istituto per il rilevamento
elettromagnetico
dell'ambiente

Consiglio Nazionale delle Ricerche

Monitoraggio DInSAR di aree vulcaniche

Monitoraggio di Vulcano e Stromboli

Analisi DInSAR di Stromboli tramite dati Sentinel-1
Aggiornamento al 6 ottobre 2026

Gruppo di lavoro:
Manuela Bonano, Sabatino Buonanno, Francesco Casu, Claudio De Luca, Adele Fusco, Riccardo Lanari, Michele Manunta, Fernando Monterroso, Pasquale Noli, Giovanni Onorato, Yenni Lorena Belen Roa, Pasquale Striano, Muhammad Yasir, Giovanni Zeni, Ivana Zinno

Rif: WP1_EOLI_SNT_26_09_S

9 ottobre 2026

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

Sintesi

La presente relazione fornisce una descrizione degli spostamenti del suolo misurati nell'isola di Stromboli, nel periodo 24 aprile 2015 – 6 ottobre 2026, mediante tecniche di Interferometria Differenziale Radar ad Apertura Sintetica (DInSAR) applicate ai dati acquisiti dai sensori Sentinel-1 del programma europeo Copernicus.

Si ricorda che a causa degli eventi di inizio luglio 2024, gli interferogrammi a cavallo di tale periodo mostrano un elevato rumore di decorrelazione nella fase interferometrica su un'ampia porzione dell'isola. Di conseguenza si riscontra un'elevata rumorosità della serie temporale di spostamento a cavallo degli eventi di inizio luglio 2024, rendendo quindi la misura poco accurata.

Lo stato delle osservazioni, successivamente agli eventi di inizio luglio 2024, si può riassumere come segue:

- Nelle aree della parte settentrionale della Sciara del Fuoco a bassa quota si registra, da luglio 2024, un incremento della velocità di abbassamento rispetto al periodo precedente. Gli andamenti sono pressoché lineari con valori massimi di circa 2 cm/anno, con tendenza alla stabilità.
- A quote intermedie, il segnale in abbassamento registrato dopo luglio 2024 presenta un tasso di circa 3 cm/anno.
- Vicino alla sommità si misura un segnale in abbassamento, con tassi di circa 2 cm/anno, inferiori rispetto al periodo antecedente luglio 2024.
- La componente est-ovest, per i motivi sopra esposti, è generalmente rumorosa nei mesi immediatamente successivi al luglio 2024 e mostra attualmente una tendenza alla stabilità alle diverse quote.
- Nell'ultimo mese non si registrano variazioni di *trend* significative e in generale non si riscontrano segnali di fase riconducibili a una deformazione alla scala del vulcano.

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

Le mappe di velocità media dello spostamento dell'intera isola relative a tutto il periodo di osservazione sono mostrate in Figura 1. Dalla loro analisi si evince che lo Stromboli è interessato da uno spostamento pressoché continuo lungo il settore settentrionale della Sciara

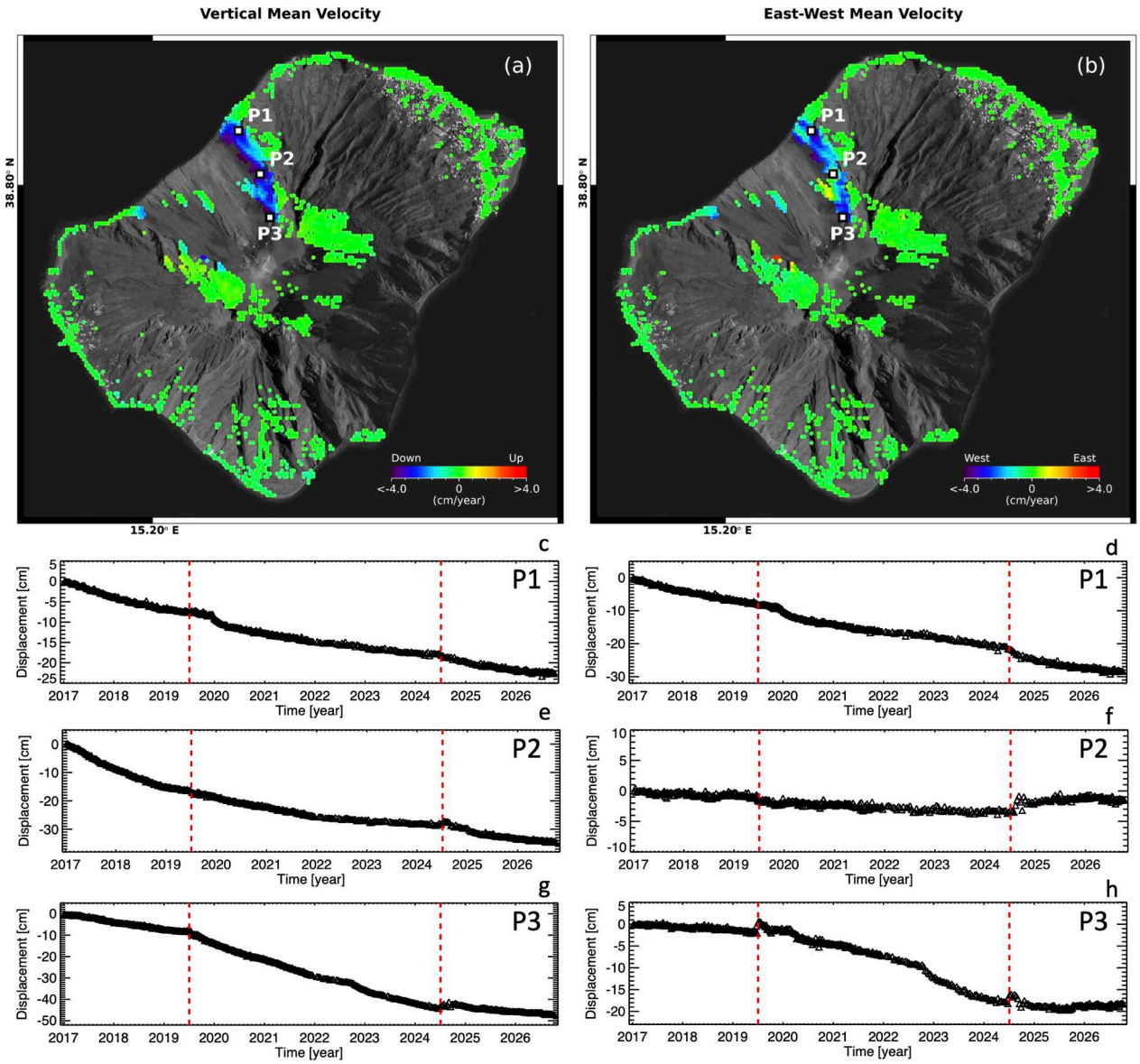

Figura 1. Mappe delle componenti Verticale ed Est-Ovest della velocità media di deformazione relative al periodo 24 aprile 2015 – 6 ottobre 2026 generate a partire da dati Sentinel-1. a) Componente Verticale. b) Componente Est-Ovest. c-h) Andamento temporale della deformazione lungo la direzione Verticale (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 – 6 ottobre 2026. Le linee rosse tratteggiate indicano il parossismo del 3 luglio 2019 e gli eventi di inizio luglio 2024.

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

del Fuoco, caratterizzato da una componente di subsidenza ed una orizzontale (lungo la direzione est-ovest) verso occidente.
In Figura 1 sono inoltre mostrate le serie temporali di deformazione relative ad alcuni punti della Sciara del Fuoco, a partire dal 2017 fino al 6 ottobre 2026, che rivelano come l'andamento dello spostamento nel tempo non sia lineare.

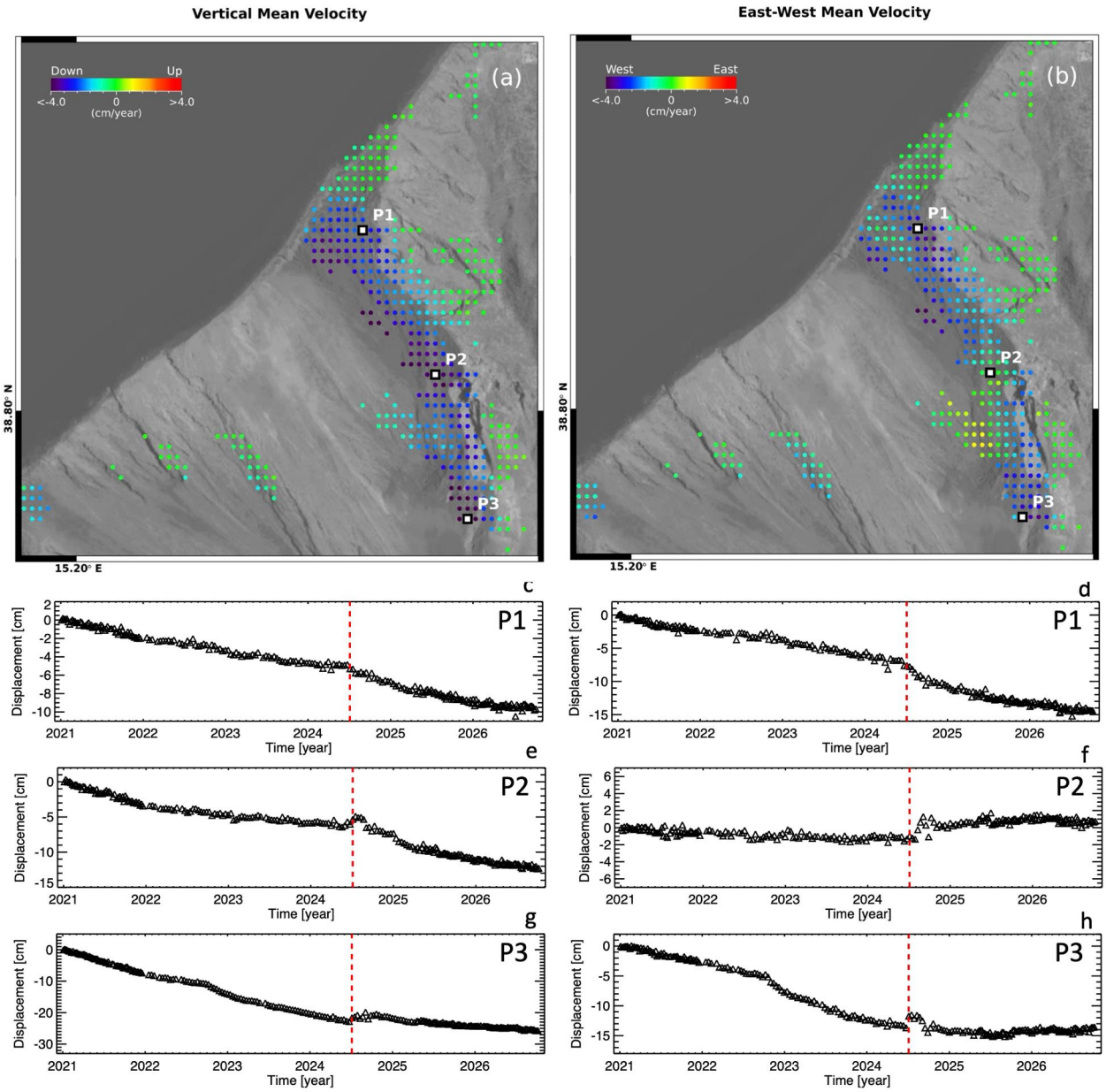

Figura 2. Mappe delle componenti Verticale ed Est-Ovest della velocità media di deformazione dell'area settentrionale della Sciara del Fuoco relative al periodo 24 aprile 2015 – 6 ottobre 2026. a) Componente Verticale. b) Componente Est-Ovest. c-h) Andamento temporale della deformazione lungo la direzione 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 2021 – 6 ottobre 2026. La linea rossa tratteggiata indica gli eventi di inizio luglio 2024.

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

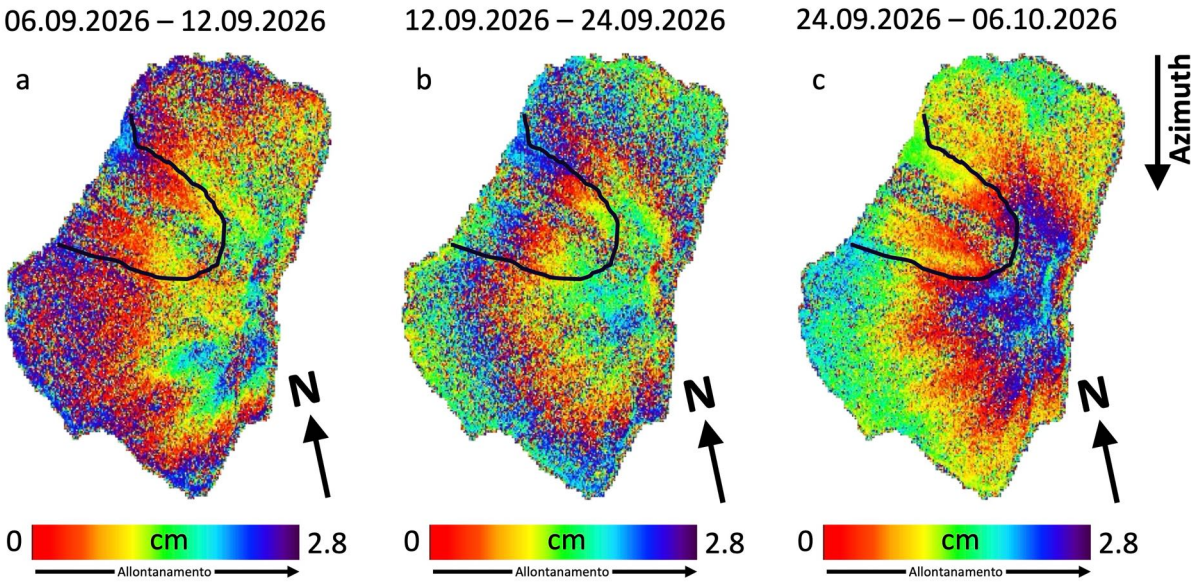

Figura 3. Interferogrammi differenziali, in geometria radar, generati a partire da dati acquisiti lungo orbite discendenti dai sensori Sentinel-1. Gli interferogrammi utilizzano dati acquisiti a partire dal 6 settembre 2026 fino al 6 ottobre 2026. In nero sono indicati i confini della Sciara del Fuoco, per riferimento.

In particolare, la Figura 2 mostra il dettaglio del campo di spostamento della parte settentrionale della Sciara del Fuoco e presenta l'andamento temporale dello stesso a partire dal 2021 per i tre punti identificati in Figura 1a-b e Figura 2a-b.

Si nota che, in seguito agli eventi di inizio luglio 2024 (indicati da una linea tratteggiata rossa nei grafici di Figura 2), nelle aree della Sciara del Fuoco a bassa quota si registra un incremento dell'abbassamento e del movimento verso ovest (Figura 2c-d), con tendenza alla stabilità. Lo spostamento verticale dopo luglio 2024 assume un tasso di circa 2 cm/anno. Analogamente, anche a quote intermedie (Figura 2e), in un'area che non mostra spostamenti orizzontali significativi (Figura 2f), si registra un abbassamento dopo luglio 2024 con valori massimi di circa 3 cm/anno.

In prossimità della sommità (Figura 2g-h), a seguito degli eventi di luglio 2024, lo spostamento verticale fa registrare un tasso di abbassamento di poco superiore a 2 cm/anno (inferiore rispetto al periodo antecedente luglio 2024) con tendenza alla diminuzione. La componente est-ovest risulta in generale rumorosa subito dopo luglio 2024 e mostra una tendenza alla stabilità.

Si sottolinea che gli interferogrammi a cavallo degli eventi di inizio luglio 2024 mostrano un elevato rumore di decorrelazione su un'ampia porzione dell'isola. Di conseguenza, le serie temporali di spostamento a cavallo degli eventi di inizio luglio 2024 presentano un elevato grado di incertezza, rendendo quindi la misura poco accurata. Di contro, negli interferogrammi che coinvolgono acquisizioni successive agli eventi di inizio luglio 2024 si nota una riduzione del rumore e un progressivo incremento della coerenza del segnale di fase. Le serie temporali riacquistano quindi maggiore accuratezza alcuni mesi dopo il luglio 2024.

Infine, l'analisi dei singoli interferogrammi acquisiti lungo orbita discendente, relativi al periodo 6 settembre 2026 – 6 ottobre 2026 (Figura3a-c), mostra che non sono visibili segnali di fase chiaramente riconducibili a deformazione del suolo alla scala del vulcano.

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. Dal 23 dicembre 2021 in poi il satellite Sentinel-1B non ha più acquisito a causa di un problema all'alimentazione del sistema radar. Dal 19 aprile 2025 e dal 17 aprile 2026 sono disponibili, rispettivamente, le acquisizioni dei satelliti Sentinel-1C e Sentinel-1D. Dal 9 al 23 giugno 2026 i dati Sentinel-1C non sono disponibili per una riconfigurazione orbitale del satellite. Dal 24 giugno 2026 è ripristinata la configurazione a 6 giorni della costellazione garantita dai satelliti Sentinel-1C e Sentinel-1D. Dal 29 giugno 2026 Sentinel-1A ha terminato l'operatività. Nello specifico, per le elaborazioni DInSAR presentate, sono state impiegate 545 immagini SAR acquisite da orbite ascendenti (*Track* 44) e 540 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 – 6 ottobre 2026. 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

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 – 06/10/2026**	**24/04/2015 – 06/10/2026**
Numero di acquisizioni	**545**	**540**

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

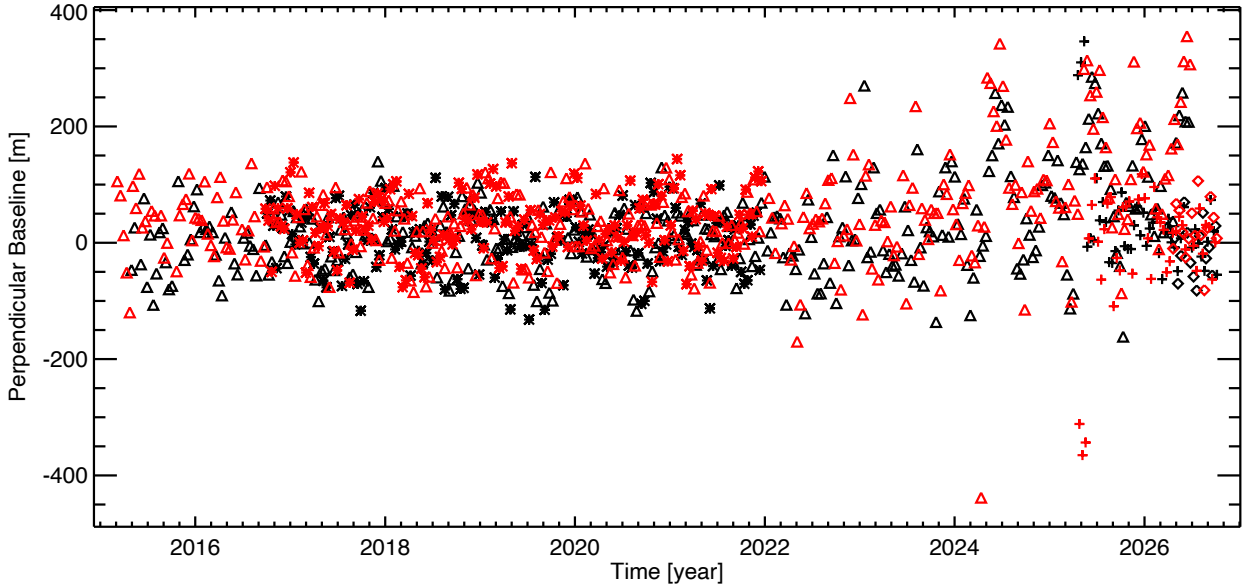

Figura A1. Distribuzione nel piano Tempo/Baseline Perpendicolare dei dati SAR Sentinel-1 utilizzati per l'analisi interferometrica SBAS. In nero e rosso sono rappresentati i dati acquisiti, rispettivamente, da orbite ascendenti e discendenti. Il triangolo, l'asterisco, la croce e il rombo indicano, rispettivamente, acquisizioni effettuate dai satelliti Sentinel-1A, Sentinel-1B, Sentinel-1C e Sentinel-1D

antecedente (aprile 2015 – settembre 2016) e successivo (23 dicembre 2021 – 18 aprile 2025), 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. In caso ciò non fosse valido, in corrispondenza di alcuni eventi accaduti nei periodi intercorsi fra le acquisizioni ascendenti e discendenti, le combinazioni fra i due passaggi non sono state effettuate. Si segnala che, grazie al satellite Sentinel-1C, dal 19 aprile 2025 è tornata la disponibilità di acquisizioni ascendenti e discendenti ogni 6 giorni.
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.