istituto per il rilevamento
elettromagnetico
dell'ambiente

Consiglio Nazionale delle Ricerche

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 21 aprile 2020

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

Rif: WP1_EOLI_SNT_20_04_S

1 maggio 2020

www.irea.cnr.it mbox@irea.cnr.it
I-80124 NAPOLI Via Diocleziano, 328 tel. +39 081 5707999 / 5704945 fax +39 081 5705734 C.F. 80054330586 Part. IVA 02118311006

Introduzione

La presente relazione fornisce una descrizione degli spostamenti del suolo misurati nell'isola di Stromboli, nel periodo 24 aprile 2015 – 21 aprile 2020, 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:

- A partire da dicembre 2019, nella parte più vicina alla costa, si nota che i tassi di deformazioni del suolo del settore settentrionale della Sciara del Fuoco presentano una variazione rispetto al periodo precedente, sia nella componente verticale sia in quella est-ovest. Il tasso di deformazione verticale registrato da dicembre 2019 è di circa 0,7 cm/mese. Il segnale rilevato mostra una progressiva attenuazione nel tempo, con particolare riferimento agli ultimi due mesi di osservazione;
- La parte sommitale della Sciara del Fuoco mostra un incremento dei tassi di deformazione a seguito del parossismo del 3 luglio 2019;
- Le serie temporali di deformazione nei settori occidentale e meridionale della Sciara del Fuoco risultano invece particolarmente rumorose, per via di una forte riduzione della coerenza (come già riportato nelle precedenti relazioni), e sono quindi ritenute poco affidabili;
- Dal 31 agosto 2019 fino al 21 aprile 2020, l'analisi dei singoli interferogrammi lungo orbita discendente (sono presentati solo quelli relativi all'ultimo mese di osservazione) mostra che il settore meridionale della Sciara del Fuoco è interessato da un *pattern* di deformazione caratterizzato da un allontanamento del suolo dal sensore. L'andamento del tasso di deformazione, così come la sua estensione areale, è in progressiva diminuzione a partire dalla fine di settembre 2019 ed è verosimilmente legato alla presenza della colata lavica dell'agosto 2019. Nell'ultimo mese è stato registrato un tasso massimo in allontanamento pari a circa 2,5 mm/giorno.

www.irea.cnr.it mbox@irea.cnr.it

I-80124 NAPOLI Via Diocleziano, 328 tel. +39 081 5707999 / 5704945 fax +39 081 5705734 C.F. 80054330586 Part. IVA 02118311006

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.

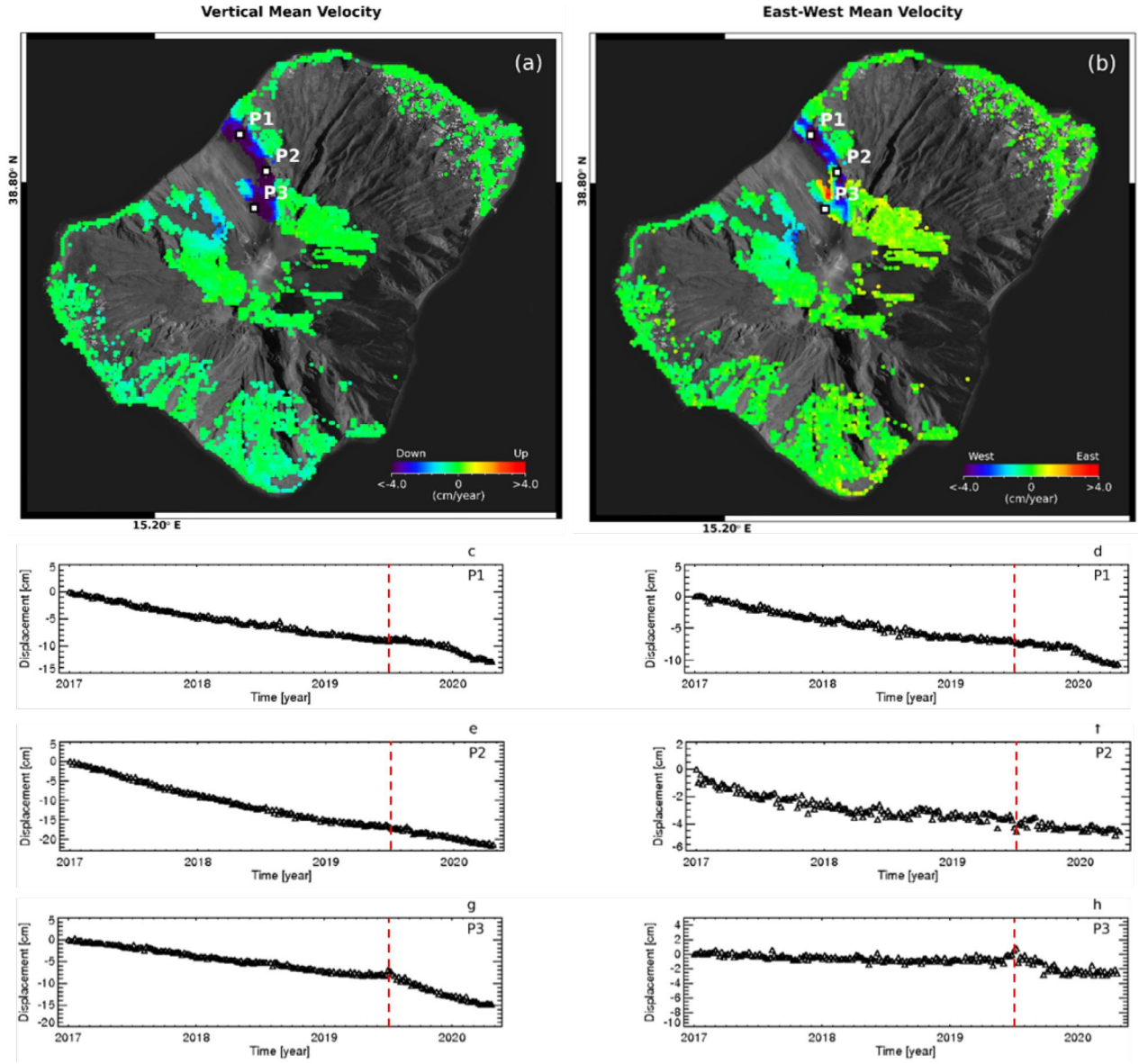

Figura 1. Mappe delle componenti Verticale ed Est-Ovest della velocità media di deformazione relative al periodo 24 aprile 2015 – 21 aprile 2020 generate a partire da dati Sentinel-1. a) Componente Verticale. b) Componente Est-Ovest. c-h) Andamento temporale della deformazione lungo la direzione Verticale (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 – aprile 2020. La linea rossa tratteggiata indica il parossismo del 3 luglio 2019.

www.irea.cnr.it
mbox@irea.cnr.it
I-80124 NAPOLI Via Diocleziano, 328 tel. +39 081 5707999 / 5704945 fax +39 081 5705734 C.F. 80054330586 Part. IVA 02118311006

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

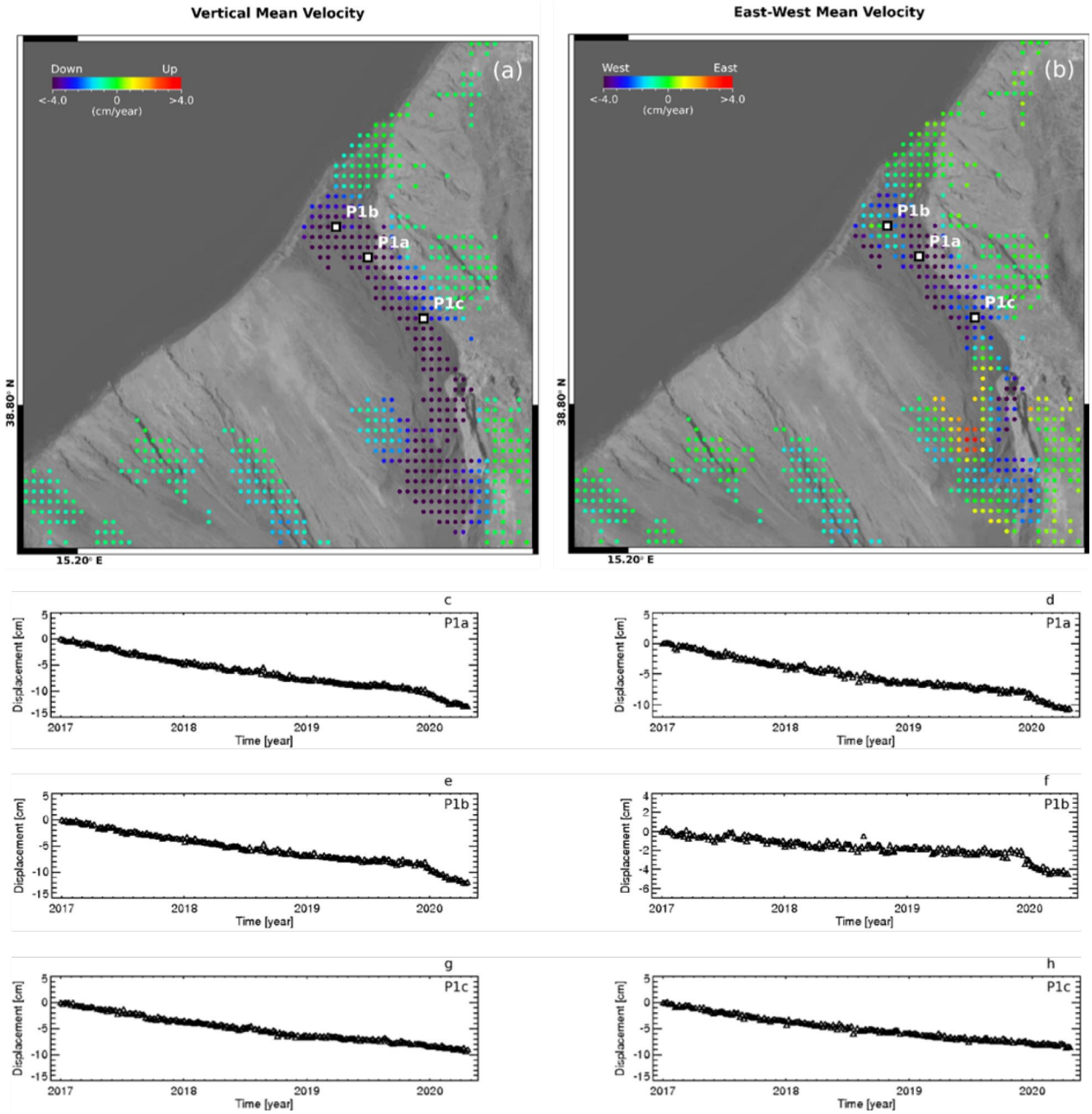

Figura 2. Mappe delle componenti Verticale ed Est-Ovest della velocità media di deformazione dell'area settentrionale della Sciara del Fuoco relative al periodo 24 aprile 2015 – 21 aprile 2020. a) Componente Verticale. b) Componente Est-Ovest. c-h) Andamento temporale della deformazione lungo la direzione 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 – aprile 2020.

www.irea.cnr.it mbox@irea.cnr.it
I-80124 NAPOLI Via Diocleziano, 328 tel. +39 081 5707999 / 5704945 fax +39 081 5705734 C.F. 80054330586 Part. IVA 02118311006

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 21 aprile 2020. 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 sembra non essere 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 dalla evoluzione temporale, sia nelle componenti verticali (Figura 1c-e), sia est-ovest (Figura 1d-f), della deformazione.
Va però evidenziato 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). Si nota una variazione del tasso di deformazione a partire da dicembre 2019 con valori massimi di circa 0,7 cm/mese sia nella componente verticale (subsidenza) sia in quella est-ovest (verso ovest). L'area della Sciara del Fuoco interessata da questo cambio di trend deformativo sembra essere confinata nella parte più vicina alla costa. A tal riguardo, infatti, in Figura 2g-h sono presentati due grafici che mostrano come l'andamento della deformazione non presenti variazioni significative per aree lontane dalla costa.
Si nota che negli ultimi due mesi entrambe le componenti verticale (Figura 2c,e) ed est-ovest (Figura 2d,f) sono interessate da una progressiva attenuazione delle entità della deformazione rispetto al periodo dicembre 2019–febbraio 2020. L'incremento di acquisizioni nella serie temporale permetterà di comprendere meglio l'andamento osservato.
Infine, per quanto riguarda l'area più vicina alla sommità, come già evidenziato nelle relazioni precedenti, la stessa presenta, successivamente al 3 luglio 2019, una variazione 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 oltre 6 cm dal 3 luglio 2019 al 21 aprile 2020. La componente Est-Ovest (Figura 1h) è leggermente più rumorosa nei mesi immediatamente successivi al 3 luglio per poi stabilizzarsi intorno al mese di settembre del 2019.
Come premesso, le serie temporali relative all'area centro-meridionale della Sciara del Fuoco (non presentate) mostrano un elevato grado di rumorosità della misura in seguito al 3 luglio 2019. Ciò implica che la parte terminale (successiva all'evento del 3 luglio) delle serie temporali di deformazione in questo settore del vulcano sia da ritenersi poco affidabile.
Tuttavia, a partire dal 31 agosto (prima acquisizione successiva al parossismo del 28 agosto), è stato notato un incremento della coerenza nel settore meridionale della Sciara del Fuoco, rivelando un chiaro segnale di fase interferometrica, già evidenziato nelle precedenti relazioni. La Figura 3a-e mostra, in geometria radar, gli interferogrammi differenziali consecutivi a 6 generati con i dati acquisiti nell'ultimo mese (dal 22 marzo 2020 al 21 aprile 2020) lungo orbite discendenti. Si può notare come, mediamente, nell'ultimo mese analizzato sia ancora presente un leggero segnale di fase nella porzione sommitale del settore centro-meridionale del versante. Il valore massimo dello spostamento in allontanamento è pari a circa 2,5 mm/giorno nell'ultimo mese (Figura 3f). Rispetto a quanto osservato nei periodi

www.irea.cnr.it mbox@irea.cnr.it
I-80124 NAPOLI Via Diocleziano, 328 tel. +39 081 5707999 / 5704945 fax +39 081 5705734 C.F. 80054330586 Part. IVA 02118311006

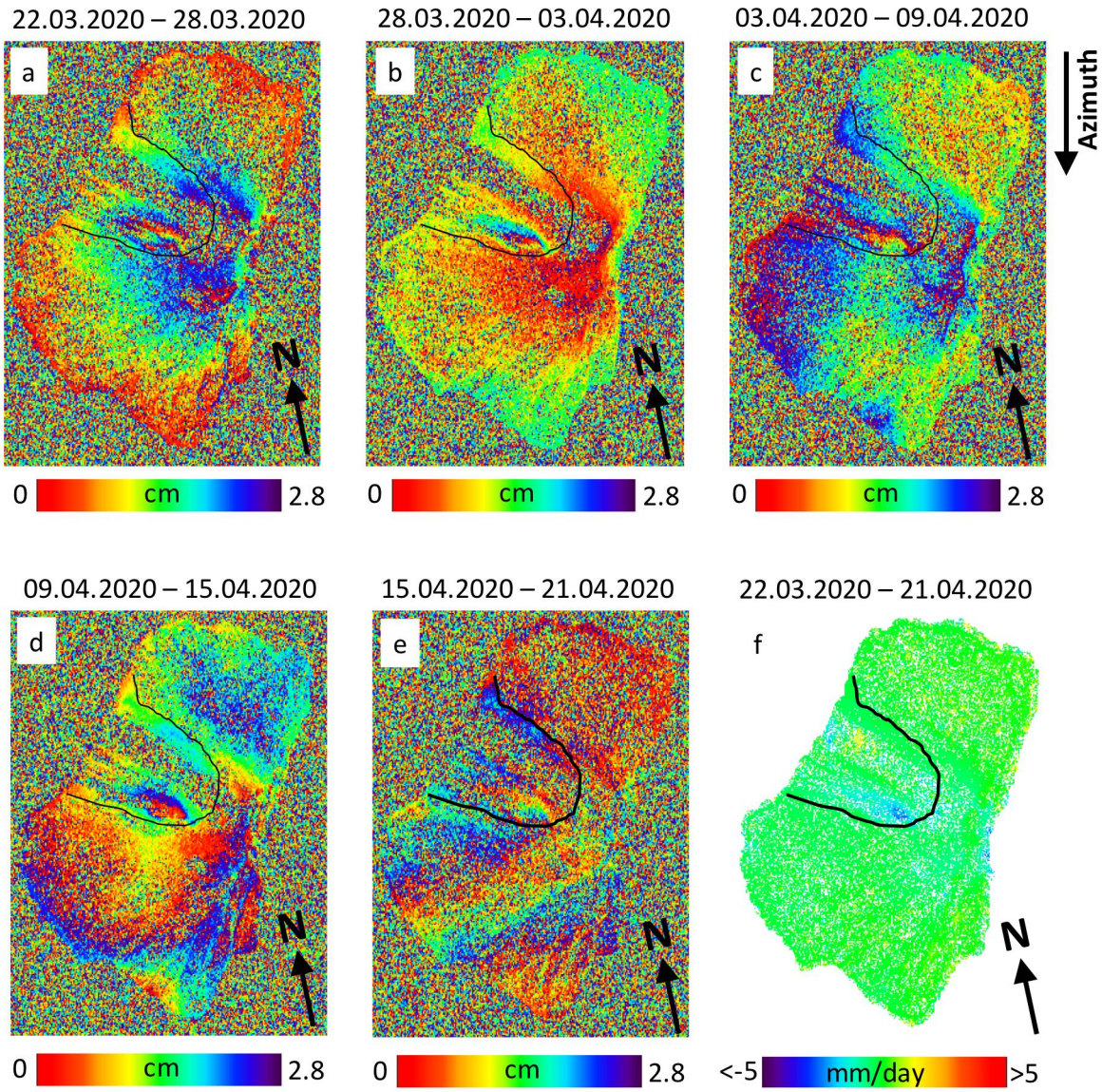

Figura 3. Interferogrammi differenziali, in geometria radar, generati a partire da dati acquisiti lungo orbite discendenti dai sensori Sentinel-1. a-e) Interferogrammi consecutivi a 6 giorni a partire dall'acquisizione del 22 marzo 2020 fino a quella del 21 aprile 2020. f) Velocità media di spostamento nel periodo 22 marzo – 21 aprile 2020. In nero sono indicati i confini della Sciara del Fuoco, per riferimento.

precedenti (oggetto delle relazioni passate) si evidenzia una progressiva riduzione delle entità della deformazione. Infine, è da sottolineare che anche l'estensione dell'area interessata da tali spostamenti risulta in diminuzione allo scorrere del tempo.

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.

www.irea.cnr.it mbox@irea.cnr.it
I-80124 NAPOLI Via Diocleziano, 328 tel. +39 081 5707999 / 5704945 fax +39 081 5705734 C.F. 80054330586 Part. IVA 02118311006

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 – 21 aprile2020). Tutte le acquisizioni dell'ultimo mese sono state effettuate. Per generare le serie storiche di deformazione presentate sono state utilizzate nello specifico 250 e 252 (fino al 21 aprile 2020) immagini SAR acquisite rispettivamente 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 – 21 aprile 2020. 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 – 21/04/2020**	**24/04/2015 – 21/04/2020**
Numero di acquisizioni	**250**	**252**

www.irea.cnr.it mbox@irea.cnr.it
I-80124 NAPOLI Via Diocleziano, 328 tel. +39 081 5707999 / 5704945 fax +39 081 5705734 C.F. 80054330586 Part. IVA 02118311006

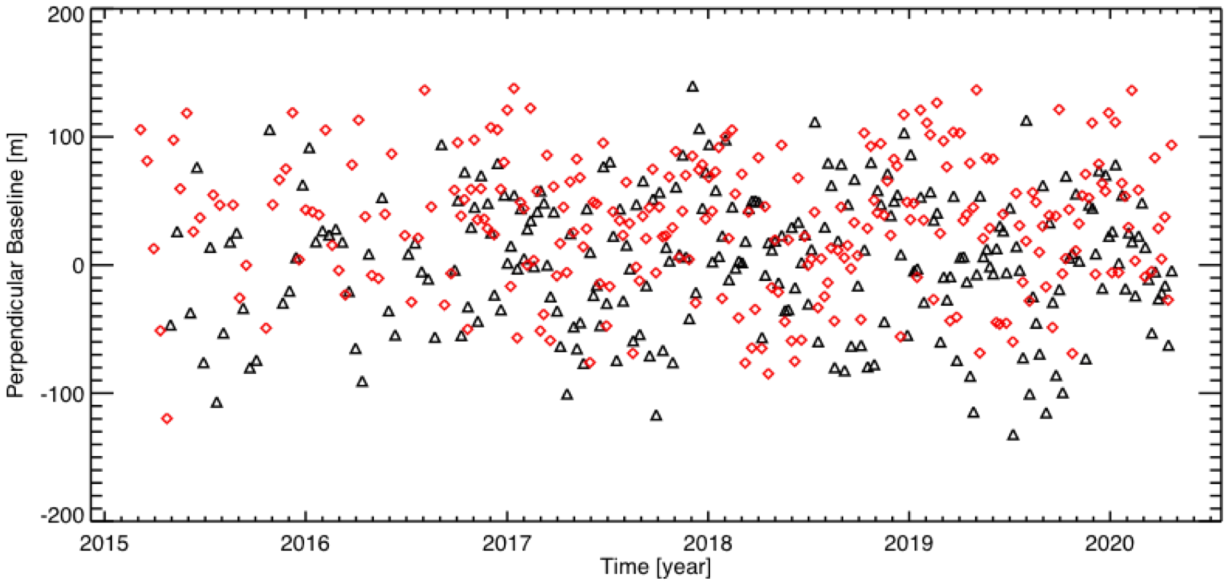

Figura A1. Distribuzione nel piano Tempo/Baseline Perpendicolare dei dati SAR Sentinel-1 utilizzati per l'analisi interferometrica SBAS. In nero e rosso sono rappresentati i dati acquisiti, rispettivamente, da orbite ascendenti e discendenti.

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 per Stromboli 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.

www.irea.cnr.it mbox@irea.cnr.it

I-80124 NAPOLI Via Diocleziano, 328 tel. +39 081 5707999 / 5704945 fax +39 081 5705734 C.F. 80054330586 Part. IVA 02118311006