aggiornamento al 30 dicembre 2021**

Gruppo di lavoro:

Manuela Bonano, Raffaele Castaldo, Francesco Casu, Claudio De Luca, Michele Manunta, Mariarosaria Manzo, Giovanni Onorato, Susi Pepe, Giuseppe Solaro, Pietro Tizzani, Emanuela Valerio, Ivana Zinno

Rif: WP1\_EOLI\_SNT\_21\_12\_V

10 gennaio 2021



istituto per il rilevamento  
elettromagnetico  
dell'ambiente

## Introduzione

La presente relazione fornisce una descrizione degli spostamenti del suolo misurati nell'isola di Vulcano, nel periodo 24 aprile 2015 – 18 dicembre 2021, 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, la componente verticale evidenzia un'inversione dell'entità dello spostamento (sollevamento) in corrispondenza del cratere de La Fossa. Tale segnale ha attualmente un'entità massima di circa 3 cm in sollevamento.
- Nelle ultime settimane il tasso di sollevamento si è notevolmente attenuato rispetto al periodo settembre-ottobre 2021.
- I versanti esterni del vulcano sono interessati da uno spostamento verticale in abbassamento, con valori massimi superiori a 1,5 cm/anno, per i quali 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), per tutto il periodo di osservazione (24 aprile 2015 – 18 dicembre 2021), mostra un comportamento di subsidenza de La Fossa, il quale interessa il fondo del cratere ed i suoi versanti. Inoltre, l'intera isola di Vulcano mostra in generale un *pattern* di deformazione che evidenzia la presenza di fenomeni d'instabilità dei versanti orientali dell'isola lungo costa.

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 del cratere de La Fossa (P2 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 2e). La componente est-ovest, nello stesso periodo, mostra valori positivi e negativi, rispettivamente sul versante occidentale (P1 in Figura 2b) e su quello orientale (P3 in Figura 2b) interni al cono, pari a circa 0,6-0,9 cm/anno.

L'analisi delle serie temporali di deformazione (Figura 2c-h) mostra, fino ad agosto 2021 e fatta eccezione per la componente verticale del punto P1, un'evoluzione lineare dello spostamento nel tempo.

A partire da settembre 2021, la componente verticale presenta un'inversione di tendenza dello spostamento (sollevamento) all'interno de La Fossa. In Figura 3 è mostrata l'evoluzione temporale dello spostamento sia per la componente verticale (calcolata fino al 18 dicembre 2021; Figura 3b1-f1) sia per la componente in LOS ascendente (calcolata fino al 30 dicembre 2021; Figura 3b2-f2) per alcuni punti nel cratere da cui si evince tale inversione di tendenza. Il segnale massimo verticale in sollevamento è di circa 3 cm (Figura 3c1).

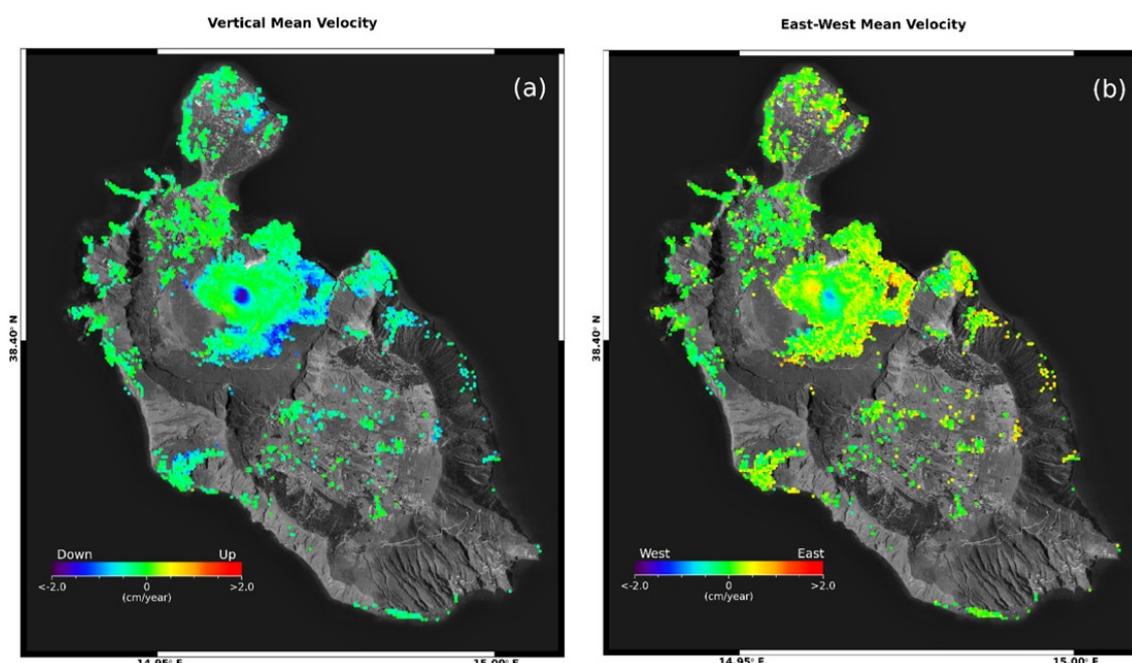


Figura 1. Vulcano: mappe delle componenti Verticale ed Est-Ovest della velocità media di deformazione relative al periodo 24 aprile 2015 – 18 dicembre 2021 generate a partire da dati Sentinel-1. a) Componente Verticale. b) Componente Est-Ovest.

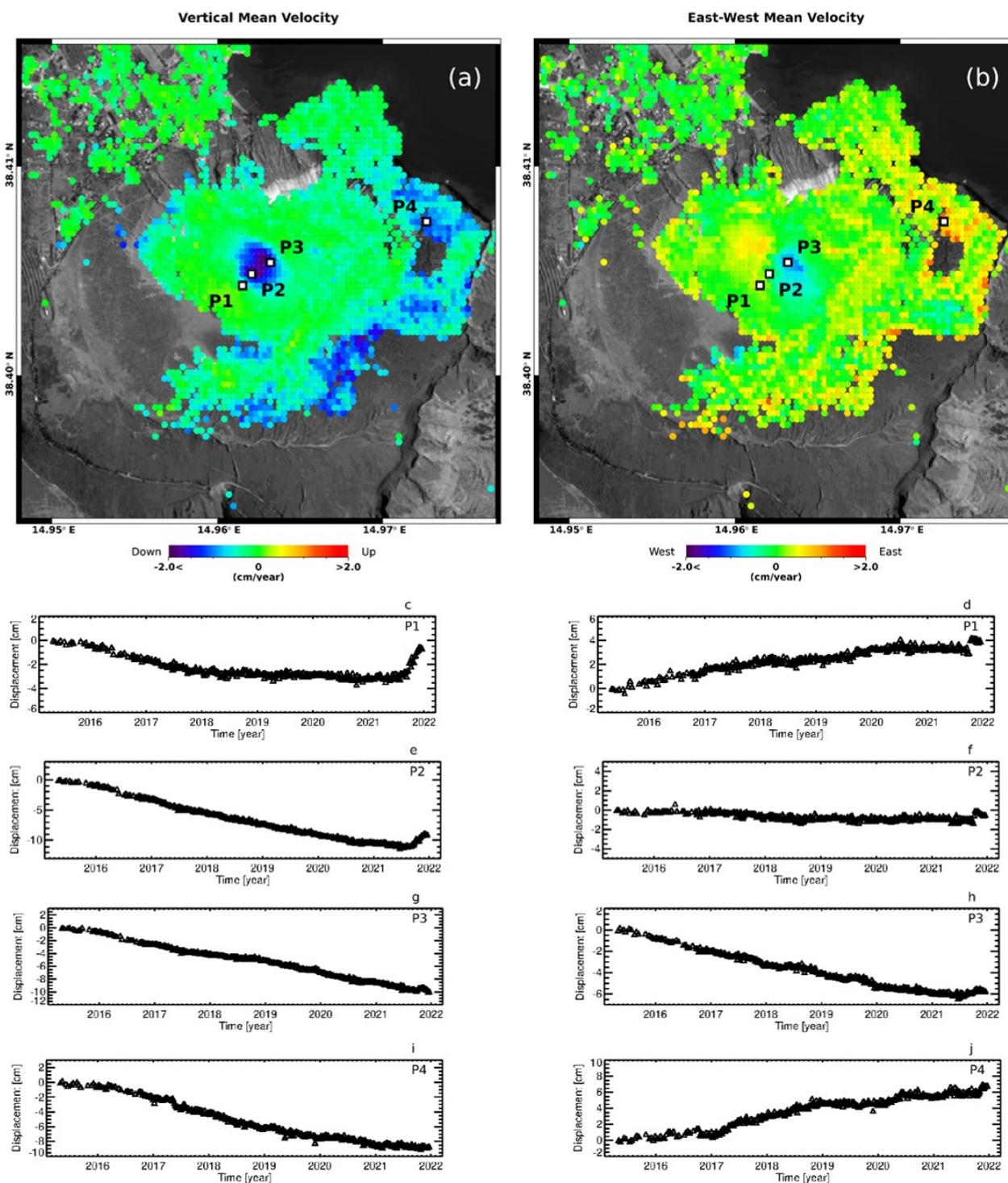


Figura 2. Vulcano – La Fossa: mappe delle componenti Verticale ed Est-Ovest della velocità media di deformazione relative al periodo 24 aprile 2015 – 18 dicembre 2021 generate a partire da dati Sentinel-1. a) Componente Verticale. b) Componente Est-Ovest. c-j) Andamento temporale della deformazione lungo 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).

Nelle ultime settimane, sia il tasso di sollevamento della componente verticale, sia l'avvicinamento al sensore lungo orbite ascendenti, sono in netta riduzione rispetto al periodo settembre-ottobre 2021 e andranno verificati con le prossime acquisizioni.

Infine, sui versanti esterni de La Fossa sono stati registrati degli abbassamenti nel lungo periodo. In queste aree gli spostamenti massimi superano localmente 1,5 cm/anno (es. P4 in Figura 2a). In questo caso, il comportamento nel tempo della deformazione verticale è pressoché lineare (Figura 2i, 2j) e non mostra anomalie nell'ultimo mese di osservazione.

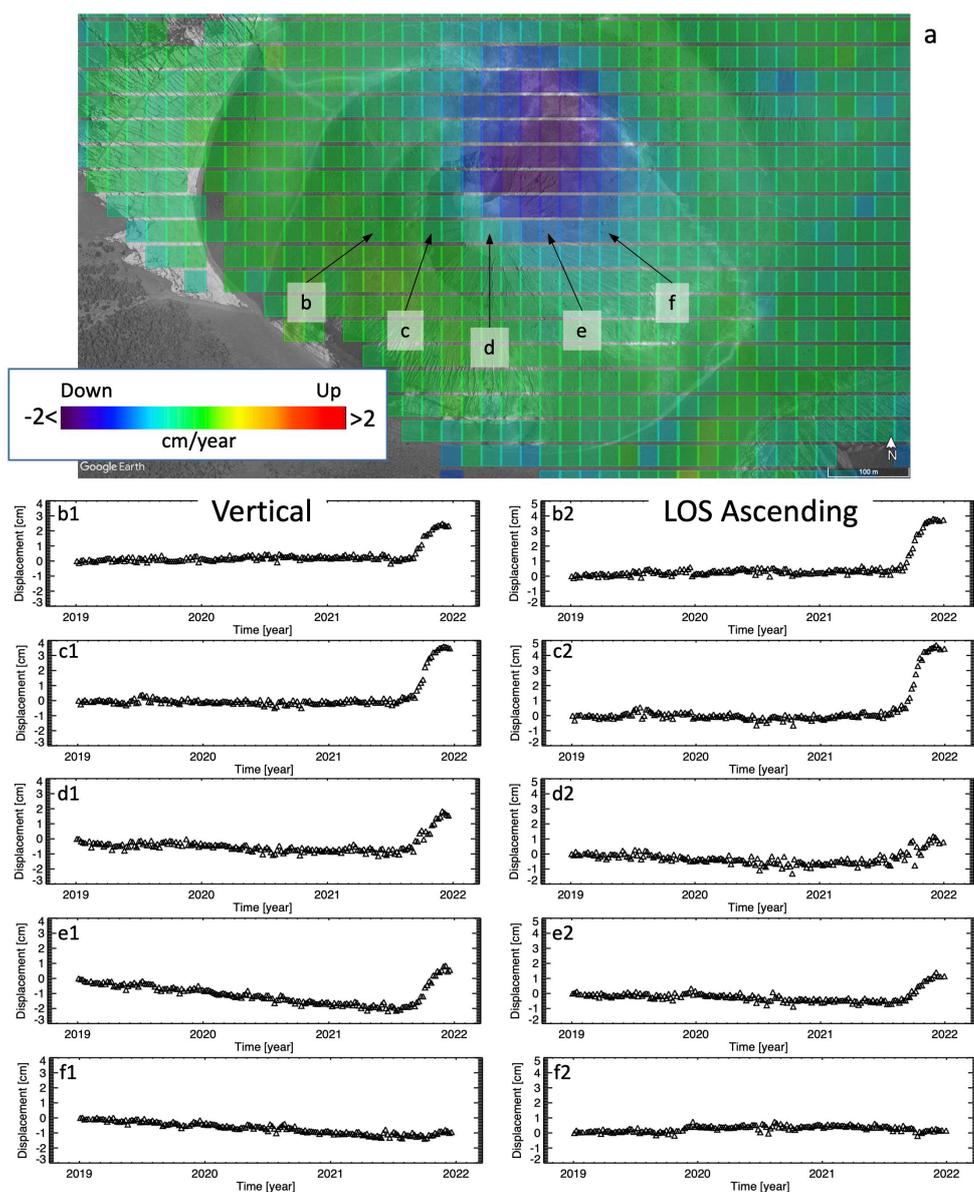
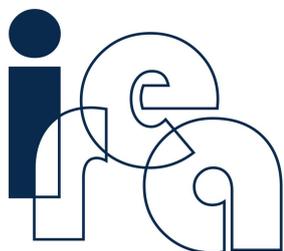


Figura 3. Vulcano – La Fossa: evoluzione temporale dello spostamento verticale per alcuni punti all'interno del cratere. a) mappa della componente Verticale della velocità media di deformazione relativa al periodo 24 aprile 2015 – 18 dicembre 2021. b1-f1) grafici dell'andamento temporale dello spostamento verticale nel periodo gennaio 2019 – 18 dicembre 2021 per i punti identificati come b-f in Figura 3a. b2-f2) grafici dell'andamento temporale dello spostamento LOS Ascendente nel periodo gennaio 2019 – 30 dicembre 2021 per i punti identificati come b-f in Figura 3a.



## 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. Entrambi i satelliti Sentinel-1A e Sentinel-1B non hanno operato regolarmente nell'ultimo periodo. In particolare, dal 23 dicembre 2021 in poi il satellite Sentinel-1B non ha più acquisito a causa di un problema all'alimentazione del sistema radar. Inoltre, anche i dati del Sentinel-1A relativi ai passaggi del 24 dicembre 2021 e 5 gennaio 2022 non sono stati resi disponibili. L'unica acquisizione disponibile nel periodo successivo al 23 dicembre 2021 corrisponde al passaggio ascendente del 30 dicembre 2021. Di conseguenza, per generare le serie temporali delle componenti verticale ed est-ovest della deformazione, sono state utilizzate le acquisizioni fino al 18 dicembre 2021, ultime disponibili da entrambe le orbite. L'acquisizione del 30 dicembre 2021 è stata utilizzata solo per le serie temporali da orbite ascendenti. Nello specifico sono state impiegate 352 immagini SAR acquisite da orbite ascendenti (*Track* 44) e 351 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 – 30 dicembre 2021. 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

Tabella A1		
Caratteristiche principali dei dati <b>S1</b> utilizzati per l'analisi interferometrica		
	<b>Ascendente</b>	<b>Discendente</b>
Lunghezza d'onda	<b>5,5 cm</b>	
Modalità di acquisizione	<b>Terrain Observation by Progressive Scans</b>	
Angolo di vista a centro scena	<b>~39°</b>	
Risoluzione spaziale dato interferometrico	<b>~30 m x 30 m</b>	
Track	<b>44</b>	<b>124</b>
Periodo di osservazione	<b>30/04/2015 – 30/12/2021</b>	<b>24/04/2015 – 18/12/2021</b>
Numero di acquisizioni	<b>352</b>	<b>351</b>

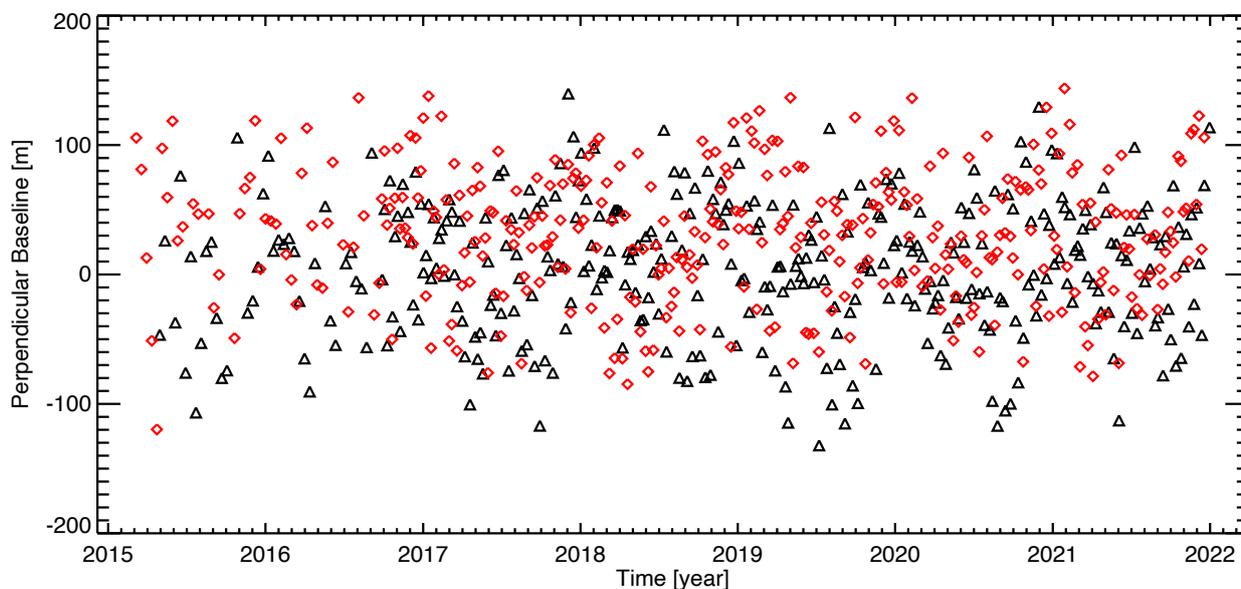


Figura A1. Distribuzione nel piano Tempo/Baseline Perpendicolare dei dati SAR Sentinel-1 utilizzati per l'analisi interferometrica SBAS. In nero e rosso sono rappresentati i dati acquisiti, rispettivamente, da orbite ascendenti e discendenti.

componenti di deformazione Verticale ed Est-Ovest. Ciò è valido da settembre 2016, in concomitanza della piena operatività di Sentinel-1B. Per il periodo antecedente (aprile 2015 – settembre 2016), per il quale 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 avvengono 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.