PROTEZIONE CIVILE
CENTRO DI COMPETENZA
Università degli Studi di Firenze

istituto per il rilevamento elettromagnetico dell'ambiente

RESEARCH FOUNDATION

Le frane di Niscemi del gennaio 2026

Rapporto di aggiornamento

Supporto tecnico-scientifico agli interventi di prevenzione strutturale e di riduzione del rischio idrogeologico nel territorio di Niscemi



Contratto tra: Commissario straordinario per l'area di Niscemi
e Centro per la Protezione Civile dell'Università degli Studi di Firenze

Firenze, 14 ottobre 2026

Responsabili del progetto

Prof. Nicola CASAGLI - nicola.casagli@unifi.it
Presidente del Centro per la Protezione Civile dell'Università degli Studi di Firenze (CPC-UNIFI)

Prof. Luca FERRARIS - luca.ferraris@cimafoundation.org
Presidente della Fondazione CIMA

Dott. Claudio DE LUCA - deluca.c@irea.cnr.it
CNR Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente (IREA)

Gruppo di lavoro CPC-UNIFI

Silvia BIANCHINI, Giovanni GIGLI, Veronica PAZZI, Federico RASPINI, Francesco BECATTINI, Tommaso BENI, Tommaso CARLÀ, Pierluigi CONFUORTO, Matteo DEL SOLDATO, Gabriele FIBBI, Teresa GRACCHI, Agnese INNOCENTI, Camilla MEDICI, Olga NARDINI, Massimiliano NOCENTINI, Teresa NOLESINI, Aldo PIOMBINO, Francesco POGGI

Gruppo di lavoro Fondazione CIMA

Lorenzo ALFIERI, Lorenzo CAMPO, Simone GABELLANI, Andrea LIBERTINO, Umberto MORRA DI CELLA, Flavio PIGNONE, Roberto TIRASSO

Gruppo di lavoro CNR IREA

Manuela BONANO, Francesco CASU, Riccardo LANARI, Michele MANUNTA, Giovanni ONORATO, Yenni ROA, Pasquale STRIANO, Ivana ZINNO

TAVOLA DEI CONTENUTI

1 INTRODUZIONE 4

2 INQUADRAMENTO DELL'AREA IN ESAME 6

3 ANALISI INTERFEROMETRICA DEI DATI RADAR SATELLITARI 8

3.1 Analisi interferometrica dei dati Sentinel-1 9

3.2 Analisi interferometrica dei dati COSMO-SkyMed 15

4 ANALISI DEI DATI GNSS 22

5 APPROFONDIMENTO DELLA VALUTAZIONE DEL RISCHIO RESIDUO NEI SETTORI CRITICI DEL CENTRO ABITATO 24

5.1 Via Gorizia - SP10 25

5.2 San Giuseppe - Via Ustica 27

5.3 Tratto sud SP10 33

6 ANALISI DI RILIEVI TOPOGRAFICI 36

7 STRATEGIE DI GESTIONE ADATTIVA DEL RISCHIO 40

8 REDAZIONE DEI DOCUMENTI DI FATTIBILITÀ DELLE ALTERNATIVE PROGETTUALI 42

9 CONCLUSIONI 44

10 BIBLIOGRAFIA 46

1 Introduzione

Nel gennaio 2026, il territorio comunale di Niscemi, in provincia di Caltanissetta, è stato interessato da un complesso fenomeno franoso, articolatosi in due fasi principali di attivazione (15-16 e 25-26 gennaio), che ha coinvolto infrastrutture viarie e aree del centro abitato, con conseguenze rilevanti sulla sicurezza pubblica.

A seguito dell'evento, il Dipartimento della Protezione Civile della Presidenza del Consiglio dei Ministri (DPC), d'intesa con il Dipartimento della Protezione Civile della Regione Siciliana (DRPC), ha attivato il Centro per la Protezione Civile dell'Università degli Studi di Firenze (CPC-UNIFI), cui si sono successivamente affiancati il Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente (CNR-IREA) per l'elaborazione di dati radar satellitari e la Fondazione CIMA per la realizzazione di rilievi topografici di dettaglio e di indagini idrologiche e idrauliche.

In data 22 luglio 2026 è stato stipulato un contratto di servizio tecnico-scientifico tra il CPC-UNIFI e il Commissario straordinario per l'area di Niscemi, nominato con decreto-legge 27 febbraio 2026, n. 25. Tale contratto ha come oggetto il supporto tecnico-scientifico agli interventi di prevenzione strutturale e di riduzione del rischio idrogeologico nel territorio di Niscemi. Analoghi accordi sono stati stipulati con Fondazione CIMA e con CNR-IREA per fornire supporto tecnico-scientifico al Commissario per gli aspetti di rispettiva competenza.

I rapporti tecnici del 26 febbraio, 9 marzo, 20 aprile, 5 giugno, 4 agosto e 17 settembre 2026 hanno progressivamente ricostruito l'evoluzione del dissesto, definito un modello interpretativo del meccanismo di movimento e fornito aggiornamenti dal sistema di monitoraggio (Casagli *et al*., 2026a; 2026b; 2026c; 2026d; 2026e; 2026f).

Il presente documento comprende l'ulteriore aggiornamento dei dati di monitoraggio satellitare radar interferometrico effettuato dal CPC-UNIFI e dal CNR-IREA, in prosecuzione delle attività avviate durante le fasi emergenziali e di prima caratterizzazione. I dati interferometrici sono affiancati dall'analisi di rilievi topografici da drone effettuati dalla Fondazione CIMA e da misure acquisite dalla rete GNSS installata e gestita dall'INGV.

L'integrazione delle diverse fonti informative consente di ricostruire il quadro deformativo continuo, multitemporale e multipiattaforma del territorio interessato dai dissesti, aggiornando le conoscenze sull'evoluzione del fenomeno franoso.

Sulla base del quadro deformativo così delineato, il rapporto approfondisce la situazione dei settori del centro abitato e dei versanti circostanti che presentano segnali di movimento significativi e richiedono, pertanto, particolare attenzione.

In continuità con il precedente rapporto (Casagli et al., 2026f), l'analisi di dettaglio riguarda le due aree già individuate nel settore sud-orientale dell'abitato: la prima nell'intorno di via Gorizia e della SP10, la seconda compresa fra il plesso scolastico San Giuseppe e via Ustica, a cui si aggiunge, in questo aggiornamento, un terzo settore lungo il tratto più meridionale della SP10.

Tutti questi settori sono stati oggetto del sopralluogo *in situ* effettuato dal CPC-UNIFI in data 24 settembre 2026 congiuntamente al personale di DPC, Fondazione CIMA, Comune di Niscemi e società INGEO. In tale occasione sono inoltre state avviate le interlocuzioni con il Comune di Niscemi relative alla possibile definizione di procedure speditive di allertamento.

L'aggiornamento si inserisce nell'ambito dell'approccio di gestione adattiva del rischio residuo, già adottato fin dalle prime fasi emergenziali (Casagli *et al*., 2026a), fondato sul progressivo affinamento delle conoscenze disponibili e sulla conseguente modulazione delle misure di salvaguardia in funzione dell'evoluzione del dissesto.

Con riferimento al contratto del 22 luglio 2026 fra il CPC-UNIFI e il Commissario straordinario, il presente rapporto comprende attività relative ai seguenti pacchetti di lavoro:

- WP 1 Caratterizzazione geologica e geomorfologica;
- WP 2 Monitoraggio satellitare radar interferometrico;

- WP 3 Dati satellitari ottici e rilievi con drone;
- WP 6 Valutazione del rischio residuo nel centro abitato;
- WP 7 Coordinamento di indagini e monitoraggio;
- WP 8 Scenari di rischio e gestione adattiva del rischio;
- WP 9 Supporto al programma degli interventi strutturali.

2 Inquadramento dell'area in esame

L'area di Niscemi è caratterizzata da una spiccata predisposizione ai fenomeni di instabilità gravitativa, connessa all'alternanza fra livelli sabbioso-arenacei permeabili e le sottostanti unità argilloso-limose a comportamento meccanico più debole, in un contesto morfostrutturale che ha già dato luogo, in passato, a movimenti franosi di rilevanti dimensioni, come quelli documentati nel 1790 e nel 1997.

In seguito agli eventi di gennaio 2026, è stata introdotta e rimodulata più volte, a seconda delle evidenze sul campo e dei dati di monitoraggio disponibili, una fascia di interdizione del centro abitato:

- 150 m dalla linea di scarpata nel centro abitato, stabiliti in via cautelativa nell'immediatezza dell'evento con Ordinanza sindacale n. 12 del 28 gennaio 2026;
- 100 m dalla medesima linea di scarpata definiti con l'Ordinanza sindacale n. 19 del 28 febbraio 2026 sulla base del Rapporto del 26 febbraio 2026 (Casagli *et al*., 2026a);
- revoca del provvedimento per cinque isolati del quartiere Sante Croci, proposta nel Rapporto del 5 giugno 2026 (Casagli *et al*., 2026d) e recepita con l'Ordinanza Sindacale n. 32 del 19 giugno 2026.

L'ubicazione dell'area e la fascia di interdizione vigente sono riportate in Figura 1, la quale indica altresì i tre corpi di frana individuati:

- la Frana Nord, attivatasi nella prima fase del 15-16 gennaio 2026 con spostamenti di oltre 12 m diretti prevalentemente verso ovest, che ha determinato il collasso della SP12;
- la Frana Centrale, corpo principale coinvolto nell'evento del 25-26 gennaio con spostamenti di circa 50 m verso sud-ovest, bordata a sud-est dal Torrente Benefizio in forte incisione, che ha generato la scarpata a ridosso del margine urbano;
- la Frana Sud, coinvolta nel secondo evento e separata dalla precedente dal Torrente Benefizio, con spostamenti medi di circa 7 m verso ovest-sud-ovest, che ha causato la parziale distruzione della SP10.

Nella stessa figura è inoltre riportata l'area indicata nei precedenti rapporti come di "possibile espansione" della Frana Sud (Casagli *et al*., 2026a, 2026b, 2026c).

Nel periodo più recente, come documentato nei Rapporti del 4 agosto e del 17 settembre 2026 (Casagli *et al*., 2026e, 2026f), sono emersi nuovi elementi geomorfologici a monte della scarpata principale della Frana Centrale, in particolare una frattura in prossimità del plesso scolastico San Giuseppe e una retrogressione del coronamento lungo la contigua via Ustica, settori che sono oggetto di specifico approfondimento anche nel presente rapporto di monitoraggio.

A questi si aggiunge, in questo aggiornamento, l'analisi dell'area indicata nei precedenti rapporti come di possibile espansione della Frana Sud, lungo il tratto meridionale della SP10.



Figura 1 - Inquadramento dell'area di studio, con i corpi di frana e la fascia di interdizione vigente (campitura rossa).

3 Analisi interferometrica dei dati radar satellitari

Il monitoraggio radar satellitare interferometrico ha l'obiettivo di fornire un quadro deformativo continuo e multitemporale dell'intero abitato di Niscemi e dei versanti circostanti, con particolare riferimento al centro abitato, alla fascia di interdizione e ai tre corpi di frana. L'aggiornamento presentato in questo rapporto estende le serie interferometriche alle acquisizioni più recenti, così da verificare la persistenza o l'eventuale evoluzione dei segnali deformativi individuati nelle fasi precedenti.

A tal fine è stata effettuata l'analisi multitemporale, focalizzata esclusivamente sulla situazione posteriore agli eventi di gennaio 2026, con nuove immagini acquisite dalle costellazioni Sentinel-1 e COSMO-SkyMed ed elaborate tramite l'algoritmo SBAS (*Small BAseline Subset*) (Berardino *et al*., 2002; Casu *et al.,* 2014; Manunta *et al.,* 2019; Lanari *et al.,* 2020; De Luca *et al.,* 2022).

In particolare, sono state utilizzate tutte le acquisizioni disponibili post-evento (da fine gennaio a fine settembre 2026). Il dettaglio delle immagini utilizzate è riportato in Tabella 1.

Satellite	Banda	Geometria di acquisizione	Intervallo temporale
Sentinel-1	C	Ascendente	31/01/2026 - 23/09/2026
Sentinel-1	C	Discendente	07/02/2026 - 24/09/2026
COSMO-SkyMed	X	Ascendente	01/02/2026 - 20/09/2026
COSMO-SkyMed	X	Discendente	08/02/2026 - 11/09/2026

Tabella 1 - Specifiche tecniche dei *dataset* utilizzati per l'analisi interferometrica post-evento di gennaio 2026.

Per ciascun *dataset* sono state analizzate le mappe di spostamento differenziale e le serie temporali dei punti di misura (*Measurement Points* - MP). Nelle mappe i MP sono visualizzati in base allo spostamento registrato nel periodo post-evento (Tabella 1), mediante una scala di colori graduata e centrata sul valore di spostamento zero. Le serie temporali sono invece riportate sull'intero intervallo di acquisizione disponibile (dal 2021 per Sentinel-1 e dal 2022 per COSMO-SkyMed, fino a settembre 2026), comprensivo pertanto sia delle fasi antecedenti sia di quelle successive agli eventi di gennaio 2026.

La finestra di stabilità è stata posta pari a ±0,5 cm, tenendo conto della precisione della tecnica interferometrica e della deviazione standard dell'intero *dataset*. Si precisa che la robustezza della stima interferometrica è strettamente correlata all'estensione temporale della serie di acquisizioni: per intervalli temporali più brevi, caratterizzati da un numero inferiore di immagini disponibili, aumenta l'incidenza del rumore residuo e, conseguentemente, la deviazione standard delle misure. In tali condizioni, la finestra di stabilità deve essere opportunamente ricalibrata, in modo coerente con il livello di incertezza associato al *dataset* considerato.

È opportuno considerare che la lunghezza d'onda operativa dei due sensori - banda C ($\lambda \approx 5{,}6$ cm) per Sentinel-1 e banda X ($\lambda \approx 3{,}1$ cm) per COSMO-SkyMed - comporta una differente sensibilità della misura, una diversa risposta alla decorrelazione temporale e una differente distribuzione dei punti di misura. Per questa ragione i due *dataset* restituiscono evidenze spazialmente non coincidenti, pur risultando concordi nel quadro deformativo d'insieme.

L'interpretazione dei dati interferometrici deve inoltre tener conto della geometria di acquisizione, che ne condiziona la sensibilità alle diverse componenti di movimento. Nel caso specifico di Niscemi, dove i versanti instabili e i relativi spostamenti sono orientati prevalentemente verso ovest/sud-ovest, la geometria discendente risulta più sensibile ai segnali deformativi. Nella proiezione lungo la linea di vista del satellite (LOS: *line-of-sight*) della geometria discendente, infatti, le componenti di spostamento verticale e orizzontale verso ovest si sommano, poiché entrambe vengono lette come un allontanamento dal satellite; al contrario, lungo la LOS della geometria ascendente le medesime componenti tendono a compensarsi reciprocamente, dato che il movimento verticale indica un allontanamento mentre quello verso ovest si traduce in un avvicinamento al sensore, attenuando così il segnale complessivo rilevato.

3.1 Analisi interferometrica dei dati Sentinel-1

La Figura 2 riporta la mappa di spostamento in geometria ascendente per il settore nord del centro abitato di Niscemi. La quasi totalità dei MP, inclusi la maggior parte di quelli ricadenti all'interno della fascia di interdizione, presenta valori di spostamento compresi nella finestra di stabilità di ±0,5 cm.

Le serie temporali di spostamento analizzate sono riportate in Figura 3. Il punto A, sostanzialmente stabile fino al 2025, mostra una successiva tendenza all'avvicinamento al sensore; tendenza che persiste anche nelle acquisizioni più recenti. I punti B e C mostrano una sostanziale stabilità per l'intera durata del periodo di osservazione. Il punto D mostra una variazione netta del segnale interferometrico in corrispondenza dell'evento principale di gennaio, interpretabile come discontinuità tra l'ultima acquisizione pre-frana e la prima post-frana. Tuttavia, nel periodo post-evento, non si evidenziano ulteriori variazioni significative, mantenendo un andamento pressoché stabile.

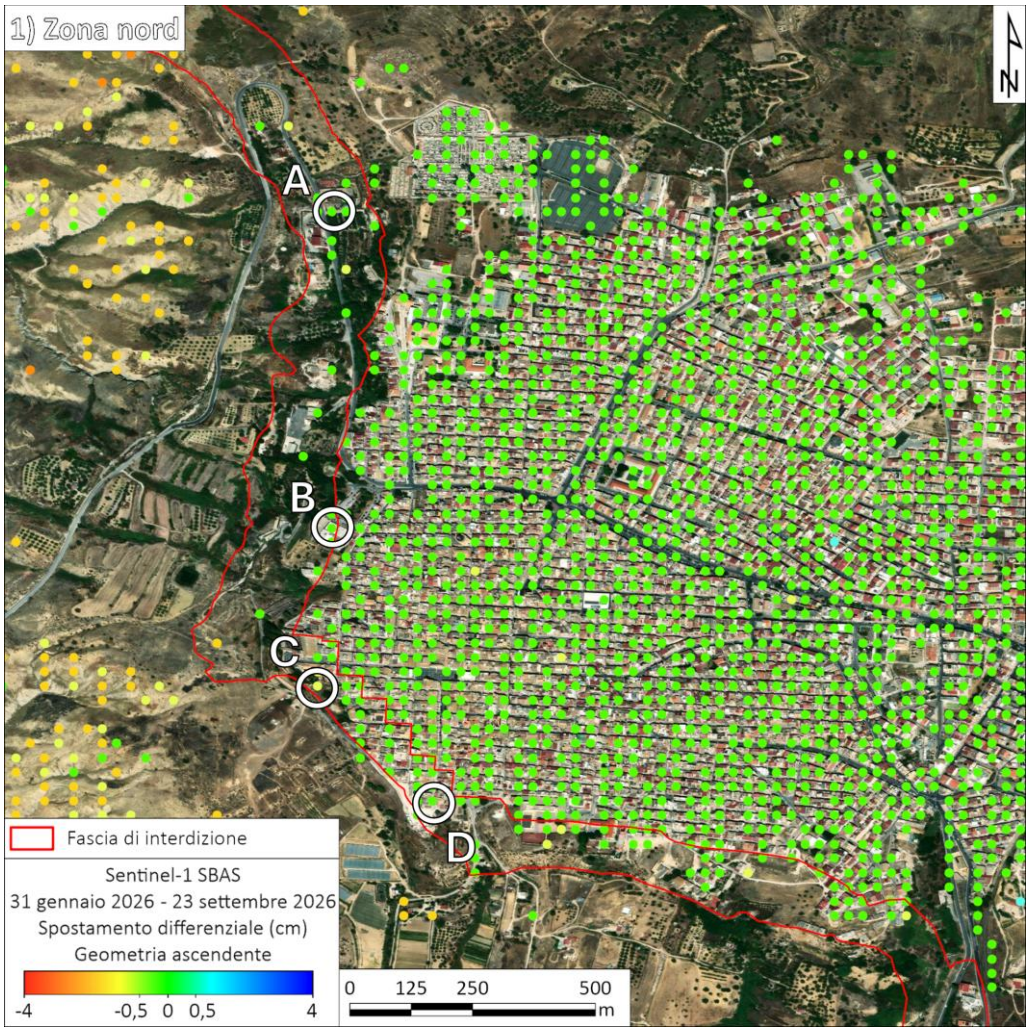


Figura 2 - Mappa degli spostamenti differenziali registrati dai dati Sentinel-1, elaborati con tecnica SBAS, nella zona nord in geometria ascendente nell'intervallo temporale 31 gennaio - 23 settembre 2026. In Figura 3 le serie temporali dei punti considerati. Le linee rosse indicano la fascia di interdizione vigente.

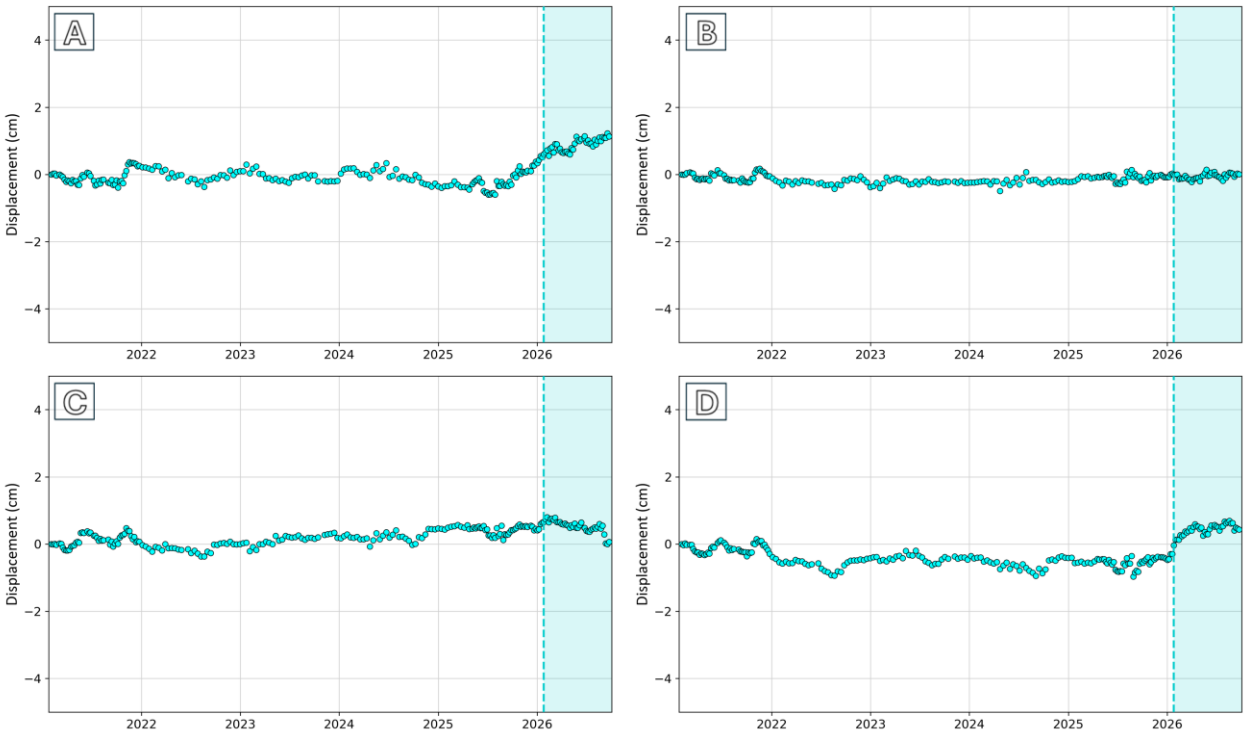


Figura 3 - Serie temporali dei punti evidenziati in Figura 2. L'area ombreggiata azzurra indica il periodo post-frana.

In maniera analoga, tutta l'area sud di Niscemi è caratterizzata da MP con valori di spostamento in gran parte all'interno della finestra di stabilità di ±0,5 cm (Figura 4).

Le serie temporali dei punti selezionati (Figura 5) mostrano, nella maggior parte dei casi, una tendenza stazionaria. Il punto E si mantiene pressoché stabile, con una tendenza all'allontanamento dal sensore nelle ultime acquisizioni. Il punto F risulta stabile per l'intera durata del periodo di osservazione. Il punto G si mantiene generalmente stabile, pur evidenziando un lieve allontanamento dal sensore nella parte terminale della serie. Il punto H presenta una serie temporale rumorosa, che non consente di evincere un chiaro andamento.

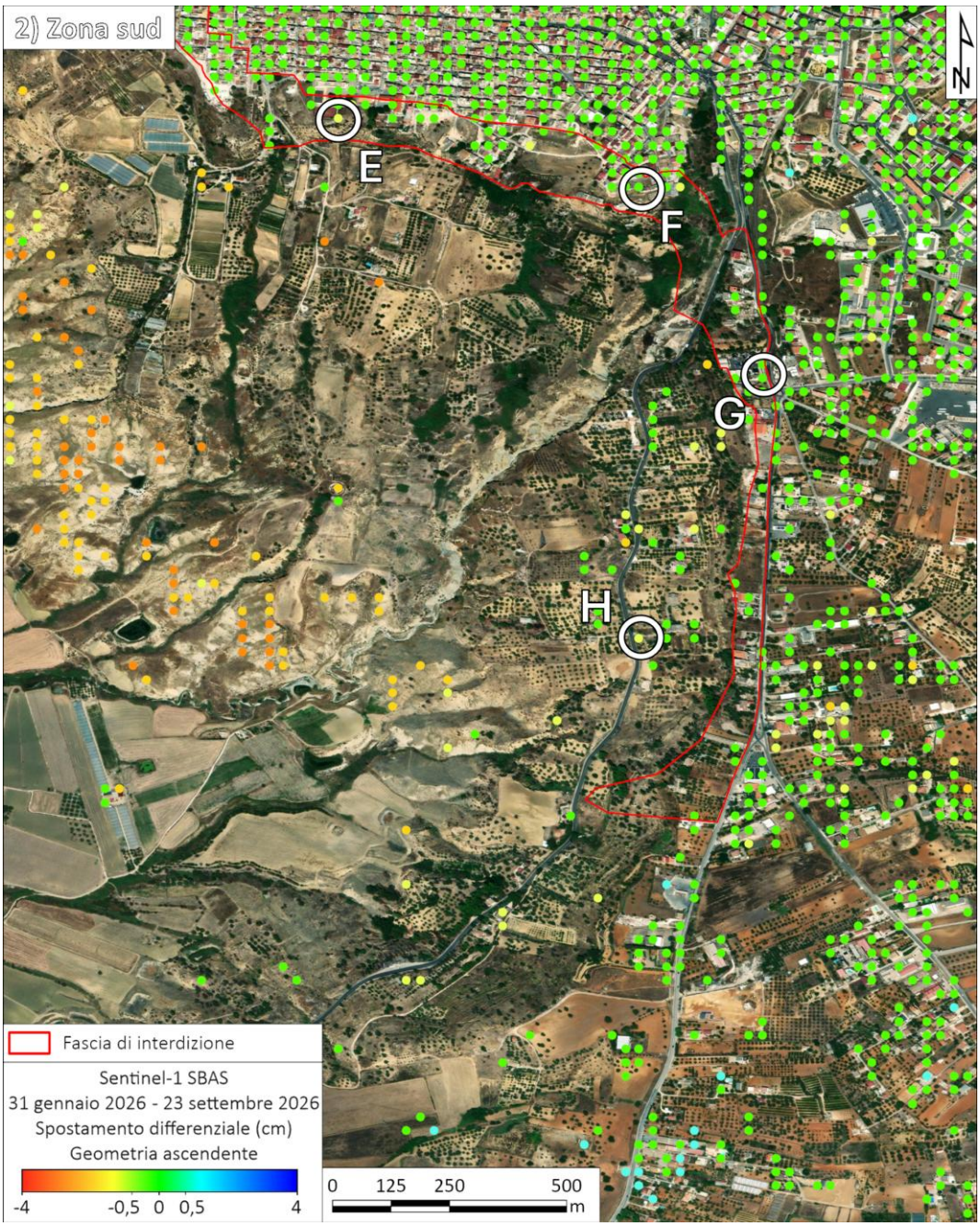


Figura 4 - Mappa degli spostamenti differenziali registrati dai dati Sentinel-1, elaborati con tecnica SBAS, nella zona sud in geometria ascendente nell'intervallo temporale 31 gennaio - 23 settembre 2026. In Figura 5 le serie temporali dei punti considerati. Le linee rosse indicano la fascia di interdizione vigente.

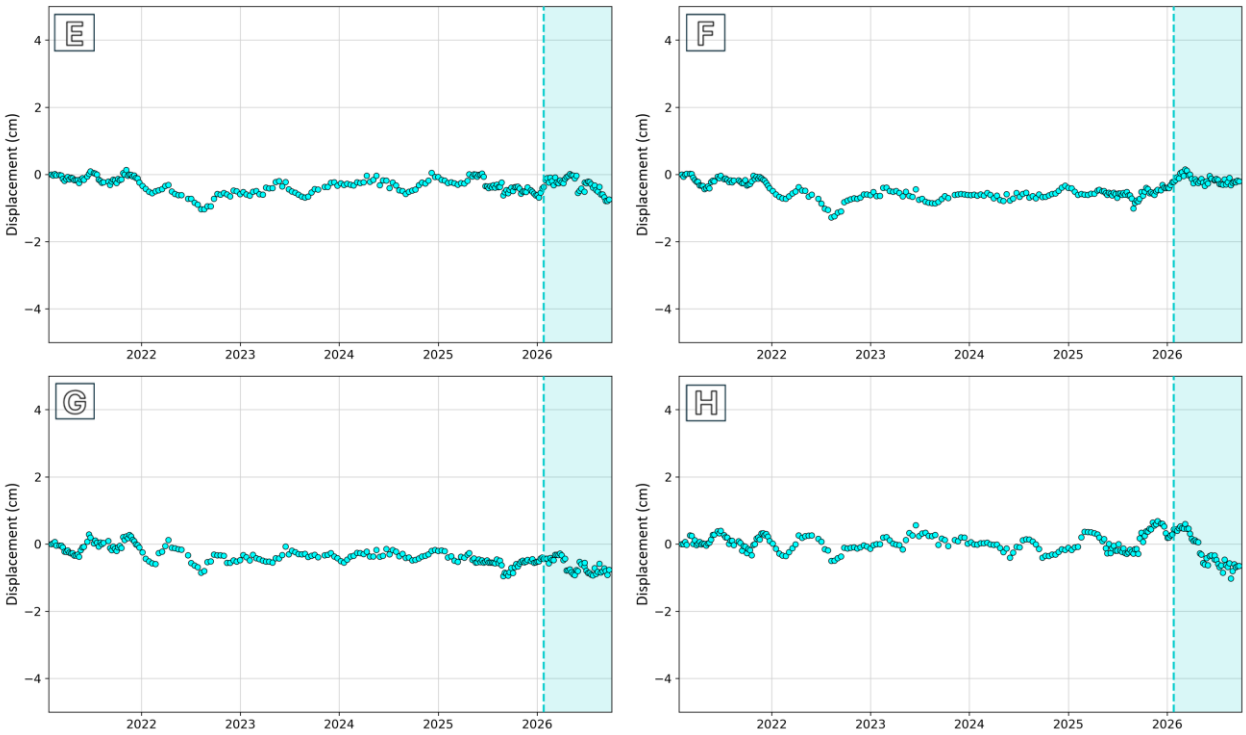


Figura 5 - Serie temporali dei punti evidenziati in Figura 4. L'area ombreggiata azzurra indica il periodo post-frana.

La Figura 6 riporta la mappa di spostamento in geometria discendente per il settore nord di Niscemi. Nel complesso, l'intera area settentrionale è caratterizzata da MP stabili; tuttavia, entro il perimetro della fascia di interdizione, si individuano alcuni gruppi di punti i cui movimenti superano la soglia di stabilità di ±0,5 cm, rappresentati in giallo e arancione nella mappa.

Le serie temporali di spostamento sono riportate in Figura 7. Il punto A mostra una tendenza all'allontanamento dal sensore, attivatasi poco prima dell'evento di gennaio 2026 e che prosegue nella prima fase post-evento con evidenze di stabilizzazione nelle ultime acquisizioni. Il punto B presenta un andamento in allontanamento caratterizzato da oscillazioni, che non risente di variazioni significative in corrispondenza dell'evento. Il punto C si mantiene stabile per l'intera durata del periodo di osservazione. Il punto D evidenzia un salto in corrispondenza dell'evento di gennaio 2026, seguito da una fase di allontanamento dal sensore e da una successiva stabilizzazione.

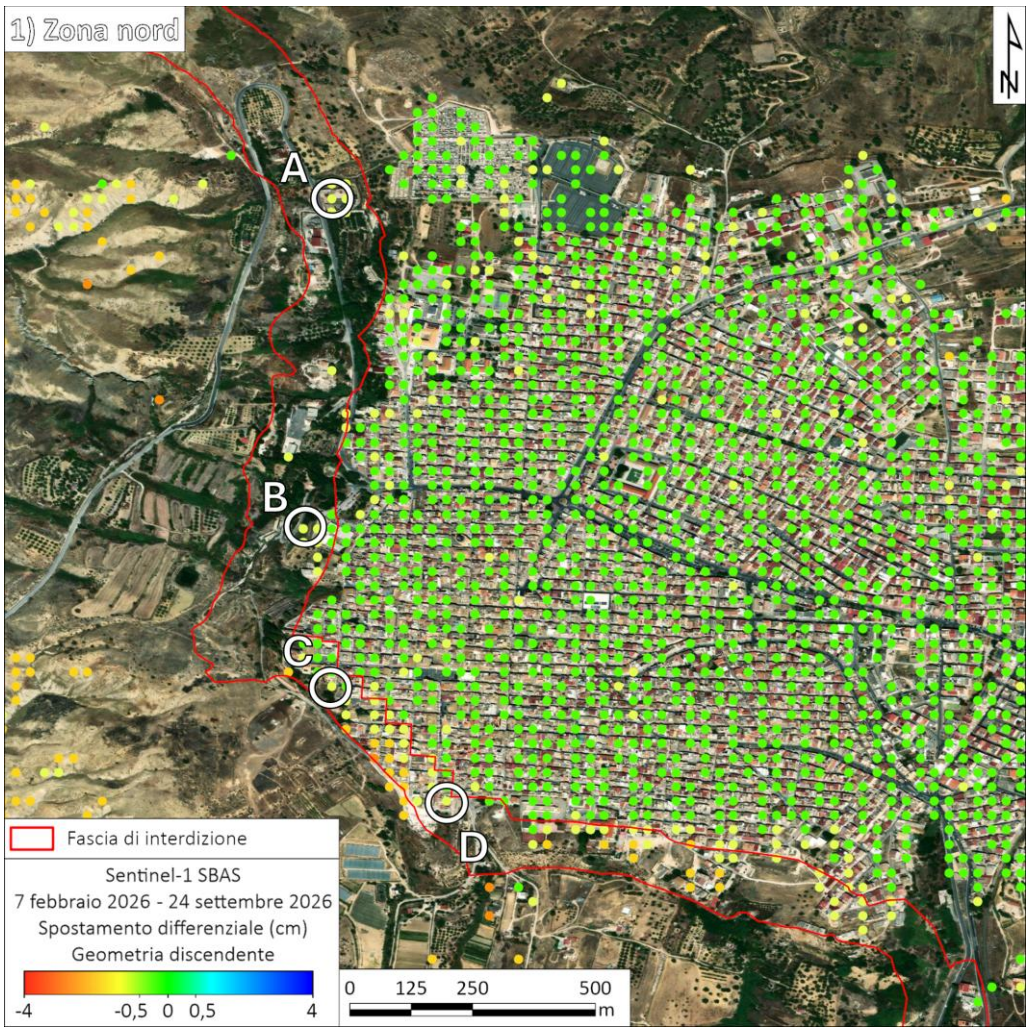


Figura 6 - Mappa degli spostamenti differenziali registrati dai dati Sentinel-1, elaborati con tecnica SBAS, nella zona nord in geometria discendente nell'intervallo temporale 7 febbraio - 24 settembre 2026. In Figura 7 le serie temporali dei punti considerati. Le linee rosse indicano la fascia di interdizione vigente.

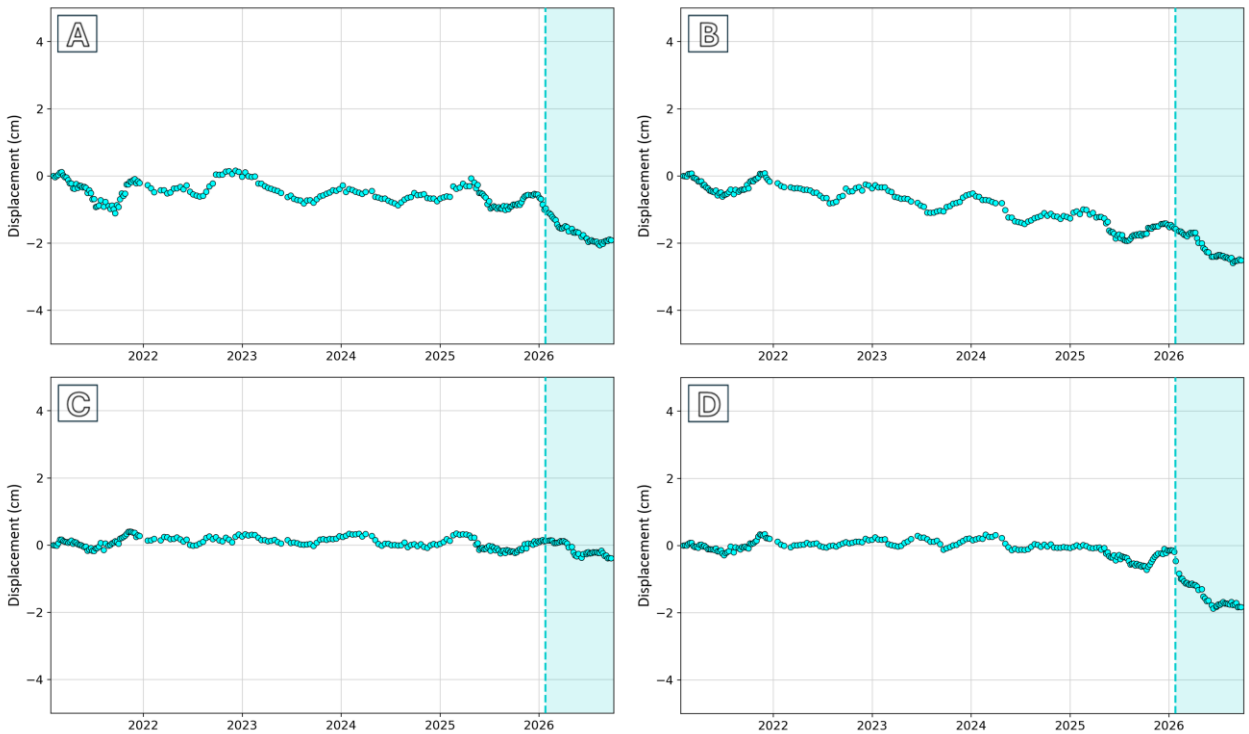


Figura 7 - Serie temporali dei punti evidenziati in Figura 6. L'area ombreggiata azzurra indica il periodo post-frana.

Analogamente, anche per il dato discendente, la quasi totalità dell'area sud di Niscemi è caratterizzata da MP classificati in colore verde, quindi con valori di spostamento all'interno della finestra di stabilità di ±0,5 cm (Figura 8). Fanno eccezione alcune aree con MP con movimenti significativi, classificati in colore giallo o arancione, localizzate prevalentemente all'interno della fascia di interdizione o in corrispondenza del corpo di frana.

Le serie temporali dei punti selezionati (Figura 9) mostrano, nel punto E, un salto in corrispondenza dell'evento di gennaio 2026, seguito da un allontanamento dal sensore e da una successiva stabilizzazione intorno a −3 cm. Il punto F presenta un andamento analogo a quello del punto E, ma meno marcato, con spostamenti che si mantengono entro i −2 cm. Il punto G mostra una serie temporale rumorosa, senza variazioni di rilievo. Il punto H evidenzia una tendenza all'allontanamento dal sensore già precedente all'evento, con una stabilizzazione nelle ultime acquisizioni.

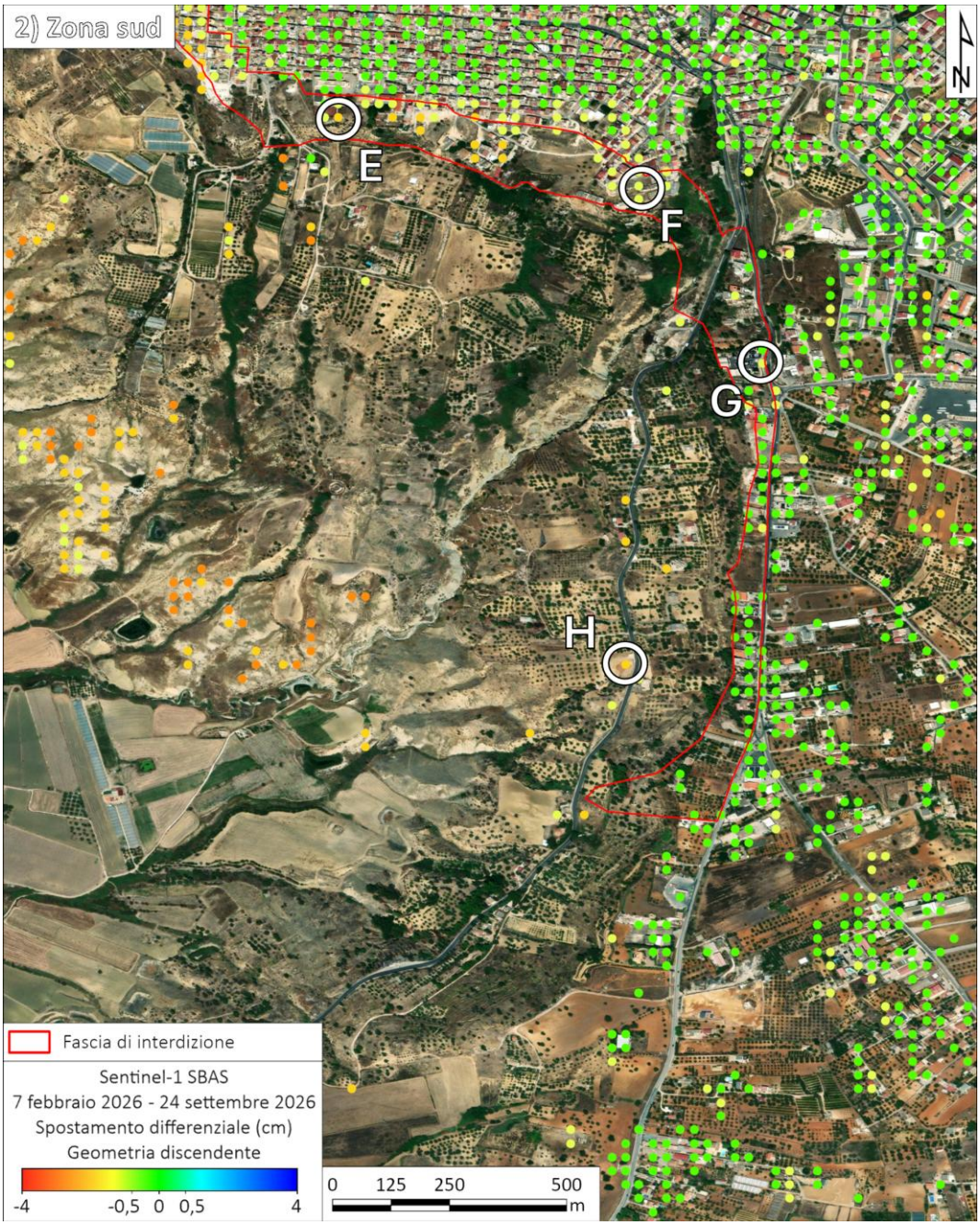


Figura 8 - Mappa degli spostamenti differenziali registrati dai dati Sentinel-1, elaborati con tecnica SBAS, nella zona sud in geometria discendente nell'intervallo temporale 7 febbraio - 24 settembre 2026. In Figura 9 le serie temporali dei punti considerati. Le linee rosse indicano la fascia di interdizione vigente.

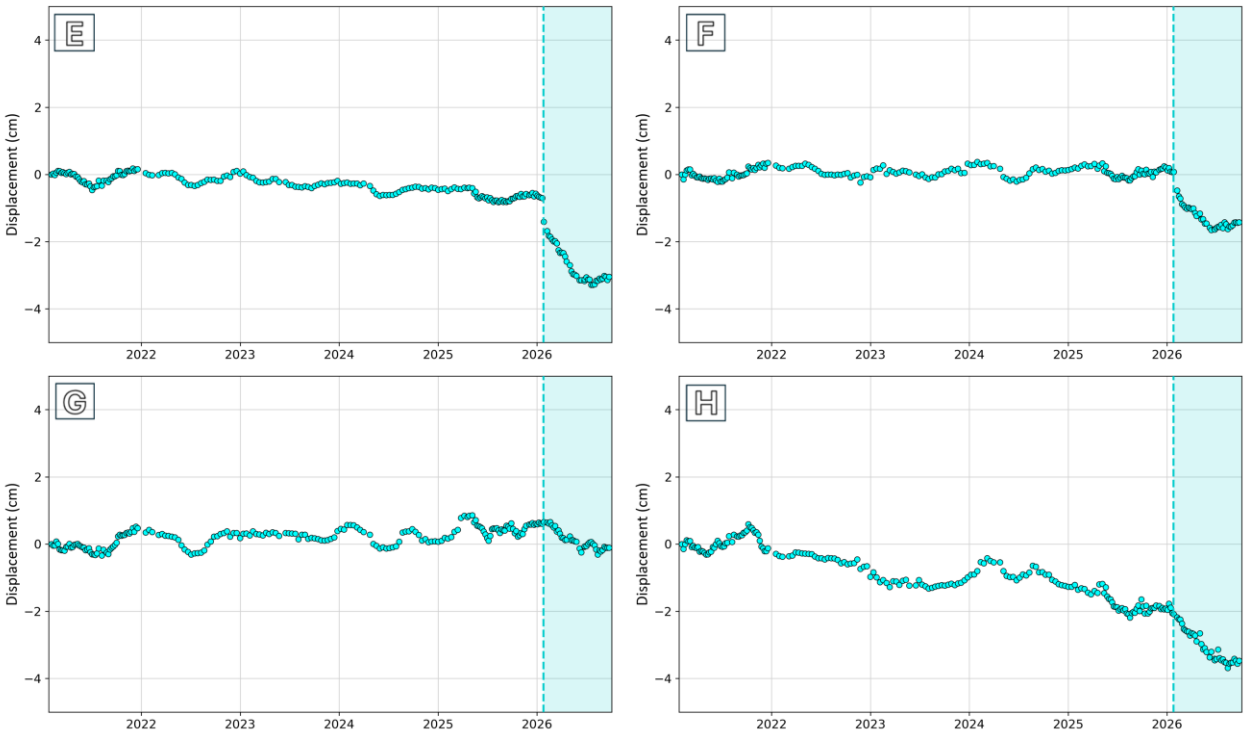


Figura 9 - Serie temporali dei punti evidenziati in Figura 8. L'area ombreggiata azzurra indica il periodo post-frana.

Si evidenzia, inoltre, come entrambe le geometrie di acquisizione mostrino chiaramente spostamenti dell'ordine di alcuni centimetri nel settore di versante interessato dal fenomeno franoso, localizzato a valle del centro abitato e della fascia di interdizione. La concordanza delle evidenze osservate nelle due geometrie conferma la presenza di una significativa attività deformativa nell'area e risulta coerente con la perimetrazione proposta.

3.2 Analisi interferometrica dei dati COSMO-SkyMed

L'analisi interferometrica satellitare condotta sui dati COSMO-SkyMed, acquisiti in banda X e pertanto caratterizzati da una lunghezza d'onda e da una sensibilità alle deformazioni superficiali differenti rispetto ai dati Sentinel-1, ha restituito un quadro deformativo complessivamente coerente con quello delineato da questi ultimi.

La migliore risoluzione spaziale dei dati COSMO-SkyMed consente, inoltre, di ottenere una densità di punti di misura (MP) significativamente più elevata, permettendo una caratterizzazione più dettagliata della distribuzione spaziale delle deformazioni.

Per contro, la minore frequenza delle acquisizioni disponibili, e quindi il numero più limitato di acquisizioni disponibili nel periodo analizzato, determina serie temporali maggiormente influenzate dal rumore e complessivamente caratterizzate da un grado di incertezza superiore rispetto a quelle ottenute dai dati Sentinel-1.

In accordo con quanto evidenziato dai dati Sentinel-1, la mappa di spostamento differenziale in geometria ascendente per il settore nord di Niscemi non mostra deformazioni significative (Figura 10). Le serie temporali di spostamento, riportate in Figura 11, mostrano una sostanziale stabilità, ad eccezione del punto B che evidenzia un allontanamento dal sensore non correlato all'evento di gennaio 2026.

Analizzando la mappa di spostamento differenziale in geometria ascendente della zona sud di Niscemi (Figura 12), la totalità dei MP ricade all'interno della finestra di stabilità. Anche l'analisi delle serie temporali, riportate in Figura 13, pur in presenza di un certo rumore di fondo, non evidenzia variazioni di rilievo.

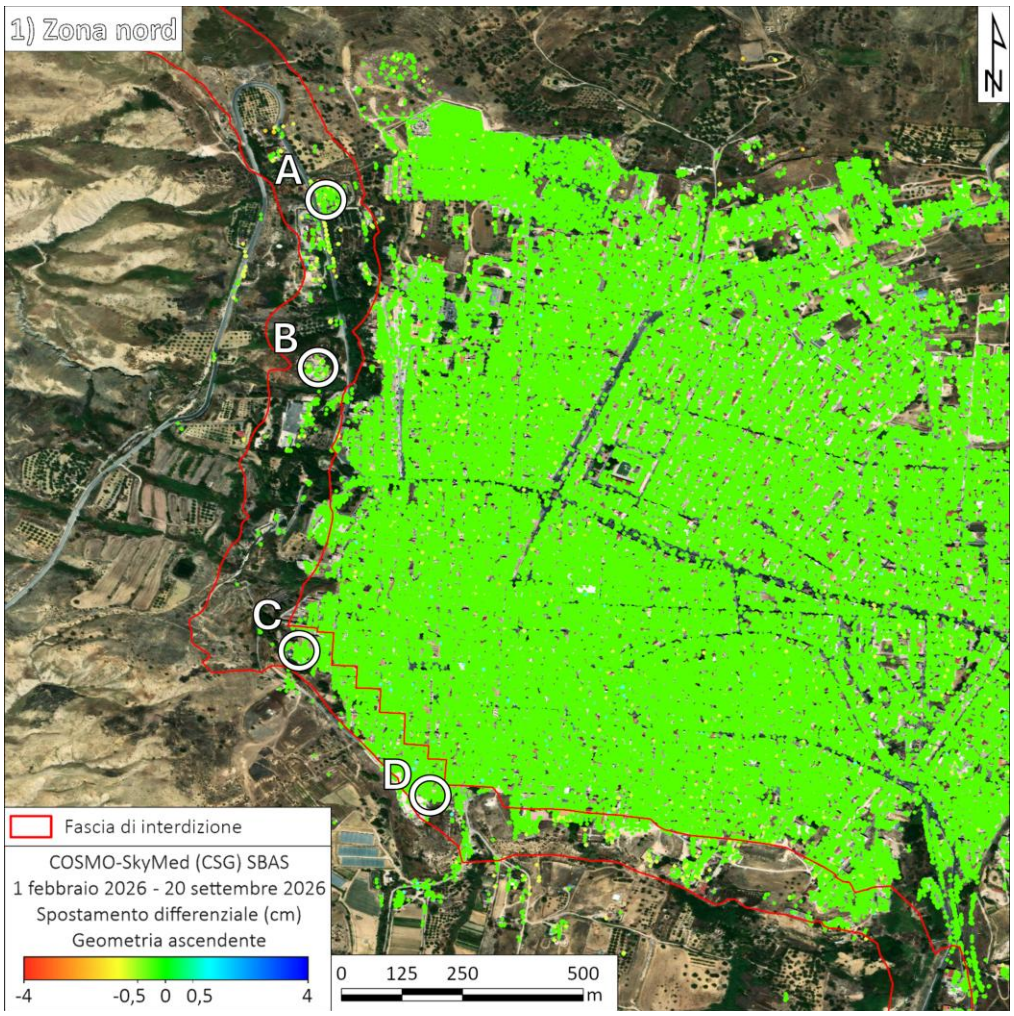


Figura 10 - Mappa degli spostamenti differenziali registrati dai dati COSMO-SkyMed, elaborati con tecnica SBAS, nella zona nord in geometria ascendente nell'intervallo temporale 1 febbraio - 20 settembre 2026. In Figura 11 le serie temporali dei punti considerati. Le linee rosse indicano la fascia di interdizione vigente.

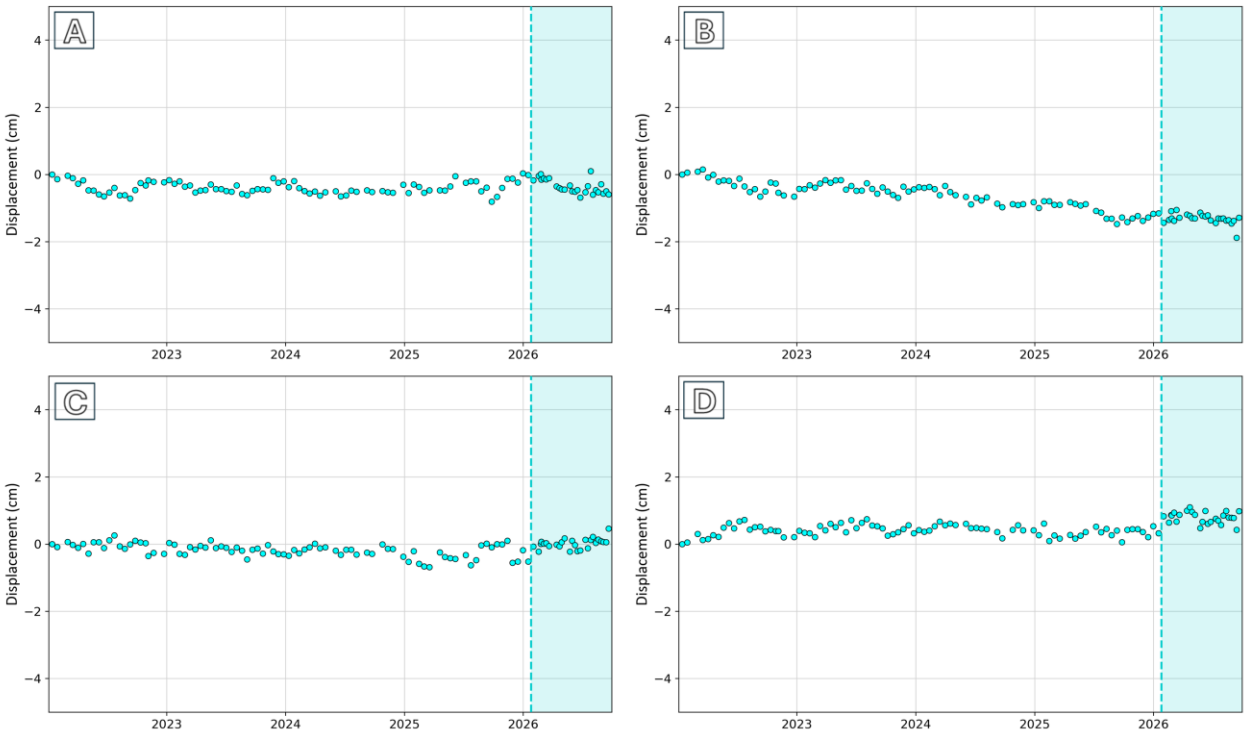


Figura 11 - Serie temporali dei punti evidenziati in Figura 10. L'area ombreggiata azzurra indica il periodo post-frana.

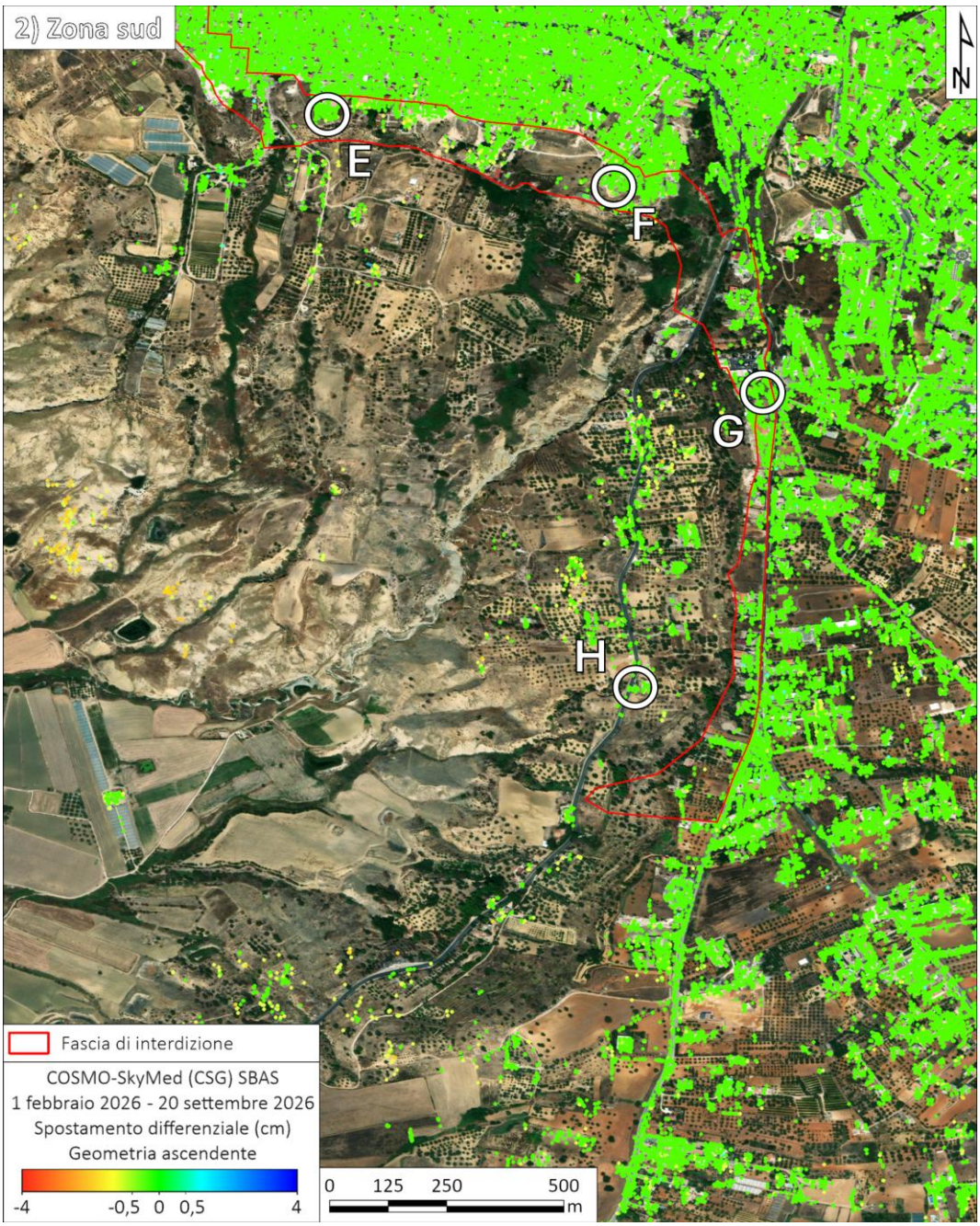


Figura 12 - Mappa degli spostamenti differenziali registrati dai dati COSMO-SkyMed, elaborati con tecnica SBAS, nella zona sud in geometria ascendente nell'intervallo temporale 1 febbraio - 20 settembre 2026. In Figura 13 le serie temporali dei punti considerati. Le linee rosse indicano la fascia di interdizione vigente.

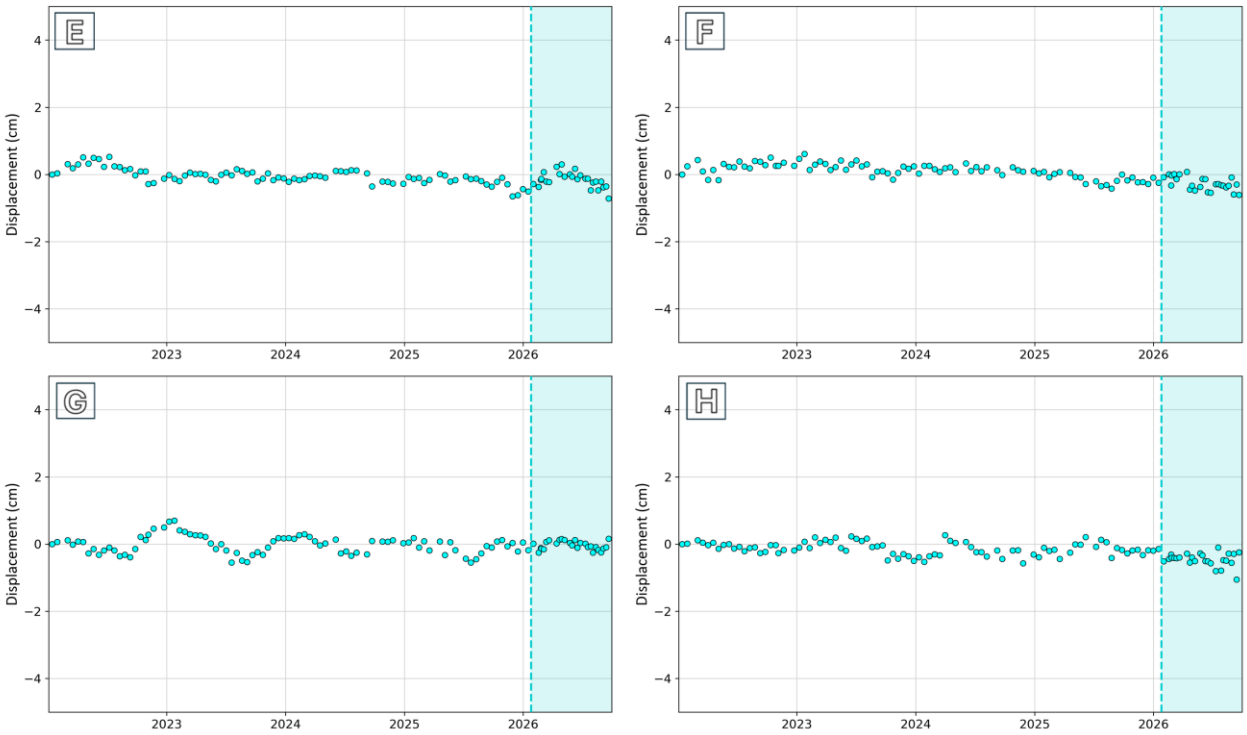


Figura 13 - Serie temporali dei punti evidenziati in Figura 12. L'area ombreggiata azzurra indica il periodo post-frana.

In geometria discendente, più sensibile ai segnali deformativi, la mappa degli spostamenti differenziali registrati dai dati COSMO-SkyMed del settore nord (Figura 14) conferma un quadro complessivamente stabile dell'area urbana, con i punti di misura che superano la finestra di stabilità circoscritti all'interno della fascia di interdizione.

L'analisi delle relative serie temporali (Figura 15) non evidenzia, per i punti A e C, tendenze significative, mentre il punto B mostra, in corrispondenza dell'evento di gennaio 2026, un allontanamento dal sensore seguito da una stabilizzazione. Il punto D evidenzia un allontanamento dal sensore analogo a quello del punto B; in questo caso, tuttavia, la dinamica risulta tuttora in atto.

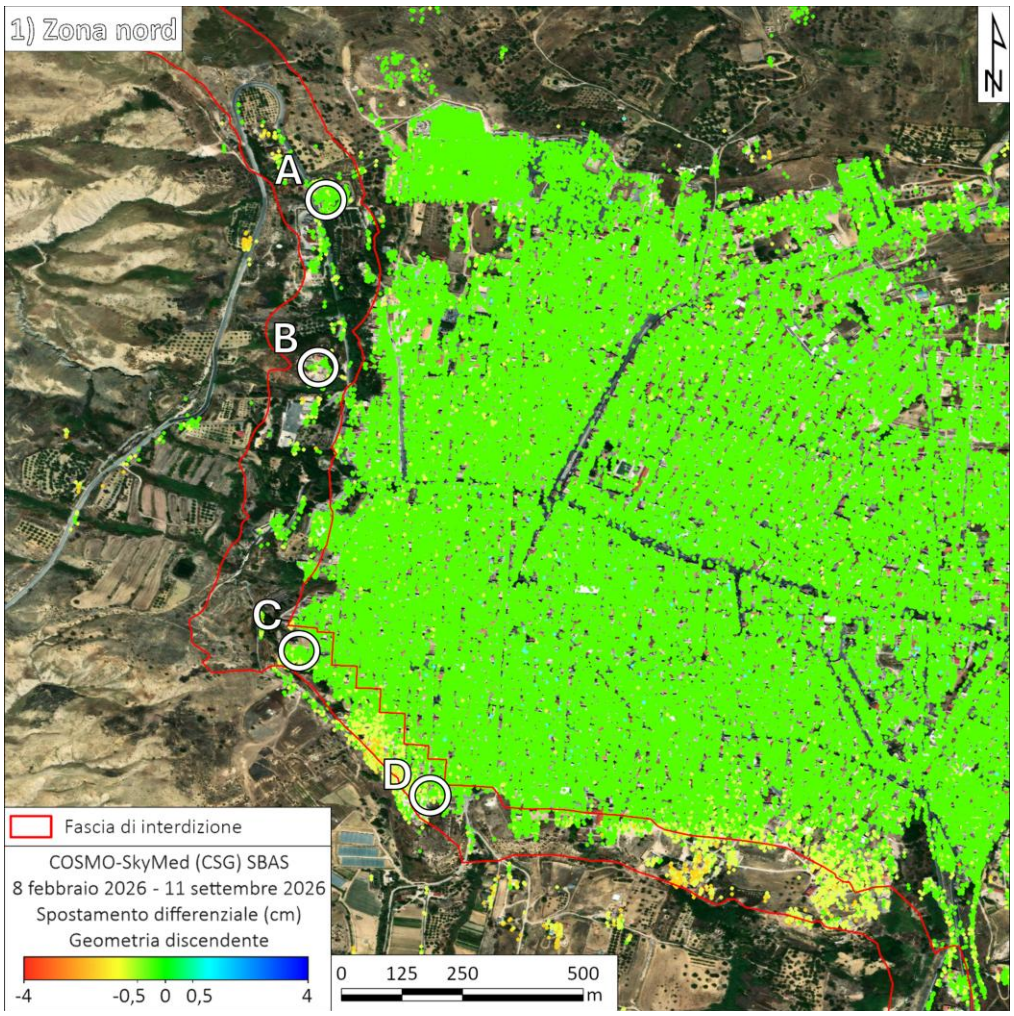


Figura 14 - Mappa degli spostamenti differenziali registrati dai dati COSMO-SkyMed, elaborati con tecnica SBAS, nella zona nord in geometria discendente nell'intervallo temporale 8 febbraio - 11 settembre 2026. In Figura 15 le serie temporali dei punti considerati. Le linee rosse indicano la fascia di interdizione vigente.

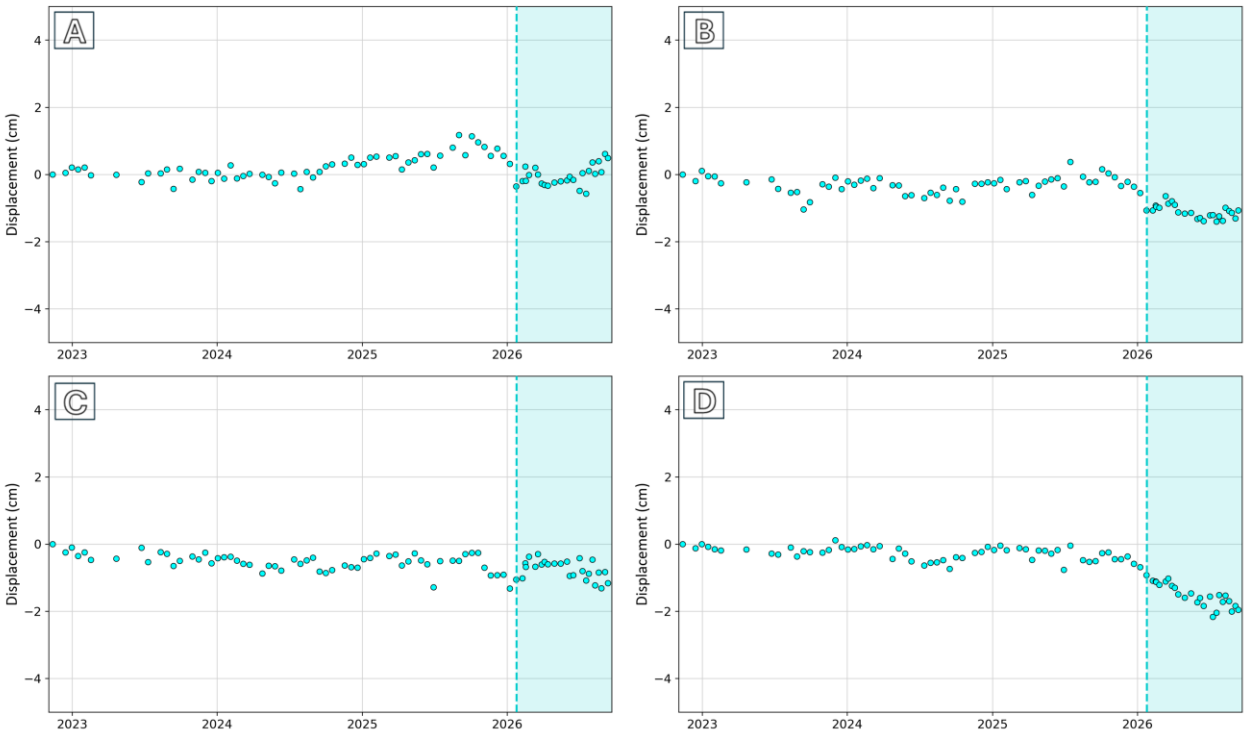


Figura 15 - Serie temporali dei punti evidenziati in Figura 14. L'area ombreggiata azzurra indica il periodo post-frana.

Nel settore sud, la mappa di spostamento (Figura 16) restituisce un quadro analogo, con i punti oltre soglia confinati per lo più entro la fascia di interdizione e in corrispondenza del corpo di frana.

Le relative serie temporali sono riportate in Figura 17. Nel punto E si riconosce un lieve allontanamento in concomitanza con l'evento di frana, seguito da un andamento stabile, mentre il punto F mostra un allontanamento dal sensore più marcato a partire dall'evento. La serie temporale del punto G, seppur rumorosa, mostra un lieve andamento in allontanamento precedente all'evento; il punto H, infine, presenta un allontanamento più marcato nella fase antecedente all'evento, cui segue un andamento meno pronunciato nella fase post-frana.

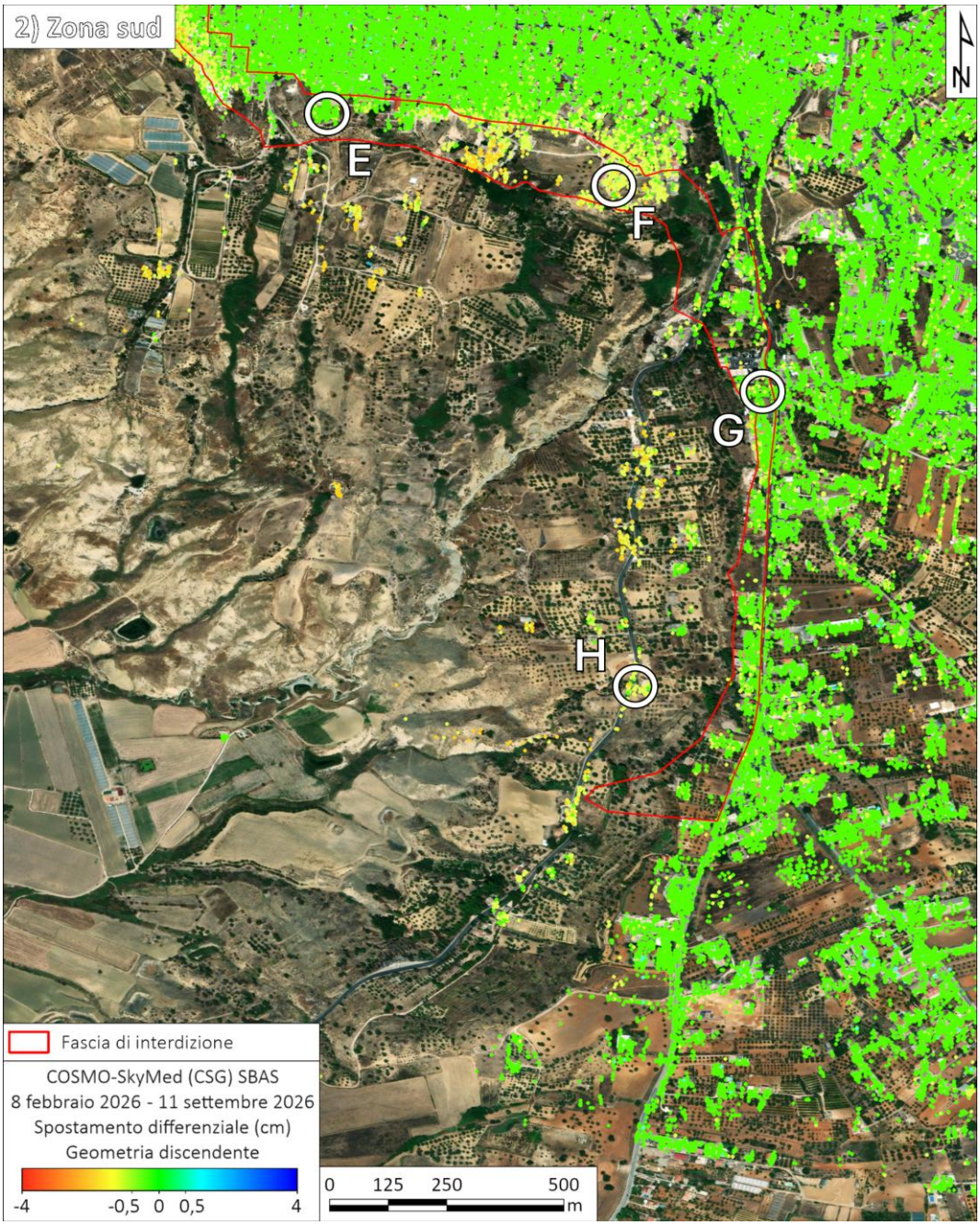


Figura 16 - Mappa degli spostamenti differenziali registrati dai dati COSMO-SkyMed, elaborati con tecnica SBAS, nella zona sud in geometria discendente nell'intervallo temporale 8 febbraio - 11 settembre 2026. In Figura 17 le serie temporali dei punti considerati. Le linee rosse indicano la fascia di interdizione vigente.

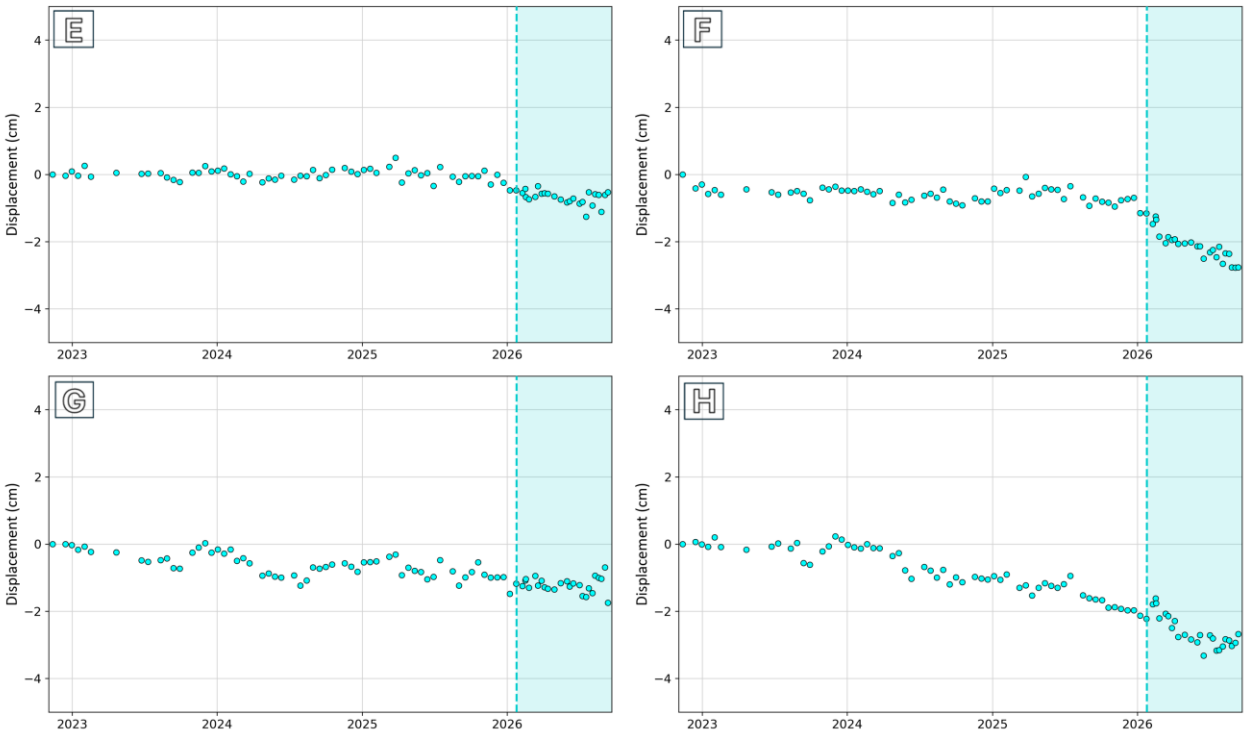


Figura 17 - Serie temporali dei punti evidenziati in Figura 16. L'area ombreggiata azzurra indica il periodo post-frana.

Coerentemente con quanto osservato nei dati Sentinel-1, anche l'analisi dei dati COSMO-SkyMed evidenzia spostamenti dell'ordine di alcuni centimetri nel settore di versante interessato dal fenomeno franoso, situato a valle del centro abitato e della fascia di interdizione. Tali spostamenti presentano, tuttavia, una minore continuità spaziale, verosimilmente riconducibile, almeno in parte, all'impiego della banda X. Rispetto alla banda C utilizzata da Sentinel-1, questa è infatti caratterizzata da una lunghezza d'onda più corta e, pertanto, da una maggiore sensibilità alle variazioni delle condizioni superficiali e ai conseguenti fenomeni di perdita di coerenza interferometrica.

4 Analisi dei dati GNSS

Il monitoraggio con interferometria radar satellitare è integrato dalla rete di sensori GNSS installata dall'INGV nell'area di Niscemi, la cui ubicazione, insieme ai vettori di spostamento orizzontale registrati nel periodo, è riportata in Figura 18. Le serie temporali delle tre componenti di spostamento di ciascuna stazione - est (*easting*), nord (*northing*) e verticale (*up*) - sono riportate in Figura 19.

Quanto evidenziato dal monitoraggio interferometrico satellitare trova riscontro nei dati della rete GNSS: la maggior parte delle stazioni mostra spostamenti non significativi, con le tre componenti che oscillano entro pochi millimetri attorno allo zero per l'intero periodo di osservazione.

La sola stazione a evidenziare una deformazione significativa è il sensore NSGP, ubicato subito dietro la fessura di neoformazione antistante il plesso scolastico San Giuseppe, il cui vettore di spostamento si distingue nettamente da quello di tutte le altre stazioni (Figura 18). La stazione evidenzia un movimento progressivo verso sud, fino a circa 5 cm, accompagnato da un abbassamento di quota, con la componente verticale fino a circa 4 cm. Nell'ultimo periodo si osserva un'accentuazione del movimento: la componente verso sud mostra un'accelerazione a partire dal 15-16 settembre 2026, cui si affianca la comparsa di una componente verso est, dell'ordine di circa 1 cm, a partire dal 18 settembre 2026.

Si osservano inoltre, presso altre due stazioni, potenziali segnali incipienti, al momento di entità nettamente più contenuta: la stazione NBUD, ubicata lungo la SP11, il cui vettore orizzontale è comunque affetto da un moderato rumore strumentale (Figura 18), e la stazione NP12, ubicata nel settore settentrionale dell'abitato in corrispondenza della Frana Nord, che mostra un apparente spostamento verso sud dell'ordine di circa 1 cm. Si raccomanda di mantenere sotto osservazione tali segnali nei prossimi aggiornamenti.

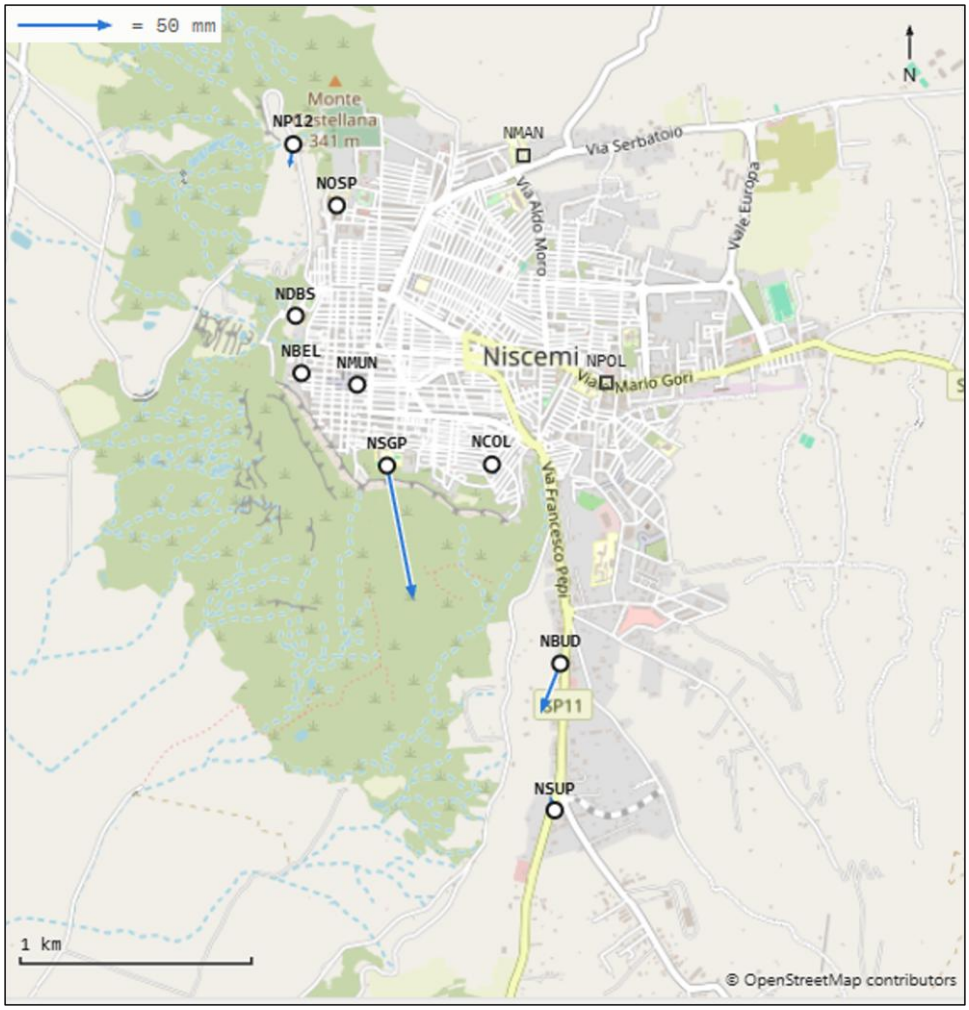


Figura 18 - Ubicazione delle stazioni della rete di monitoraggio GNSS installata dall'INGV nell'area di Niscemi, con i relativi vettori di spostamento aggiornati al 5 ottobre 2026.

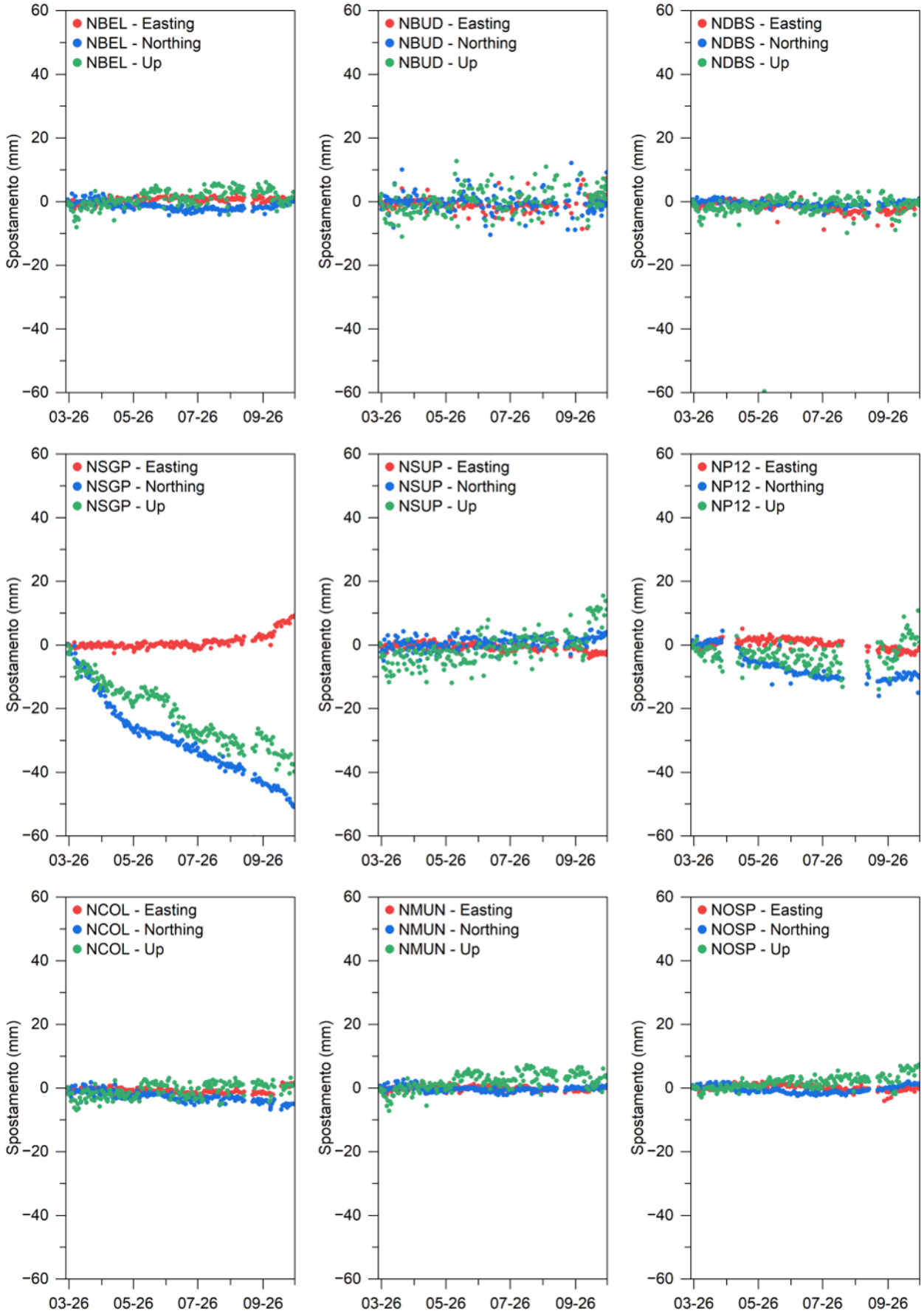


Figura 19 - Serie temporali delle componenti di spostamento delle stazioni di monitoraggio GNSS dell'INGV.

5 Approfondimento della valutazione del rischio residuo nei settori critici del centro abitato

Quanto delineato nelle Sezioni 3 e 4 non evidenzia, per gran parte del centro abitato, deformazioni significative rilevabili mediante le tecniche di monitoraggio impiegate. Nella porzione sud-orientale dell'abitato permangono invece segnali deformativi significativi nei due settori analizzati nel rapporto del 17 settembre 2026 (Casagli *et al*., 2026f). Pertanto, anche a seguito delle attività e delle interlocuzioni svoltesi nel corso del sopralluogo del 24 settembre 2026, i settori per cui è stata effettuata una valutazione aggiornata del rischio residuo sono i seguenti:

- il settore che comprende via Gorizia e la SP10, parzialmente esteso a monte della fascia di interdizione, nel quale gli spostamenti differenziali superano la finestra di stabilità, di cui si fornisce qui un aggiornamento rispetto al precedente rapporto;
- il settore compreso fra il plesso scolastico San Giuseppe e via Ustica, all'interno della fascia di interdizione lungo la scarpata principale della Frana Centrale, anch'esso oggetto di aggiornamento rispetto al precedente rapporto;
- un ulteriore tratto della SP10, più a sud, ispezionato in occasione del recente sopralluogo.

L'ubicazione dei tre settori è riportata in Figura 20.

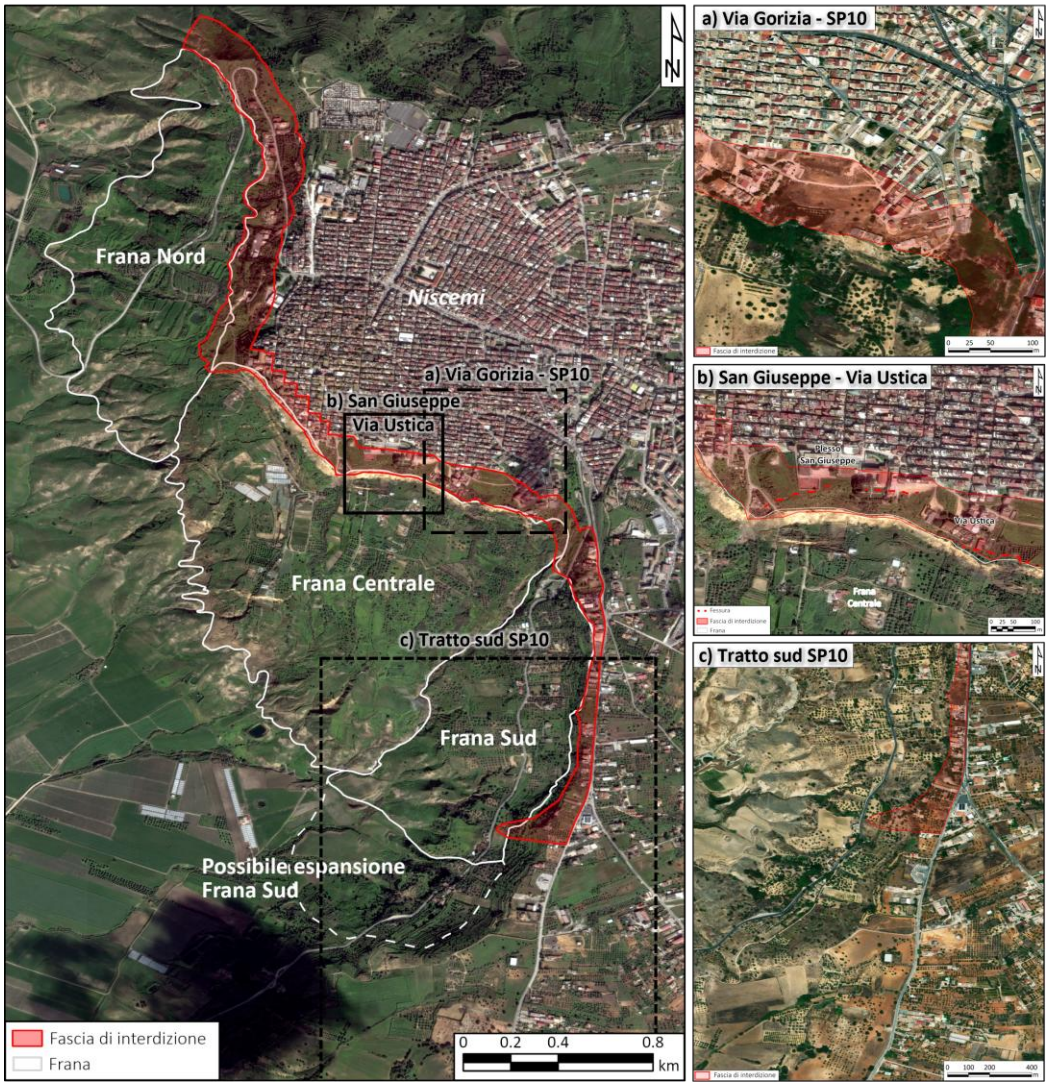


Figura 20 - Ubicazione dei tre settori oggetto di approfondimento: a) via Gorizia - SP10, b) San Giuseppe - via Ustica e c) Tratto sud SP10. La campitura rossa indica la fascia di interdizione vigente. Le linee rosse tratteggiate mostrano le principali fessurazioni sul terreno.

5.1 Via Gorizia - SP10

Il settore in esame è ubicato nella porzione meridionale dell'abitato, intorno a via Gorizia e fra questa e la SP10, all'interno della fascia di interdizione e in parte a monte di questa (Figura 20a). L'analisi è stata condotta integrando i dati Sentinel-1 e COSMO-SkyMed; per ciascuna costellazione la relativa figura riporta la mappa degli spostamenti differenziali nel periodo post-evento e le serie temporali, estese all'intero periodo di acquisizione, dei punti rappresentativi.

In geometria ascendente entrambe le costellazioni (Sentinel-1, Figura 21; COSMO-SkyMed, Figura 23) restituiscono un quadro di sostanziale stabilità: la quasi totalità dei punti di misura rientra nella finestra di stabilità e le serie temporali non evidenziano tendenze significative.

Il dato in geometria discendente, più sensibile, evidenzia invece alcuni punti con spostamenti differenziali che superano la soglia di stabilità, localizzati lungo il margine della fascia di interdizione. Sia il dato Sentinel-1 (Figura 22) sia quello COSMO-SkyMed (Figura 24) mostrano, nei punti interessati, un andamento sostanzialmente stabile fino agli eventi di gennaio 2026, seguito da una tendenza all'allontanamento dal sensore nella fase post-evento, dell'ordine di 1-2 cm, che nelle ultime acquisizioni mostra tuttavia un evidente rallentamento.

I dati registrati nelle due geometrie di acquisizione risultano quindi coerenti con un movimento di versante di entità contenuta. Va tuttavia considerato che il dato include, oltre alla componente deformativa, anche contributi riconducibili a disturbi atmosferici e a rumore residuo, di cui occorre tener conto nell'interpretazione; l'evidenza sarà pertanto verificata nei prossimi aggiornamenti.

Nel corso del sopralluogo del 24 settembre 2026 il settore è stato ispezionato direttamente, senza che emergessero evidenze *in situ* di movimenti in atto sul terreno o sui manufatti.

Ai fini della valutazione del rischio residuo, si raccomanda di mantenere il settore sotto osservazione mediante il monitoraggio satellitare, così da verificare la persistenza del fenomeno rilevato e coglierne tempestivamente eventuali variazioni di tendenza, nonché mediante ispezioni periodiche *in situ* mirate a evidenziare segnali di instabilità sul terreno e sui manufatti.

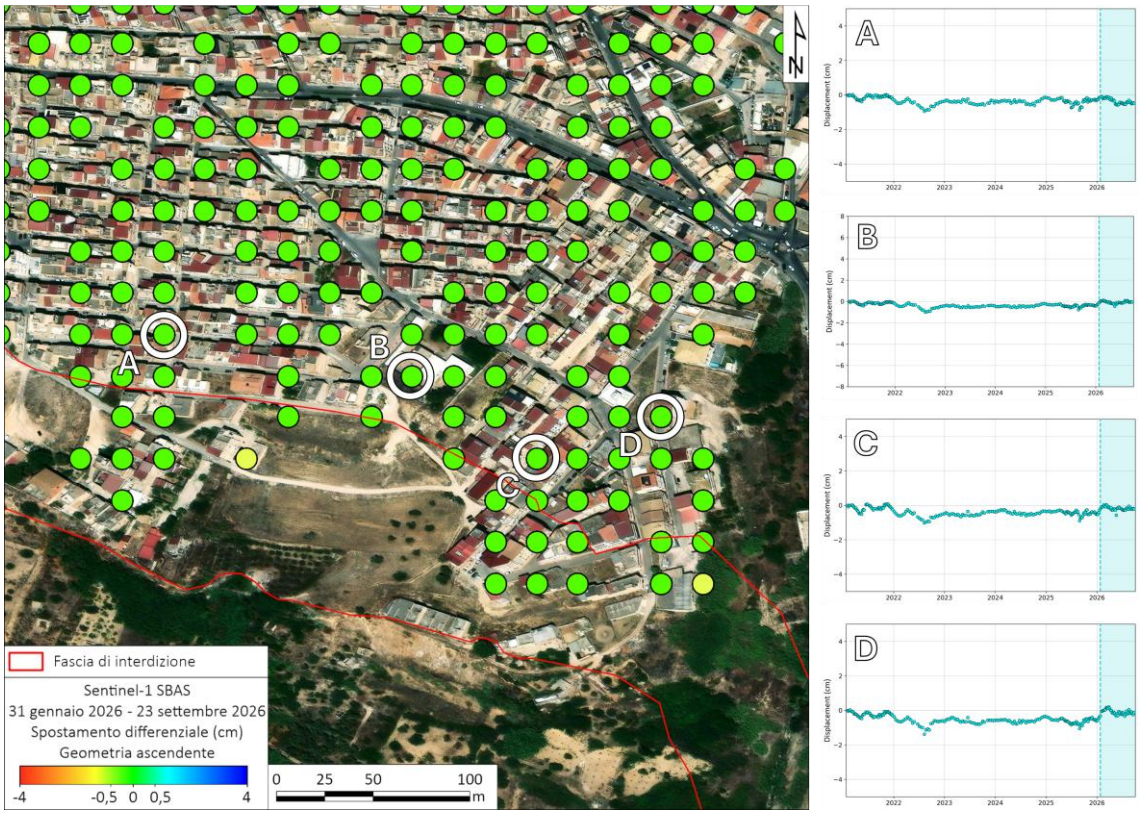


Figura 21 - Mappa degli spostamenti differenziali Sentinel-1 in geometria ascendente (SBAS, 31 gennaio - 23 settembre 2026), dettaglio del settore di via Gorizia - SP10. A destra, le serie temporali dei punti evidenziati in mappa. Le linee rosse indicano la fascia di interdizione vigente.

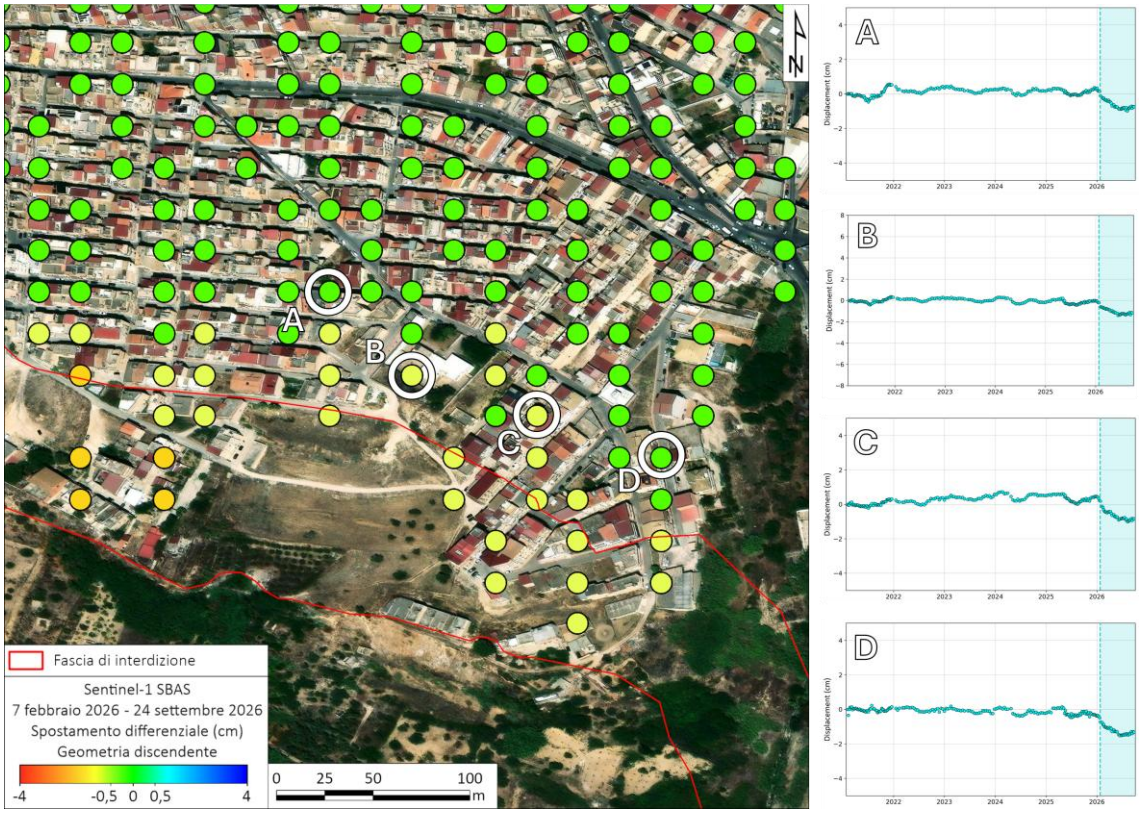


Figura 22 - Mappa degli spostamenti differenziali Sentinel-1 in geometria discendente (SBAS, 7 febbraio - 24 settembre 2026), dettaglio del settore di via Gorizia - SP10. A destra, le serie temporali dei punti evidenziati in mappa. Le linee rosse indicano la fascia di interdizione vigente.

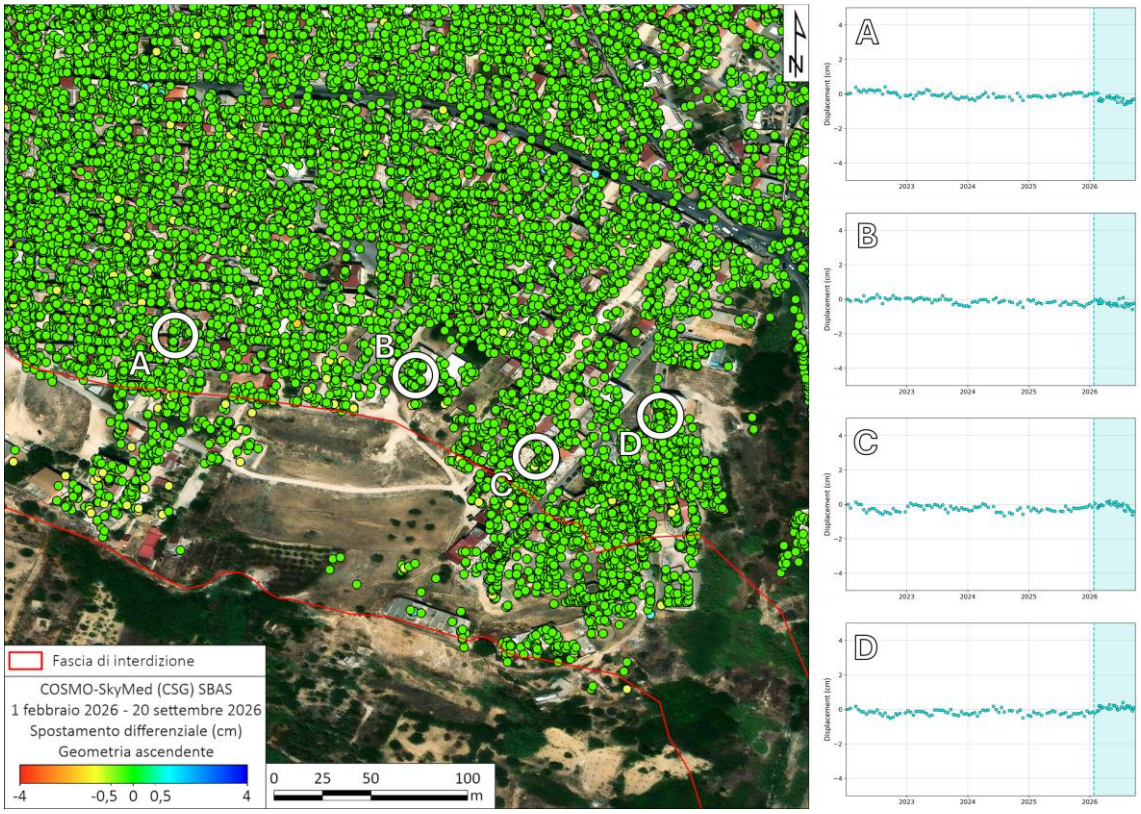


Figura 23 - Mappa degli spostamenti differenziali COSMO-SkyMed in geometria ascendente (SBAS, 1 febbraio - 20 settembre 2026), dettaglio del settore di via Gorizia - SP10. A destra, le serie temporali dei punti evidenziati in mappa. Le linee rosse indicano la fascia di interdizione vigente.

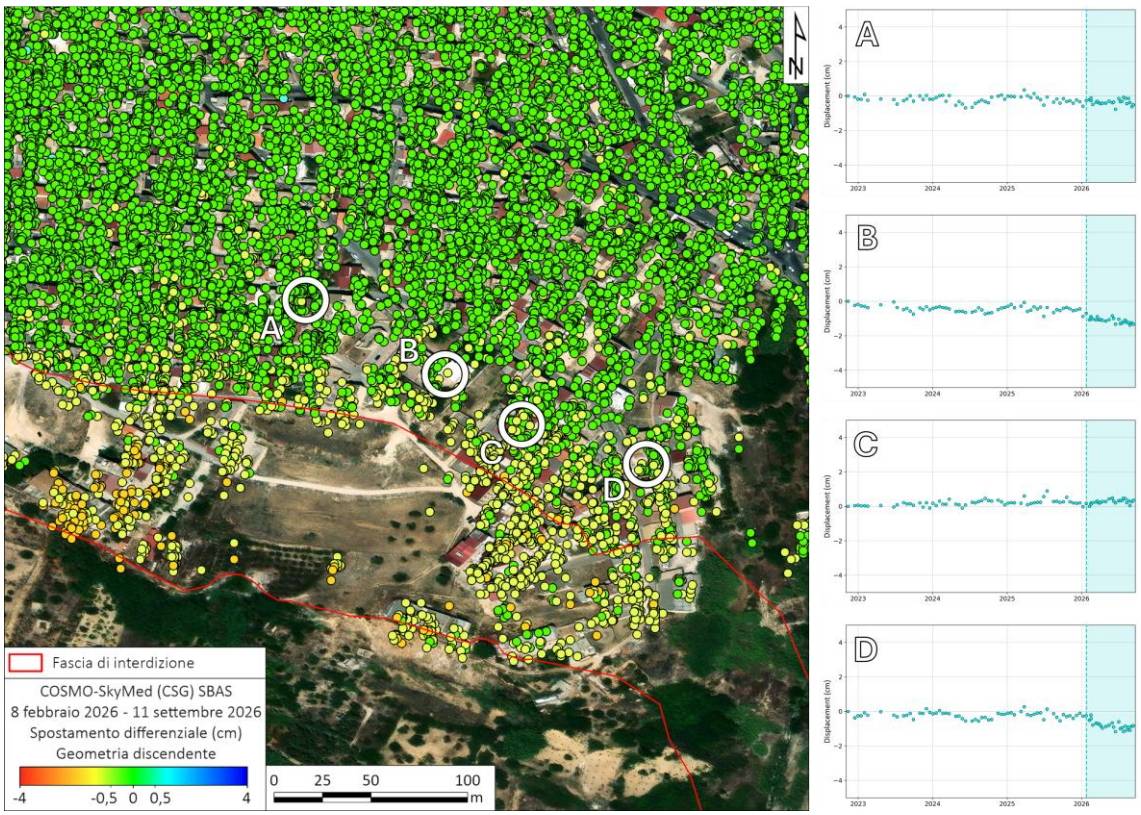


Figura 24 - Mappa degli spostamenti differenziali COSMO-SkyMed in geometria discendente (SBAS, 8 febbraio - 11 settembre 2026), dettaglio del settore di via Gorizia - SP10. A destra, le serie temporali dei punti evidenziati in mappa. Le linee rosse indicano la fascia di interdizione vigente.

5.2 San Giuseppe - Via Ustica

Il settore compreso fra il plesso scolastico San Giuseppe e via Ustica, già oggetto di analisi di dettaglio nel precedente rapporto del 17 settembre 2026 (Casagli *et al.*, 2026f), è stato riesaminato alla luce dei nuovi dati Sentinel-1 e COSMO-SkyMed.

In tale settore, caratterizzato da significative evidenze di movimento sul terreno, è stata condotta un'analisi di dettaglio degli spostamenti, integrando i dati interferometrici, le misure della stazione GNSS NSGP e le osservazioni effettuate durante il sopralluogo del 24 settembre 2026.

In geometria ascendente il dato Sentinel-1 (Figura 25) denota una condizione di sostanziale stabilità per gran parte dei punti; fanno eccezione due punti in prossimità del plesso scolastico che presentano spostamenti oltre soglia, con la serie temporale del punto A che nella fase finale evidenzia una tendenza all'allontanamento dal sensore. Il dato COSMO-SkyMed (Figura 27) conferma una prevalenza di punti stabili; all'interno della fascia di interdizione alcuni punti superano tuttavia la soglia. In particolare, il punto C mostra un lieve allontanamento nelle ultime acquisizioni, mentre il punto D presenta un andamento in allontanamento dal sensore precedente agli eventi di gennaio.

La geometria discendente, più sensibile ai movimenti dei versanti in esame per i motivi esposti nella Sezione 3, evidenzia invece spostamenti differenziali che superano la soglia di stabilità. Il dato Sentinel-1 (Figura 26) mostra, in tutti i punti considerati, un andamento stabile fino agli eventi di gennaio 2026, seguito da una fase di allontanamento dal sensore e da una successiva tendenza alla stabilizzazione.

In corrispondenza del plesso scolastico il punto A, prossimo alla stazione GNSS NSGP, raggiunge circa −4 cm e il punto B circa −2 cm, mentre nel settore di via Ustica i punti C e D raggiungono rispettivamente circa −4 cm e −3 cm; il dato COSMO-SkyMed (Figura 28), caratterizzato da serie temporali più rumorose, conferma la tendenza all'allontanamento dal sensore nella fase post-evento, senza evidenziare la successiva stabilizzazione osservata invece nel dato Sentinel-1.

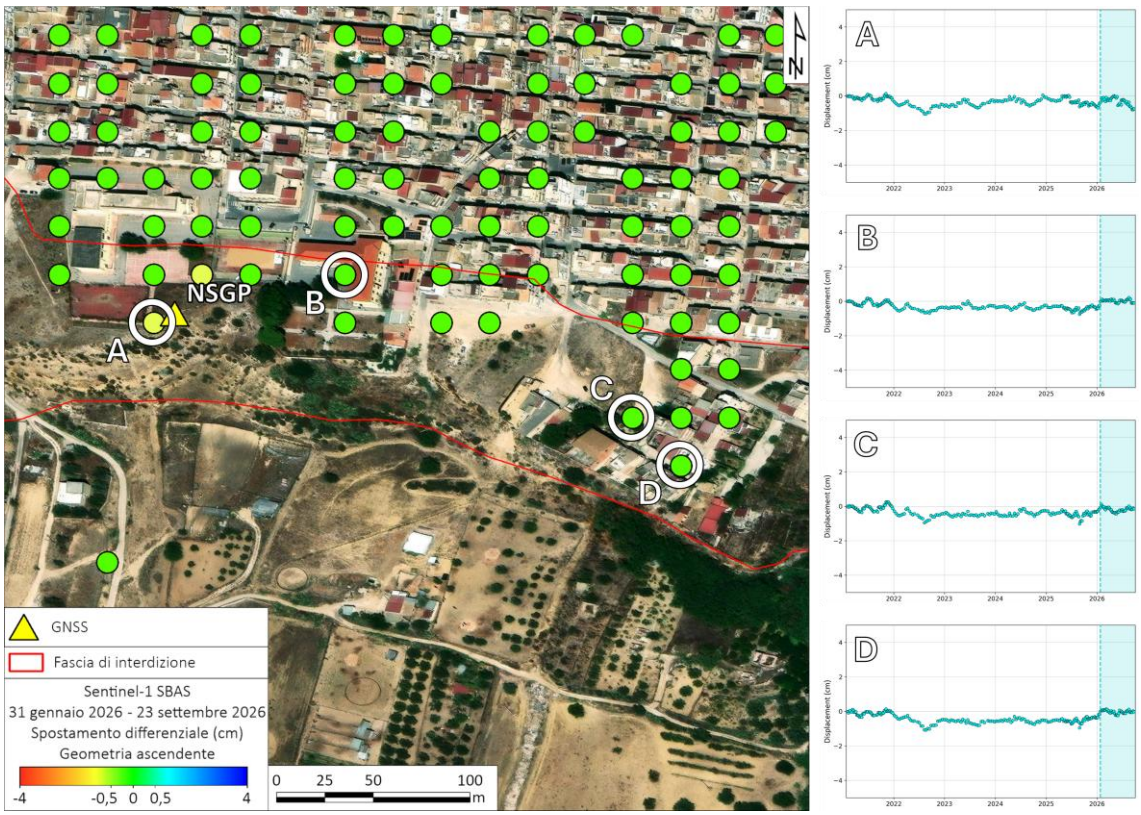


Figura 25 - Mappa degli spostamenti differenziali Sentinel-1 in geometria ascendente (SBAS, 31 gennaio - 23 settembre 2026), dettaglio dei settori del plesso scolastico San Giuseppe e di via Ustica. A destra, le serie temporali dei punti evidenziati in mappa. Le linee rosse indicano la fascia di interdizione vigente.

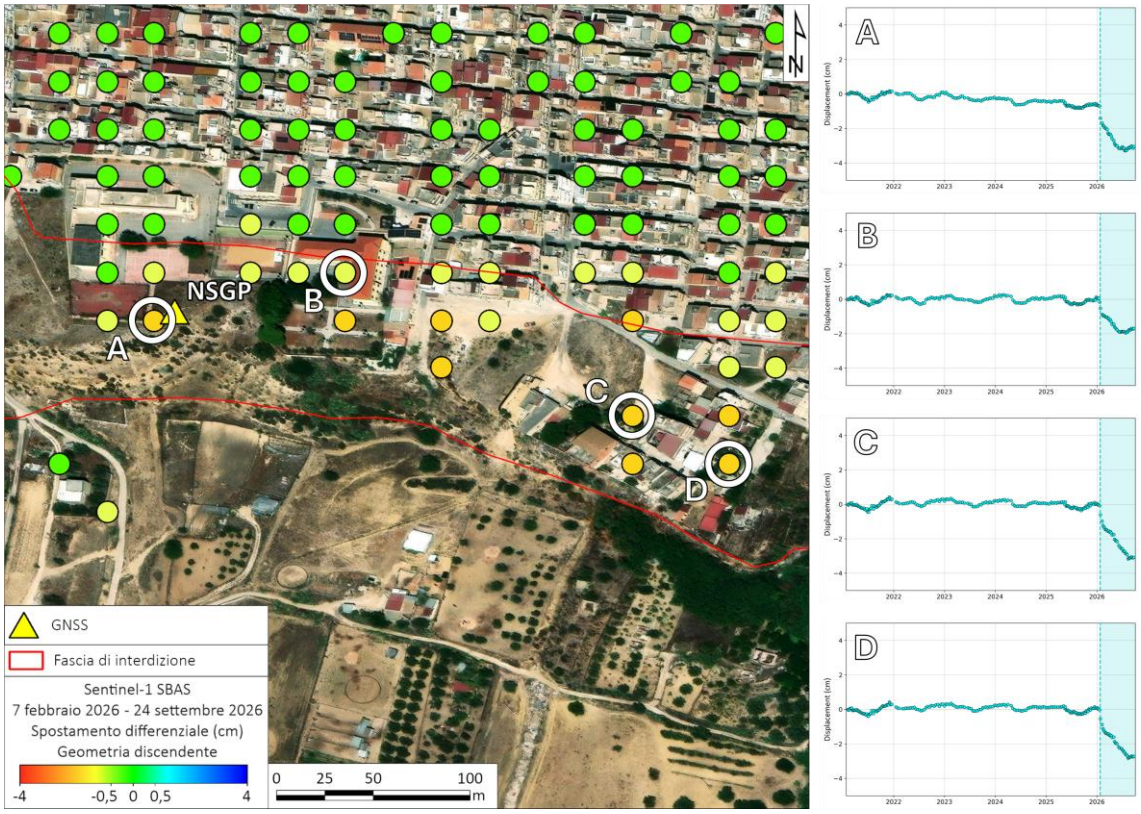


Figura 26 - Mappa degli spostamenti differenziali Sentinel-1 in geometria discendente (SBAS, 7 febbraio - 24 settembre 2026), dettaglio dei settori del plesso scolastico San Giuseppe e di via Ustica. A destra, le serie temporali dei punti evidenziati in mappa. Le linee rosse indicano la fascia di interdizione vigente.

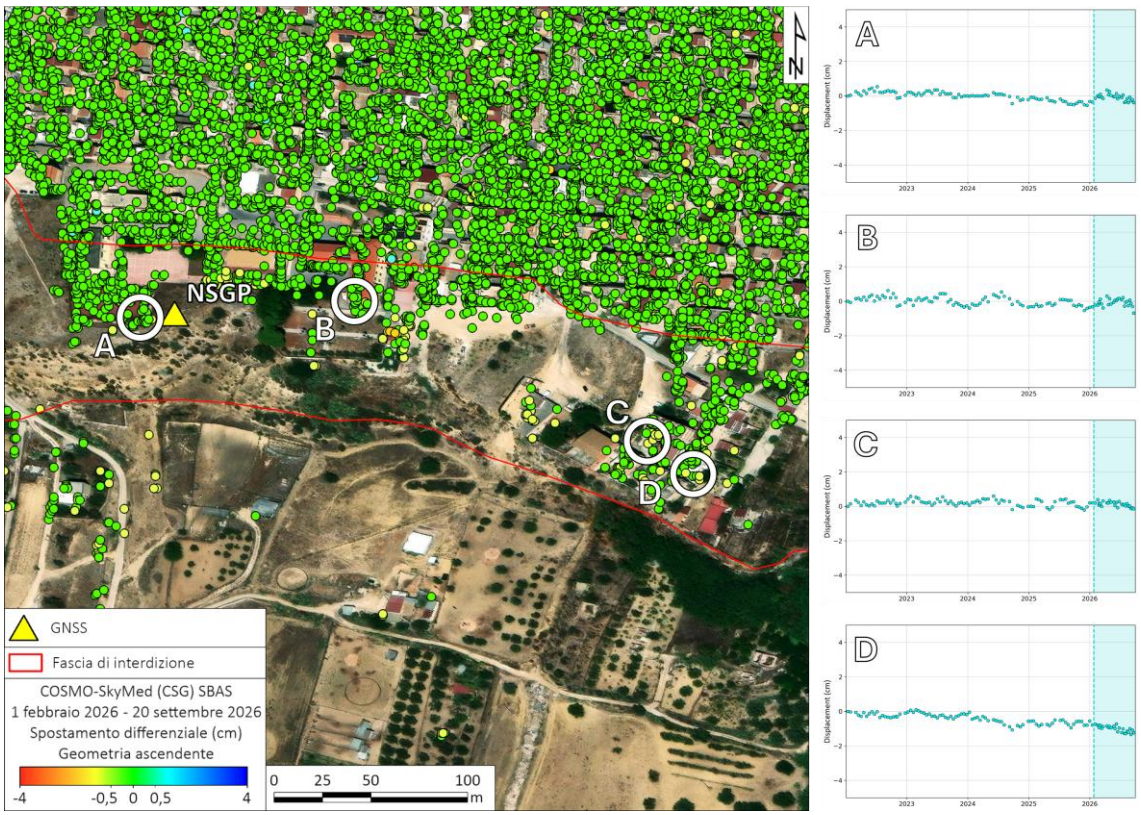


Figura 27 - Mappa degli spostamenti differenziali COSMO-SkyMed in geometria ascendente (SBAS, 1 febbraio - 20 settembre 2026), dettaglio dei settori del plesso scolastico San Giuseppe e di via Ustica. A destra, le serie temporali dei punti evidenziati in mappa. Le linee rosse indicano la fascia di interdizione vigente.

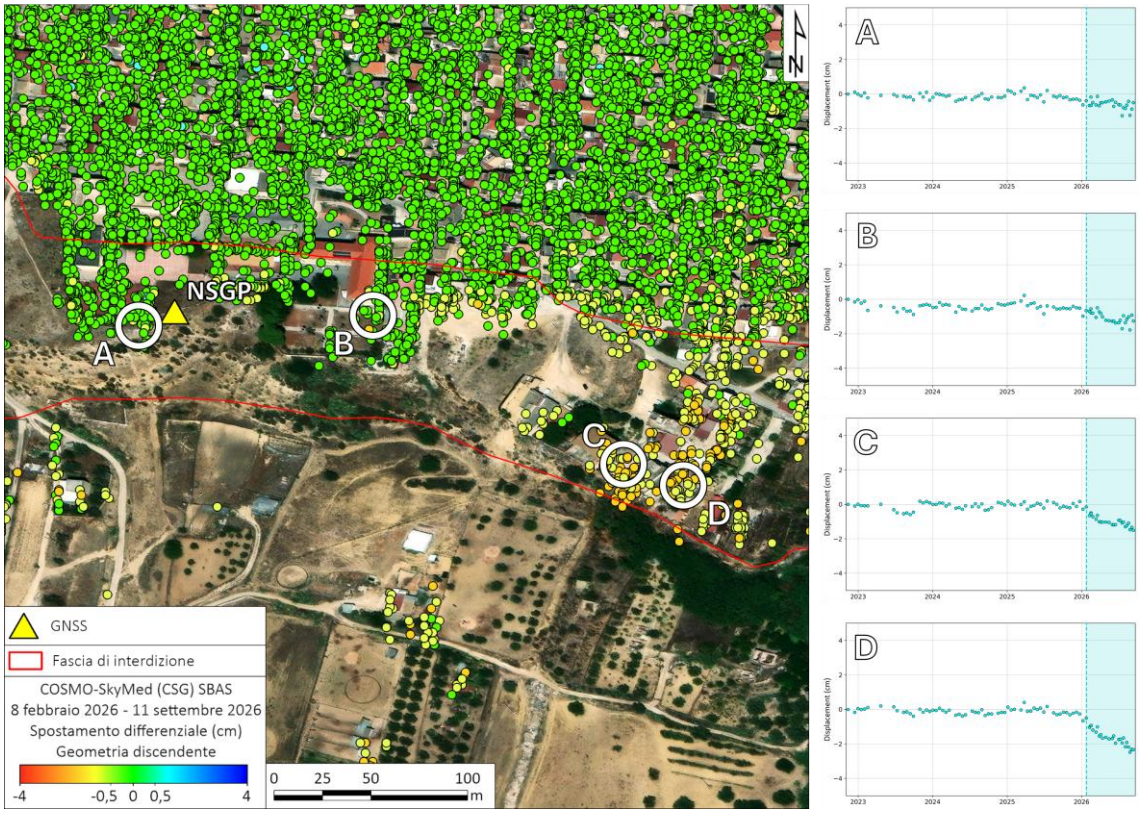


Figura 28 - Mappa degli spostamenti differenziali COSMO-SkyMed in geometria discendente (SBAS, 8 febbraio - 11 settembre 2026), dettaglio dei settori del plesso scolastico San Giuseppe e di via Ustica. A destra, le serie temporali dei punti evidenziati in mappa. Le linee rosse indicano la fascia di interdizione vigente.

I dati della stazione GNSS NSGP (Sezione 4), ubicata sul ciglio della scarpata in prossimità del plesso scolastico, subito a monte della fessura di neoformazione, documentano un progressivo spostamento prevalentemente verso sud e un abbassamento di quota di alcuni centimetri; a partire dalla seconda metà di settembre 2026 è stata inoltre registrata un'accentuazione del movimento, con l'insorgere di una componente verso est.

Tale quadro deformativo ha trovato diretto riscontro nel corso del sopralluogo del 24 settembre 2026, che ha permesso di documentare un'ulteriore evoluzione della fessurazione principale originatasi nella tarda primavera in prossimità del plesso scolastico San Giuseppe. Tale evoluzione si esplica soprattutto attraverso il ribassamento della porzione di versante di valle, come apprezzabile dal confronto di fotografie scattate in tempi diversi all'incirca dalla stessa prospettiva (Figura 29). Verso il suo margine sud-occidentale, la fessura si tramuta gradualmente in una trincea depressa ben definita (Figura 30). Il suddetto stile deformativo, la cui incipienza era già stata osservata dall'analisi del rilievo da drone di luglio 2026 (Casagli *et al.*, 2026e), è ragionevolmente indicativo di un meccanismo di riattivazione locale della Frana Centrale di natura profonda.

Dalle testimonianze raccolte è emerso che il ribassamento avrebbe subito una visibile accelerazione nelle ore immediatamente precedenti il sopralluogo; ciò può essere ricollegato alle piogge della settimana precedente, e in special modo agli oltre 30 mm registrati in data 19 settembre 2026 dal pluviometro di Niscemi gestito dal Centro Funzionale Decentrato (CFD-Idro) della Regione Siciliana (Figura 31). È altresì interessante notare come la formazione e lo sviluppo iniziali della fessura siano rispettivamente occorsi alcune settimane dopo le piogge di marzo-maggio e luglio 2026, mentre la risposta del sistema è stata notevolmente più rapida (alcuni giorni) per l'ultima fase di evoluzione.

Si ritiene che questa variazione di comportamento sia ascrivibile all'apertura stessa della fessura, la quale costituisce ormai una via di percolazione diretta delle acque meteoriche verso l'orizzonte basale critico in profondità. Ne consegue che la posa di teloni impermeabili, in corso di esecuzione durante il sopralluogo secondo le modalità esecutive già dettagliate in Casagli *et al*. (2026f), sia un intervento essenziale, per quanto provvisorio, per contrastare l'incremento delle pressioni interstiziali e rallentare quanto più possibile la riattivazione della frana.

Scendendo lungo la strada contigua al plesso scolastico fino a raggiungere l'attuale scarpata di frana, è stata inoltre appurata la presenza di una condotta di acque reflue (Figura 32a) che scarica, parallelamente a un'altra condotta di acque bianche poco distante, sulla nicchia di arretramento già evidenziata da Casagli *et al.* (2026e). È stato inoltre rilevato come la fessura principale di neoformazione si raccordi con il bordo della nicchia mediante un sistema di fessurazioni secondarie (Figura 32b).

Al riguardo, la nota 001-0014796-CAL/2026, inviata dall'ente gestore Caltaqua al Commissario straordinario per l'area di Niscemi, testimonia che gran parte del sistema fognario del Comune di Niscemi ha effettivamente il proprio recapito nella zona. Risulta pertanto verosimile il sussistere di una stretta connessione fra apporti idrici di origine antropica verso il settore di scarpata antistante il plesso scolastico, il rapido arretramento del fronte lungo nicchie circoscritte (Sezione 6) e l'insorgenza di meccanismi di riattivazione profondi dovuti alla concomitanza di elevate pressioni interstiziali e processi di progressivo detensionamento.

Nel corso del sopralluogo è stata inoltre riscontrata la presenza di due fori di sondaggio in stato di abbandono, apparentemente attrezzati con dispositivi per il monitoraggio automatico del livello di falda e degli spostamenti. L'ubicazione di tali stazioni, tuttavia, non risulta riportata negli elaborati prodotti dalla commissione tecnico-scientifica a seguito dell'evento franoso del 1997 (Castiglione *et al*., 2000). Si suggerisce di valutare se tale strumentazione sia recuperabile o, in alternativa, se sia possibile rimuovere i sensori per procedere a letture piezometriche e inclinometriche manuali, che costituirebbero un'importante fonte di informazioni in un'area particolarmente sensibile, dove ad oggi non sono disponibili dati di monitoraggio profondi.



Figura 29 - Evoluzione della fessura principale antistante il plesso scolastico San Giuseppe da giugno (a) a settembre 2026 (b).



Figura 30 - Trincea in corrispondenza del margine sud-occidentale della fessura principale.

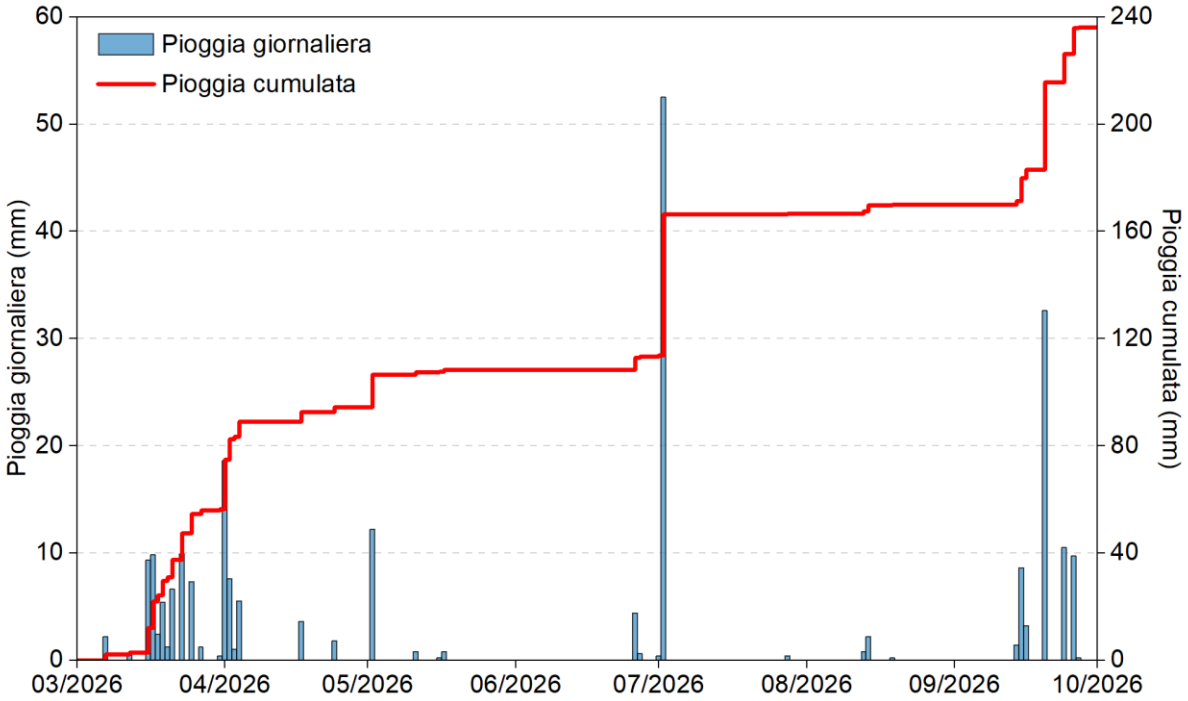


Figura 31 - Quantitativi di pioggia giornaliera e cumulata registrati nel periodo 1 marzo - 30 settembre 2026 dal pluviometro di Niscemi gestito dal CFD-Idro della Regione Siciliana.



Figura 32 - Scarico di acque reflue sulla scarpata di frana antistante il plesso scolastico San Giuseppe (a) e fessurazioni secondarie che raccordano l'area di più recente riattivazione con la scarpata principale di gennaio 2026 (b).

5.3 Tratto sud SP10

Questo terzo settore, a seguito di segnalazioni recepite nel corso del sopralluogo del 24 settembre 2026, concerne la Frana Sud e l'area che è stata indicata come di sua "possibile espansione" nella perimetrazione delle frane del gennaio 2026 (Casagli *et al*., 2026a, 2026b, 2026c).

A monte della SP10 sono state osservate fessurazioni incipienti diffuse, aventi apertura talvolta superiore alla decina di centimetri (Figura 33); il piano stradale ha altresì subito lievi variazioni rispetto ai sopralluoghi precedenti, con modesti ribassamenti e sprofondamenti nei tratti precedentemente regolarizzati mediante getto di misto stabilizzato.

Peraltro, sulla base del confronto tra i rilievi topografici e ortofotografici dell'immediato post-evento e quelli più attuali (Sezione 6), non si osservano variazioni significative nel numero e nell'estensione delle suddette fessurazioni. Parimenti, con riferimento alla sola "area di possibile espansione" della Frana Sud, non si rilevano a valle della SP10 evidenze geomorfologiche ascrivibili agli eventi franosi di gennaio 2026.

Il settore è stato analizzato integrando i dati interferometrici Sentinel-1 e COSMO-SkyMed (Figura 34 - Figura 37). Va premesso che, trattandosi di un'area prevalentemente agricola e non urbanizzata, la densità e la qualità dei punti di misura sono inferiori rispetto al centro abitato, e le serie temporali risultano conseguentemente più rumorose. Ciononostante, le mappe di spostamento differenziale mostrano, in entrambi i satelliti e in entrambe le geometrie, diversi punti oltre la finestra di stabilità, con un segnale che si accentua spostandosi verso il corpo di frana; il dato COSMO-SkyMed, in particolare, evidenzia per contrasto la sostanziale stabilità del centro urbano.

Per quanto concerne le serie temporali nella zona della SP10, la geometria discendente mostra una tendenza all'allontanamento dal sensore coerente con un movimento di versante, evidente soprattutto dal dato Sentinel-1 (Figura 35). In particolare, nel punto A l'allontanamento raggiunge circa −5 cm, mentre negli altri punti si osservano spostamenti di entità minore. Il dato COSMO-SkyMed (Figura 37) risulta generalmente concorde, sebbene con spostamenti complessivi di entità inferiore.

Alla luce delle evidenze disponibili e delle incertezze connesse all'evoluzione del fenomeno, allo stato attuale si ritiene opportuno mantenere evacuata la cosiddetta "area di possibile espansione" della Frana Sud. Nei prossimi aggiornamenti, sulla base dell'evoluzione della situazione desunta dai dati di monitoraggio, potrà essere proposta una revisione della perimetrazione della frana e della relativa fascia di interdizione a monte.



Figura 33 - Esempio di fessurazioni all'interno della cosiddetta "area di possibile espansione" della Frana Sud.

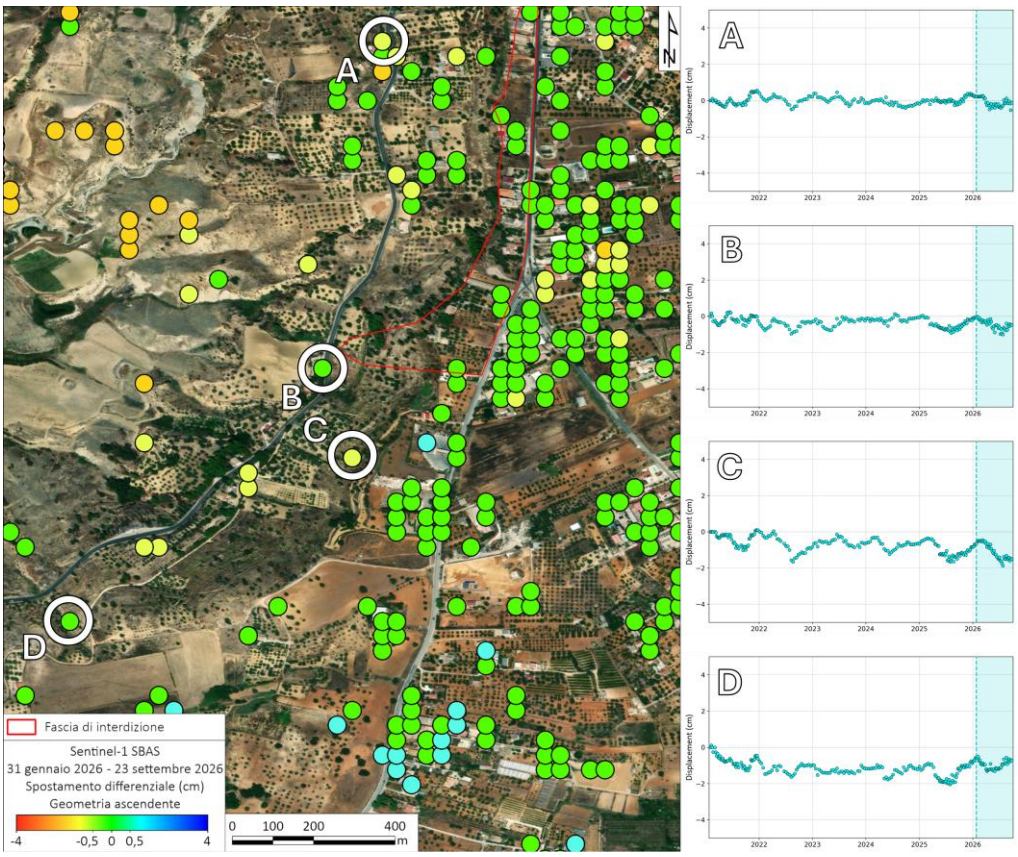


Figura 34 - Mappa degli spostamenti differenziali Sentinel-1 in geometria ascendente (SBAS, 31 gennaio - 23 settembre 2026), dettaglio del settore sud della SP10. A destra, le serie temporali dei punti evidenziati in mappa. Le linee rosse indicano la fascia di interdizione vigente.

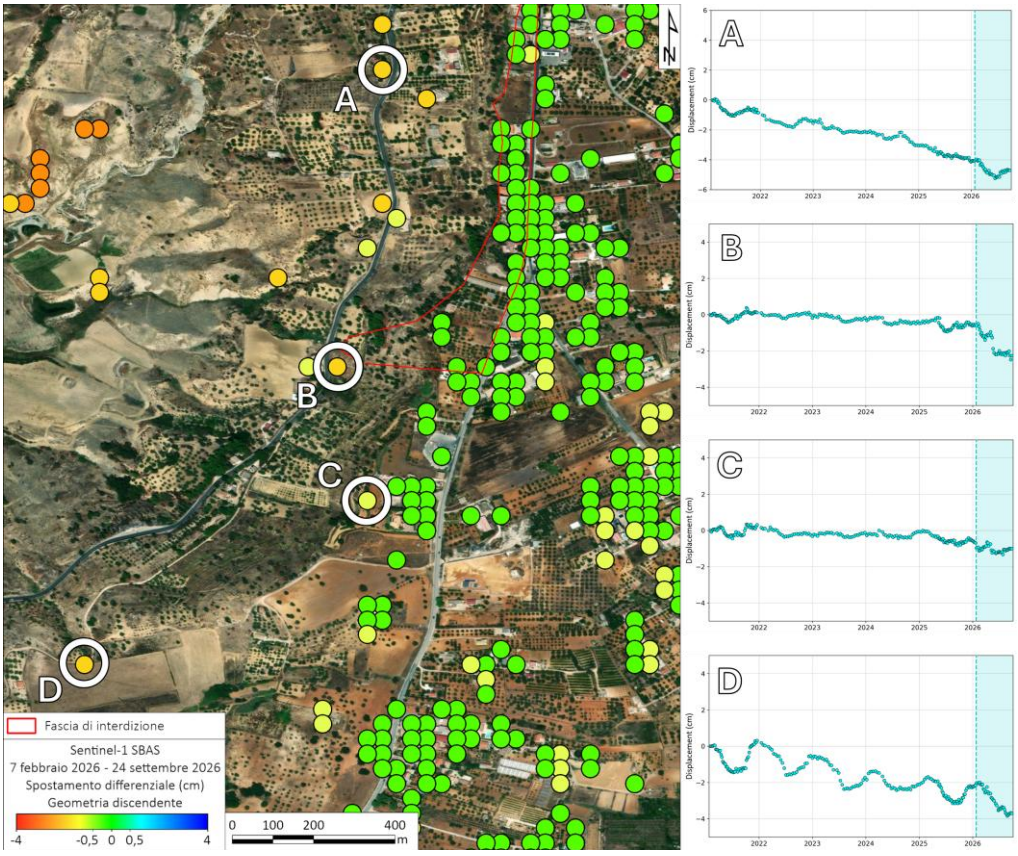


Figura 35 - Mappa degli spostamenti differenziali Sentinel-1 in geometria discendente (SBAS, 7 febbraio - 24 settembre 2026), dettaglio del settore sud della SP10. A destra, le serie temporali dei punti evidenziati in mappa. Le linee rosse indicano la fascia di interdizione vigente.

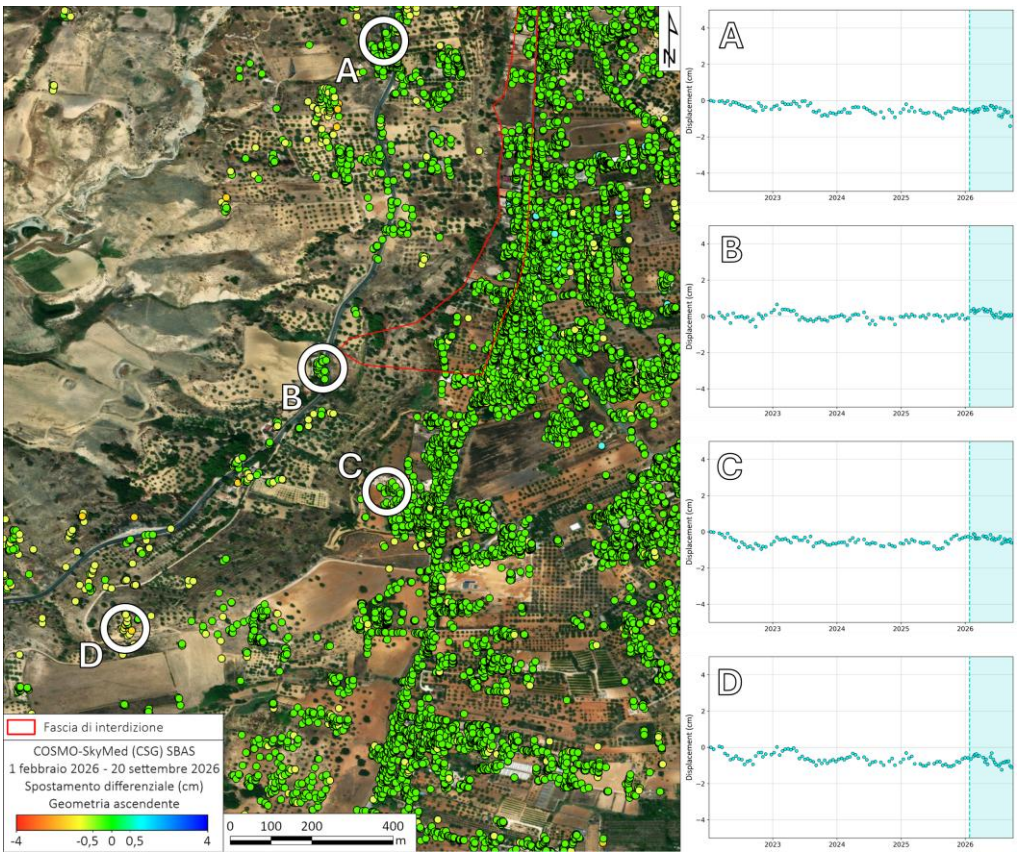


Figura 36 - Mappa degli spostamenti differenziali COSMO-SkyMed in geometria ascendente (SBAS, 1 febbraio - 20 settembre 2026), dettaglio del settore sud della SP10. A destra, le serie temporali dei punti evidenziati in mappa. Le linee rosse indicano la fascia di interdizione vigente.

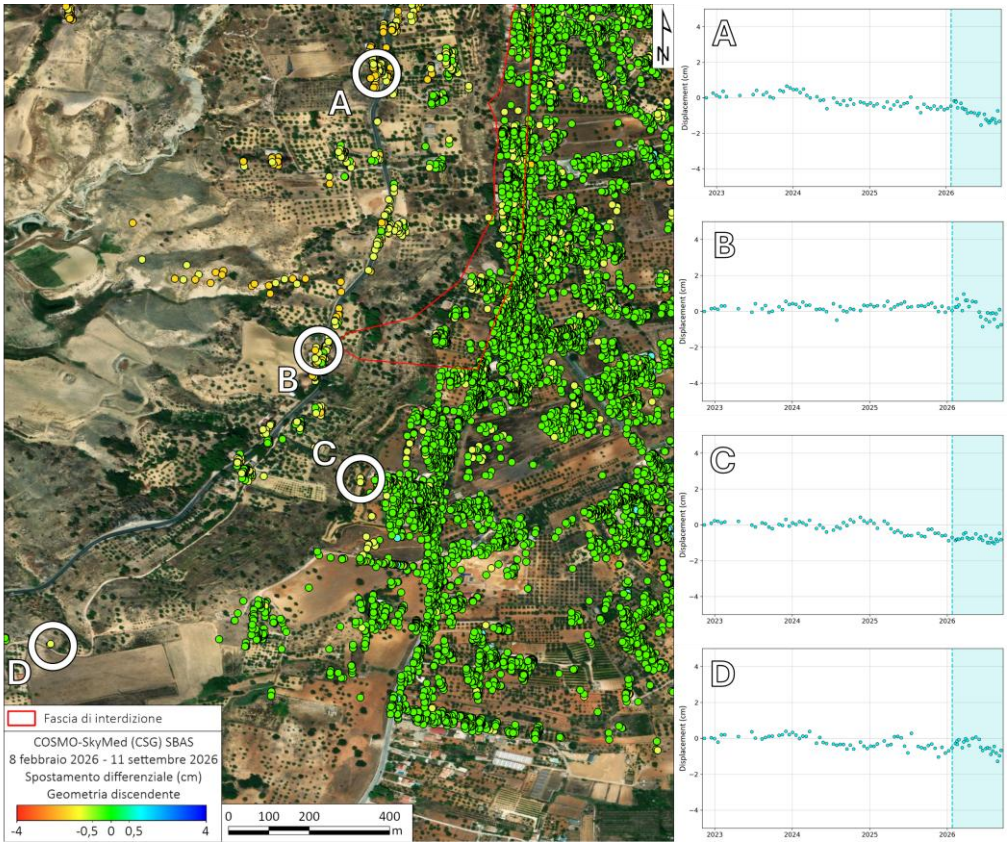


Figura 37 - Mappa degli spostamenti differenziali COSMO-SkyMed in geometria discendente (SBAS, 8 febbraio - 11 settembre 2026), dettaglio del settore sud della SP10. A destra, le serie temporali dei punti evidenziati in mappa. Le linee rosse indicano la fascia di interdizione vigente.

6 Analisi di rilievi topografici

Il recente insorgere di nuove evidenze geomorfologiche (fessure e scarpate di neoformazione, fenditure su pareti di edifici, deformazioni del piano di campagna) indica una persistente dinamica di movimento associata all'evoluzione retrogressiva della porzione orientale della Frana Centrale.

A tal proposito, si sottolinea che già in Casagli *et al.* (2026a) si riportava come *"Sulla base delle geometrie osservate, del confronto con la frana del 1997 e dell'evento storico del 1790, è plausibile ipotizzare un ulteriore arretramento del ciglio di scarpata dell'ordine di alcune decine di metri, soprattutto in caso di nuovi eventi pluviometrici significativi. Tale evoluzione potrebbe coinvolgere ulteriori edifici posti in prossimità del margine instabile e compromettere in modo permanente tratti di viabilità strategica […]".*

L'acquisizione da parte della Fondazione CIMA, secondo le stesse modalità descritte in Casagli *et al.* (2026c), di un nuovo rilievo topografico da drone ha consentito di aggiornare ulteriormente, rispetto a quanto presentato in Casagli *et al.* (2026e), le valutazioni quantitative relative all'arretramento della scarpata della Frana Centrale nell'intervallo temporale compreso fra il 20-24 luglio 2026 e il 23-24 settembre 2026.

Le nuvole di punti ad altissima risoluzione derivanti dai due rilievi topografici considerati, già originariamente proiettate nello stesso sistema di coordinate (WGS84 UTM 33N, codice EPSG: 32633) e co-registrate in quote ortometriche con riferimento al geoide EGM2008, sono state ricampionate secondo una maglia regolare con passo di 10 cm. Successivamente, la stima delle variazioni di morfologia del terreno è stata effettuata mediante un algoritmo di calcolo delle distanze di tipo *mesh-to-point*, nell'ottica di ottenere valori positivi o negativi in base all'orientazione spaziale della topografia originaria - nel caso in oggetto, valori negativi per arretramento/erosione della scarpata e valori positivi per accumulo/deposizione alla base della stessa.

Per la triangolazione della nuvola di punti di luglio 2026 è stato impiegato l'algoritmo *Poisson Surface Reconstruction* implementato nell'applicativo *CloudCompare*, così da ottenere un'orientazione coerente della topografia e una rappresentazione realistica di eventuali porzioni subverticali o in aggetto.

La Figura 38 illustra il risultato della procedura di confronto sopradescritta: come già rilevato in precedenza (Casagli *et al.*, 2026c, 2026e), si conferma che l'arretramento della scarpata continua a non svilupparsi uniformemente per tutta la sua lunghezza, bensì appare progredire prevalentemente in nicchie circoscritte.

In particolare, si identificano l'ampio fronte di distacco in massa nei pressi di Via Ustica (originatosi nei giorni immediatamente successivi al rilievo di luglio) e, più a ovest, un arretramento pari a circa 3 m nell'area caratterizzata dalla presenza di scarichi fognari nei pressi del plesso scolastico San Giuseppe (Figura 32). Quest'ultima nicchia aveva già fatto registrare un arretramento di circa 5 m fra i rilievi di inizio aprile e fine luglio 2026, e di un valore pressoché analogo fra il rilievo di gennaio e quello di aprile 2026 (Casagli *et al.*, 2026e). Si segnala inoltre che la nicchia a valle della fessura di neoformazione secondaria nei pressi dell'edificio della Confraternita di Misericordia, anch'essa interessata da un arretramento di oltre 5 m nel periodo aprile-luglio 2026 (Casagli *et al.*, 2026e), è invece progredita per valori disomogenei e comunque ben inferiori al metro nell'ultimo periodo di riferimento.

Si ribadisce pertanto che entrambe le fessure di neoformazione appaiono spazialmente associabili a nicchie di arretramento in rapida evoluzione lungo la scarpata più a valle - presso cui si rilevano evidenze di marcata saturazione dei terreni (Casagli *et al.*, 2026e) - e che la locale insorgenza di meccanismi di riattivazione profondi è correlabile alla concomitanza di elevate pressioni interstiziali (indotte anche dagli scarichi della rete fognaria) e di processi di progressivo detensionamento.

Al momento non si riscontrano invece ribassamenti o altre variazioni morfologiche significative in corrispondenza del Graben, a indicazione del fatto che la riattivazione, pur profonda, non sta implicando una rimobilizzazione dell'intera estensione longitudinale del corpo della Frana Centrale.

L'analisi dei rilievi topografici ha previsto anche l'estrazione e il confronto di due profili del versante, rappresentativi rispettivamente delle condizioni precedenti e successive alla formazione delle fessure. La Figura 39 identifica le tracce di tali sezioni; essa rimarca inoltre che, poco a ovest della scuola, il coronamento della frana del 1997 è mappato fino a 40 m più a monte dell'attuale scarpata principale, mentre altrove risulta sempre coincidente o poco a valle di quest'ultima.

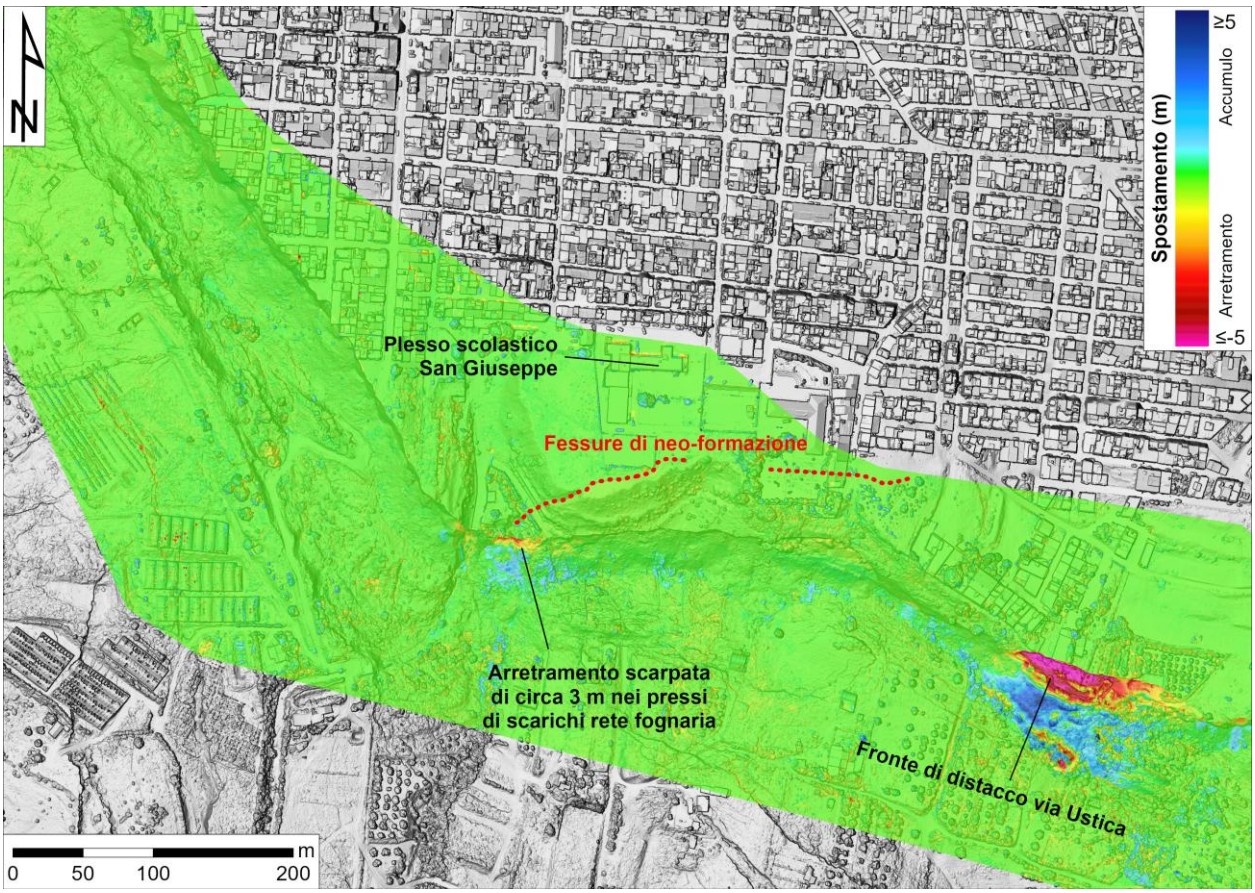


Figura 38 - Spostamenti ricavati dal confronto dei rilievi topografici di luglio e settembre 2026 acquisiti dalla Fondazione CIMA.

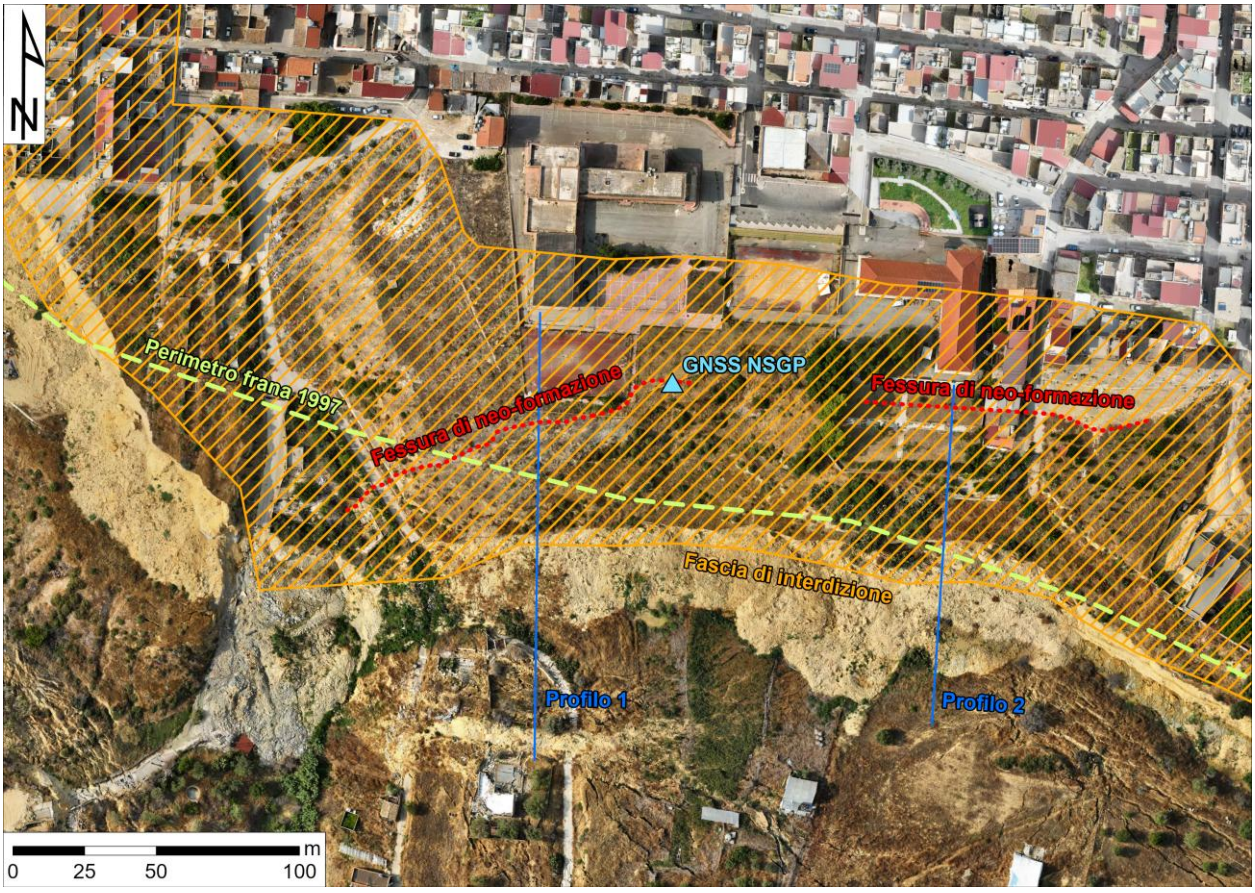


Figura 39 - Ubicazione delle tracce dei profili topografici illustrati nella Figura 40 e nella Figura 41.

Le variazioni altimetriche intercorse fra aprile e settembre 2026 lungo i profili 1 e 2 (Figura 39) sono dettagliate in Figura 40 e in Figura 41, rispettivamente. Nella prima (profilo 1) è possibile apprezzare un ribassamento generalizzato del terreno nel tratto compreso fra la fessura di neoformazione e la scarpata principale, a valle della quale l'andamento si inverte a causa della normale dinamica di crescita dell'accumulo detritico.

Pur tenendo conto dei vincoli imposti dalla risoluzione dei rilievi topografici e dalle incertezze relative al filtraggio manuale della copertura vegetale, il ribassamento generato dalla formazione della fessura è quantificabile complessivamente in circa mezzo metro, di cui circa 20 cm riconducibili al periodo luglio-settembre 2026. Ciò avvalora ulteriormente l'ipotesi, già suggerita dalle evidenze rilevate *in situ*, dell'attivazione di un meccanismo di retrogressione profonda, sebbene localizzata, della Frana Centrale.

Lo stesso processo non è deducibile dal profilo 2, coerentemente con lo sviluppo attualmente più limitato e discontinuo della fessura antistante l'edificio della Confraternita di Misericordia. Il profilo intercetta uno dei fronti in arretramento illustrati in Casagli *et al.* (2026e) e documenta un lieve ribassamento del terreno limitatamente all'orlo della scarpata principale, suggerendo il sussistere di una tendenza a una progressiva estensione della nicchia. Peraltro, in corrispondenza del profilo selezionato, non si riscontrano variazioni significative nel periodo luglio-settembre 2026.

In riferimento all'area della fessura antistante il plesso scolastico San Giuseppe, intercettata dal profilo 1, è stato ulteriormente raffinato l'allineamento locale delle nuvole di punti mediante procedure manuali di *point-picking*. A tale scopo è stato eseguito un algoritmo di calcolo delle distanze di tipo *point-to-point* mirato alla restituzione della sola componente verticale.

La Figura 42 consente di definire l'estensione areale del fenomeno già rilevato nella Figura 40, evidenziando un abbassamento di circa 20 cm che interessa una porzione di versante con uno sviluppo di poco inferiore a 100 m. Emerge inoltre una netta discontinuità tra il settore ribassato e l'area stabile situata immediatamente a monte della fessura. La fessura può pertanto essere interpretata come possibile nuovo coronamento della frana in caso di arretramento repentino della stessa.

La porzione di versante maggiormente ribassata è peraltro quella più prossima all'attuale orlo di scarpata, e in particolare alla nicchia in rapida evoluzione coincidente con l'ubicazione degli scarichi della rete fognaria.

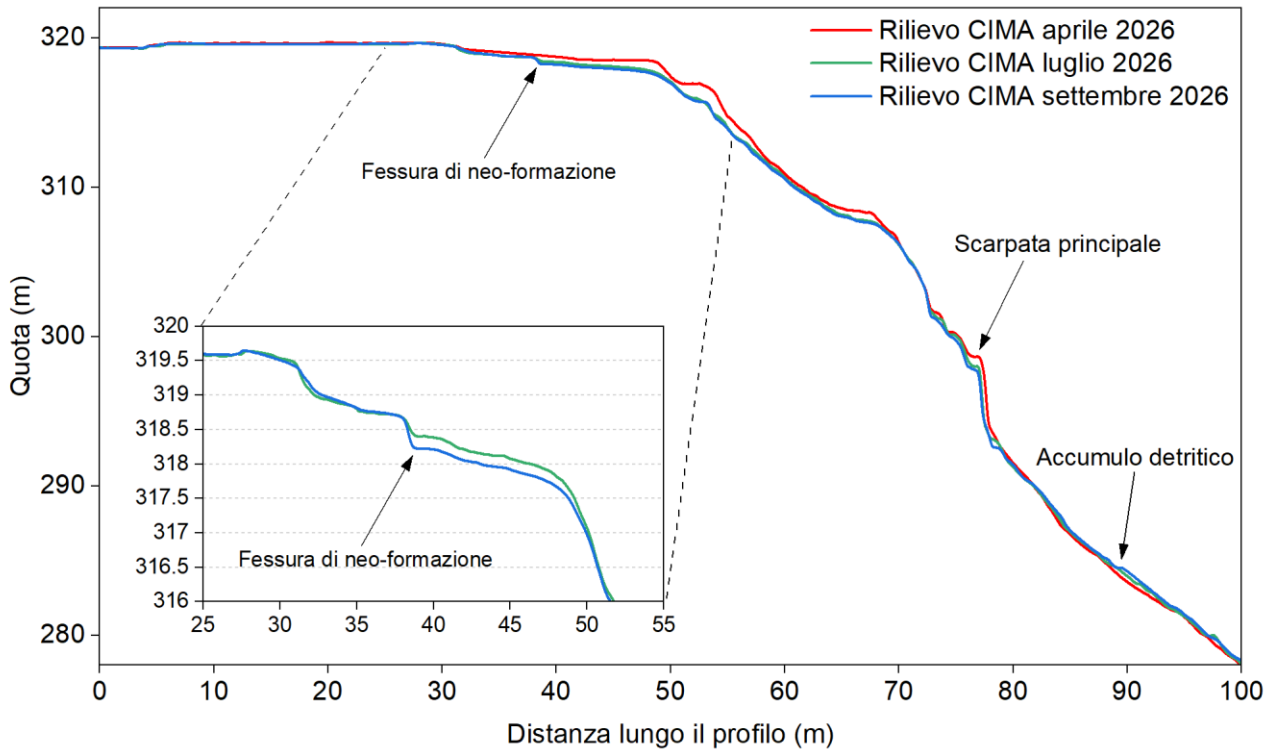


Figura 40 - Variazioni topografiche lungo il profilo 1 (traccia in Figura 39) nel periodo intercorso fra i rilievi di aprile e settembre 2026 acquisiti dalla Fondazione CIMA.

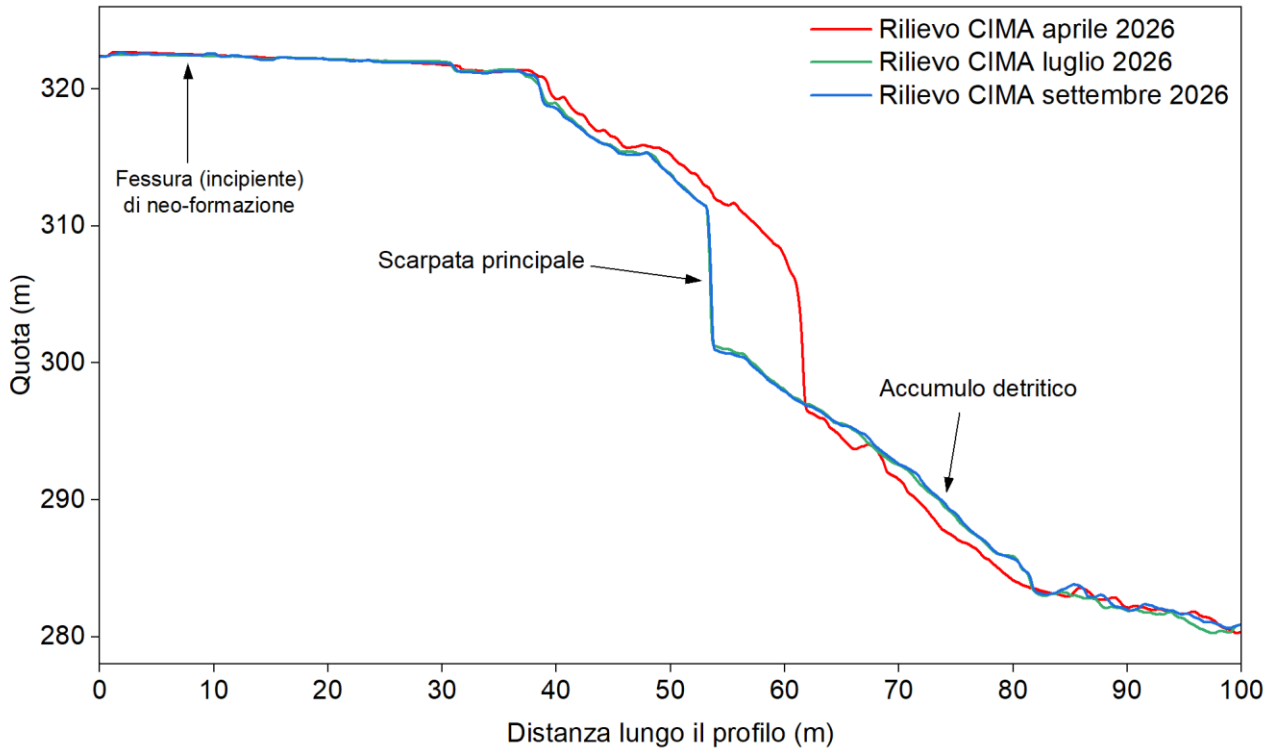


Figura 41 - Variazioni topografiche lungo il profilo 2 (traccia in Figura 39) nel periodo intercorso fra i rilievi di aprile-settembre 2026 acquisiti dalla Fondazione CIMA.

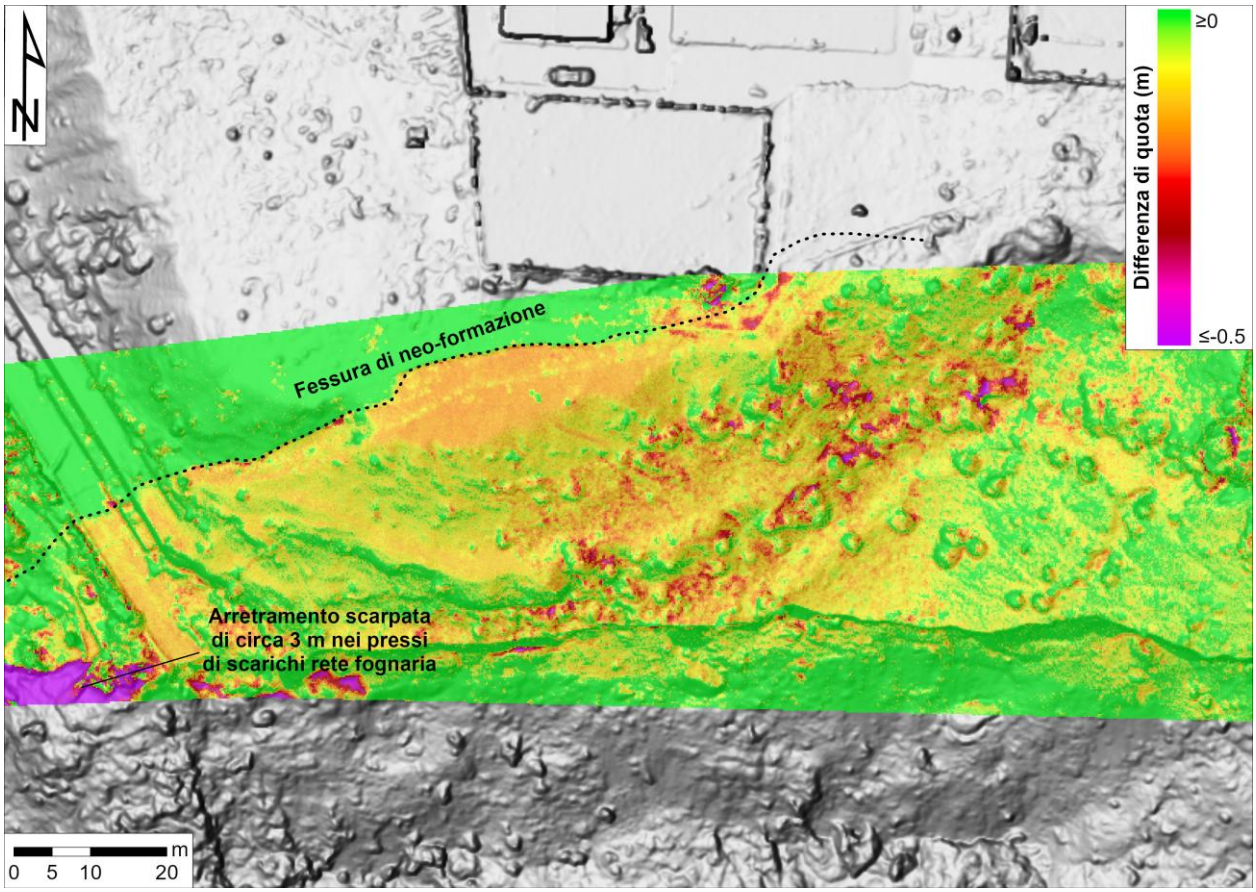


Figura 42 - Differenza di quota tra le nuvole di punti dei rilievi di luglio-settembre 2026 acquisiti dalla Fondazione CIMA nell'area antistante il plesso scolastico San Giuseppe, che evidenzia il ribassamento di un paio di decine di centimetri subito a valle della fessura di neoformazione.

7 Strategie di gestione adattiva del rischio

Le attività finora condotte si sono concentrate principalmente sulla definizione delle strategie per la gestione del rischio residuo nel breve termine, anche in considerazione dell'imminente stagione delle precipitazioni autunnali. A tal fine, tenuto conto della complessità dell'evento franoso verificatosi nel gennaio 2026 e delle misure di mitigazione già adottate, è stata svolta un'analisi approfondita del Piano comunale di protezione civile vigente nel Comune di Niscemi.

Tale analisi è finalizzata a valutare l'eventuale predisposizione di un piano speditivo per la gestione del rischio meteo-idrogeologico e idraulico, da attivare sia sulla base dei livelli di allertamento regionali sia, una volta individuate, in funzione del superamento di specifiche soglie pluviometriche critiche.

D'intesa con la Fondazione CIMA, si è ipotizzato di indirizzare le attività alla redazione di un documento speditivo, appendice al piano vigente, che tratti i soli rischi idraulico, idrogeologico e da fenomeni meteorologici avversi in conseguenza dello scenario modificato dall'evento. Per le restanti tipologie di rischio restano valide le indicazioni contenute nel piano comunale vigente.

Al fine di coordinare al meglio le attività previste nell'ambito del Contratto, nel periodo di riferimento sono state effettuate alcune riunioni tecniche, riportate di seguito in dettaglio esplicitandone data, modalità, partecipanti e oggetto principale:

- 17/09/2026 - incontro da remoto tra CPC-UNIFI e Fondazione CIMA per la discussione dell'approccio da adottare in riferimento alla gestione del rischio residuo, per la ricognizione della strumentazione presente *in situ* e delle piattaforme per la visualizzazione dei dati;
- 21/09/2026 - incontro da remoto tra CPC-UNIFI e Fondazione CIMA per la programmazione di alcuni sopralluoghi tecnici in punti specifici del territorio di Niscemi, la definizione della logistica, l'individuazione degli interlocutori comunali per la discussione degli aspetti relativi alla pianificazione e l'organizzazione delle attività in campo;
- 24/09/2026 - incontro in presenza a Niscemi tra CPC-UNIFI, Fondazione CIMA, Dipartimento della Protezione Civile e Comune di Niscemi (in particolare, Sindaco e Responsabile Ufficio Urbanistica e Protezione Civile) per la discussione dello stato della pianificazione di protezione civile comunale, dei sistemi di monitoraggio e allertamento, delle criticità connesse alla viabilità, delle problematiche legate alla comunicazione alla popolazione e per l'esecuzione dei sopralluoghi tecnici;
- 29/09/2026 - incontro da remoto tra CPC-UNIFI e Fondazione CIMA per la discussione relativa alle possibili modalità di allertamento e all'eventuale definizione di soglie operative, nonché per la programmazione delle prossime attività.

Contestualmente all'incontro svoltosi a Niscemi il 24 settembre, allo scopo di poter integrare e aggiornare alcune delle informazioni contenute nel piano di protezione civile comunale, è stata richiesta una ricognizione completa relativa alle risorse di personale (dipendenti comunali, Polizia Municipale, associazioni di volontariato, ecc.), alle risorse disponibili presso privati, come ad esempio le ditte dotate di mezzi d'opera, ai punti critici da sottoporre alle attività del presidio territoriale e alle aree di emergenza.

Inoltre, è stato richiesto al Comune l'elenco completo dei sensori e dei sistemi di monitoraggio presenti, comprensivo della loro ubicazione e dell'indicazione del soggetto che ne ha la titolarità.

Dagli incontri è emerso che allo stato attuale non è disponibile strumentazione utilizzabile ai fini dell'allertamento nell'ambito di un piano speditivo; pertanto, nelle more della definizione delle soglie pluviometriche o basate su altri parametri, le azioni del piano potranno basarsi sui codici colore delle allerte emesse dal Centro Funzionale regionale.

Conseguentemente allo studio delle possibili soglie, potrà essere proposta al Comune una disciplina delle azioni di protezione civile, ivi compresa quella del presidio territoriale dei punti critici, basata sulla combinazione tra allertamento regionale e monitoraggio delle diverse variabili in gioco.

Nell'ottica di un progressivo consolidamento del quadro conoscitivo a supporto della gestione del rischio, durante il sopralluogo del 24 settembre 2026 è emerso che il DRPC ha recentemente completato, nell'ambito

del piano di indagini relativo alle frane di Niscemi, sei perforazioni geognostiche in prossimità del tracciato della SP11. Alcuni dei fori realizzati sono stati inoltre attrezzati con strumentazione per il monitoraggio geotecnico.

Considerata la rilevanza di tali informazioni per la valutazione del rischio residuo nel centro abitato, la caratterizzazione del sottosuolo e la ricostruzione dell'evoluzione geomorfologica dei versanti, è stata trasmessa una richiesta formale per la condivisione dei risultati dei suddetti sondaggi, nonché dei dati relativi a ogni altra campagna d'indagine condotta nell'area.

8 Redazione dei documenti di fattibilità delle alternative progettuali

Alla data del presente rapporto, la società INGEO ha consegnato formalmente al Commissario straordinario per l'area di Niscemi i documenti di fattibilità delle alternative progettuali (DOCFAP) relativi agli ambiti di intervento del torrente Benefizio (31 luglio 2026), della Frana Sud (31 agosto 2026) e della Frana Centrale (30 settembre 2026).

I tre documenti assumono come riferimento il quadro conoscitivo e metodologico delineato da Casagli *et al.* (2026c), con particolare riguardo alla caratterizzazione dei versanti interessati dai fenomeni franosi, all'adozione dello schema di suddivisione in ambiti di intervento, alla definizione di tali ambiti e all'attribuzione dei relativi livelli di priorità.

I documenti recepiscono inoltre le più recenti evidenze strumentali e le interpretazioni relative all'evoluzione dei dissesti riportate nei successivi rapporti.

Prima della loro finalizzazione, il CPC-UNIFI ha esaminato le bozze di ciascun DOCFAP e ha trasmesso a INGEO osservazioni scritte di dettaglio, distinguendo le questioni di merito dalle potenziali ambiguità presenti nei documenti.

Nel complesso, il CPC-UNIFI ha svolto una funzione di verifica tecnico-scientifica, volta ad accertare la coerenza delle scelte progettuali con il quadro geologico e con l'evoluzione dei fenomeni franosi. L'attività di revisione ha inoltre contribuito a rendere più trasparenti le stime economiche e i criteri di confronto tra le diverse alternative, nonché a consolidare l'impostazione adattiva e osservazionale degli interventi.

Le versioni definitive dei DOCFAP hanno recepito la maggior parte delle osservazioni formulate.

In particolare, per il DOCFAP relativo agli interventi sul torrente Benefizio, l'indicazione di movimenti significativi persistenti sul corpo della Frana Sud (acquisita mediante interferometria radar satellitare) ha avuto un ruolo primario per:

- la definizione della tipologia e della priorità degli interventi, contribuendo a far abbandonare l'ipotesi iniziale di un ripristino condizionato della SP10 con opere di efficacia solo locale;
- l'individuazione di soluzioni più strutturate (briglie ad arco fondate su pali di grande diametro) e integrate con opere al piede lungo l'alveo, motivando lo stretto legame tra la regimazione idraulica del torrente, la stabilizzazione delle sue sponde e la stabilizzazione complessiva della Frana Sud.

Per il DOCFAP relativo agli interventi sulla Frana Sud, le osservazioni hanno riguardato soprattutto la completezza e la trasparenza della parte economica, oltreché il confronto tra le alternative progettuali. I punti principali recepiti sono:

- motivazione esplicita dell'aumento dei costi rispetto a quanto ipotizzato da Casagli *et al.* (2026c), richiamando l'evoluzione del movimento e i nuovi punti critici emersi lungo la SP10;
- adeguamento del piano di indagini per l'alternativa 2A;
- inserimento di voci relative agli espropri e trattazione del destino della vecchia SP10;
- motivazione esplicita della riduzione dei costi per gli interventi FS.3 e FS.4, in parte assorbiti dagli interventi sulla sponda sinistra del Benefizio;
- inserimento di una matrice multicriterio pesata, dalla quale l'alternativa 2A emerge come soluzione ottimale in termini di rischio residuo, ma subordinata a costi e tempi.

Per il DOCFAP della Frana Centrale, le osservazioni sono state incentrate su aspetti relativi alla sicurezza delle gallerie drenanti, all'evoluzione della frana, alla circolazione idrica sotterranea e al monitoraggio. Nello specifico:

- si è suggerito di non quantificare la distanza delle gallerie drenanti dal coronamento della frana per l'alternativa 1, rinviando tale decisione alle eventuali fasi progettuali successive, le quali dovranno tenere adeguatamente conto dell'ulteriore evoluzione del dissesto e dei nuovi dati di monitoraggio;

- sono stati inseriti chiarimenti concettuali relativi alla configurazione dei dreni, esplicitando che la loro lunghezza e il loro assetto finale saranno tarati sullo spessore saturo riscontrato e sulla possibile interazione con gli edifici e i sottoservizi soprastanti;
- è stato chiarito che i due pozzi scavati nel Graben assumeranno anche le funzioni di emungimento inizialmente previste per l'intervento FC.3;
- è stato aggiunto un richiamo al sistema di monitoraggio previsto da Casagli *et al.* (2026c), il quale dovrà essere esplicitato nel progetto di fattibilità tecnico-economica e nel quadro economico;
- si è evidenziato che la stabilizzazione della scarpata nei pressi del plesso scolastico San Giuseppe (alternativa 1) è da considerarsi parte dei lavori delle gallerie;
- si è espressa la necessità di uno stretto coordinamento con gli interventi su fognatura e acquedotto.

Per quanto riguarda il DOCFAP relativo alla Frana Nord, sono tuttora in corso interlocuzioni tecniche tra CPC-UNIFI e INGEO, finalizzate alla definizione delle strategie progettuali più opportune, anche alla luce del quadro evolutivo del dissesto delineato dalle più recenti risultanze del monitoraggio.

9 Conclusioni

Il presente rapporto aggiorna il quadro dei fenomeni di instabilità gravitativa nel territorio di Niscemi mediante l'analisi integrata dei più recenti dati interferometrici radar satellitari Sentinel-1 e COSMO-SkyMed, delle misure GNSS, dei rilievi topografici e delle evidenze raccolte *in situ*.

Nel complesso, la maggior parte del centro abitato non presenta deformazioni significative rilevabili mediante le tecniche impiegate. Le principali anomalie si concentrano nel settore di via Gorizia-SP10 e nell'area compresa tra il plesso scolastico San Giuseppe e via Ustica. Ulteriori elementi di attenzione interessano il tratto meridionale della SP10 e la cosiddetta area di "possibile espansione" della Frana Sud.

Nel settore di via Gorizia-SP10, i dati acquisiti in geometria discendente evidenziano spostamenti post-evento dell'ordine di 1-2 cm, compatibili con un movimento di versante di entità contenuta e caratterizzati, nelle acquisizioni più recenti, da una tendenza al rallentamento. Tenuto conto della possibile incidenza dei disturbi atmosferici e del rumore residuo, la persistenza e l'effettiva natura del segnale dovranno essere verificate mediante le acquisizioni successive e specifici controlli *in situ*.

Il settore del plesso scolastico San Giuseppe e di via Ustica rappresenta l'area di maggiore attenzione. I dati interferometrici in geometria discendente confermano spostamenti di entità centimetrica all'interno della fascia di interdizione. Sebbene le serie Sentinel-1 indichino una tendenza alla stabilizzazione, meno chiaramente riconoscibile nei dati COSMO-SkyMed, le misure della stazione GNSS NSGP e i rilievi topografici documentano una rinnovata accentuazione del movimento nella seconda metà di settembre 2026. La stazione NSGP registra infatti uno spostamento verso sud fino a circa 5 cm e un abbassamento di quota fino a circa 4 cm, mentre il confronto tra i rilievi topografici di luglio e settembre evidenzia un ribassamento di circa 20 cm nella porzione di versante situata a valle della fessura.

La non completa corrispondenza tra le diverse tecniche di monitoraggio è riconducibile alla differente copertura temporale delle acquisizioni, alla distribuzione dei punti di misura interferometrici, localizzati prevalentemente sulle strutture poste a monte della fessura, e alla diversa risoluzione spaziale dei dati. Le evidenze disponibili risultano comunque compatibili con una riattivazione localizzata della Frana Centrale, potenzialmente associata al coinvolgimento di superfici di scivolamento profonde.

In prossimità della nicchia di arretramento antistante il plesso scolastico è stata inoltre accertata la presenza dei recapiti di una condotta per acque reflue e di una condotta per acque bianche. Tale circostanza, unitamente alle informazioni fornite dall'ente gestore Caltaqua, suggerisce una possibile relazione tra gli apporti idrici di origine antropica, l'incremento delle pressioni interstiziali e la riattivazione di meccanismi franosi profondi. Assume pertanto carattere prioritario l'adozione di misure volte a ridurre o eliminare tali apporti.

Nel settore meridionale della SP10 sono state rilevate fessurazioni a monte della sede stradale e modeste deformazioni dei tratti precedentemente regolarizzati. I dati interferometrici in geometria discendente, pur condizionati dalla minore densità dei punti di misura e dalla maggiore incertezza delle serie temporali, evidenziano una tendenza all'allontanamento dal sensore compatibile con un movimento di versante. Il confronto dei dati topografici e ortofotografici non mostra tuttavia variazioni apprezzabili nel numero o nell'estensione delle fessurazioni rispetto al quadro successivo agli eventi di gennaio.

Sulla base degli elementi attualmente disponibili, non emergono condizioni che richiedano nell'immediato una revisione della fascia di interdizione vigente. Le deformazioni rilevate presso il plesso scolastico San Giuseppe e via Ustica ricadono interamente al suo interno; le anomalie di via Gorizia-SP10, pur estendendosi parzialmente al di fuori della fascia, sono di entità contenuta e in rallentamento. Per la Frana Sud, si ritiene opportuno mantenere evacuata precauzionalmente la cosiddetta "area di possibile espansione".

Le valutazioni relative all'intero fenomeno franoso saranno riesaminate nei successivi aggiornamenti alla luce dei nuovi dati di monitoraggio e delle evidenze sul terreno, sulla cui base potrà essere proposta una revisione della perimetrazione delle aree in frana e della relativa fascia di interdizione a monte.

Si confermano pertanto le seguenti priorità operative:

- mantenere in efficienza le opere provvisionali realizzate presso il plesso scolastico San Giuseppe e assicurare la gestione controllata del ruscellamento superficiale;
- intervenire sui recapiti delle reti fognaria e delle acque bianche che interessano il settore di scarpata;
- dare priorità all'installazione di strumentazione in foro per il monitoraggio delle pressioni interstiziali e degli spostamenti profondi nell'area compresa tra S. Giuseppe e via Ustica, se possibile integrandola con ulteriori sensori GNSS nei settori maggiormente deformati;
- acquisire e integrare nel quadro conoscitivo i risultati delle perforazioni geognostiche eseguite dal DRPC presso la SP11 e verificare la possibilità di recuperare i due fori di sondaggio individuati nell'area di San Giuseppe;
- proseguire il monitoraggio integrato satellitare, GNSS e topografico, affiancandolo con ispezioni periodiche *in situ* dei terreni, delle fessure e dei manufatti.

Sul piano gestionale, si conferma l'opportunità di predisporre, in collaborazione con la Fondazione CIMA e con il Comune di Niscemi, un piano speditivo per la gestione del rischio meteo-idrogeologico e idraulico. Nella fase iniziale, le azioni potranno essere attivate sulla base dei livelli di allertamento del Centro Funzionale regionale, dei dati pluviometrici disponibili e del presidio territoriale dei punti critici. L'eventuale introduzione di soglie operative specifiche dovrà essere valutata una volta acquisita una base informativa sufficientemente ampia e affidabile.

Il quadro delineato conferma infine la coerenza della strategia generale di mitigazione fondata sull'integrazione tra drenaggio profondo, regimazione delle acque superficiali, stabilizzazione dei versanti e monitoraggio. Le alternative definite nei DOCFAP relativi al torrente Benefizio, alla Frana Sud e alla Frana Centrale, nonché quelle in corso di definizione per la Frana Nord, dovranno essere progressivamente calibrate sulla base delle nuove informazioni geognostiche e dell'evoluzione documentata dal sistema di monitoraggio.

10 Bibliografia

Berardino P., Fornaro G., Lanari R., Sansosti E., 2002. *A New Algorithm for Surface Deformation Monitoring Based on Small Baseline Differential SAR Interferograms*. IEEE Trans Geosci Remote Sens, 40(11), 2375-2383.

Casagli N. *et al.* (2026a). *Le frane di Niscemi del gennaio 2026.* Rapporto n. 1 del 26/02/2026.

Casagli N. *et al.* (2026b). *Le frane di Niscemi del gennaio 2026.* Rapporto n. 2 del 09/03/2026.

Casagli N. *et al.* (2026c). *Le frane di Niscemi del gennaio 2026. Monitoraggio, verifica del rischio residuo e criteri di intervento per la riduzione del rischio*. Rapporto n. 3 del 20/04/2026.

Casagli N. *et al.* (2026d). Le *frane di Niscemi del gennaio 2026. Valutazione del rischio residuo nel centro abitato*. Rapporto di aggiornamento del 05/06/2026.

Casagli N. *et al.* (2026e). *Le frane di Niscemi del gennaio 2026. Aggiornamento della valutazione del rischio residuo nei pressi del plesso scolastico San Giuseppe a seguito dell'evento pluviometrico del 1° luglio 2026.* Rapporto di aggiornamento del 04/08/2026.

Casagli N. *et al.* (2026f). *Le frane di Niscemi del gennaio 2026. Monitoraggio delle deformazioni nel centro abitato e valutazione del rischio residuo nei pressi del plesso scolastico San Giuseppe e di via Ustica.* Rapporto di aggiornamento del 17/09/2026.

Castiglione A., Liguori V., Umiltà G., Villari L.C., 2000. *La frana di Niscemi del 12 ottobre 1997*. *Risultati delle indagini e delle misure, studio geologico e geotecnico, interpretazione del dissesto, criteri d'intervento*. Relazione della Commissione Tecnico Scientifica nominata con ordinanza n. 2703 del 29/10/97. 68 pp. + allegati.

Casu F., Elefante S., Imperatore P., Zinno I., Manunta M., De Luca C., Lanari R., 2014. *SBAS-DInSAR parallel processing for deformation time-series computation*. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 7(8), 3285-3296.

De Luca C., Casu F., Manunta M., Onorato G., Lanari R., 2022, July. *On the analysis of the DInSAR time series retrieved through the P-SBAS approach: a focus on possible bias*. In EUSAR 2022; 14th European Conference on Synthetic Aperture Radar, VDE, 1-4.

Lanari R., Bonano M., Casu F., De Luca C., Manunta M., Manzo M., Onorato G., Zinno I., 2020. *Automatic generation of Sentinel-1 continental scale DInSAR deformation time series through an extended P-SBAS processing pipeline in a cloud computing environment*. Remote Sensing, 12(18), 2961.

Manunta M., De Luca C., Zinno I., Casu F., Manzo M., Bonano M., Fusco A., Pepe A., Onorato G., Berardino P., De Martino P., 2019. *The Parallel SBAS Approach for Sentinel-1 Interferometric Wide Swath Deformation Time-Series Generation: Algorithm Description and Products Quality Assessment*. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 57(9), 6259-6281.