

istituto per il rilevamento
elettromagnetico
dell'ambiente



Consiglio Nazionale delle Ricerche

Monitoraggio DInSAR di aree vulcaniche
Monitoraggio di Vulcano e Stromboli

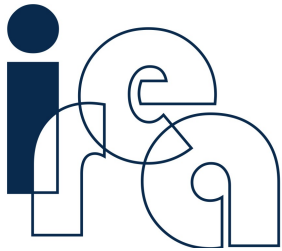
Analisi DInSAR di Vulcano tramite dati Sentinel-1
Aggiornamento al 2 settembre 2022

Gruppo di lavoro:

Manuela Bonano, Francesco Casu, Claudio De Luca, Michele Manunta, Mariarosaria Manzo,
Fernando Monterroso, Giovanni Onorato, Ivana Zinno

Rif: WP1_EOLI_SNT_22_09_V

8 settembre 2022



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 – 2 settembre 2022, 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 4 cm in sollevamento.
- Da dicembre 2021 il tasso di sollevamento all'interno del cratere si è attenuato rispetto al trimestre settembre-novembre 2021. Attualmente il sollevamento all'interno della caldera appare essersi arrestato e i tassi di spostamento mostrano valori stabili nel tempo.
- I versanti esterni del vulcano sono interessati da uno spostamento verticale in abbassamento, con valori massimi che superano localmente anche 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 settembre 2022), 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 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 per la componente verticale (calcolata fino al 2 settembre 2022; Figura 3b1-f2) per alcuni punti nel cratere, da cui si evince tale inversione di tendenza. Il segnale massimo verticale in sollevamento è di circa 4 cm (Figura 3c), raggiunto intorno a dicembre 2021.

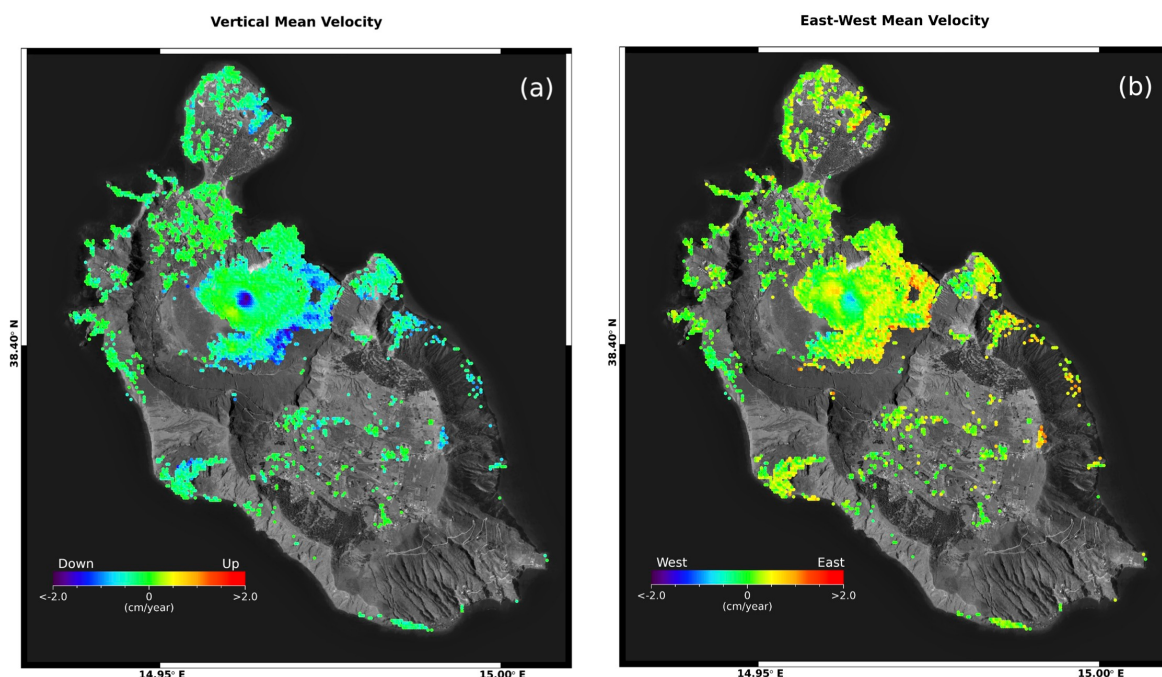


Figura 1. Vulcano: mappe delle componenti Verticale ed Est-Ovest della velocità media di deformazione relative al periodo 24 aprile 2015 – 2 settembre 2022 generate a partire da dati Sentinel-1. a) Componente Verticale. b) Componente Est-Ovest.

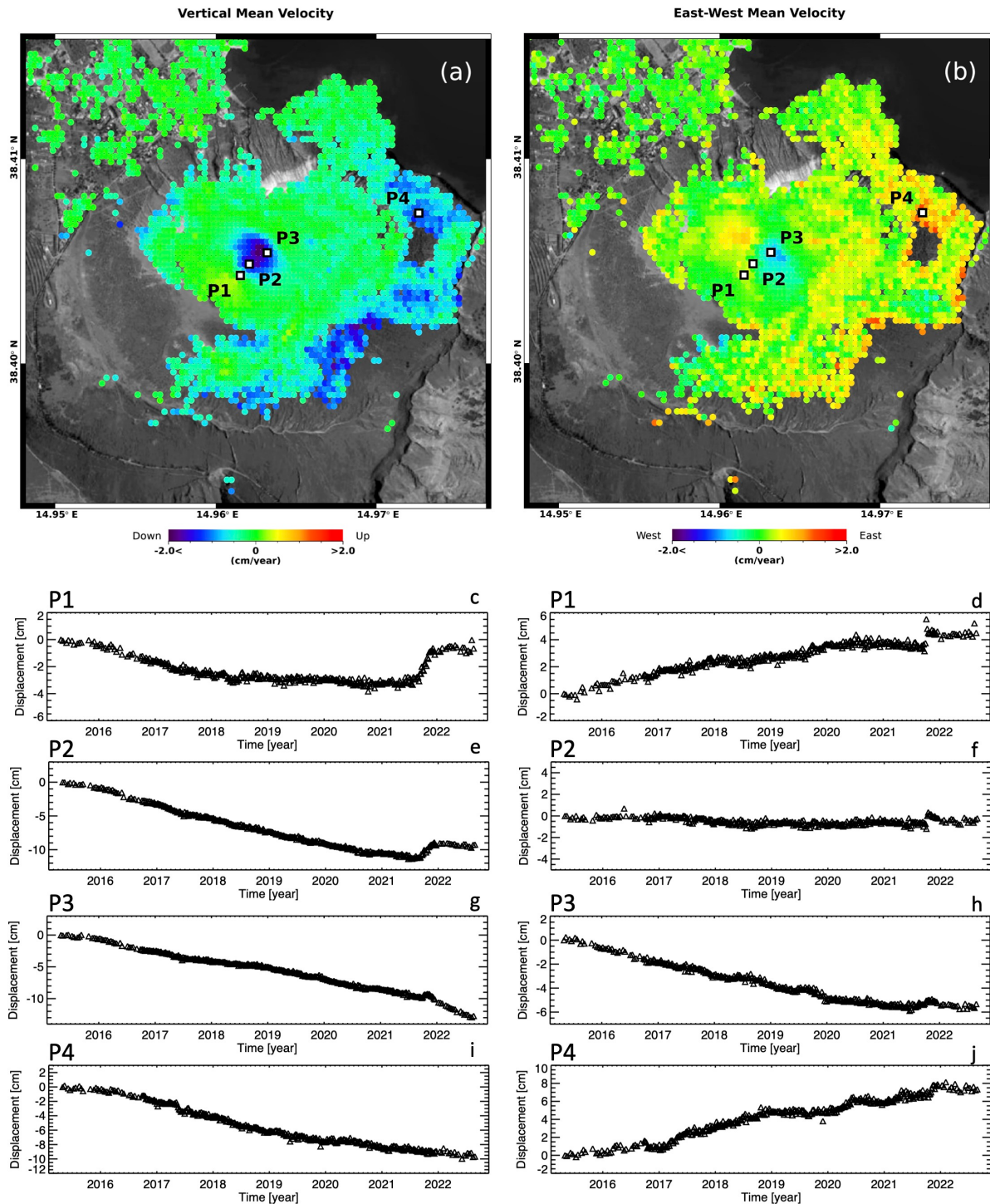


Figura 2. Vulcano – La Fossa: mappe delle componenti Verticale ed Est-Ovest della velocità media di deformazione relative al periodo 24 aprile 2015 – 2 settembre 2022 generate a partire da dati Sentinel-1. a) Componente Verticale. b) Componente Est-Ovest. c-j) Andamento temporale della deformazione lungo 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 il sollevamento è pressoché interrotto e i tassi dello spostamento verticale risultano stabili nel tempo.

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

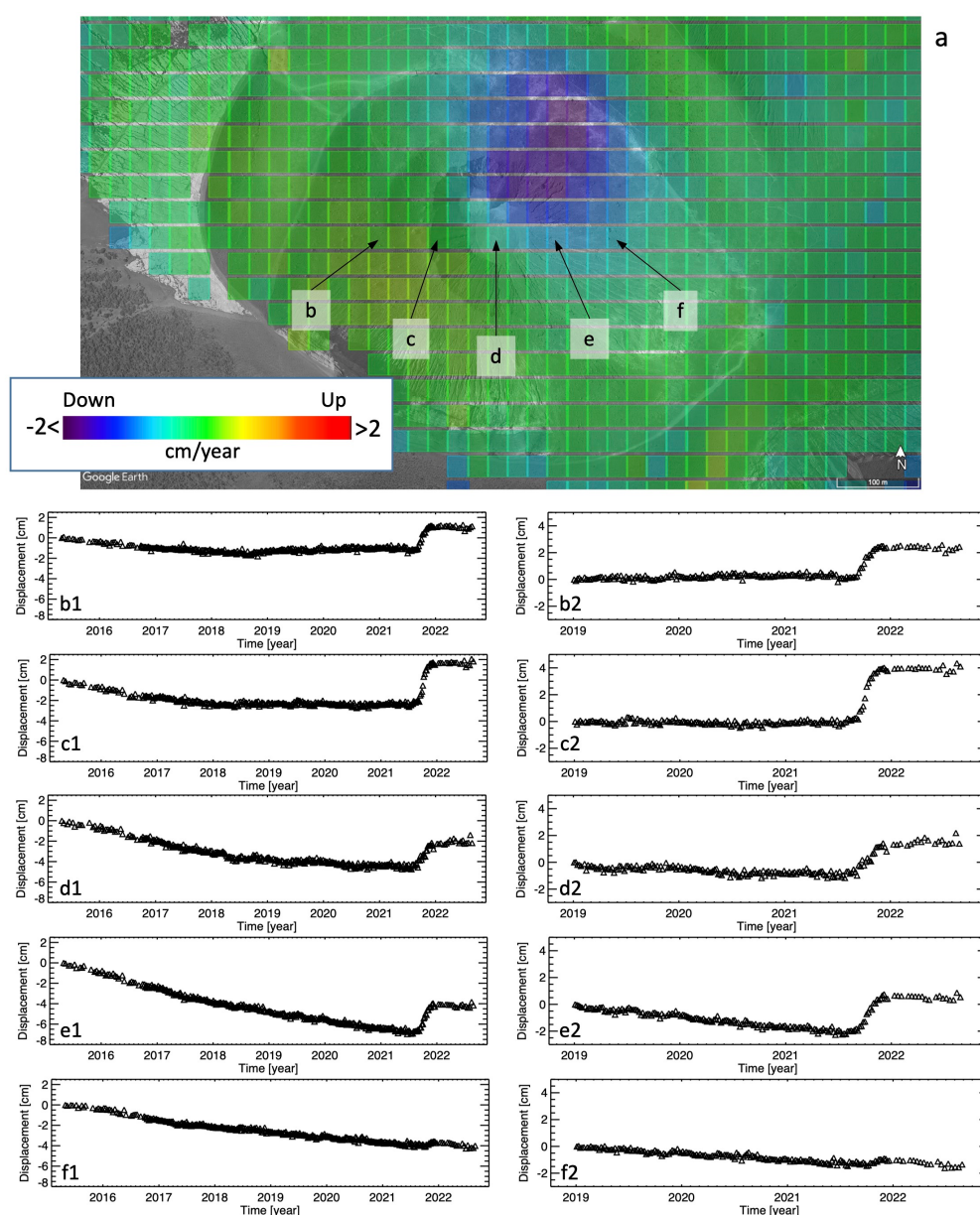
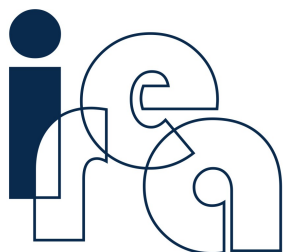


Figura 3. Vulcano – La Fossa: evoluzione temporale dello spostamento verticale per alcuni punti all'interno del cratere. a) mappa della componente Verticale della velocità media di deformazione relativa al periodo 24 aprile 2015 – 2 settembre 2022. b1-f2) grafici dell'andamento temporale dello spostamento 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

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 27 agosto 2022 per le orbite ascendenti, e al 2 settembre 2022 per quelle discendenti. Nello specifico sono state impiegate 371 immagini SAR acquisite da orbite ascendenti (*Track* 44) e 370 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 settembre 2022. 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 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

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 – 27/08/2022	24/04/2015 – 02/09/2022
Numero di acquisizioni	371	370

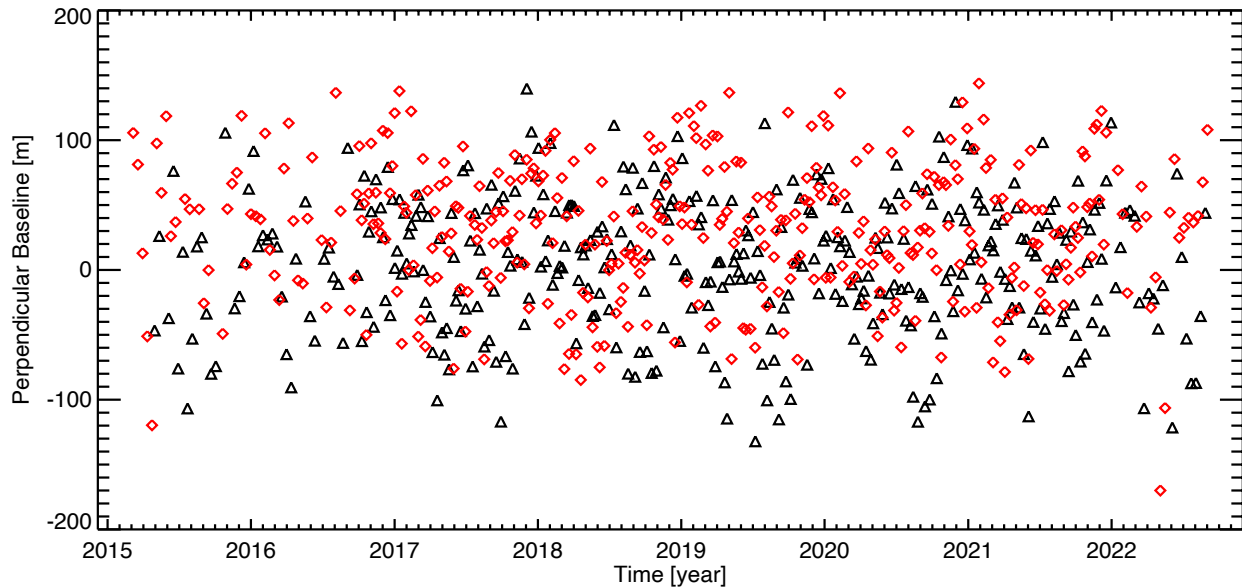


Figura A1. Distribuzione nel piano Tempo/Baseline Perpendicolare dei dati SAR Sentinel-1 utilizzati per l'analisi interferometrica SBAS. In nero e rosso sono rappresentati i dati acquisiti, rispettivamente, da orbite ascendenti e discendenti.

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.