

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

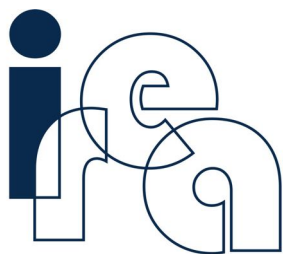
Analisi DInSAR di Stromboli tramite dati Sentinel-1
Aggiornamento al 31 ottobre 2021

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_10_S

5 novembre 2021



istituto per il rilevamento
elettromagnetico
dell'ambiente

Introduzione

La presente relazione fornisce una descrizione degli spostamenti del suolo misurati nell'isola di Stromboli, nel periodo 24 aprile 2015 – 31 ottobre 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 osservazioni si può riassumere come segue:

- La parte lungo costa del settore settentrionale della Sciara del Fuoco, che aveva mostrato un incremento dei tassi di deformazione da dicembre 2019 a febbraio 2020, presenta ormai un andamento stabile da diversi mesi. Da marzo 2020 fino al 31 ottobre 2021 il segnale rilevato è di circa 2 mm/mese;
- Il segnale di deformazione in abbassamento della parte sommitale della Sciara del Fuoco, registrato in seguito al parossismo del 3 luglio 2019, mostra un andamento stazionario nel tempo;
- L'analisi dei singoli interferogrammi lungo orbita discendente, relativi al periodo 1° ottobre 2021 – 31 ottobre 2021, mostra che il segnale di fase associato alla colata lavica dell'agosto 2019 appare ormai di bassa entità e si confonde nel breve periodo con il rumore di fase associato a disturbi atmosferici.
- L'analisi dei singoli interferogrammi nell'ultimo mese di osservazione non mostra segnali di fase chiaramente riconducibili a deformazione alla scala del vulcano.

Analisi degli interferogrammi e delle serie temporali di deformazione

Nel periodo aprile 2015 – giugno 2019 (precedente al parossismo del 3 luglio 2019), lo Stromboli è stato interessato da uno spostamento pressoché continuo lungo il versante occidentale dell'isola, caratterizzato da una componente di subsidenza ed una orizzontale (lungo la direzione est-ovest) verso occidente.

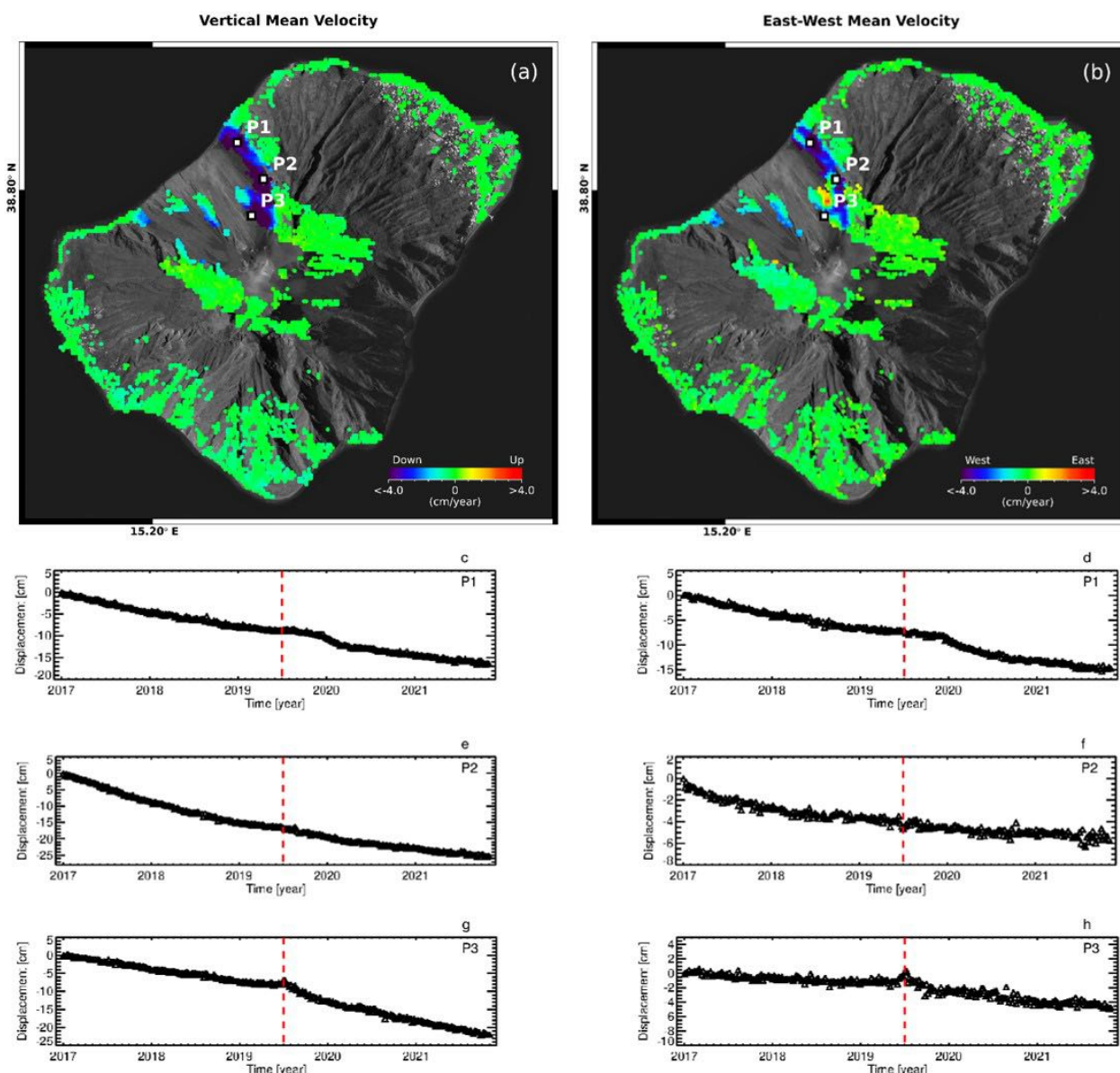


Figura 1. Mappe delle componenti Verticale ed Est-Ovest della velocità media di deformazione relative al periodo 24 aprile 2015 – 31 ottobre 2021 generate a partire da dati Sentinel-1. a) Componente Verticale. b) Componente Est-Ovest. c-h) Andamento temporale della deformazione lungo la direzione Verticale (c)(e)(g) ed Est-Ovest (d)(f)(h) in corrispondenza di tre punti identificati come P1, P2 e P3 in (a)-(b) nel periodo gennaio 2017 – 31 ottobre 2021. La linea rossa tratteggiata indica il parossismo del 3 luglio 2019.

A seguito dei parossismi del 3 luglio 2019 e 28 agosto 2019, nella Sciara del Fuoco si è riscontrato un peggioramento della qualità del segnale di fase (rumore di decorrelazione) a causa principalmente del deposito del materiale emesso durante i suddetti eventi, che ha modificato la scena dal punto di vista elettromagnetico. Ne consegue che, successivamente al 3 luglio, le serie temporali di deformazione sono da considerarsi affidabili nel settore

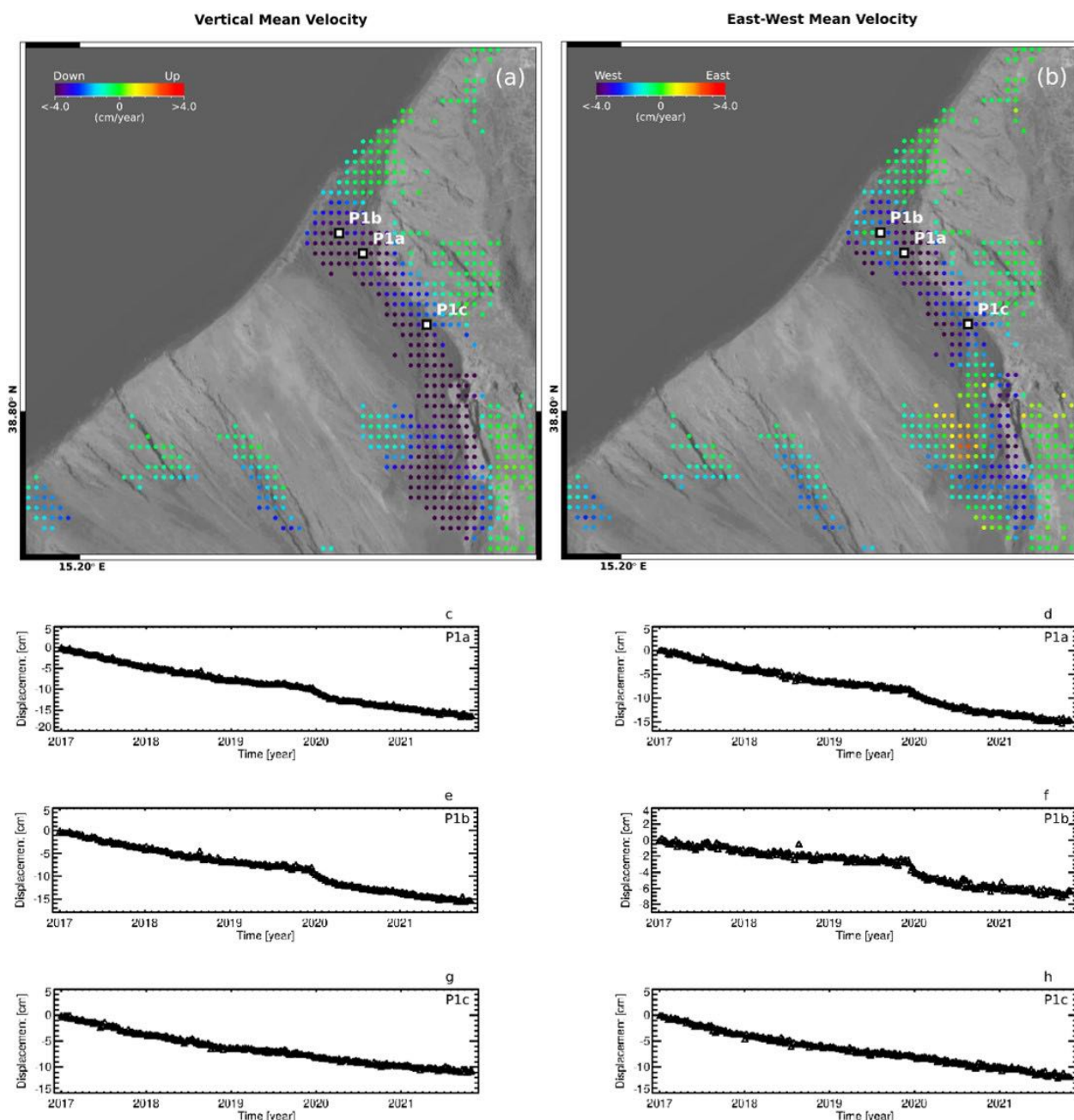
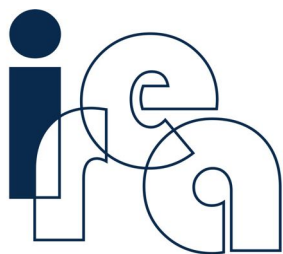


Figura 2. Mappe delle componenti Verticale ed Est-Ovest della velocità media di deformazione dell'area settentrionale della Sciara del Fuoco relative al periodo 24 aprile 2015 – 31 ottobre 2021. a) Componente Verticale. b) Componente Est-Ovest. c-h) Andamento temporale della deformazione lungo la direzione Verticale (c)(e)(g) ed Est-Ovest (d)(f)(h) in corrispondenza di tre punti identificati come P1a, P1b e P1c in (a)-(b) nel periodo gennaio 2017 – 31 ottobre 2021.



settentrionale della Sciara del Fuoco, mentre nella parte centro-meridionale sono affette da un elevato livello di rumore. Resta invariato lo scenario per il resto dell'isola.

Ciò premesso, in Figura 1 sono mostrate le serie temporali di deformazione, relative ad alcuni punti della Sciara del Fuoco, a partire dal 2017 fino al 31 ottobre 2021. Si può notare come le zone lungo costa e centrali del settore settentrionale siano interessate da un andamento della deformazione (punti P1 e P2 in Figura 1a-b) la cui entità non è stata influenzata in maniera significativa dagli eventi parossistici di luglio (l'evento del 3 luglio 2019 è indicato con una linea rossa tratteggiata nei grafici di Figura 1), come evidenziato dall'evoluzione temporale, sia nelle componenti verticali (Figura 1c,e), sia est-ovest (Figura 1d,f), della deformazione.

Va ricordato che nell'area lungo costa è stato rilevato un incremento dei tassi di deformazione sia verticale (Figura 1c) sia est-ovest (Figura 1d) a partire da dicembre 2019. In particolare, in Figura 2 sono mostrate le serie temporali di deformazione relative ad alcuni punti localizzati nell'area lungo costa del settore settentrionale della Sciara del Fuoco (Figura 2c-f). Dall'analisi di Figura 2 si nota che le maggiori entità dello spostamento si sono registrate nel periodo dicembre 2019 – febbraio 2020 (velocità verticale in subsidenza di circa 1 cm/mese), mentre da marzo 2020 fino al 31 ottobre 2021 il tasso è pressoché costante con valori della velocità verticale media di circa 2 mm/mese. L'area della Sciara del Fuoco interessata da questo cambio di *trend* deformativo è confinata alla parte più vicina alla costa. A tal riguardo, infatti, in Figura 2g-h sono presentati due grafici che rivelano come l'andamento della deformazione non mostri variazioni significative per aree lontane dalla costa.

Infine, per quanto riguarda l'area più vicina alla sommità, come già evidenziato nelle relazioni precedenti, la stessa presenta, successivamente al 3 luglio 2019, un incremento del tasso di deformazione (punto P3 in Figura 1a-b) rispetto al periodo precedente. In particolare, la componente verticale (Figura 1g) mostra uno spostamento massimo verso il basso di circa 15 cm dal 3 luglio 2019 al 31 ottobre 2021. La componente Est-Ovest (Figura 1h) è leggermente più rumorosa nei mesi immediatamente successivi al 3 luglio per poi stabilizzarsi intorno agli ultimi mesi del 2019.

A partire dal 31 agosto (prima acquisizione successiva al parossismo del 28 agosto), nel settore meridionale della Sciara del Fuoco è stato notato un segnale di fase interferometrica, già evidenziato nelle precedenti relazioni. La Figura 3 mostra, in geometria radar, alcuni degli interferogrammi differenziali generati con i dati acquisiti nell'ultimo mese (dal 1 ottobre 2021 al 31 ottobre 2021) lungo orbite discendenti. Come già evidenziato nelle precedenti relazioni, si può notare come il segnale di fase rilevato dal 31 agosto 2019 nella porzione sommitale del settore centro-meridionale della Sciara del Fuoco si confonda, nel breve periodo, con il rumore di fase associato a disturbi atmosferici (Figura 3a-e). Suddetto segnale è comunque parzialmente rilevabile dall'analisi degli interferogrammi a lungo periodo (Figura 3f). L'andamento del tasso di deformazione, così come la sua estensione areale, è in progressiva diminuzione. La corrispondenza spaziale (già evidenziata nelle precedenti relazioni) di tale *pattern* di deformazione con la colata lavica successiva agli eventi di luglio e agosto 2019, così come l'attenuazione del tasso di deformazione nel tempo, suggeriscono che gli spostamenti osservati siano legati alla presenza della suddetta colata.

Infine, l'analisi degli interferogrammi generati nell'ultimo mese (Figura 3) non mostra segnali di fase chiaramente riconducibili a deformazione alla scala del vulcano.

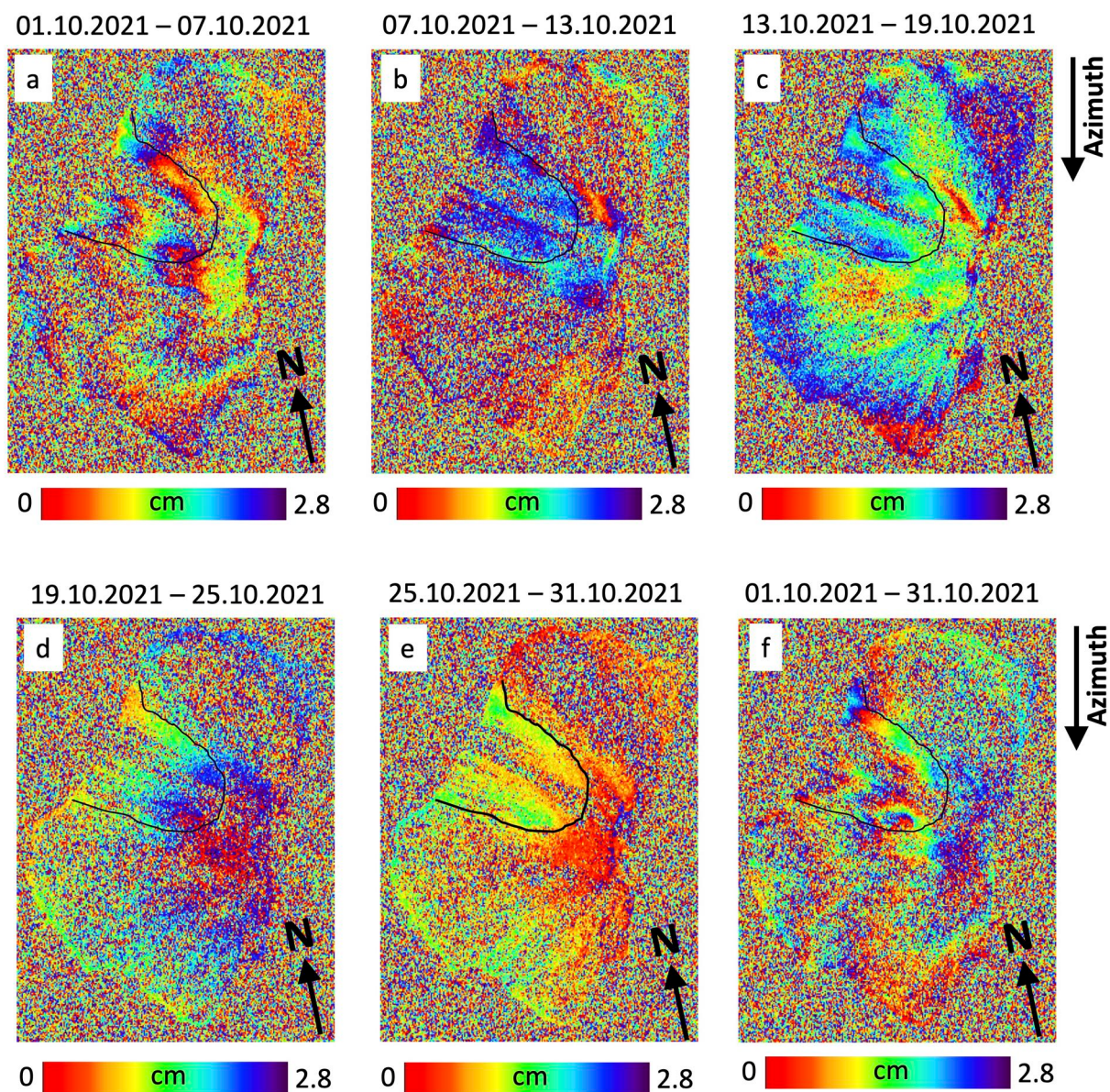
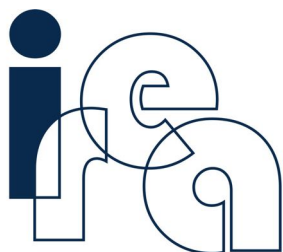


Figura 3. Interferogrammi differenziali, in geometria radar, generati a partire da dati acquisiti lungo orbite discendenti dai sensori Sentinel-1. a-c) Interferogrammi consecutivi a partire dall'acquisizione del 1° ottobre 2021 fino a quella del 31 ottobre 2021. d) Interferogramma relativo all'ultimo mese analizzato. In nero sono indicati i confini della Sciara del Fuoco, per riferimento.



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 Stromboli è stata studiata tramite i dati acquisiti dai sensori SAR della costellazione Sentinel-1. Entrambi i satelliti Sentinel-1A e Sentinel-1B hanno operato regolarmente nel periodo analizzato (24 aprile 2015 – 31 ottobre 2021). In particolare, tutte le acquisizioni dell'ultimo mese previste lungo i passaggi ascendenti e discendenti sono state effettuate. Per generare le serie storiche di deformazione presentate sono state utilizzate nello specifico 343 immagini SAR acquisite da orbite ascendenti (*Track* 44) e 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 – 31 ottobre 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 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

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 – 31/10/2021	24/04/2015 – 31/10/2021
Numero di acquisizioni	343	343

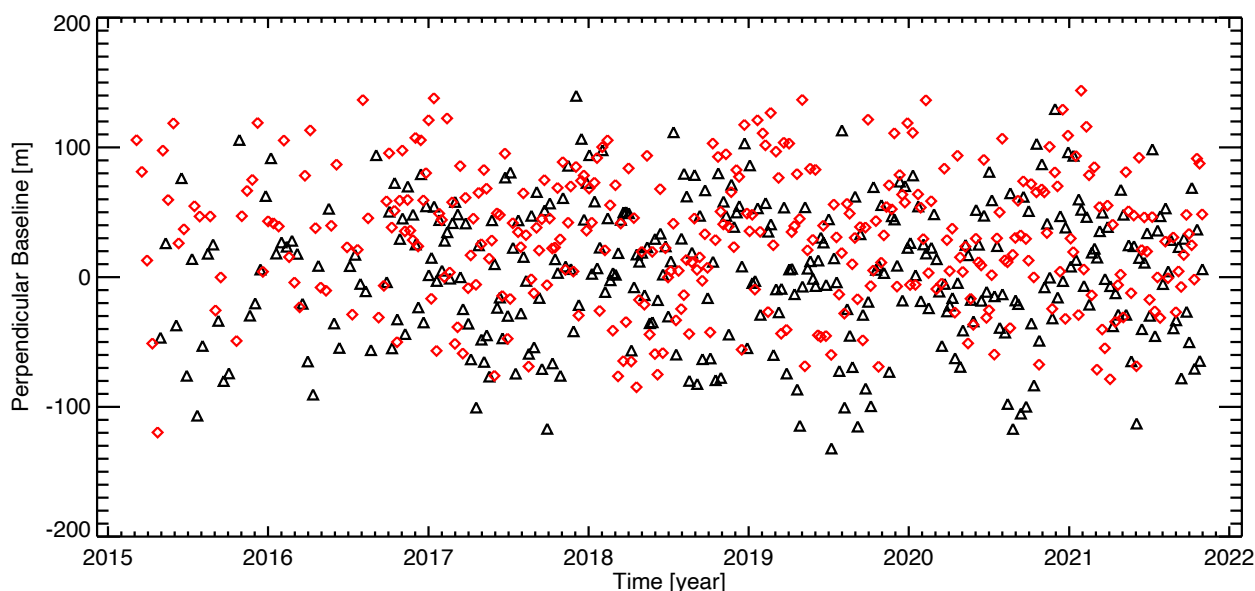


Figura A1. Distribuzione nel piano Tempo/Baseline Perpendicolare dei dati SAR Sentinel-1 utilizzati per l'analisi interferometrica SBAS. In nero e rosso sono rappresentati i dati acquisiti, rispettivamente, da orbite ascendenti e discendenti.

in 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 sono riferite ad un punto individuato nell'abitato dell'isola.

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.