



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



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

Firenze, 4 agosto 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. Riccardo LANARI - lanari.r@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

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

Gruppo di lavoro CNR IREA

Manuela BONANO, Francesco CASU, Claudio DE LUCA, Michele MANUNTA, Giovanni ONORATO, Yenni ROA, Pasquale STRIANO, Ivana ZINNO

TAVOLA DEI CONTENUTI

1	INTRODUZIONE	4
2	EVENTI RECENTI ED EVIDENZE DI EVOLUZIONE DEL FENOMENO FRANOSO.....	6
2.1	EFFETTI GEOMORFOLOGICI RILEVATI <i>IN SITU</i> E INTERPRETAZIONE DEL DISSESTO	6
2.2	CAUSE DELL'EVOLUZIONE RECENTE: PRECIPITAZIONI E CONDIZIONI IDROLOGICHE	11
3	ANALISI DEI DATI RADAR SATELLITARI INTERFEROMETRICI E GNSS.....	16
3.1	SENTINEL-1 - ELABORAZIONE CON TECNICA SBAS.....	16
3.2	COSMO-SkyMed - ELABORAZIONE CON TECNICA SBAS.....	22
3.3	FOCUS DEI MOVIMENTI IN CORRISPONDENZA DEL PLESSO SCOLASTICO SAN GIUSEPPE	28
4	ANALISI DI RILIEVI TOPOGRAFICI	34
4.1	ARRETRAMENTO DELLA SCARPATA PRINCIPALE.....	34
4.2	ESTENSIONE DEL SETTORE SOGGETTO A RETROGRESSIONE	36
5	CONCLUSIONI	40
6	BIBLIOGRAFIA.....	42

1 Introduzione

Nel gennaio 2026 il territorio comunale di Niscemi, in provincia di Caltanissetta, è stato interessato da un fenomeno franoso complesso, articolatosi in due fasi principali di attivazione (15-16 e 25-26 gennaio), che ha coinvolto infrastrutture viarie e settori 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.

L'attività è stata finalizzata alla comprensione dei meccanismi e delle cause del fenomeno franoso, alla valutazione del rischio residuo e al supporto tecnico-scientifico alle autorità locali.

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.

I rapporti tecnici redatti dal CPC-UNIFI in data 26 febbraio, 9 marzo, 20 aprile e 5 giugno 2026 hanno progressivamente ricostruito l'evoluzione del dissesto, definito un modello interpretativo del meccanismo di movimento e fornito aggiornamenti derivanti dal sistema di monitoraggio integrato satellitare e GNSS.

Su tali basi tecniche, la fascia di interdizione nel centro abitato è stata più volte rimodulata: dai 150 m stabiliti in via cautelativa nell'immediatezza dell'evento (Ordinanza sindacale n. 12 del 28 gennaio 2026) ai 100 m definiti con l'Ordinanza sindacale n. 19 del 28 febbraio 2026, fino alla proposta di revoca del provvedimento di interdizione per cinque isolati del quartiere Sante Croci, formulata nel Rapporto del 5 giugno 2026 sulla base della sostanziale stabilità cinematica riscontrata in tale settore (Casagli *et al.*, 2026b).

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

Con nota prot. *DPC-DPC_Generale-P-NISC 26-0035152 del 28 luglio 2026*, il Commissario straordinario ha richiesto con urgenza il rapporto di valutazione del rischio residuo (WP 6, par. 2.6 dell'allegato tecnico al contratto prot. DPC n. 34235 del 22 luglio 2026) per il settore in cui ricade il plesso scolastico San Giuseppe, a seguito della segnalazione del Comune di Niscemi (prot. n. 34797 del 27 luglio 2026) relativa all'attivazione di nuove fessurazioni nell'area. Il presente rapporto risponde a tale richiesta.

Le indagini svolte dal CPC-UNIFI - in collaborazione con Fondazione CIMA e CNR-IREA, firmatari del presente rapporto, e con il supporto del DPC e del DRPC - hanno permesso di individuare due nuovi elementi geomorfologici meritevoli di approfondimento, entrambi ricadenti nel perimetro della cosiddetta Frana Centrale o nell'immediata prossimità dello stesso:

- il primo consiste in due linee di fessurazione del terreno rilevate in prossimità del plesso scolastico San Giuseppe, a monte della scarpata principale, formatesi antecedentemente al 12 giugno 2026 (data precisa non nota) ed evolutesi ulteriormente a seguito del nubifragio che si è abbattuto sull'abitato in data 1° luglio 2026;
- il secondo consiste nell'arretramento repentino e in massa, in un periodo compreso fra il 24-28 luglio 2026, di una cospicua porzione di scarpata all'altezza di Via Ustica, accompagnato da lesioni strutturali su alcuni fabbricati limitrofi.

Benché rilevate in settori distinti, le evidenze sopra descritte sono con ogni probabilità riconducibili a una riattivazione profonda e localizzata del corpo di frana, caratterizzata da tendenza alla retrogressione del coronamento e da una risposta differita dei movimenti alle precipitazioni.

Il presente rapporto ha lo scopo di aggiornare il quadro conoscitivo relativo a tali fenomeni, fornendo gli elementi tecnico-scientifici necessari per valutarne le implicazioni sulla vigente fascia di interdizione.

L'aggiornamento si inserisce pertanto in un approccio di gestione adattiva del rischio residuo, già adottato in precedenza, fondato sul progressivo affinamento delle conoscenze disponibili e sulla conseguente modulazione delle misure di salvaguardia in funzione dell'evoluzione del dissesto.

2 Eventi recenti ed evidenze di evoluzione del fenomeno franoso

2.1 Effetti geomorfologici rilevati *in situ* e interpretazione del dissesto

Nel periodo intercorso dall'ultimo rapporto di aggiornamento (5 giugno 2026 - Casagli *et al.*, 2026b), le attività di monitoraggio e i sopralluoghi periodici nel centro abitato di Niscemi - svolti da personale tecnico dei centri di competenza, del Dipartimento della Protezione Civile nazionale (DPC) e di quello della Regione Siciliana (DRPC) - hanno permesso di individuare nuovi elementi geomorfologici, consistenti in fratture con estensione di alcune decine di metri in due località adiacenti, che hanno reso necessari ulteriori approfondimenti sia strumentali che interpretativi.

I due settori (Figura 1) sono localizzati a monte della scarpata della Frana Centrale, a breve distanza l'uno dall'altro: il primo, già oggetto di valutazione approfondita nei precedenti rapporti, corrisponde al plesso scolastico San Giuseppe e il secondo, poco più a est, è la zona di via Ustica.



Figura 1 - Inquadramento dell'area di studio con ubicazione dei due settori in esame: il settore del plesso scolastico San Giuseppe e il settore di via Ustica; b) ubicazione delle due località oggetto di analisi e fascia di interdizione vigente (campitura rossa); c) ubicazione delle fessure e scarpate di neo-formazione (linee rosse).

In entrambi i settori le evidenze morfologiche risultano coerenti con il modello interpretativo della Frana Centrale già proposto nei rapporti precedenti. Quest'ultima è stata ricondotta a uno **scivolamento composto** (*compound slide*), la cui superficie di scorrimento, di tipo listrico, raccorda una scarpata sub-verticale con una porzione basale debolmente inclinata.

La mobilitazione di questo tipo di frane è associata allo sviluppo, nella porzione posteriore della massa instabile, di superfici di taglio interne, spesso di neoformazione, che si manifestano come nette scarpate in contropendenza, dando luogo alla formazione della tipica struttura a *Grabén*.

Al verificarsi di determinate condizioni idro-geomorfologiche, questa tipologia di dissesto evolve tipicamente in modo retrogressivo, ossia con arretramento della scarpata verso monte, quindi in direzione del centro abitato.

Nel settore del plesso scolastico San Giuseppe, immediatamente a valle dell'edificio e a monte del ciglio della scarpata principale, sono state rilevate due linee principali di fessurazione nel terreno, orientate all'incirca parallelamente alla scarpata stessa, che si sviluppano per alcune decine di metri nell'area vegetata antistante il campo sportivo della scuola e poco più a est rispetto a quest'ultimo (Figura 2).

La fessura antistante il campo sportivo presenta in alcuni punti un rigetto significativo e in generale è caratterizzata da una maggiore continuità e apertura. Essa si imposta su un gradino morfologico che potrebbe corrispondere a una scarpata relitta a monte dell'attuale scarpata principale.

La prima osservazione della discontinuità risale al 15 giugno 2026, tre giorni dopo l'incendio che - come segnalato dai tecnici locali e dai funzionari del DPC - ha percorso il versante il 12 giugno, asportandone la copertura erbacea.

È pertanto plausibile che la frattura fosse già presente, almeno in forma incipiente, ma che risultasse mascherata dalla vegetazione, non venendo così identificata dai rilievi di aprile-maggio 2026, e che sia divenuta evidente solo a seguito dell'incendio. È altresì stata notata una sua ulteriore evoluzione a seguito delle forti piogge verificatesi in data 1° luglio 2026.



Figura 2 - Ubicazione e traccia della fessura antistante il plesso scolastico San Giuseppe (tratteggio rosso); (a) ortofoto da drone di luglio 2026; e (b) modello digitale del terreno generato mediante rilievo drone di gennaio 2026.

La posizione arretrata della fessura rispetto al ciglio della scarpata e la componente di ribassamento verticale rilevata al suo interno sono coerenti con il meccanismo di scivolamento composto della Frana Centrale; la fessura è quindi compatibile con l'affioramento di una superficie di taglio interna e con la tendenza alla retrogressione verso monte propria di questa tipologia di dissesto.

Un sopralluogo di dettaglio condotto il 23 luglio 2026 dal personale tecnico presente *in situ* ha permesso di documentare fotograficamente l'apertura della fessura (Figura 3) e di eseguirne una misura in quattro punti lungo il suo sviluppo prendendo a riferimento altrettante coppie di capisaldi appositamente installati (Figura 4). Il valore massimo di apertura, dell'ordine di poco più di una decina di centimetri, è stato riscontrato nel secondo punto di misura, nel quale è stato anche rilevato un dislivello verticale di circa 27 cm tra i due margini della fessura. Questo valore risulta coerente con la stima visiva ottenuta dai tecnici in campo, secondo cui il blocco a valle risulterebbe ribassato di circa 25-30 cm rispetto al settore prossimo al campo sportivo, compatibilmente con l'attivazione della superficie di taglio interna sopra descritta.



Figura 3 - Fessura rilevata a luglio 2026 nel terreno in prossimità del plesso scolastico San Giuseppe: (a) tratto in cui la discontinuità attraversa la pavimentazione del campo sportivo (foto fornita da DPC, luglio 2026); (b) dettaglio della fessura nel terreno naturale (foto CIMA, luglio 2026), la cui localizzazione è indicata con una freccia bianca nel pannello (c); (c) vista aerea del settore a gennaio 2026 (rilievo del Comune) con l'ubicazione della fessura manifestatasi nel mese di luglio (tratteggio rosso) rispetto al plesso scolastico e al campo sportivo; si osserva come essa si imponga in corrispondenza di un gradino morfologico retrostante l'attuale scarpata principale, che potrebbe pertanto rappresentare una precedente linea di scarpata.



Figura 4 - Ubicazione dei quattro capisaldi di misura a lettura manuale e relativi valori di distanza misurati il 23 luglio 2026 (valori in cm; H indica il dislivello verticale misurato al punto 2). Foto e dati forniti da DPC.

Oltre al settore del plesso scolastico, i rilievi più recenti hanno permesso di individuare un secondo settore di fratturazione attiva ubicato lungo via Ustica, già evidenziato nella Figura 1.

Nella Figura 5 sono riportate le evidenze geomorfologiche che si sono generate tra il 16 e il 28 luglio 2026 (indicate dalle frecce rosse) a seguito dell'arretramento del fronte di scarpata. In questo settore, successivamente all'ultimo rilievo topografico della Fondazione CIMA - effettuato nella settimana 20-24 luglio, che riportava ancora la posizione del fronte antecedente - ha avuto luogo una retrogressione repentina e in massa del coronamento della frana, fino a un massimo di circa 25 m (Figura 6).

Ciò indica che la maggior parte dello spostamento si è concentrata negli ultimissimi giorni del periodo considerato, verosimilmente fra il 24 e il 28 luglio, con una velocità sensibilmente superiore a quella registrata nei mesi precedenti in questo settore. La retrogressione ha dato luogo a una struttura a *Graben* incipiente, delimitata a monte da una netta scarpata in contropendenza, che costituisce un riscontro diretto del meccanismo di scivolamento composto descritto per la Frana Centrale.



Figura 5 - Confronto fotografico del fronte di scarpata all'altezza di via Ustica: (a) 16 luglio 2026; (b) 28 luglio 2026. Le frecce rosse evidenziano a scopo illustrativo alcuni punti omologhi nelle due foto. Foto fornite da DPC



Figura 6 - Settore di via Ustica: veduta del coronamento della frana, arretrato in modo repentino e in massa (fino a circa 25 m rispetto all'ultimo rilievo della Fondazione CIMA). È riconoscibile una struttura a *Graben* incipiente (foto del 29 luglio 2026). Foto fornita da DRPC.

Inoltre, a causa dell'arretramento del fronte di scarpata, sono state segnalate lesioni strutturali su alcuni fabbricati retrostanti (Figura 7), consistenti in fessurazioni subverticali in corrispondenza degli spigoli murari, riconducibili a cedimenti differenziali del terreno di fondazione. L'esatta ubicazione plano-altimetrica di tali edifici rispetto al fronte di frana è tuttora in corso di verifica; le lesioni osservate risultano comunque compatibili, per genesi e distribuzione, con la dinamica deformativa ipotizzata.



Figura 7 - Lesioni strutturali rilevate su edifici lungo via Ustica per cedimenti differenziali del terreno di fondazione. Foto fornita da DPC.

2.2 Cause dell'evoluzione recente: precipitazioni e condizioni idrologiche

L'insorgere delle evidenze geomorfologiche sopra descritte è verosimilmente correlabile agli eventi pluviometrici registrati nel periodo esaminato. L'analisi di questi si è basata su dati orari di pioggia cumulata delle stazioni DRPC di Niscemi e di Gela Priolo, integrati dai dati giornalieri della rete SIAS per la stazione di Gela e da un *dataset* giornaliero relativo a 49 stazioni della Sicilia centro-meridionale.

I dati di pioggia di Niscemi sono accessibili a partire dal 16 febbraio 2026, ossia successivamente alle due principali fasi di attivazione di gennaio 2026, che risultano pertanto documentate solo dalla stazione di Gela Priolo (Figura 8). Quest'ultima, nei ventisette giorni fra il 21 gennaio e il 16 febbraio 2026, ha registrato 145,1 mm, pari a circa la metà dell'intero cumulo del semestre, con massimi giornalieri di 25 mm il 29 gennaio e di 31,9 mm il 31 gennaio: la fase di attivazione di gennaio si è dunque collocata all'interno di un periodo di forte alimentazione meteorica, protrattosi per diverse settimane oltre le date di innesco.

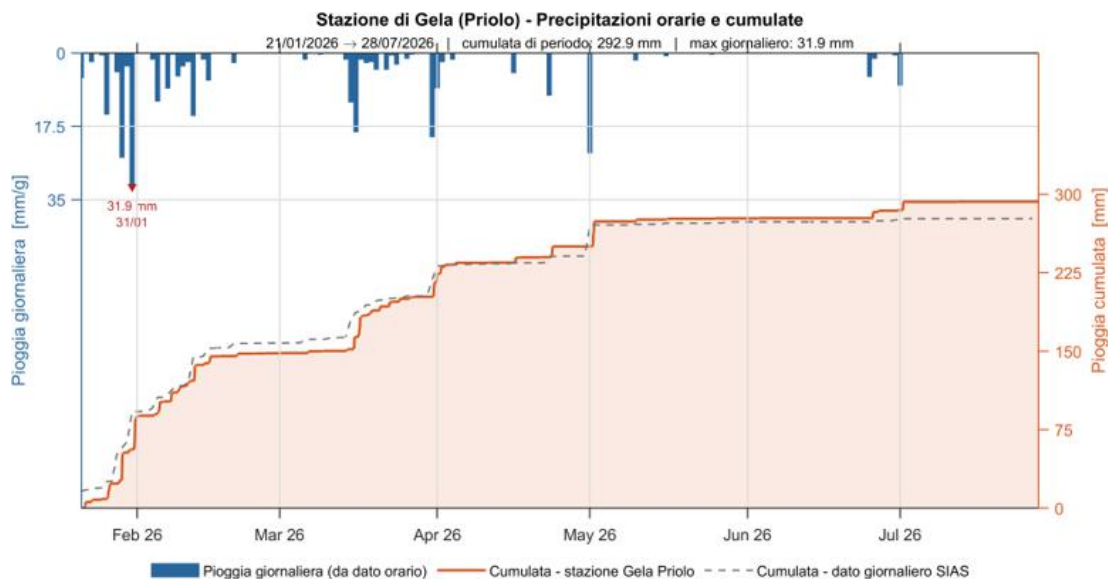


Figura 8 - Precipitazioni giornaliere e pioggia cumulata registrate dalla stazione DRPC di Gela Priolo nel periodo 21 gennaio - 28 luglio 2026. In tratteggio la cumulata ricostruita dal dato giornaliero della stazione SIAS di Gela.

Nel periodo 16 febbraio - 28 luglio 2026 la stazione di Niscemi ha registrato un cumulo complessivo di 169,5 mm (Figura 9), distribuito in modo fortemente disomogeneo secondo l'andamento stagionale atteso.

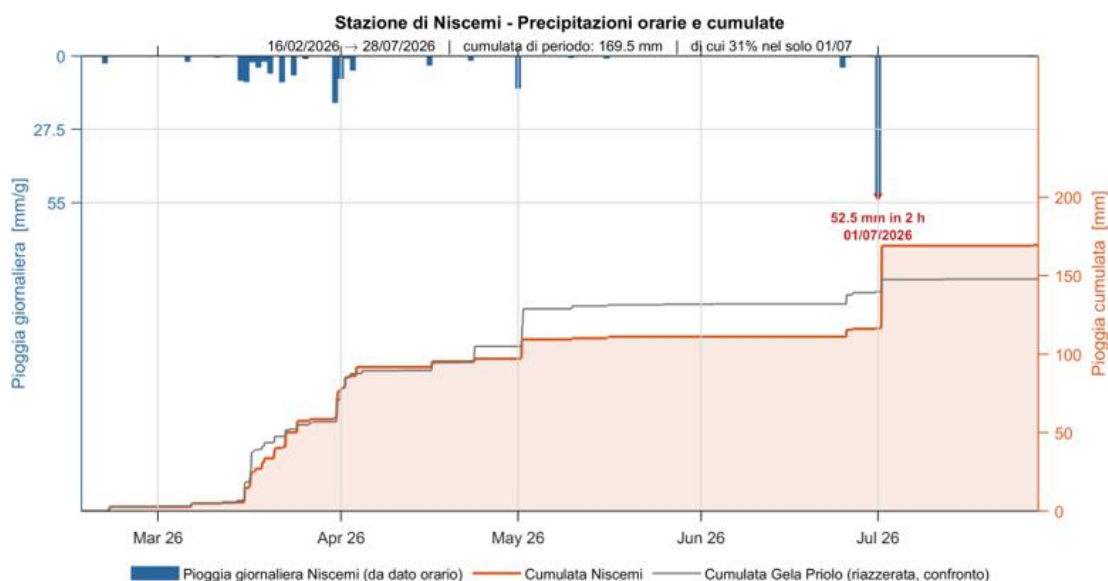


Figura 9 - Precipitazioni giornaliere e pioggia cumulata registrate dalla stazione DRPC di Niscemi nel periodo 16 febbraio - 28 luglio 2026. In grigio, la cumulata della stazione DRPC di Gela Priolo riazzerata alla stessa data di inizio.

Marzo è stato il mese più piovoso del periodo esaminato, con 73,9 mm ripartiti su numerosi eventi di modesta entità (massimo giornaliero 17,6 mm il 31 marzo), a cui fa seguito una progressiva riduzione degli apporti con 20,5 mm in aprile, 14,0 mm in maggio e 5,4 mm in giugno.

Il confronto diretto fra le cumulate delle due stazioni sul periodo comune restituisce un elemento di interesse: fino al 30 giugno 2026, Niscemi risulta costantemente meno piovosa di Gela Priolo, con uno scarto progressivo che raggiunge i 23,2 mm il giorno antecedente il nubifragio del 1° luglio 2026 e un coefficiente di correlazione medio fra i due cumulati pari a 0,84.

L'evento del 1° luglio ribalta totalmente tale rapporto, portando il bilancio finale a 169,5 mm contro 147,8 mm. I totali mensili (Figura 10) chiariscono la natura dell'inversione. Si possono notare, infatti, valori sostanzialmente coincidenti a marzo (73,9 e 74,0 mm), apporti sistematicamente inferiori a Niscemi fra aprile e giugno, e un mese di luglio che, con 52,9 mm contro 8,0 mm, è interamente prodotto dall'evento del 1° luglio.

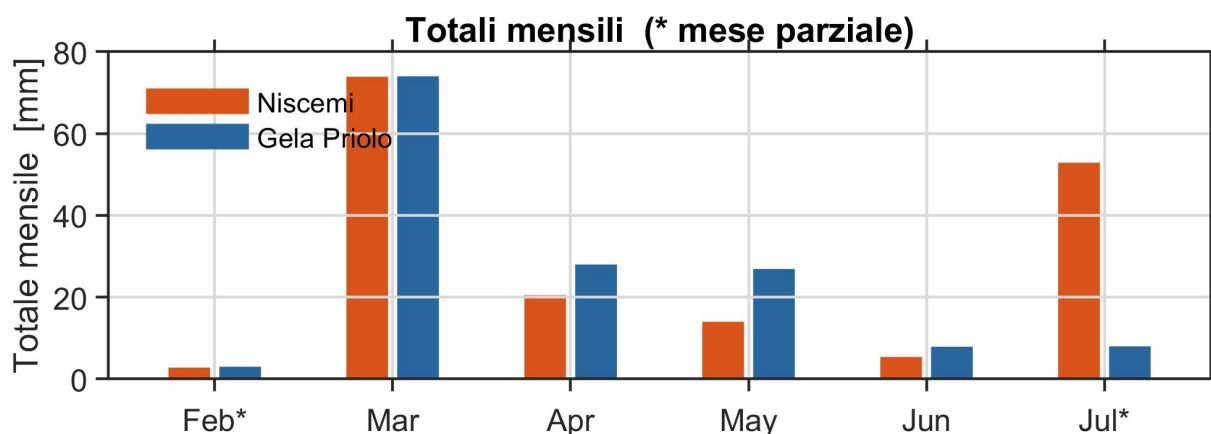


Figura 10 - Confronto fra le cumulate di pioggia delle stazioni di Niscemi e di Gela Priolo nel periodo 16 febbraio - 28 luglio 2026.

Il mese di giugno ha mostrato solo 5,4 mm complessivi a Niscemi, con ventisette giorni su 30 privi di precipitazione e un ultimo apporto significativo di 4,4 mm il 25 giugno. Nei trenta giorni antecedenti all'evento del 1° luglio, la pioggia cumulata ammonta pertanto a soli 5,4 mm. Questa condizione di elevata siccità, accentuata nel settore del plesso scolastico dall'incendio del 12 giugno 2026, non è trascurabile ai fini interpretativi.

Il nubifragio di natura convettiva del 1° luglio, caratterizzato da una marcata localizzazione spaziale, ha fatto registrare tra le ore 12:00 e le ore 14:00 UTC un cumulo di 52,5 mm, di cui 28,6 mm nella sola ora compresa fra le 13:00 e le 14:00 UTC alla stazione DRPC di Niscemi (Figura 11). L'intensità oraria massima risulta pertanto pari a 28,6 mm/h e l'evento si è esaurito quasi integralmente in due ore, senza piogge apprezzabili nelle ore successive. Il solo apporto del 1° luglio rappresenta il 31% dell'intero cumulo registrato dalla stazione nei cinque mesi e mezzo di osservazione.

Analizzando inoltre l'andamento della precipitazione registrata al pluviometro di Niscemi con scansione al minuto (Figura 12), emerge come lo scroscio temporalesco di maggiore intensità sia avvenuto tra le 12:52 UTC e le 13:12 UTC con una cumulata di precipitazione pari a circa 49,5 mm, quasi la totalità dell'evento.

La precipitazione osservata ha i seguenti tempi di ritorno stimati con la metodologia definita in Casagli *et al.* (2026a):

- $P = 52,5 \text{ mm}$, $d = 2 \text{ ore}$, $T = \text{circa } 11 \text{ anni}$;
- $P = 28,6 \text{ mm}$, $d = 1 \text{ ora}$, $T = \text{circa } 3 \text{ anni}$;
- $P = 49,5 \text{ mm}$, $d = 20 \text{ minuti}$, $T = \text{circa } 100 \text{ anni}$.

La localizzazione spaziale del fenomeno emerge dal confronto con le stazioni limitrofe. Nello stesso intervallo temporale la stazione di Gela Priolo, a circa 7 km di distanza, ha registrato 7,8 mm, mentre la stazione SIAS di Gela, a circa 8,7 km, non ha praticamente rilevato l'evento (1,4 mm sull'intera giornata).

Il quadro regionale è ancora più esplicito. Delle 31 stazioni predisposte alla restituzione del dato in forma oraria, 13 hanno registrato precipitazioni nulle e soltanto due hanno superato i 15 mm: Niscemi con 52,5 mm e Milena con 30,2 mm, quest'ultima a circa 69 km di distanza.

Nella Figura 13 e nella Figura 14 sono mostrate le mappe di precipitazione ottenute dalla fusione tra dati pluviometrici e radar, da cui emerge chiaramente la natura fortemente localizzata della cella convettiva, centrata sull'abitato di Niscemi.

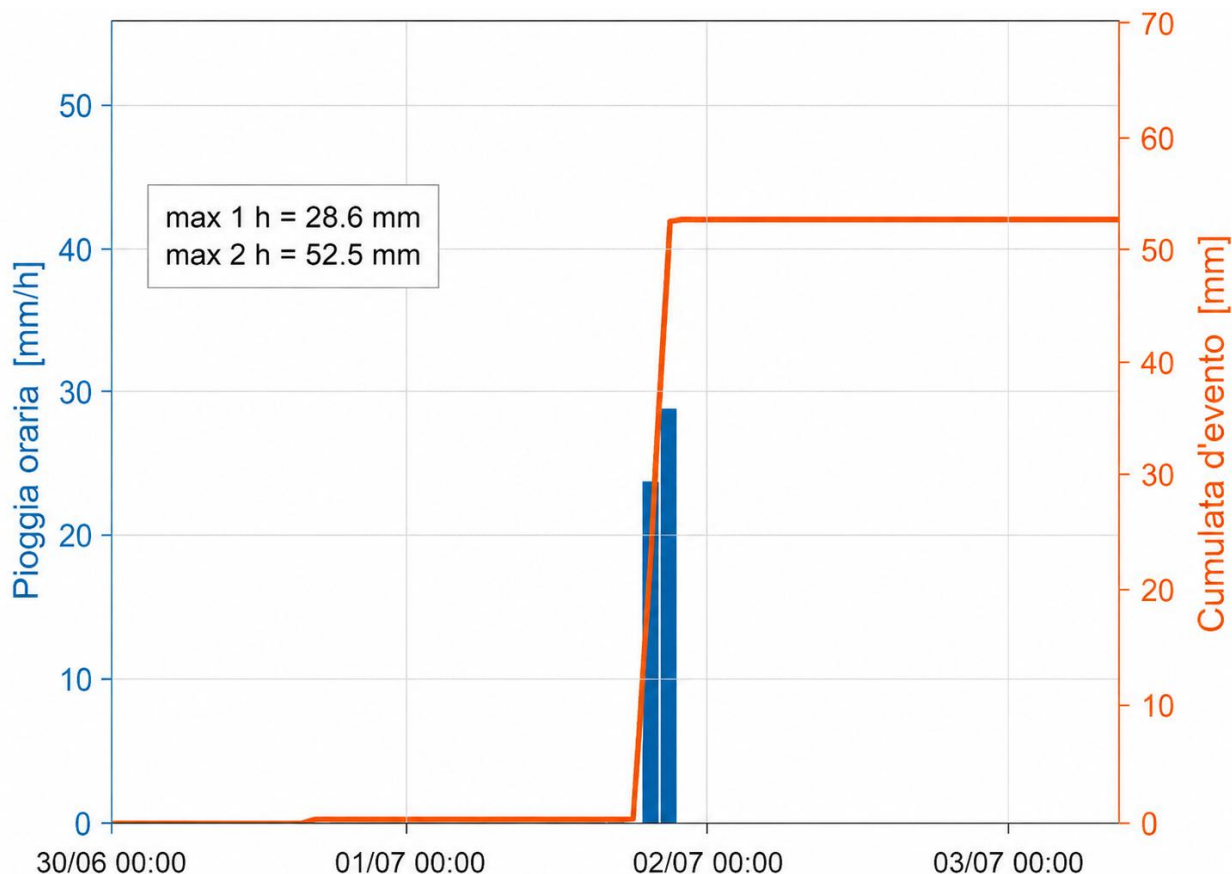


Figura 11 - Evento del 1° luglio 2026 (dettaglio orario) registrato dalla stazione DRPC di Niscemi.

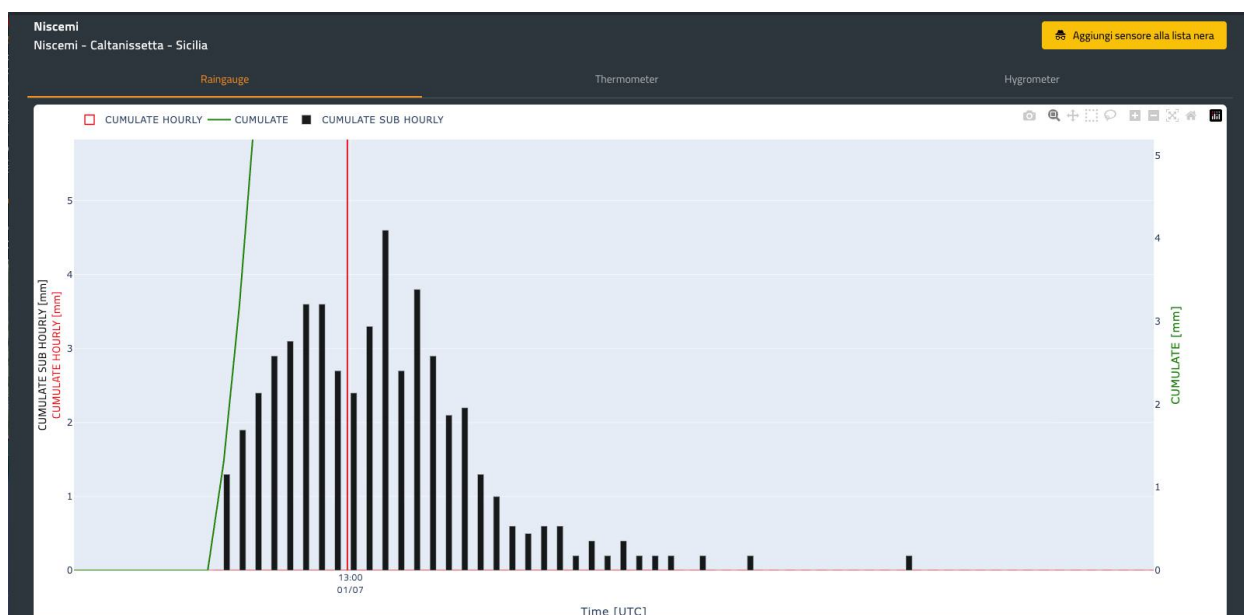


Figura 12 - Ietrogramma del pluviometro di Niscemi con scansione al minuto.

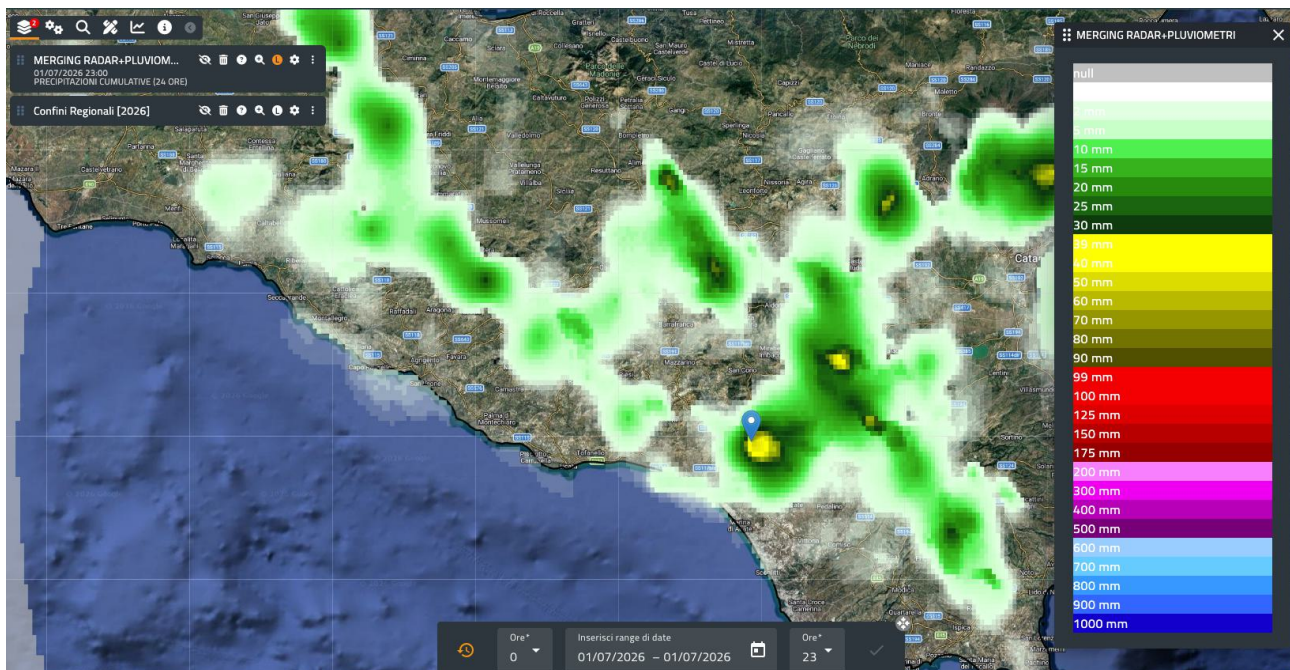


Figura 13 - Evento del 1° luglio 2026: mappa di precipitazione cumulata ottenuta dalla fusione di osservazioni pluviometriche e radar.

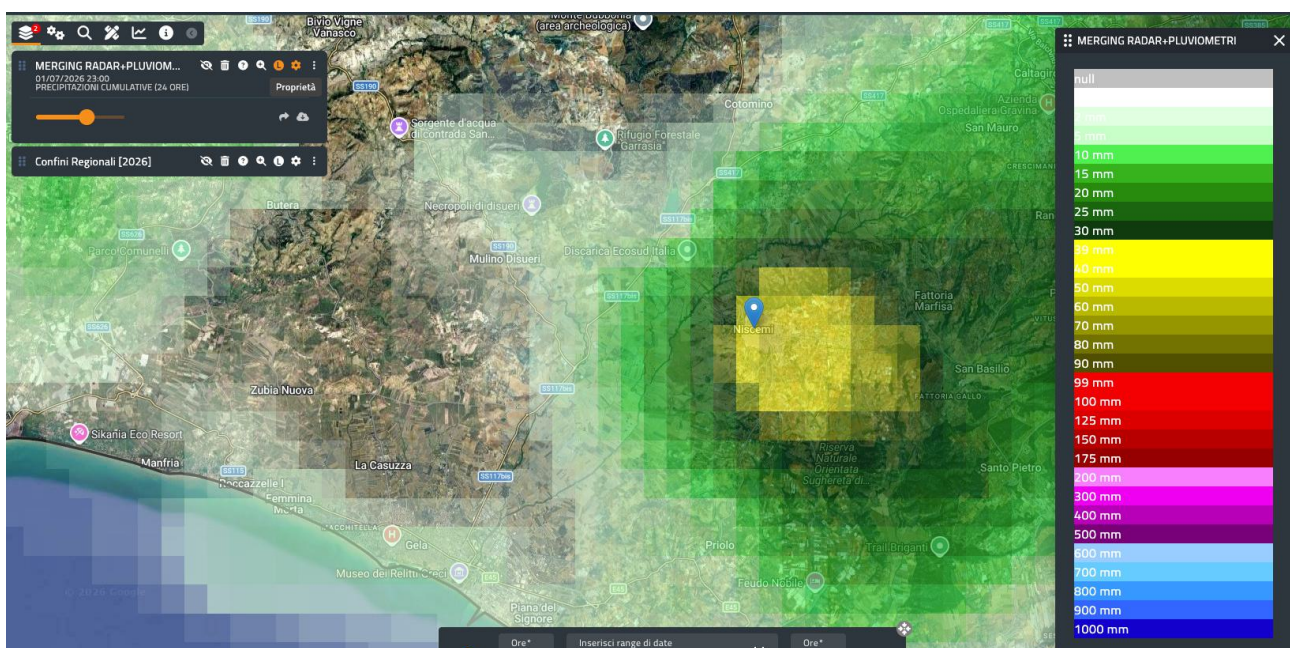


Figura 14 - Evento del 1° luglio 2026: mappa di precipitazione cumulata ottenuta dalla fusione di osservazioni pluviometriche e radar (zoom sulla municipalità di Niscemi).

La risposta idrologica all'evento è solo parzialmente documentata dai due piezometri attivi nell'abitato di Niscemi, denominati Niscemi-Sperlinga e Niscemi-Belvedere, situati nei rispettivi quartieri.

Per il medesimo intervallo 29 giugno - 27 luglio 2026, i due strumenti restituiscono comportamenti differenti:

- il piezometro di Sperlinga mostra un incremento repentino del livello piezometrico in corrispondenza del nubifragio del 1° luglio (Figura 15); nelle giornate precedenti, il livello si attestava sui valori minimi dell'intervallo osservato, intorno a 476-480 cm; dal pomeriggio del 1° luglio si registra una risalita di 16-20 cm, con massimi prossimi a 496 cm raggiunti in serata e mantenuti per l'intera giornata del 2 luglio, cui fa seguito un progressivo decremento; il livello permane ancora superiore a quello precedente all'evento del 1° luglio.

- il piezometro di Niscemi-Belvedere (Figura 16) restituisce, sullo stesso intervallo, una tendenza di decremento lineare da circa 565 a circa 511 cm, corrispondente a un tasso pressoché costante di circa 1,9 cm al giorno, senza alcuna risalita in corrispondenza del 1° luglio.



Figura 15 - Livello piezometrico registrato dal sensore di Niscemi-Sperlinga nel periodo 29 giugno - 27 luglio 2026. Il cerchio rosso evidenzia l'incremento di 16-20 cm corrispondente al nubifragio del 1° luglio 2026.

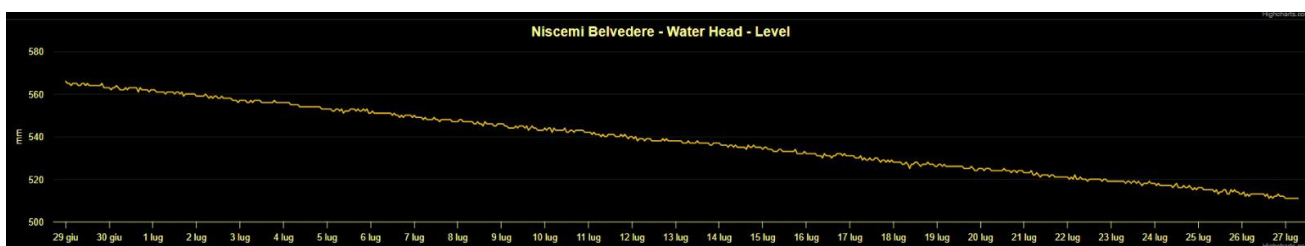


Figura 16 - Livello piezometrico registrato dal sensore di Niscemi-Belvedere nel periodo 29 giugno - 27 luglio 2026.

Come accennato in precedenza, tali misure piezometriche sono comunque da ritenersi scarsamente rappresentative: i sensori sono stati infatti installati nell'immediatezza dell'evento di gennaio 2026 attrezzando fori di sondaggio preesistenti, che presumibilmente non raggiungono profondità sufficienti a intercettare la superficie di scivolamento basale della frana; sono inoltre ubicati a una distanza considerevole dal plesso scolastico San Giuseppe.

Un'ispezione speditiva con termocamera condotta dalla Fondazione CIMA nell'immediato intorno della fessura principale (Figura 17) evidenzia un'anomalia potenzialmente riconducibile a una condizione di forte saturazione del terreno nel settore di scarpata antistante, apparentemente alimentata in parte da una condotta di scarico sotterranea. Il confronto tra l'immagine ottica e quella termografica consente di localizzare l'anomalia rispetto agli elementi del sito: nel riquadro evidenziato l'immagine termica mostra toni più freddi, corrispondenti a temperature superficiali più basse e quindi a una maggiore umidità del terreno.

Tale osservazione trova riscontro frequente lungo tutto il tratto di scarpata fra San Giuseppe e l'alveo del torrente Benefizio.

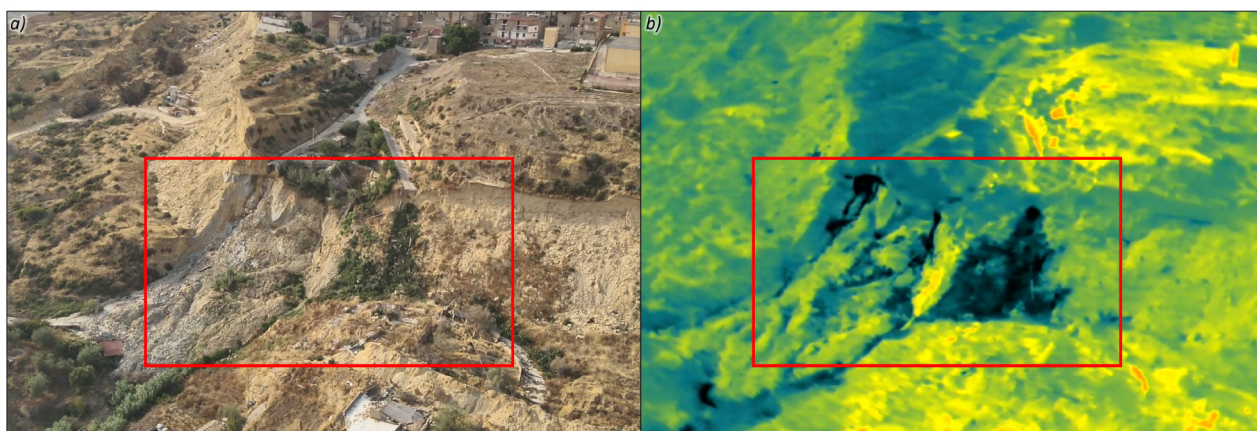


Figura 17 - Area in prossimità della fessura antistante il plesso scolastico San Giuseppe visualizzata attraverso: (a) immagine ottica e (b) immagine termografica. Nell'immagine termografica, i toni più freddi corrispondono alle porzioni di terreno a temperatura superficiale relativamente più bassa, riconducibili a una maggiore umidità/saturazione del terreno; il riquadro rosso evidenzia il settore con maggiore anomalia termica.

3 Analisi dei dati radar satellitari interferometrici e GNSS

L'analisi dei dati di monitoraggio ha interessato l'intero abitato di Niscemi, con approfondimento specifico nei due settori in cui sono stati individuati i nuovi elementi geomorfologici: il plesso scolastico San Giuseppe, a monte della scarpata principale della Frana Centrale, e via Ustica, nel settore orientale della medesima frana.

A tal fine è stata effettuata l'analisi multitemporale, focalizzata esclusivamente sullo scenario post-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 le prime acquisizioni post-evento (gennaio-febbraio 2026) e le ultime acquisizioni disponibili (luglio 2026). Il dettaglio sulle immagini utilizzate è riportato in Tabella 1.

Satellite	Banda	Geometria di acquisizione	Intervallo temporale
Sentinel-1	C	Ascendente	31/01/2026 - 25/07/2026
Sentinel-1	C	Discendente	07/02/2026 - 26/07/2026
COSMO-SkyMed	X	Ascendente	01/02/2026 - 11/07/2026
COSMO-SkyMed	X	Discendente	08/02/2026 - 18/07/2026

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

3.1 Sentinel-1 - elaborazione con tecnica SBAS

La Figura 18 illustra la mappa di spostamento, ottenuta dai dati interferometrici acquisiti dalla costellazione Sentinel-1 e processati tramite l'algoritmo SBAS, nell'intervallo temporale compreso tra il 31 gennaio e il 25 luglio 2026, per la geometria ascendente, nel settore nord di Niscemi. I punti di misura sono visualizzati in base allo spostamento registrato nel periodo coperto dalle acquisizioni, mediante la scala di colori graduati centrata sul valore zero di spostamento.

La finestra di stabilità è stata posta pari a $\pm 0,5$ 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.

In generale, tutta l'area nord di Niscemi, incluso l'abitato all'interno della fascia di interdizione, è caratterizzata da punti di misura (*Measurement Points* - MP) classificati in colore verde che presentano valori di spostamento all'interno della finestra di stabilità di $\pm 0,5$ cm.

Le serie temporali di spostamento analizzate (Figura 19) sono riferite all'intero intervallo di acquisizione disponibile (2 febbraio 2021 - 25 luglio 2026) e quindi comprensive delle fasi antecedenti e successive agli eventi di gennaio 2026. Il punto A evidenzia un comportamento cinematico caratterizzato da un'accelerazione, in avvicinamento al sensore, precedente agli eventi di gennaio 2026. Tale dinamica prosegue nella prima fase successiva all'evento, per poi mostrare una stabilizzazione nelle acquisizioni successive. I punti B e C mostrano una sostanziale stabilità per l'intera durata del periodo di osservazione. Il punto D mostra una variazione brusca 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, tale punto mostra una tendenza alla stabilizzazione e al progressivo assestamento.

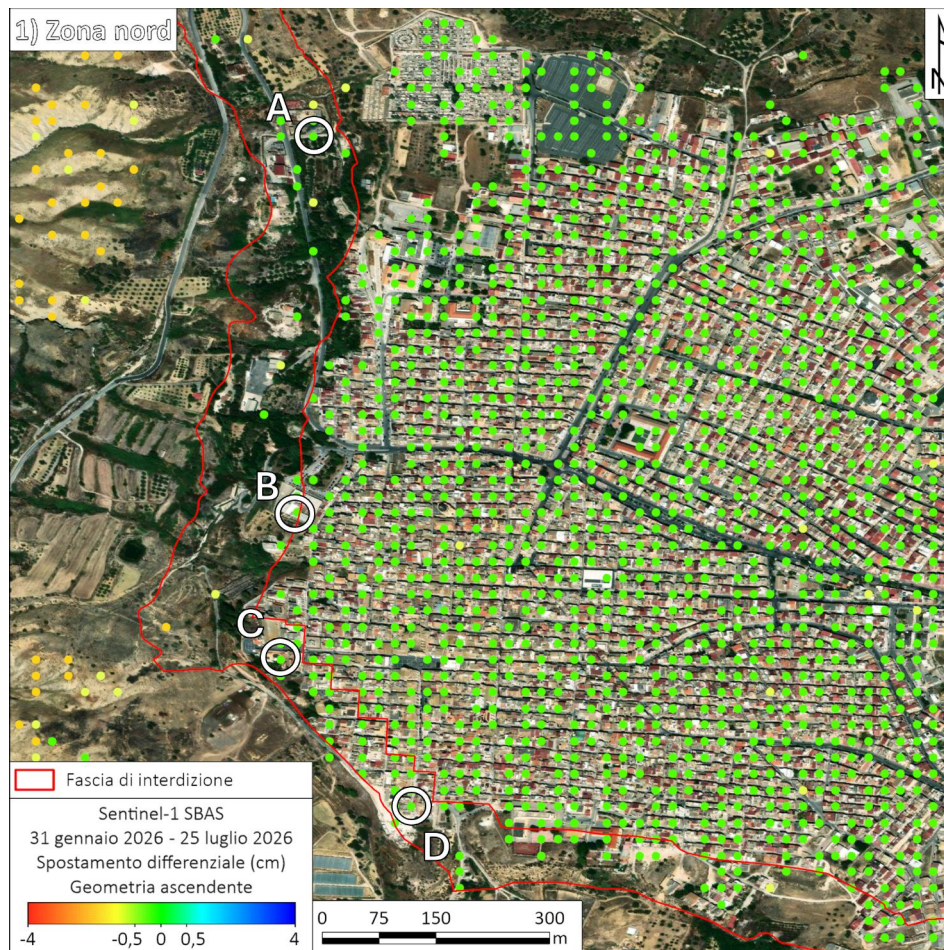


Figura 18 - Mappa degli spostamenti differenziali registrati dai dati Sentinel-1, elaborati con tecnica SBAS, nella zona nord in geometria ascendente nell'intervallo temporale 31 gennaio - 25 luglio 2026. In Figura 19 le serie temporali dei punti considerati. Le linee rosse indicano la fascia di interdizione vigente.

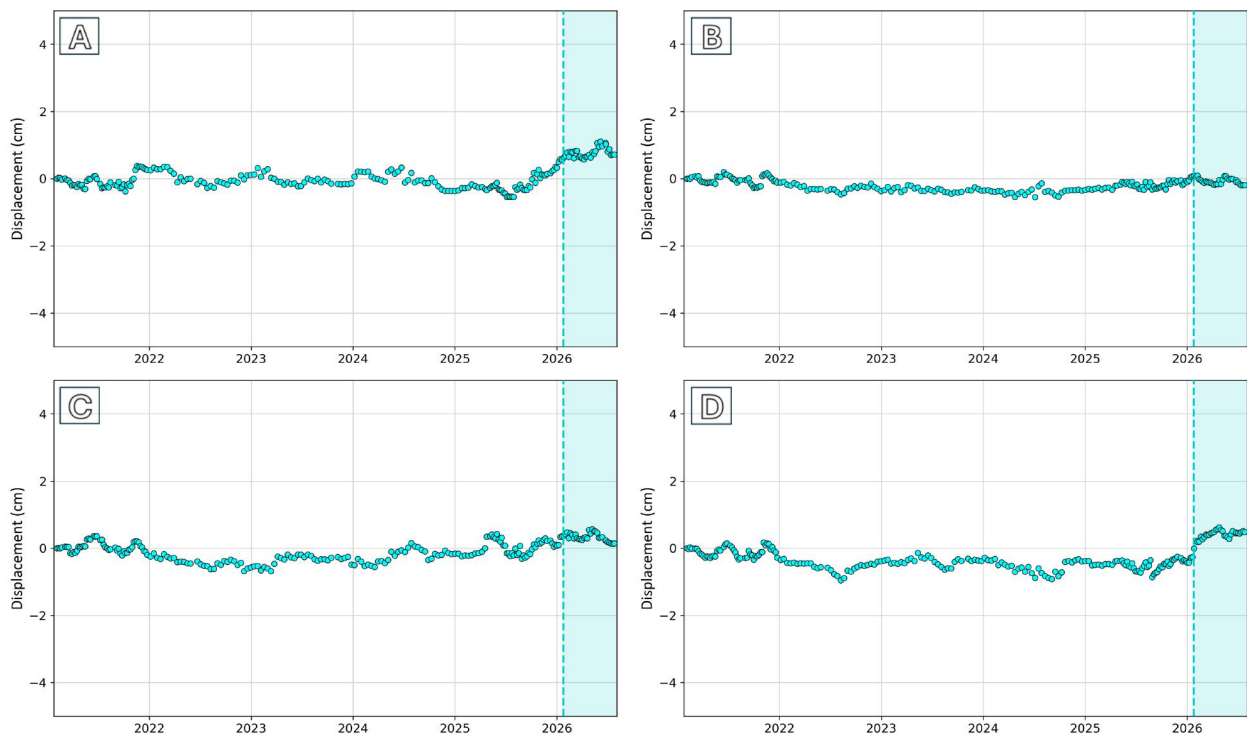


Figura 19 - Serie temporali dei punti evidenziati in Figura 18. L'area ombreggiata azzurra indica il periodo post-frana.

In maniera speculare, tutta l'area sud di Niscemi è caratterizzata da MP classificati in colore verde che presentano valori di spostamento all'interno della finestra di stabilità di $\pm 0,5$ cm (Figura 20).

Le serie temporali dei punti selezionati (Figura 21), situati all'interno della fascia di interdizione vigente, mostrano nella maggior parte dei casi una tendenza stazionaria nella fase di post-evento. Nello specifico, i punti E e G evidenziano un comportamento prevalentemente stazionario. Il punto F presenta un andamento in avvicinamento al sensore in corrispondenza degli eventi di gennaio, pur mostrando una stabilizzazione nelle ultime acquisizioni. Nel punto H, a seguito dell'evento di gennaio 2026, il segnale evidenzia un andamento in allontanamento dal sensore lungo tutta la fase post-evento.

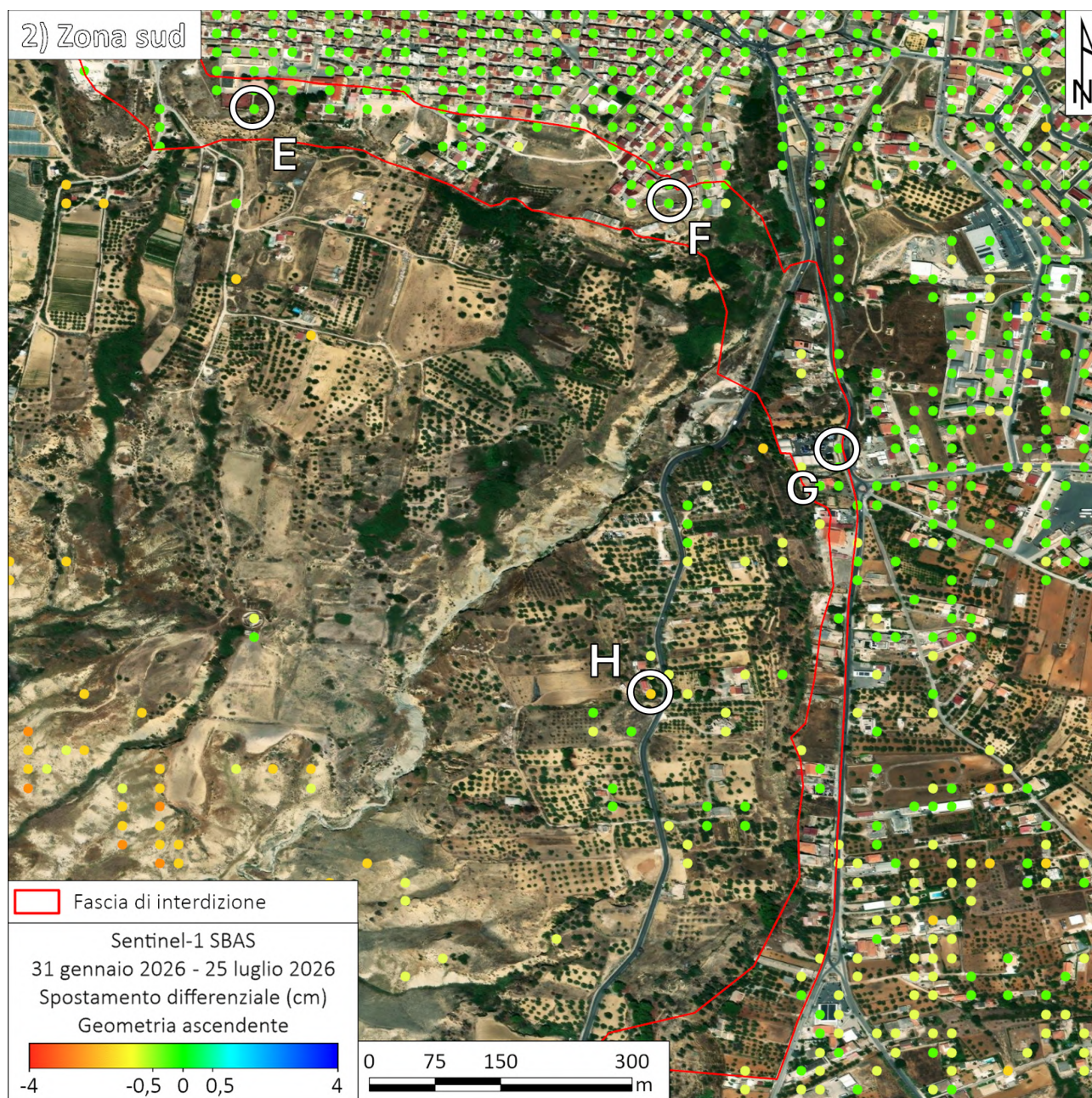


Figura 20 - Mappa degli spostamenti differenziali registrati dai dati Sentinel-1, elaborati con tecnica SBAS, nella zona sud in geometria ascendente nell'intervallo temporale 31 gennaio - 25 luglio 2026. In Figura 21 le serie temporali dei punti considerati. Le linee rosse indicano la fascia di interdizione vigente.

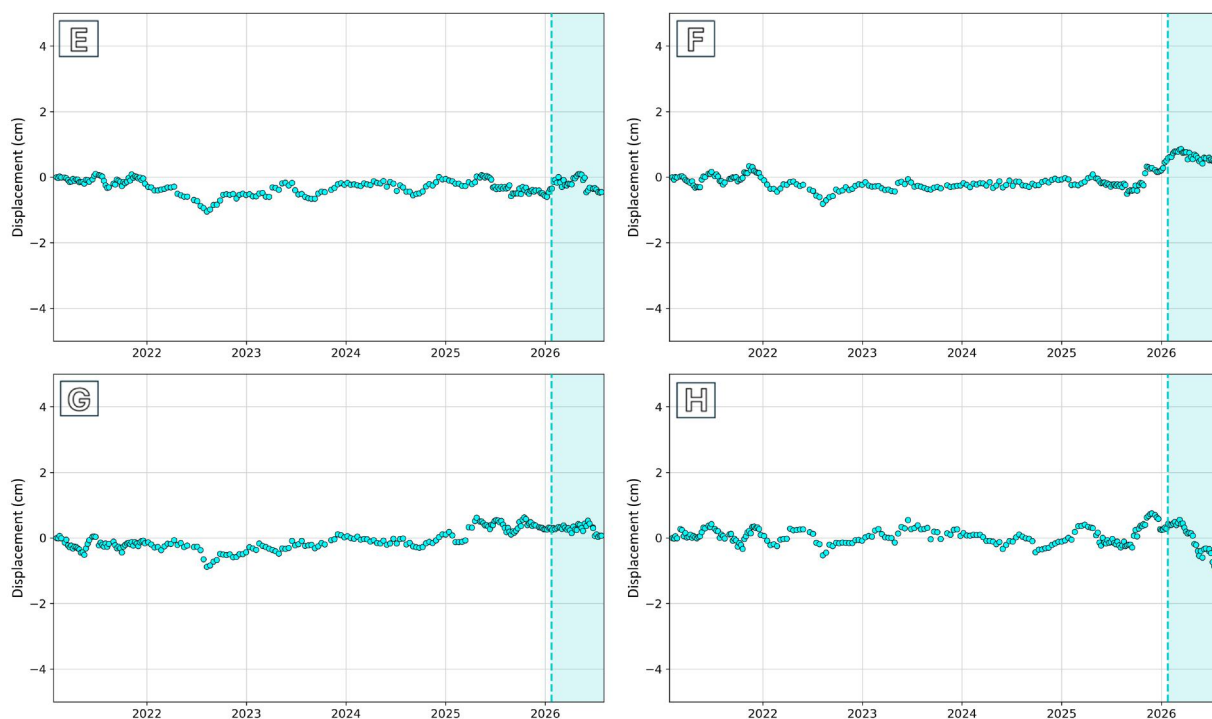


Figura 21 - Serie temporali dei punti evidenziati in Figura 20. L'area ombreggiata azzurra indica il periodo post-frana.

La Figura 22 illustra la mappa di spostamento, osservata dai dati interferometrici acquisiti dalla costellazione Sentinel-1 e processati tramite l'algoritmo SBAS, nell'intervallo temporale compreso tra il 7 febbraio e il 26 luglio 2026, per la geometria discendente, nel settore nord di Niscemi. I punti di misura sono visualizzati in base allo spostamento registrato nel periodo coperto dalle acquisizioni, mediante la scala di colori graduati centrata sul valore zero di spostamento.

La finestra di stabilità è stata posta pari a $\pm 0,5$ cm tenendo conto della precisione della tecnica interferometrica e della deviazione standard dell'intero *dataset*. Nel complesso, l'intera area nord di Niscemi è caratterizzata da MP classificati in colore verde, stabili entro tale soglia. Tuttavia, limitatamente al perimetro della fascia di interdizione, si osserva la presenza di alcuni *cluster* di punti classificati in colore giallo.

L'esame delle serie temporali di spostamento (Figura 23), riferite all'intero intervallo di acquisizione disponibile (3 febbraio 2021 - 26 luglio 2026) e quindi comprensive delle fasi antecedenti e successive agli eventi di gennaio 2026, mette in luce nel punto D una variazione netta del segnale interferometrico in corrispondenza dell'evento, interpretabile come discontinuità tra l'ultima acquisizione pre-frana e la prima post-frana. Inoltre, nel periodo post-evento, dopo una temporanea stabilizzazione, il punto evidenzia una ripresa della tendenza all'allontanamento nelle ultime acquisizioni.

In modo analogo, il punto A mostra una deformazione in allontanamento dal sensore, la cui attivazione precede leggermente l'evento di gennaio 2026 e prosegue nella prima fase post-evento; tuttavia, a differenza del punto D, le ultime acquisizioni evidenziano una tendenza alla stabilizzazione. Il punto B non mostra variazioni significative rispetto alla tendenza generale stazionaria, pur registrando un lieve allontanamento in corrispondenza degli eventi di gennaio 2026, seguito da una successiva stabilizzazione. Al contrario, il punto C non risente in alcun modo degli eventi di gennaio, mantenendo un andamento stabile, ma evidenzia una tendenza all'allontanamento nelle ultime acquisizioni della serie temporale.

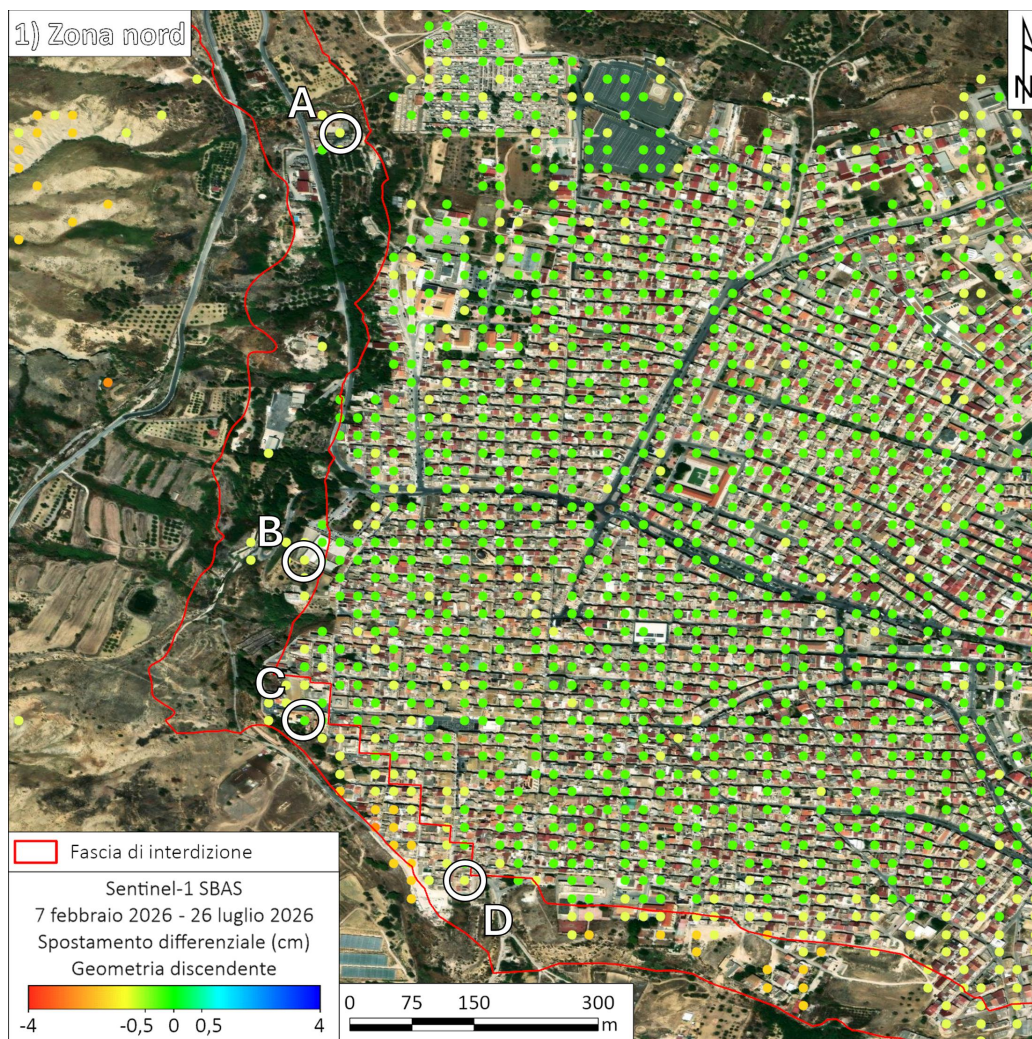


Figura 22 - Mappa degli spostamenti differenziali registrati dai dati Sentinel-1, elaborati con tecnica SBAS, nella zona nord in geometria discendente nell'intervallo temporale 7 febbraio - 26 luglio 2026. In Figura 23 le serie temporali dei punti considerati. Le linee rosse indicano la fascia di interdizione vigente.

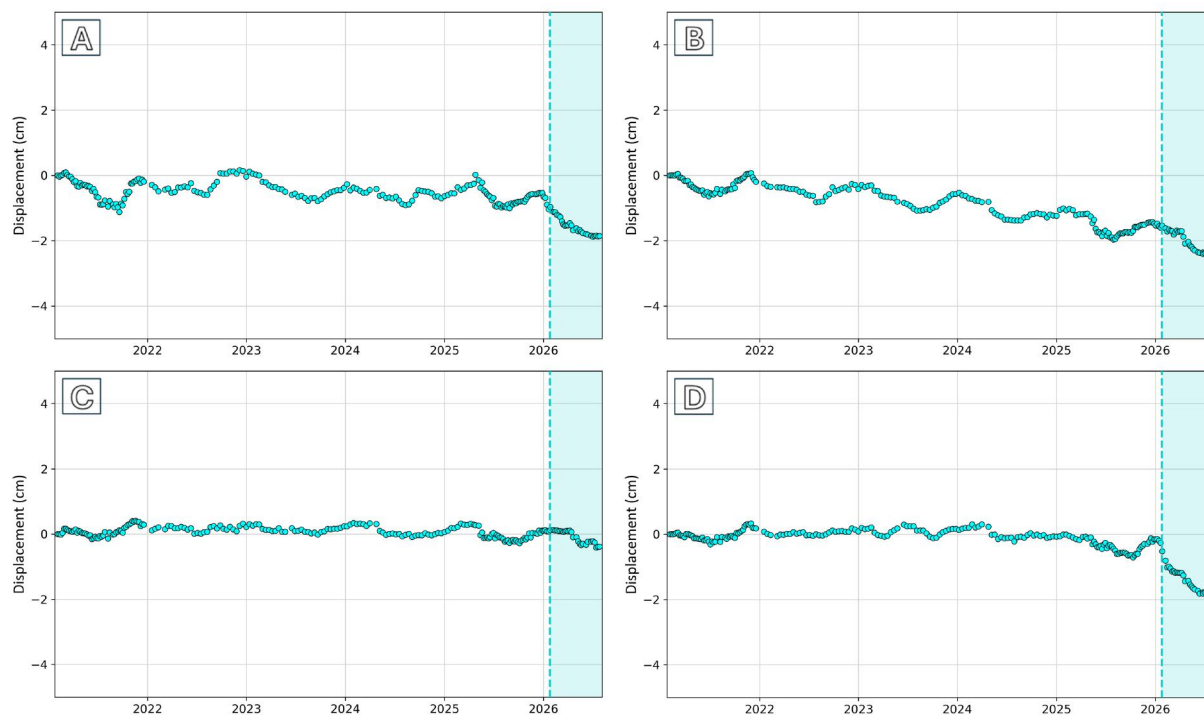


Figura 23 - Serie temporali dei punti evidenziati in Figura 22. L'area ombreggiata azzurra indica il periodo post-frana.

Analogamente, anche per il dato discendente, la quasi totalità dell'area sud di Niscemi è caratterizzata da MP classificati in colore verde che presentano valori di spostamento all'interno della finestra di stabilità di $\pm 0,5$ cm (Figura 24). Fanno eccezione alcune aree caratterizzate da MP classificati in colore giallo, che tuttavia sono limitati prevalentemente all'interno della fascia di interdizione o in corrispondenza del corpo di frana.

Le serie temporali dei punti selezionati (Figura 25), situati all'interno della fascia di interdizione, mostrano, nel caso dei punti E ed F, una brusca variazione del segnale in corrispondenza dell'evento. Per entrambi i punti, la fase post-evento mostra una decisa tendenza all'allontanamento dal sensore, particolarmente accentuata nel punto E, dove lo spostamento cumulato raggiunge circa -3,5 cm. Nelle acquisizioni successive si registra un'attenuazione di tali tendenze, indicativa di una possibile stabilizzazione.

Per il punto E, tuttavia, dopo questa fase di rallentamento, le ultime acquisizioni evidenziano una nuova accelerazione in allontanamento dal sensore. Il punto H risente dell'evento in modo molto più contenuto, mostrando un lieve salto negativo a gennaio 2026 seguito da una stabilizzazione nella fase post-evento. Infine, il punto G evidenzia un andamento sostanzialmente stabile, senza subire variazioni significative riconducibili agli eventi, seppur evidenziando una lieve tendenza in allontanamento nella fase post-evento.

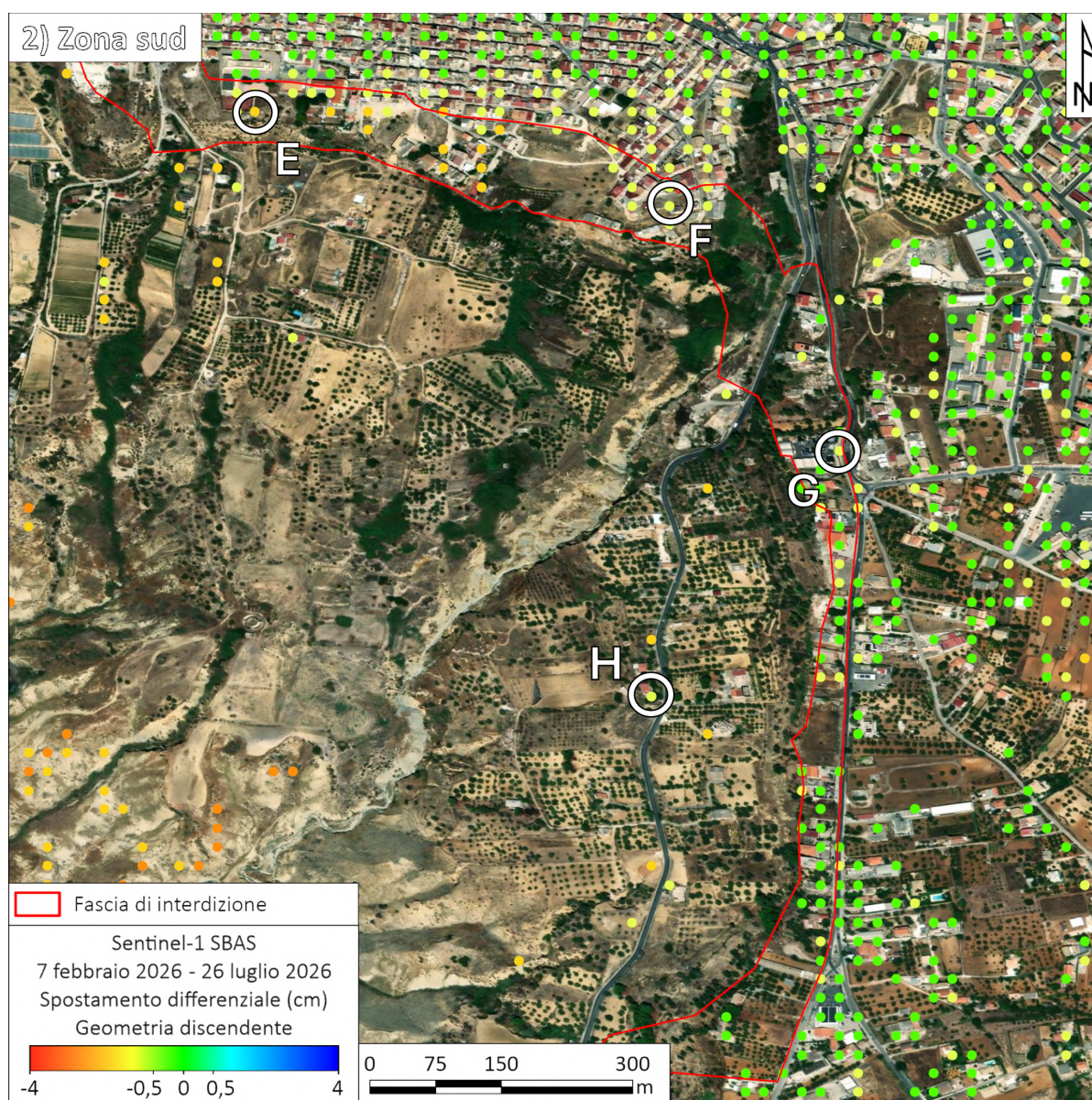


Figura 24 - Mappa degli spostamenti differenziali registrati dai dati Sentinel-1, elaborati con tecnica SBAS, nella zona sud in geometria discendente nell'intervallo temporale 7 febbraio - 26 luglio 2026. In Figura 25 le serie temporali dei punti considerati. Le linee rosse indicano la fascia di interdizione vigente.

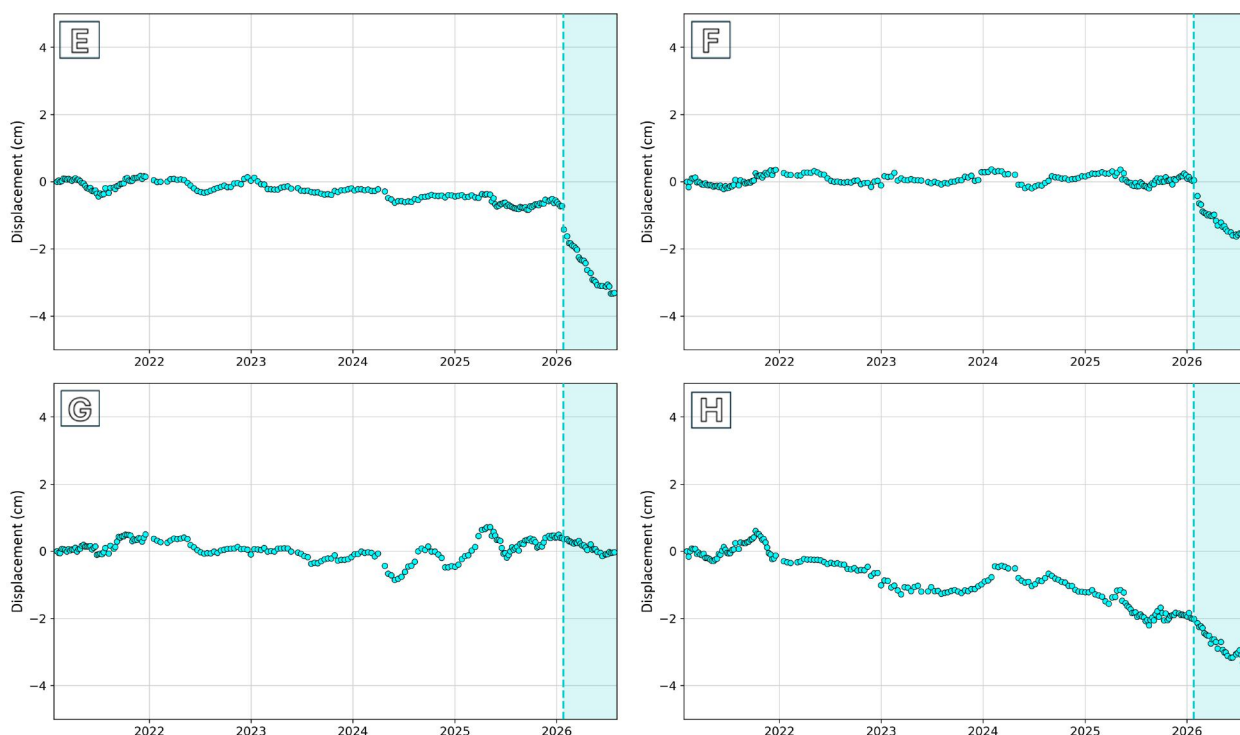


Figura 25 - Serie temporali dei punti evidenziati in Figura 24. L'area ombreggiata azzurra indica il periodo post-frana.

3.2 COSMO-SkyMed - elaborazione con tecnica SBAS

La Figura 26 illustra la mappa di spostamento osservata dai dati interferometrici acquisiti dalla costellazione COSMO-SkyMed Seconda Generazione e processati tramite algoritmo SBAS, nell'intervallo temporale compreso tra il 1 febbraio e l'11 luglio 2026 per la geometria ascendente, nel settore nord di Niscemi.

I punti di misura sono visualizzati in funzione dello spostamento registrato nel periodo coperto dalle acquisizioni mediante l'uso della scala di colori graduati, centrata sul valore zero di spostamento. La finestra di stabilità è posta a $\pm 0,5$ cm, con ricalibratura in funzione dell'incertezza associata al *dataset* considerato.

In generale, tutta l'area nord di Niscemi è caratterizzata da MP che presentano valori di spostamento all'interno della finestra di stabilità di $\pm 0,5$ cm.

Le serie temporali dei punti selezionati (Figura 27), riferite all'intero intervallo di acquisizione disponibile (13 gennaio 2022 - 11 luglio 2026) e quindi comprensive delle fasi antecedenti e successive all'evento di gennaio 2026, mostrano andamenti prevalentemente stabili, seppur parzialmente rumorosi. Una parziale eccezione è riscontrata nel punto C, che in corrispondenza dell'evento di gennaio 2026 mostra una lieve variazione della tendenza.

Analogamente, anche l'area sud del centro abitato di Niscemi è caratterizzata dalla maggioranza di MP classificati in colore verde che presentano valori di spostamento all'interno della finestra di stabilità di $\pm 0,5$ cm (Figura 28).

Le serie temporali di spostamento dei punti di misura selezionati entro la fascia di interdizione mostrano, nel caso del punto E una tendenza all'avvicinamento al sensore successivamente all'evento. Al contrario, il punto F mostra una tendenza all'allontanamento dal sensore. I punti G ed H evidenziano un andamento sostanzialmente stabile, senza subire variazioni significative riconducibili agli eventi (Figura 29).

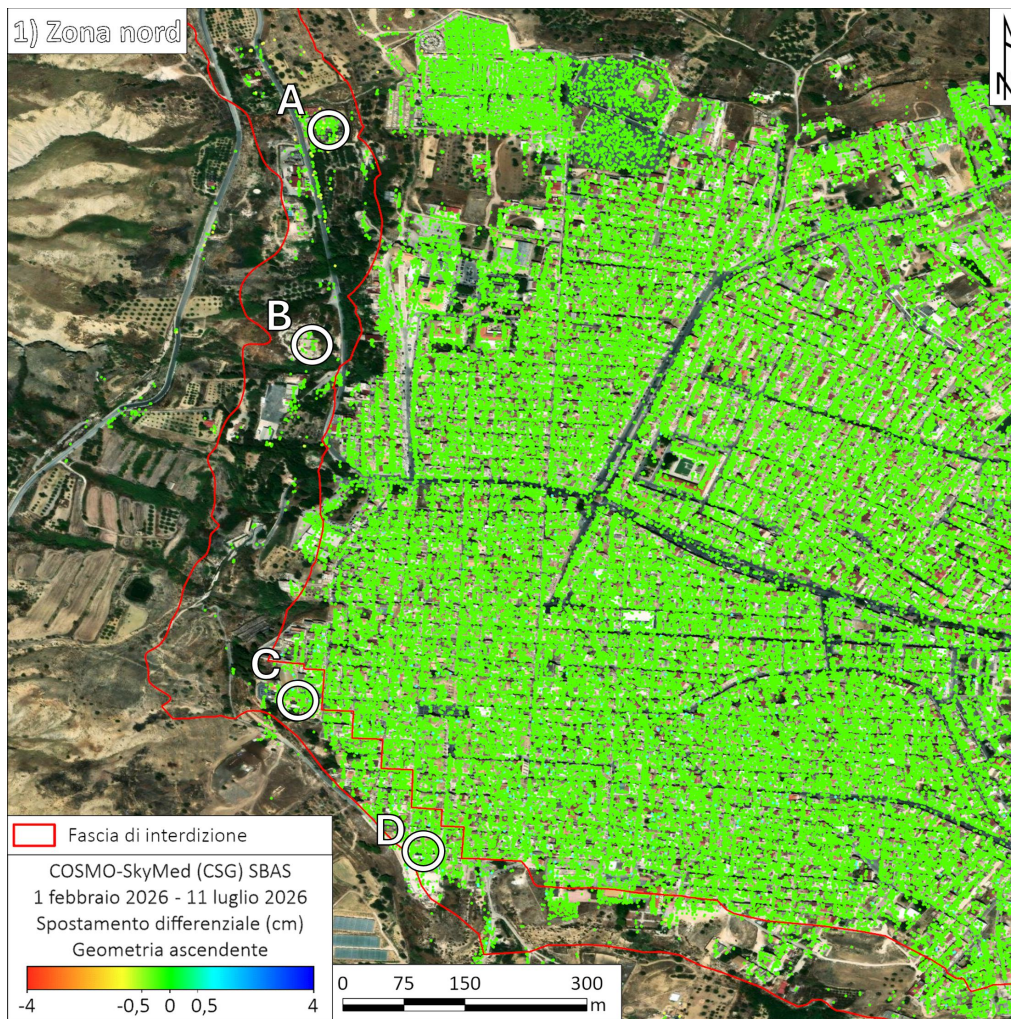


Figura 26 - Mappa degli spostamenti differenziali registrati dai dati COSMO-SkyMed Seconda Generazione, elaborati con tecnica SBAS, nella zona nord in geometria ascendente nell'intervallo temporale 1 febbraio - 11 luglio 2026. In Figura 27 le serie temporali dei punti considerati. Le linee rosse indicano la fascia di interdizione vigente.

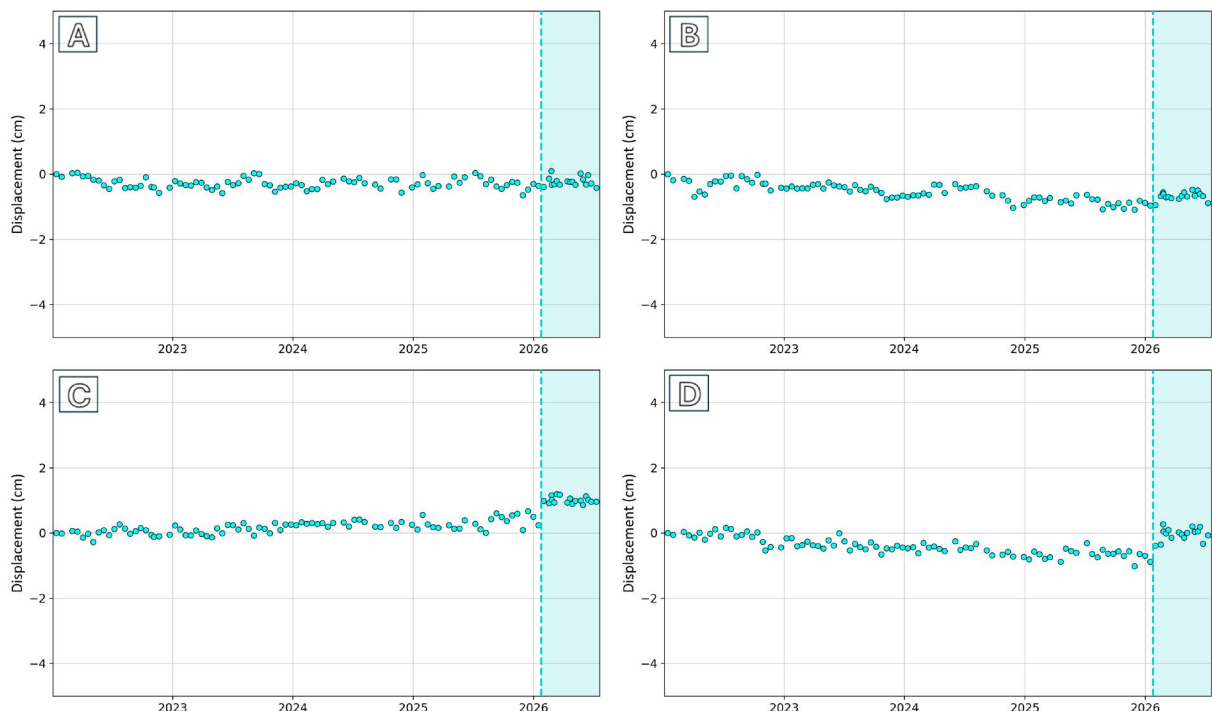


Figura 27 - Serie temporali dei punti di misura evidenziati in Figura 26. L'area ombreggiata azzurra indica il periodo post-frana.

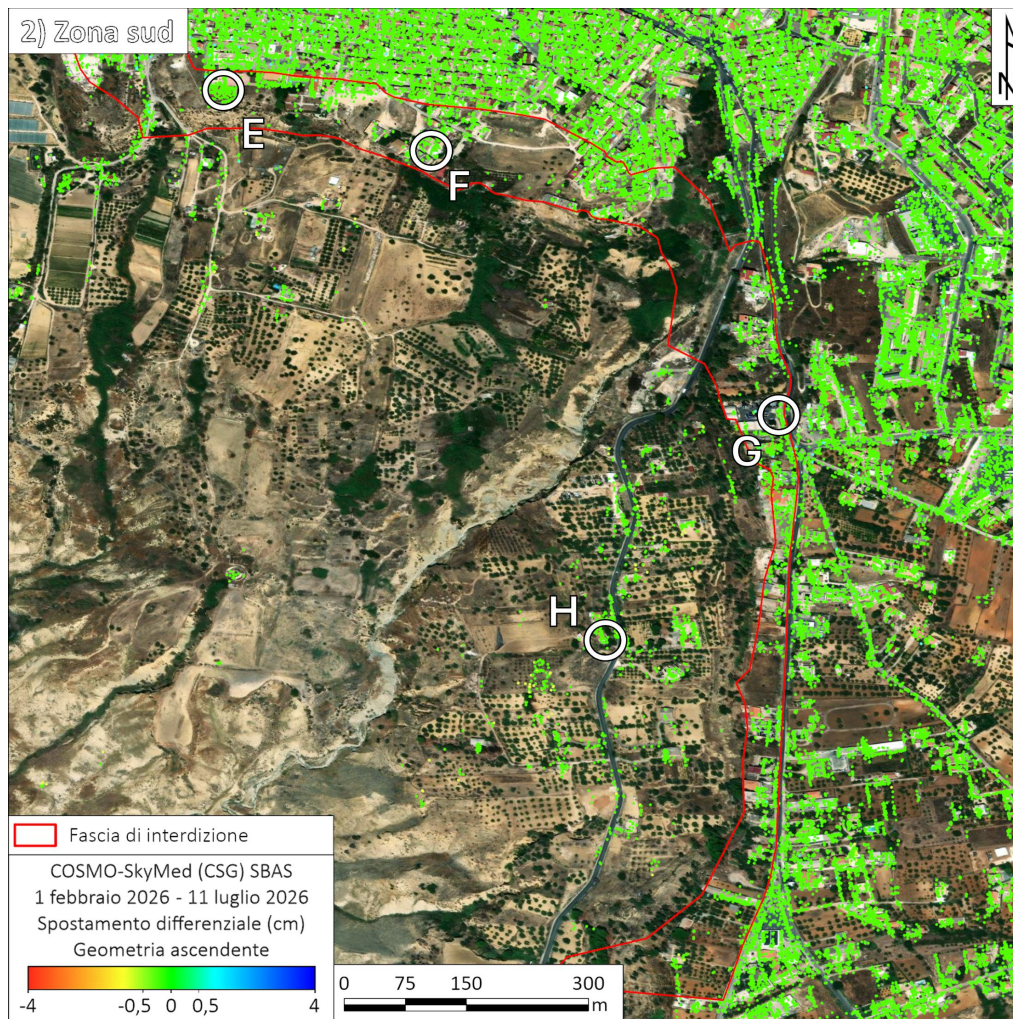


Figura 28 - Mappa degli spostamenti differenziali registrati dai dati COSMO-SkyMed Seconda Generazione, elaborati con tecnica SBAS, nella zona sud in geometria ascendente nell'intervallo temporale 1 febbraio - 11 luglio 2026. In Figura 29 le serie temporali dei punti considerati. Le linee rosse indicano la fascia di interdizione vigente.

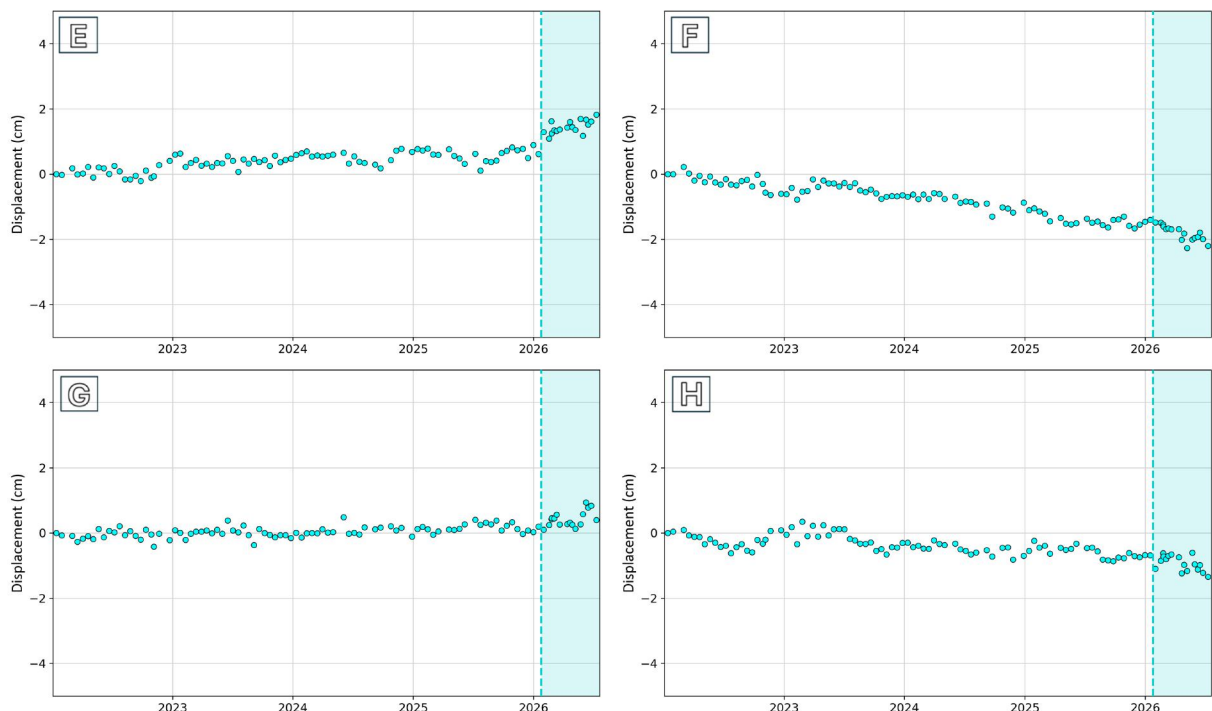


Figura 29 - Serie temporali dei punti di misura evidenziati in Figura 28. L'area ombreggiata azzurra indica il periodo post-frana.

La Figura 30 illustra la mappa di spostamento osservata dai dati interferometrici acquisiti dalla costellazione COSMO-SkyMed Seconda Generazione e processati tramite l'algoritmo SBAS, nell'intervallo temporale compreso tra l'8 febbraio e il 18 luglio 2026, per la geometria discendente, nel settore nord di Niscemi.

Anche in questo caso, i punti di misura sono visualizzati in funzione dello spostamento registrato nel periodo coperto dalle acquisizioni, con finestra di stabilità posta a $\pm 0,5$ cm. In generale, si conferma la valutazione effettuata con i dati ascendenti, cioè tutta l'area nord di Niscemi è caratterizzata da MP classificati in colore verde che presentano valori di spostamento all'interno della finestra di stabilità di $\pm 0,5$ cm.

Le serie temporali di spostamento dei punti di misura selezionati situati all'interno della fascia di interdizione (Figura 31) mostrano andamenti affetti da rumore; tuttavia, nel caso dei punti A e D è possibile rilevare un comportamento pressoché analogo, sono infatti entrambi caratterizzati da una tendenza all'allontanamento precedente all'evento. Una dinamica differente si osserva nel punto B, che presenta una tendenza stabile, seppure affetta da rumore, interrotta in corrispondenza dell'evento di gennaio 2026 con un salto negativo, a cui fa tuttavia seguito una nuova stabilizzazione. Il punto C non mostra alcuna variazione significativa o discontinuità né durante l'evento né nella successiva fase di post-evento.

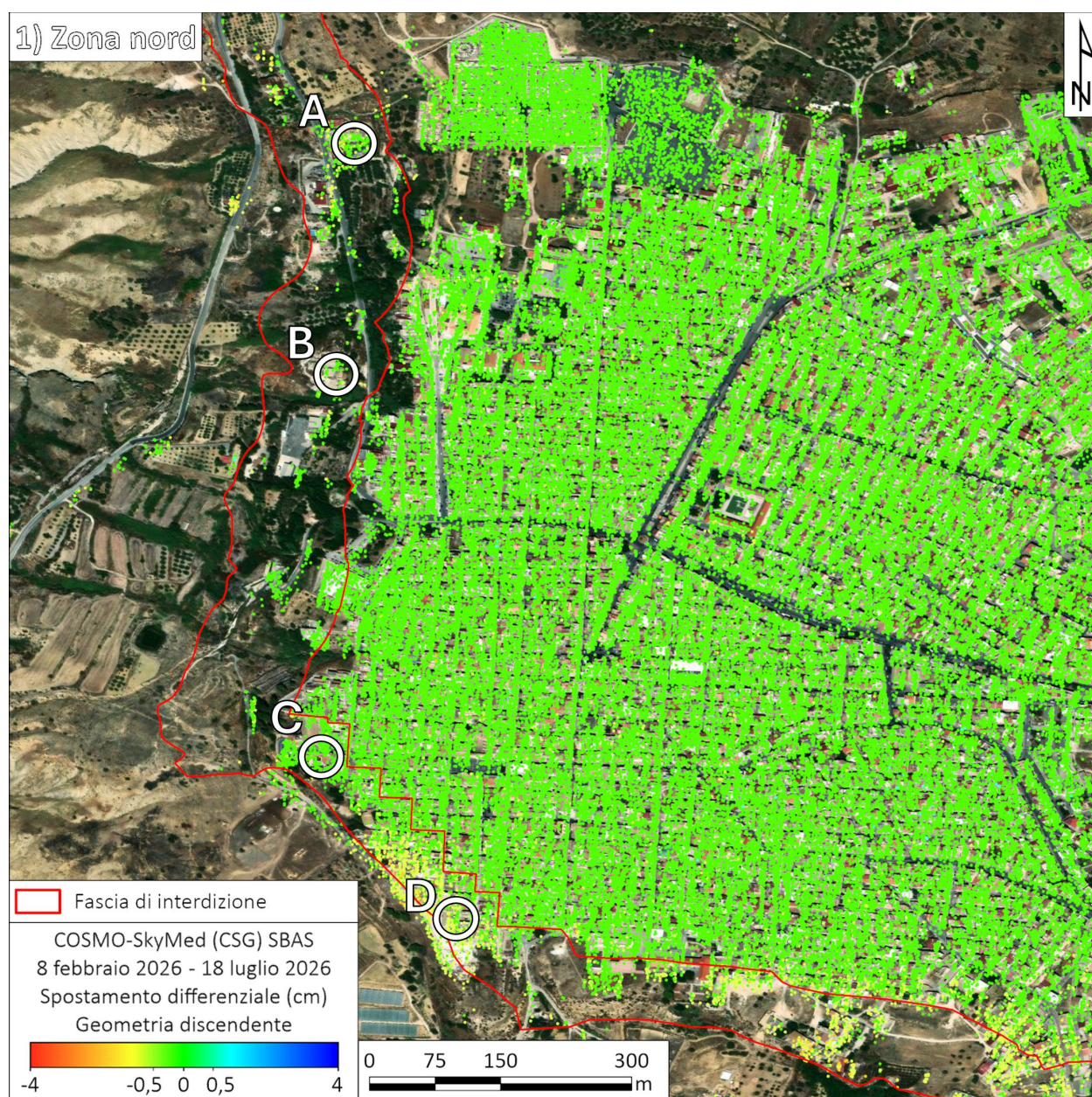


Figura 30 - Mappa degli spostamenti differenziali registrati dai dati COSMO-SkyMed Seconda Generazione, elaborati con tecnica SBAS, nella zona nord in geometria discendente nell'intervallo temporale 8 febbraio - 18 luglio 2026. In Figura 31 le serie temporali dei punti considerati. Le linee rosse indicano la fascia di interdizione vigente.

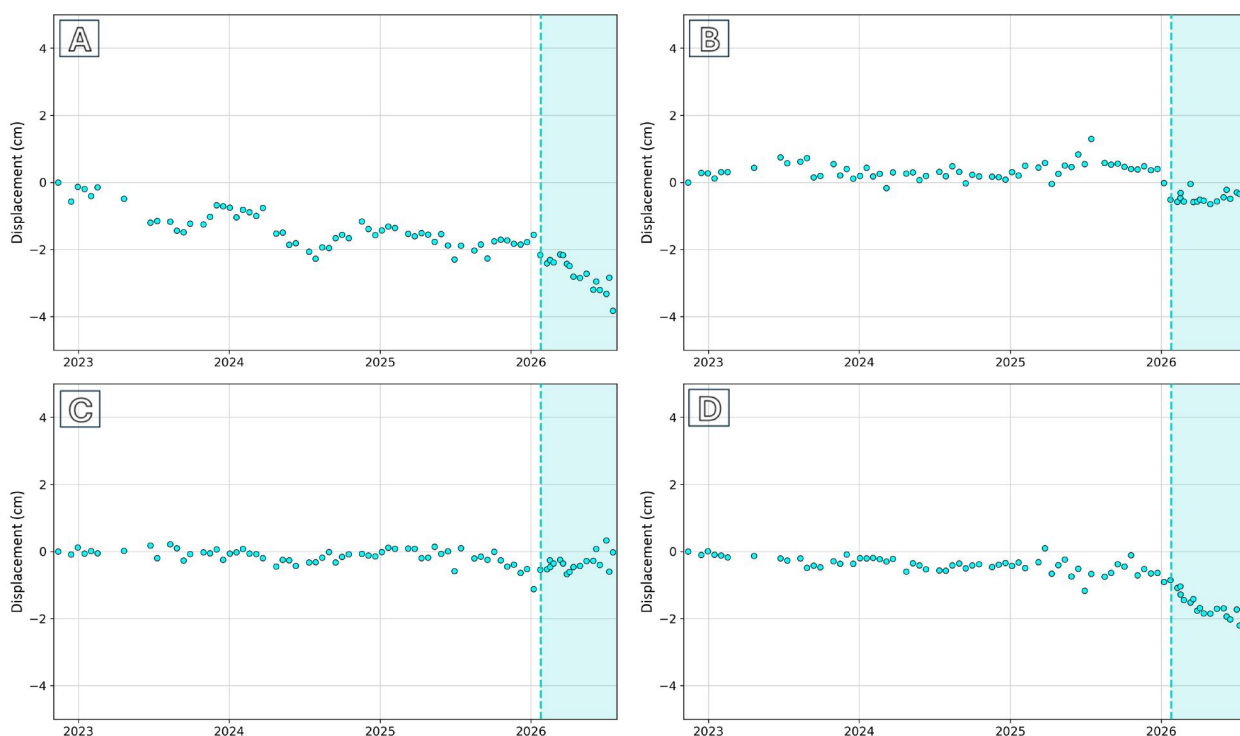


Figura 31 - Serie temporali dei punti di misura evidenziati in Figura 30. L'area ombreggiata azzurra indica il periodo post-frana.

Similmente, anche l'area sud di Niscemi è caratterizzata dalla maggioranza di MP in geometria discendente classificati in colore verde che presentano valori di spostamento all'interno della finestra di stabilità di $\pm 0,5$ cm (Figura 32).

L'analisi delle serie temporali dei punti di misura selezionati (Figura 33) evidenzia come in corrispondenza dei punti E ed F si osserva una variazione in concomitanza con l'evento di gennaio 2026, che attiva una cinematica deformativa in allontanamento dal sensore; tale variazione di tendenza risulta più marcata nel caso del punto F. Il punto G mostra un andamento senza alcuna variazione significativa nella fase post-evento. Infine, il punto H mostra una cinematica deformativa in allontanamento dal sensore che però era già attiva prima dell'evento di gennaio 2026.

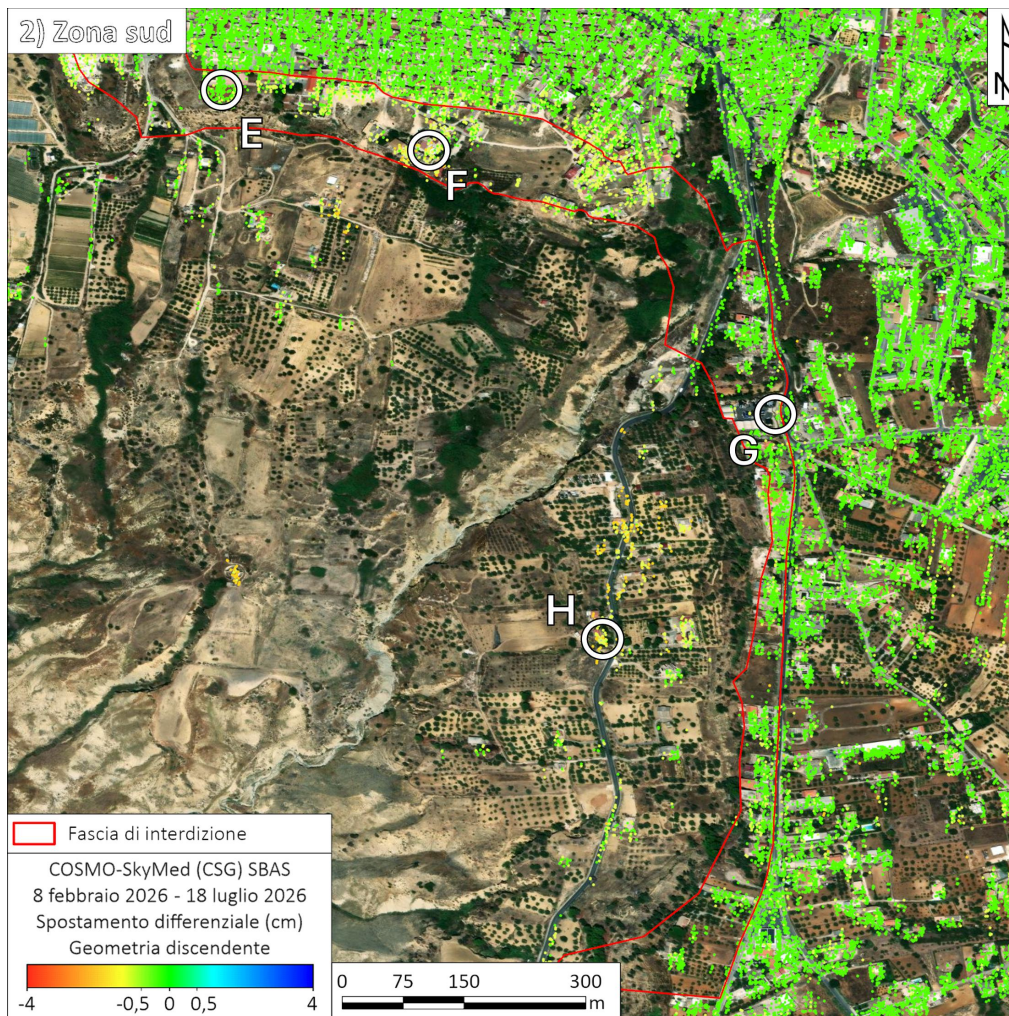


Figura 32 - Mappa degli spostamenti differenziali registrati dai dati COSMO-SkyMed Seconda Generazione, elaborati con tecnica SBAS, nella zona sud in geometria discendente nell'intervallo temporale 8 febbraio - 18 luglio 2026. In Figura 33 le serie temporali dei punti considerati. Le linee rosse indicano la fascia di interdizione vigente.

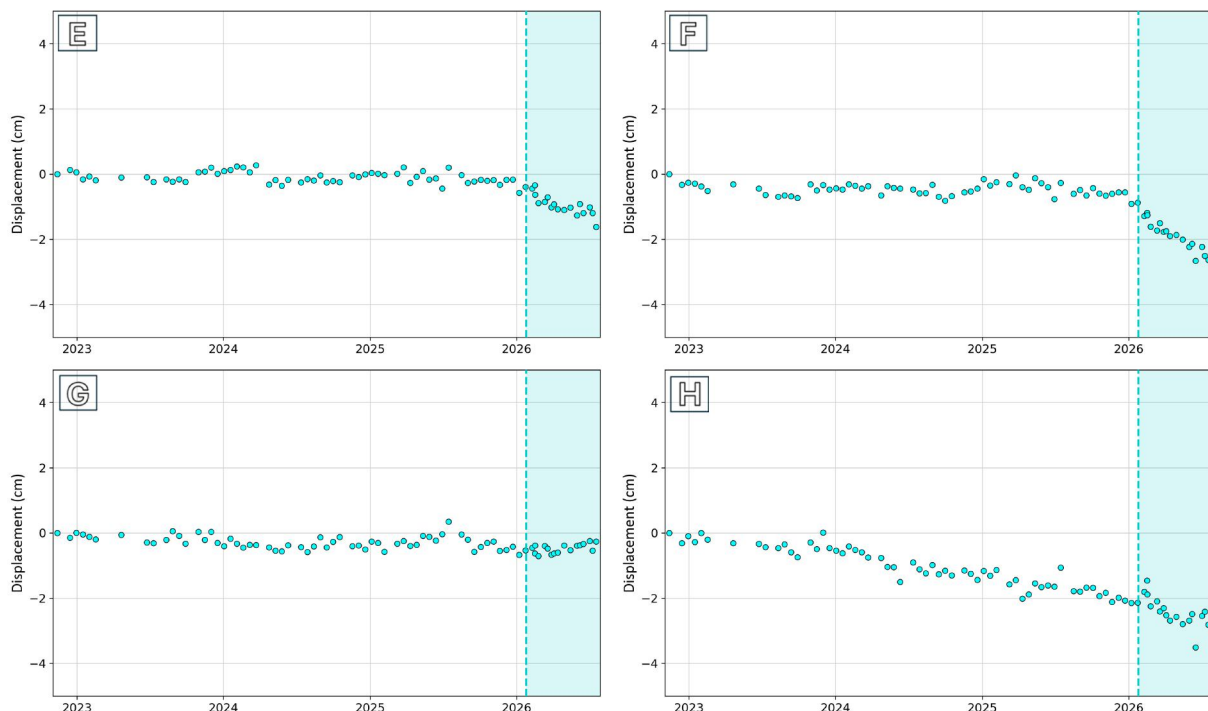


Figura 33 - Serie temporali dei punti di misura evidenziati in Figura 32. L'area ombreggiata azzurra indica il periodo post-frana.

La presenza, all'esterno della fascia di interdizione, soprattutto nel settore est del centro abitato, di punti di misura che mostrano spostamenti differenziali superiori alla soglia di stabilità non è indicativa, di per sé, di un'instabilità attualmente in atto. Tale evidenza è riconducibile a due fattori, entrambi intrinseci alla natura della misura interferometrica e alla specifica post-elaborazione differenziale adottata.

Il primo fattore è legato allo spostamento differenziale. Questo è ottenuto come differenza tra due sole acquisizioni, ciascuna delle quali è affetta da un'incertezza di misura in direzione LOS (rumore di fase, residui di correzione atmosferica, decorrelazione temporale e geometrica, incertezza sulla stima della quota). Assumendo incertezze non correlate tra le due acquisizioni, la deviazione standard della differenza risulta amplificata di un fattore pari a $\sqrt{2}$ rispetto alla singola misura: l'operazione differenziale amplifica quindi il rumore anziché ridurlo. Diversamente da una stima di velocità media ottenuta per regressione sull'intera serie storica - che beneficia della media su N acquisizioni - la differenza tra due acquisizioni non gode di alcun effetto di filtraggio temporale.

Il secondo fattore è legato alla scelta dell'acquisizione di riferimento. Lo spostamento differenziale è calcolato assumendo sistematicamente come riferimento la prima acquisizione disponibile successiva al 26 gennaio 2026 e ponendola in relazione con l'ultima acquisizione disponibile. Ne consegue che i punti che hanno subito uno spostamento co-evento o immediatamente post-evento, e che si sono successivamente stabilizzati, conservano nella stima differenziale l'intero *offset* accumulato in quella fase iniziale. Tale *offset* ha carattere permanente: esso continuerà a essere restituito, invariato, in tutti i futuri aggiornamenti condotti con questa metodologia, pur non corrispondendo ad uno spostamento ancora in atto.

Entrambi i fattori interessano sia i dati Sentinel-1 sia quelli COSMO-SkyMed. La diversa lunghezza d'onda operativa - banda C ($\lambda \approx 5,6$ cm) per Sentinel-1 e banda X ($\lambda \approx 3,1$ cm) per COSMO-SkyMed - comporta tuttavia 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 manifestazioni spazialmente non coincidenti dei medesimi effetti, pur risultando concordi nel quadro deformativo d'insieme.

3.3 Focus dei movimenti in corrispondenza del plesso scolastico San Giuseppe

Alla luce delle evidenze geomorfologiche descritte nella Sezione 2 per il settore del plesso scolastico San Giuseppe, è stata condotta un'analisi di dettaglio degli spostamenti in tale area, integrando i dati interferometrici Sentinel-1 e COSMO-SkyMed con le misure della stazione GNSS NSGP.

In Figura 34 e Figura 35, e in Figura 36 e Figura 37, sono riportate rispettivamente per Sentinel-1 (geometria ascendente e discendente) e per COSMO-SkyMed (geometria ascendente e discendente), le mappe aggiornate degli spostamenti differenziali e le relative serie temporali per i punti di misura in prossimità del plesso scolastico San Giuseppe.

L'analisi comparativa tra le due geometrie radar, per entrambi i sistemi satellitari, conferma l'asimmetria di sensibilità già riscontrata nei rapporti precedenti. I dati in orbita ascendente, sia Sentinel-1 che COSMO-SkyMed, non mostrano variazioni significative: i punti di misura rientrano all'interno della finestra di stabilità e le relative serie temporali presentano un andamento stazionario lungo tutto l'intervallo di osservazione. Solo il punto A di COSMO-SkyMed mostra un salto netto in corrispondenza dell'evento di gennaio 2026.

Al contrario, la geometria discendente, sia in banda C che in banda X, si conferma più sensibile alle effettive deformazioni, con spostamenti differenziali che superano la soglia di stabilità. Nello specifico, le serie temporali in geometria discendente del dato Sentinel-1 evidenziano una netta variazione in concomitanza con l'evento di gennaio 2026, seguita da una tendenza di progressivo allontanamento dal sensore e da una successiva stabilizzazione. I punti ubicati in corrispondenza del plesso scolastico (punti A e B) mostrano tuttavia, nelle ultime acquisizioni, un **possibile inizio di accelerazione che richiede la conferma delle prossime acquisizioni**. Analogamente, il dato COSMO-SkyMed mostra un andamento, seppure meno marcato, in allontanamento dal sensore.

Tale discrepanza è riconducibile alla geometria di acquisizione del sensore; nella proiezione lungo la linea di vista del satellite (LOS) della geometria discendente, le componenti di spostamento verticale e quelle orizzontali 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.



Figura 34 - Mappa degli spostamenti differenziali registrati dai dati Sentinel-1 in geometria ascendente, elaborati con tecnica SBAS, nell'intervallo di tempo 31 gennaio 2026 - 25 luglio 2026, nell'area circostante il plesso scolastico San Giuseppe. A destra, le serie temporali dei punti evidenziati in mappa.



Figura 35 - Mappa degli spostamenti differenziali registrati dai dati Sentinel-1 in geometria discendente, elaborati con tecnica SBAS, nell'intervallo di tempo 7 febbraio 2026 - 26 luglio 2026, nell'area circostante il plesso scolastico San Giuseppe. A destra, le serie temporali dei punti evidenziati in mappa.

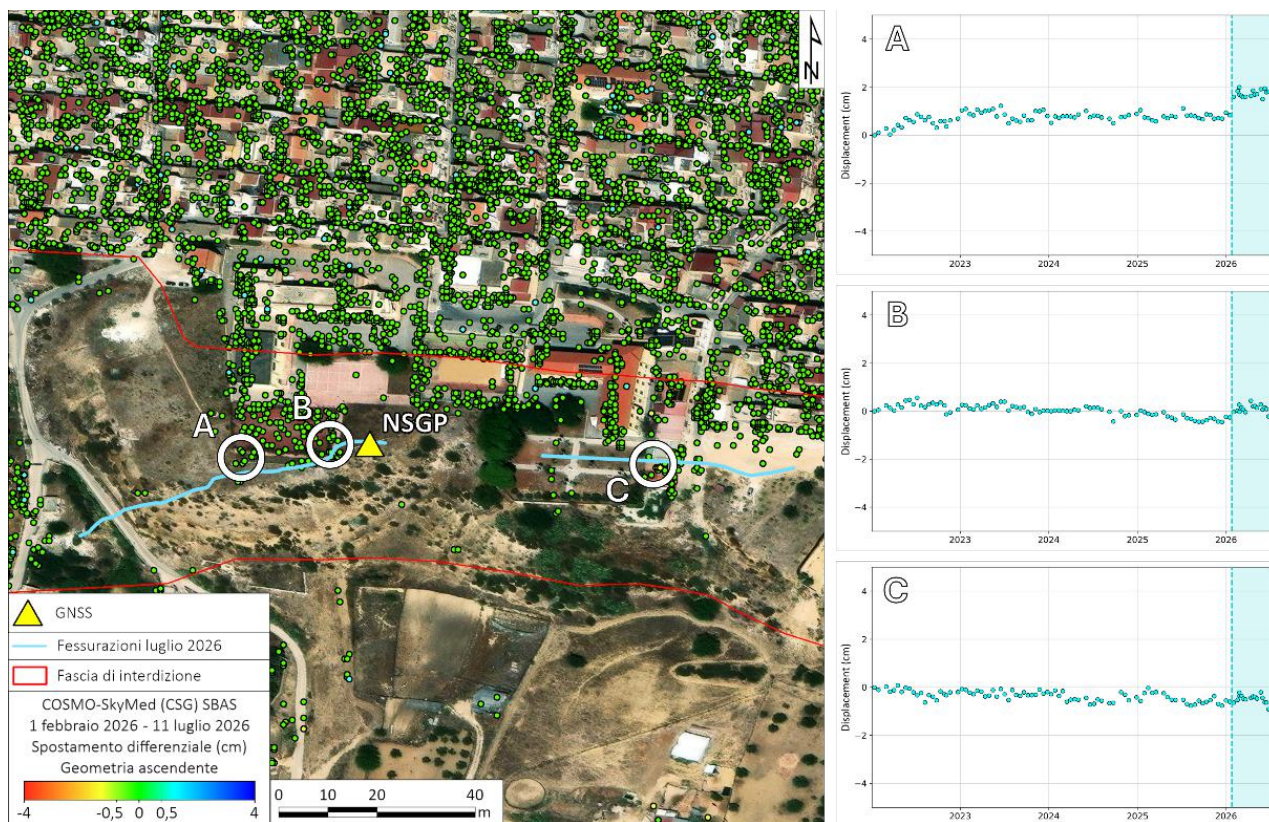


Figura 36 - Mappa degli spostamenti differenziali registrati dai dati COSMO-SkyMed in geometria ascendente, elaborati con tecnica SBAS, nell'intervallo di tempo 1 febbraio 2026 - 11 luglio 2026, nell'area circostante il plesso scolastico San Giuseppe. A destra, le serie temporali dei punti evidenziati in mappa.

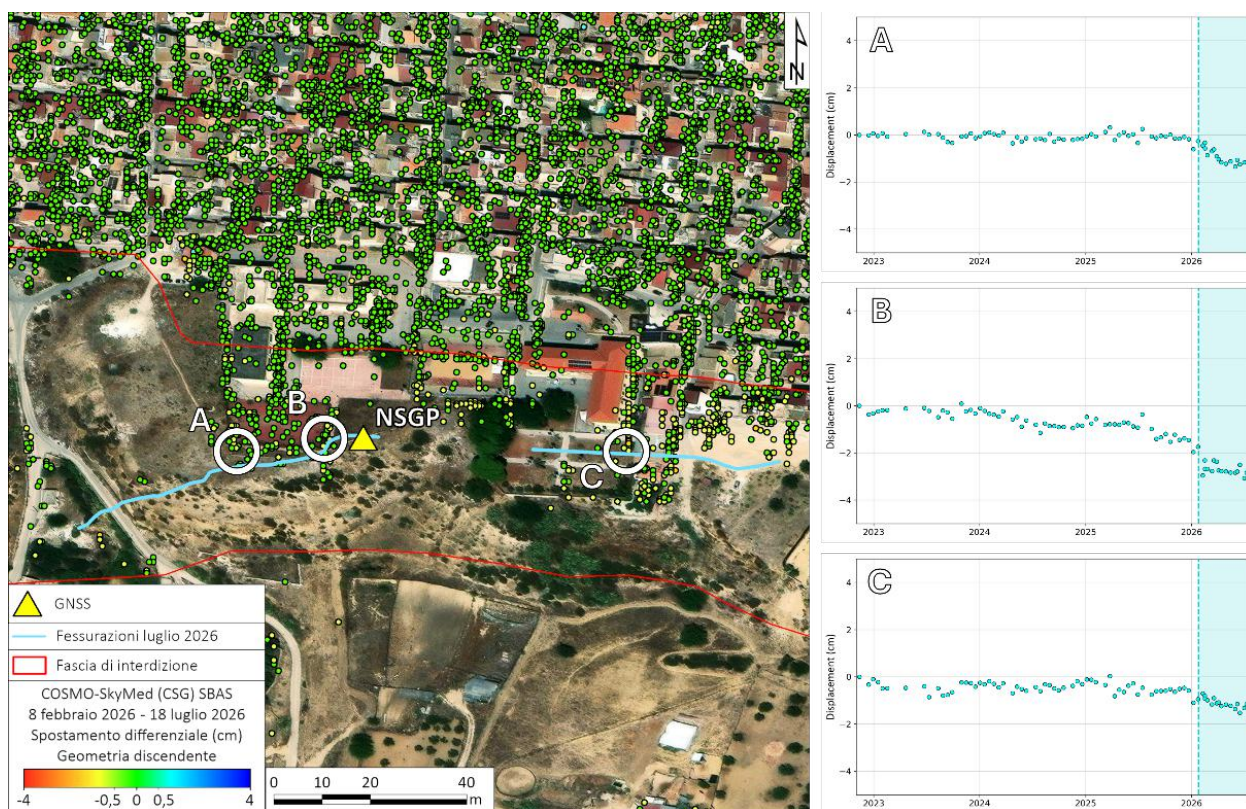


Figura 37 - Mappa degli spostamenti differenziali registrati dai dati COSMO-SkyMed in geometria discendente, elaborati con tecnica SBAS, nell'intervallo di tempo 8 febbraio 2026 - 18 luglio 2026, nell'area circostante il plesso scolastico San Giuseppe. A destra, le serie temporali dei punti evidenziati in mappa.

I dati della stazione GNSS NSGP (Figura 38), ubicata sul ciglio della scarpata in prossimità del plesso scolastico San Giuseppe, confermano e integrano il quadro delineato dall'analisi interferometrica. Dall'installazione la stazione ha registrato uno spostamento cumulato di circa 4,5 cm in direzione sud e un abbassamento di quota di circa 2,5 cm, mentre la componente est-ovest si è mantenuta pressoché stazionaria.

A partire dal 1° luglio 2026, in concomitanza con l'intenso evento di pioggia, si registra uno spostamento verso sud di circa 1 cm, indicativo di una ripresa del movimento nel settore rispetto alla fase di progressiva attenuazione osservata nei mesi precedenti.

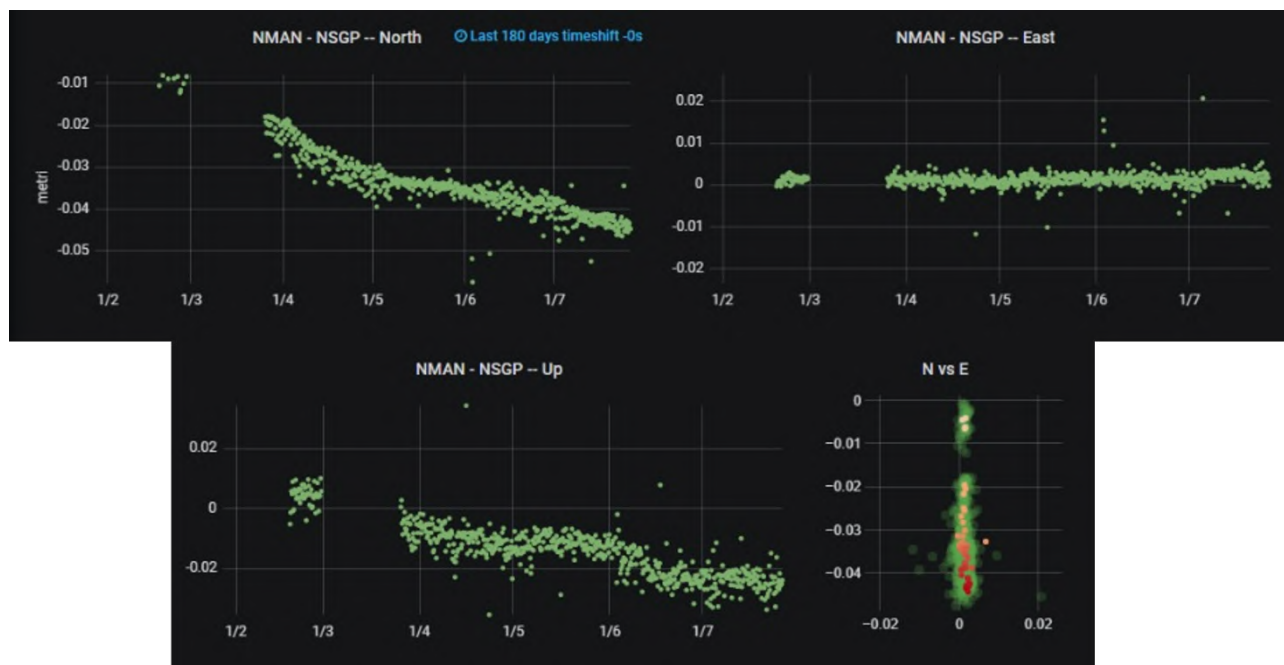


Figura 38 - Componenti di spostamento (nord, est, quota) e diagramma nord-est della stazione GNSS NSGP, ubicata in prossimità del plesso scolastico San Giuseppe.

In Figura 39 e Figura 40, e in Figura 41 e Figura 42, sono riportate rispettivamente per Sentinel-1 (geometria ascendente e discendente) e per COSMO-SkyMed (geometria ascendente e discendente), le mappe aggiornate degli spostamenti differenziali e le relative serie temporali per i punti di misura in prossimità di via Ustica.

Similmente a quanto riportato precedentemente, l'analisi comparativa tra le due geometrie radar, per entrambi i sistemi satellitari, conferma l'asimmetria di sensibilità: il dato in orbita ascendente per entrambi i satelliti non mostra variazioni significative con tutti i punti di misura che rientrano all'interno della finestra di stabilità e le relative serie temporali presentano un andamento stazionario lungo tutto l'intervallo di osservazione.

Al contrario, la geometria discendente si conferma più sensibile ai segnali deformativi, mostrando i punti di misura con spostamenti differenziali che superano la soglia di stabilità. Nello specifico, le serie temporali in geometria discendente del dato Sentinel-1 evidenziano la netta variazione in concomitanza con l'evento di gennaio 2026, seguita da una tendenza di progressivo allontanamento dal sensore (Figura 40).

Analogamente, il dato COSMO-SkyMed mostra un andamento, seppure meno marcato, in allontanamento dal sensore (Figura 42).



Figura 39 - Mappa degli spostamenti differenziali registrati dai dati Sentinel-1 in geometria ascendente, elaborati con tecnica SBAS, nell'intervallo di tempo 31 gennaio 2026 - 25 luglio 2026, nell'area circostante via Ustica. A destra, le serie temporali dei punti evidenziati in mappa.

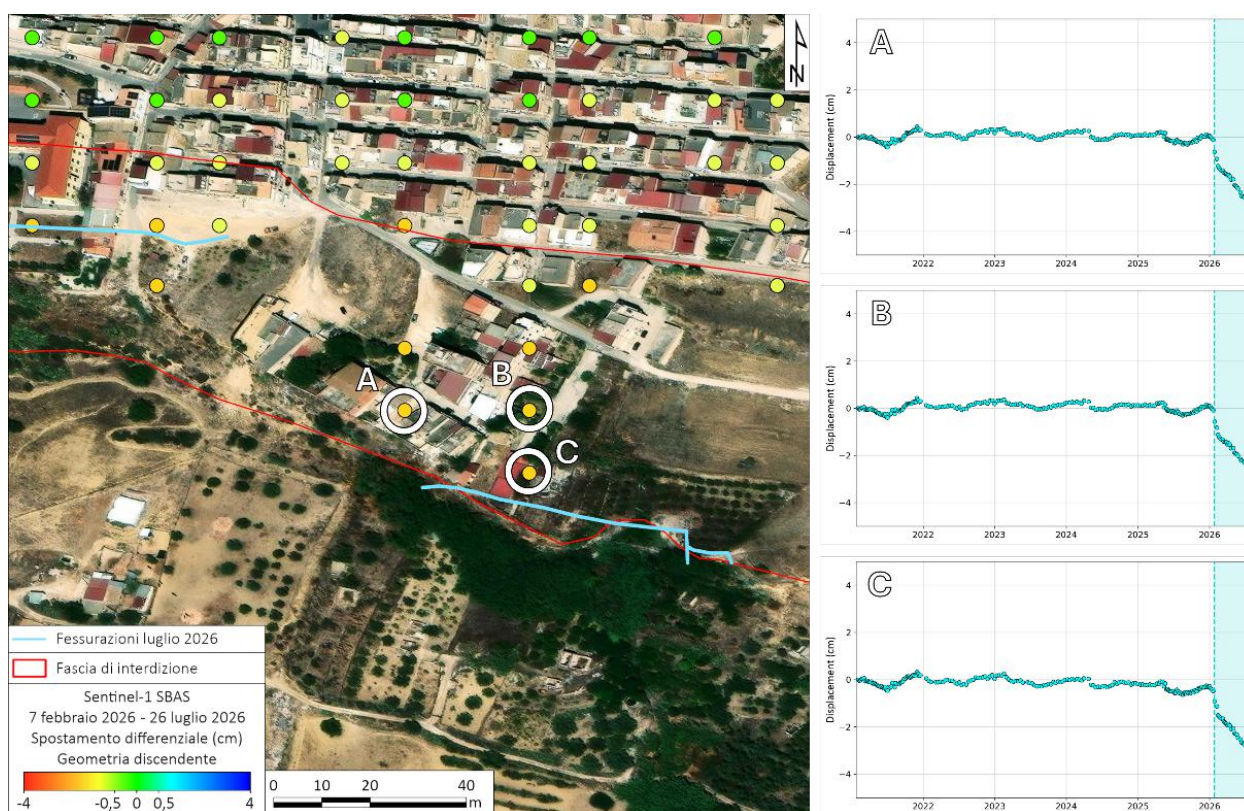


Figura 40 - Mappa degli spostamenti differenziali registrati dai dati Sentinel-1 in geometria discendente, elaborati con tecnica SBAS, nell'intervallo di tempo 7 febbraio 2026 - 26 luglio 2026, nell'area circostante via Ustica. A destra, le serie temporali dei punti evidenziati in mappa.

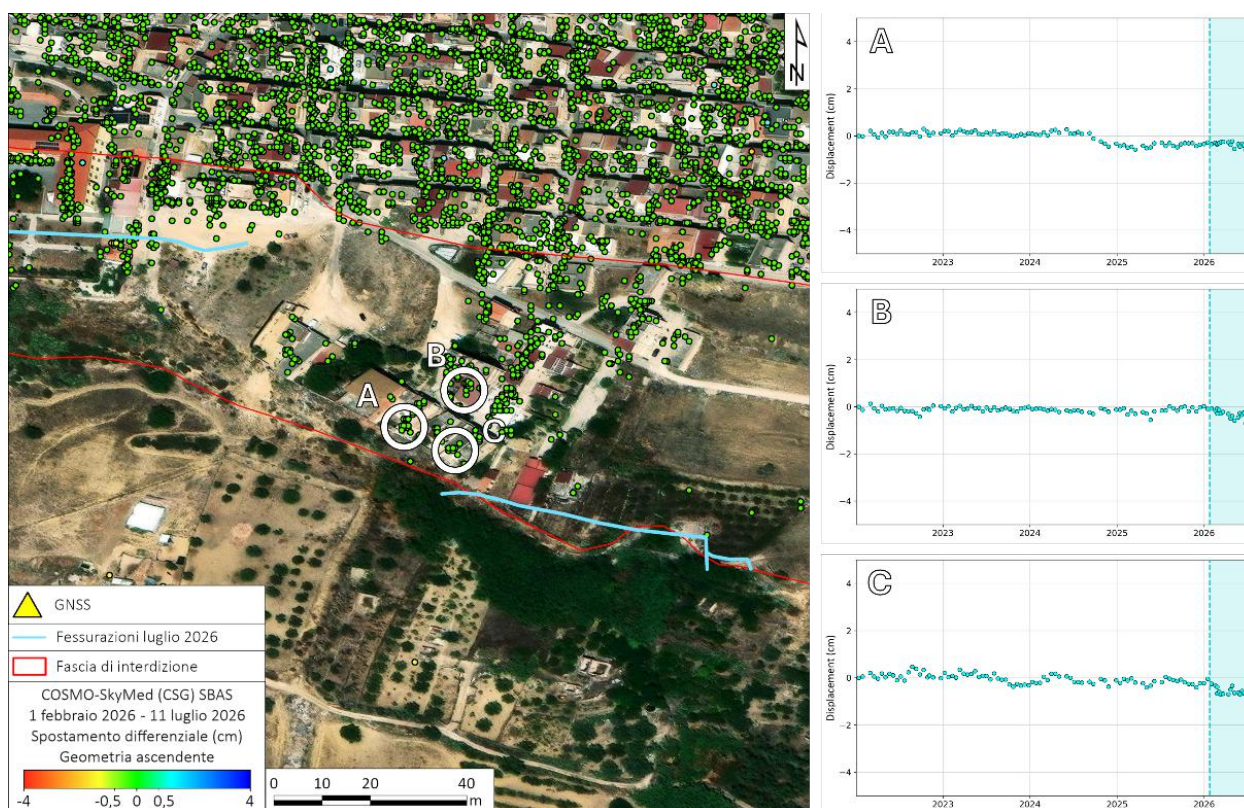


Figura 41 - Mappa degli spostamenti differenziali registrati dai dati COSMO-SkyMed in geometria ascendente, elaborati con tecnica SBAS, nell'intervallo di tempo 1 febbraio 2026 - 11 luglio 2026, nell'area circostante via Ustica. A destra, le serie temporali dei punti evidenziati in mappa.



Figura 42 - Mappa degli spostamenti differenziali registrati dai dati COSMO-SkyMed in geometria discendente, elaborati con tecnica SBAS, nell'intervallo di tempo 8 febbraio 2026 - 18 luglio 2026, nell'area circostante via Ustica. A destra, le serie temporali dei punti evidenziati in mappa.

4 Analisi di rilievi topografici

Il recente insorgere di nuove evidenze geomorfologiche (fessure e scarpate di neo-formazione, fenditure su pareti di edifici, deformazioni del piano campagna) indica una persistente dinamica di movimento associata a un'elevata suscettibilità all'evoluzione retrogressiva, attualmente concentrata nella 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, di un nuovo rilievo topografico da drone nel periodo compreso fra il 20-24 luglio 2026 ha consentito di aggiornare ulteriormente, rispetto a quanto presentato nel documento sopracitato, le valutazioni quantitative relative all'arretramento della scarpata della Frana Centrale, con particolare riferimento ai settori limitrofi al plesso scolastico San Giuseppe.

È stato altresì possibile ricostruire l'andamento temporale della dinamica di arretramento mediante il confronto fra tale rilievo con i prodotti analoghi acquisiti sempre dalla Fondazione CIMA nel periodo compreso fra il 31 marzo-3 aprile 2026 e dal Comune di Niscemi in data 31 gennaio 2026.

4.1 Arretramento della scarpata principale

Le nuvole di punti ad altissima risoluzione derivanti dai tre rilievi topografici considerati, già originariamente proiettate nello stesso sistema di coordinate (WGS84 UTM 33N, codice EPSG: 32633), sono state ricampionate secondo una maglia regolare con passo di 10 cm e co-registrate in quote ortometriche facendo riferimento al geoide EGM2008.

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 delle nuvole di punti 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 sub-verticali o in aggetto.

La Figura 43 e la Figura 44 illustrano, rispettivamente, i risultati dei confronti fra il rilievo del Comune e il secondo rilievo della Fondazione CIMA (intervallo temporale: gennaio-luglio 2026) e fra i due rilievi della Fondazione CIMA (intervallo temporale: aprile-luglio 2026): da essi si evince che l'arretramento della scarpata non si è sviluppato uniformemente per tutta la sua lunghezza, bensì è progredito prevalentemente in nicchie circoscritte con valori che localmente hanno raggiunto circa 10 m.

Esse sono individuabili nelle adiacenze del plesso scolastico San Giuseppe e più a est all'altezza di Via Ustica, dove successivamente all'ultimo rilievo della Fondazione CIMA ha avuto luogo una retrogressione repentina e in massa del coronamento della frana fino a un massimo di circa 25 m (Figura 6). Si specifica che questo settore non ricade all'interno della prospettiva della Figura 44 poiché ubicato al di fuori dell'area di indagine del primo rilievo della Fondazione CIMA (incentrato sull'abitato di Niscemi e sull'alveo del torrente Benefizio).

Si nota altresì come **entrambe le fessure di neo-formazione appaiano spazialmente associabili alle due nicchie in rapida evoluzione lungo la scarpata più a valle**, nei pressi delle quali si rilevano peraltro le evidenze di saturazione idrica più ingenti (Figura 17). In special modo, le riprese fotografiche dimostrano che la fessura antistante l'edificio si propaga verso sud-ovest intersecando una strada e alcuni manufatti al di là di essa (Figura 45), fino sostanzialmente a raccordarsi con il fronte di arretramento che unisce l'area di San Giuseppe (orientazione della scarpata E-W) con il quartiere Sante Croci (orientazione della scarpata NW-SE).

Si segnala infine che, contrariamente a quanto osservato nei primi due mesi dopo i fenomeni franosi di gennaio (Casagli *et al.*, 2026a, 2026b), il confronto fra i rilievi topografici di aprile-luglio 2026 e l'ispezione dei relativi prodotti ortofotografici attestano un'assenza di arretramenti significativi della scarpata principale, sia per entità sia per estensione, in corrispondenza del quartiere Sante Croci.

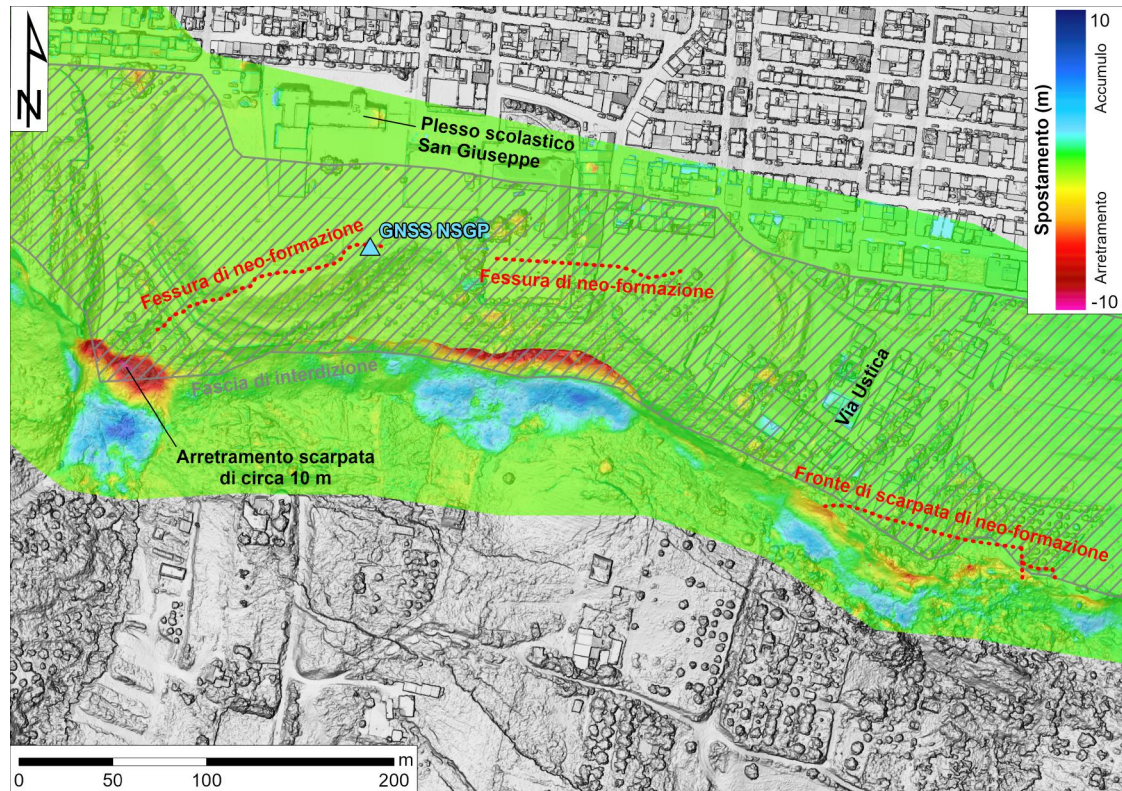


Figura 43 - Spostamenti ricavati dal confronto dei rilievi topografici acquisiti dal Comune di Niscemi (gennaio 2026) e dalla Fondazione CIMA (luglio 2026).

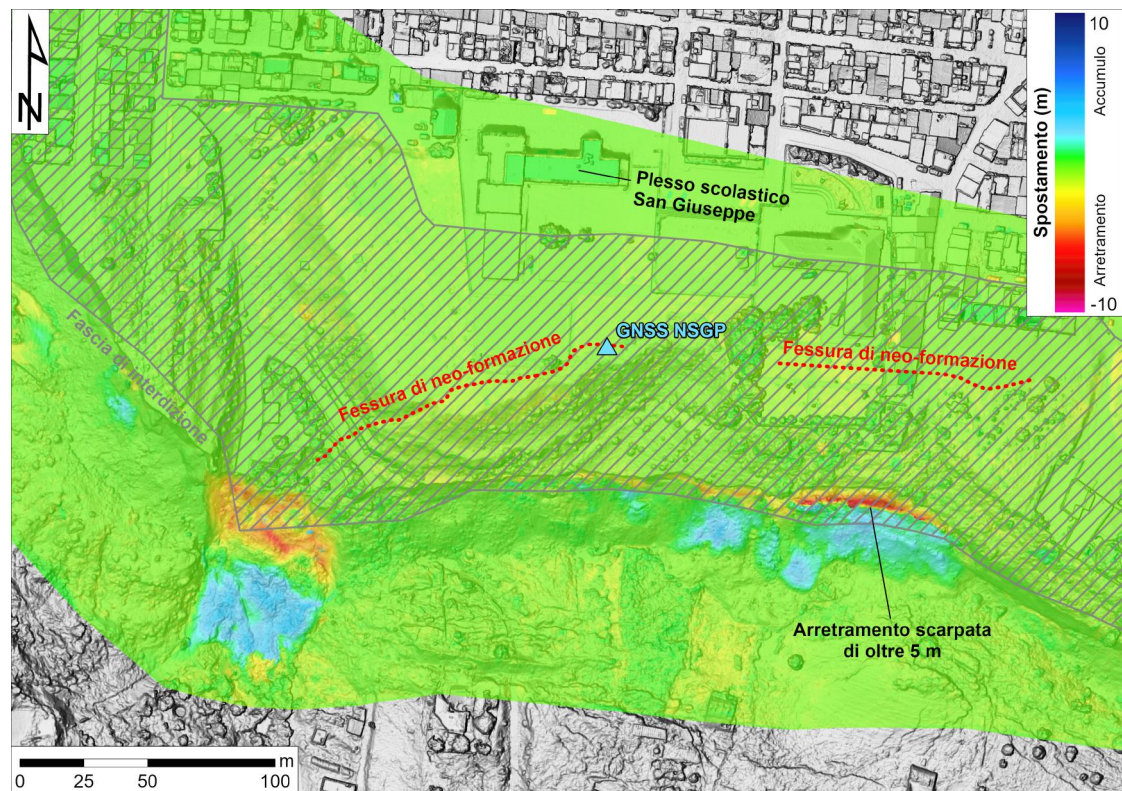


Figura 44 - Spostamenti ricavati dal confronto dei rilievi topografici acquisiti dalla Fondazione CIMA (aprile-luglio 2026).



Figura 45 - In alto, vista aerea della fessura antistante il plesso scolastico San Giuseppe; in basso, dettaglio della sua terminazione nei pressi della nicchia in rapida evoluzione al confine con l'area del quartiere Sante Croci. Foto del sorvolo da drone eseguito dal Comune e fornite da DPC.

4.2 Estensione del settore soggetto a retrogressione

L'estensione del settore di versante soggetto a retrogressione del coronamento nei pressi del plesso scolastico San Giuseppe non è di facile definizione, in primo luogo a causa dell'assenza di dati inclinometrici in grado di fornire informazioni dirette sulla profondità dell'orizzonte di scivolamento basale.

Un'incertezza simile riguarda anche le effettive dimensioni planimetriche del fenomeno, poiché le fessure di neo-formazione presentano sviluppo e continuità sensibilmente variabili; in generale, l'apertura e il rigetto maggiori si hanno in corrispondenza del tratto di terreno sub-pianeggiante antistante l'edificio scolastico (Figura 3).

L'analisi dei rilievi topografici ha pertanto implicato anche l'estrazione e il confronto di due profili del versante pre- e post-formazione delle fessure. La Figura 46 identifica le tracce di tali sezioni; essa rimarca inoltre che, poco a ovest della scuola, il coronamento della frana del 1997 è mappato più a monte dell'attuale scarpata principale (fino a circa 40 m), mentre altrove risulta sempre coincidente o poco a valle di quest'ultima.

Le variazioni altimetriche intercorse fra aprile e luglio 2026 lungo i profili 1 e 2 (Figura 46) sono dettagliate in Figura 47 e in Figura 48, rispettivamente. Nella prima (profilo 1) è possibile apprezzare un ribassamento generalizzato del terreno nel tratto compreso fra la fessura di neo-formazione e la scarpata principale, a valle della quale l'andamento si inverte a causa della normale dinamica di crescita del cono detritico.

Pur tenendo conto dei vincoli imposti dalla risoluzione dei rilievi topografici e dalla variazione nella distribuzione di copertura vegetale a seguito dell'incendio del 12 giugno 2026 (che determina notevoli eterogeneità nella reale disponibilità di punti a terra), è possibile stimare approssimativamente tale ribassamento in qualche decina di centimetri. Ciò supporta l'ipotesi, già formulabile dalle evidenze *in situ*, di un meccanismo di retrogressione profondo, seppur localizzato, della Frana Centrale.

Lo stesso processo non è deducibile dalla figura successiva (profilo 2), coerentemente con lo sviluppo attualmente più limitato e discontinuo della fessura a est della scuola; il profilo intercetta uno dei fronti in arretramento illustrati in precedenza e documenta un lieve ribassamento del terreno limitatamente all'area nei pressi dell'orlo della scarpata principale, suggerendo il sussistere di una tendenza a una progressiva estensione della nicchia.

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

Sebbene, sulla base delle evidenze fotografiche (Figura 3), l'entità dei movimenti nei pressi della fessura sia pressoché dello stesso ordine di grandezza della risoluzione media del dato a terra, nella Figura 49 è comunque possibile delineare un tratto di lunghezza pari a circa 70 m caratterizzato da un ribassamento più significativo (qualche decina di centimetri, come documentato dai rilievi speditivi *in situ*) e pertanto da ritenersi maggiormente predisposto a costituire il nuovo coronamento in caso di arretramento dello stesso. Tale tratto è peraltro quello più prossimo all'attuale orlo di scarpata e a una delle nicchie in rapida evoluzione identificate nella Figura 43.

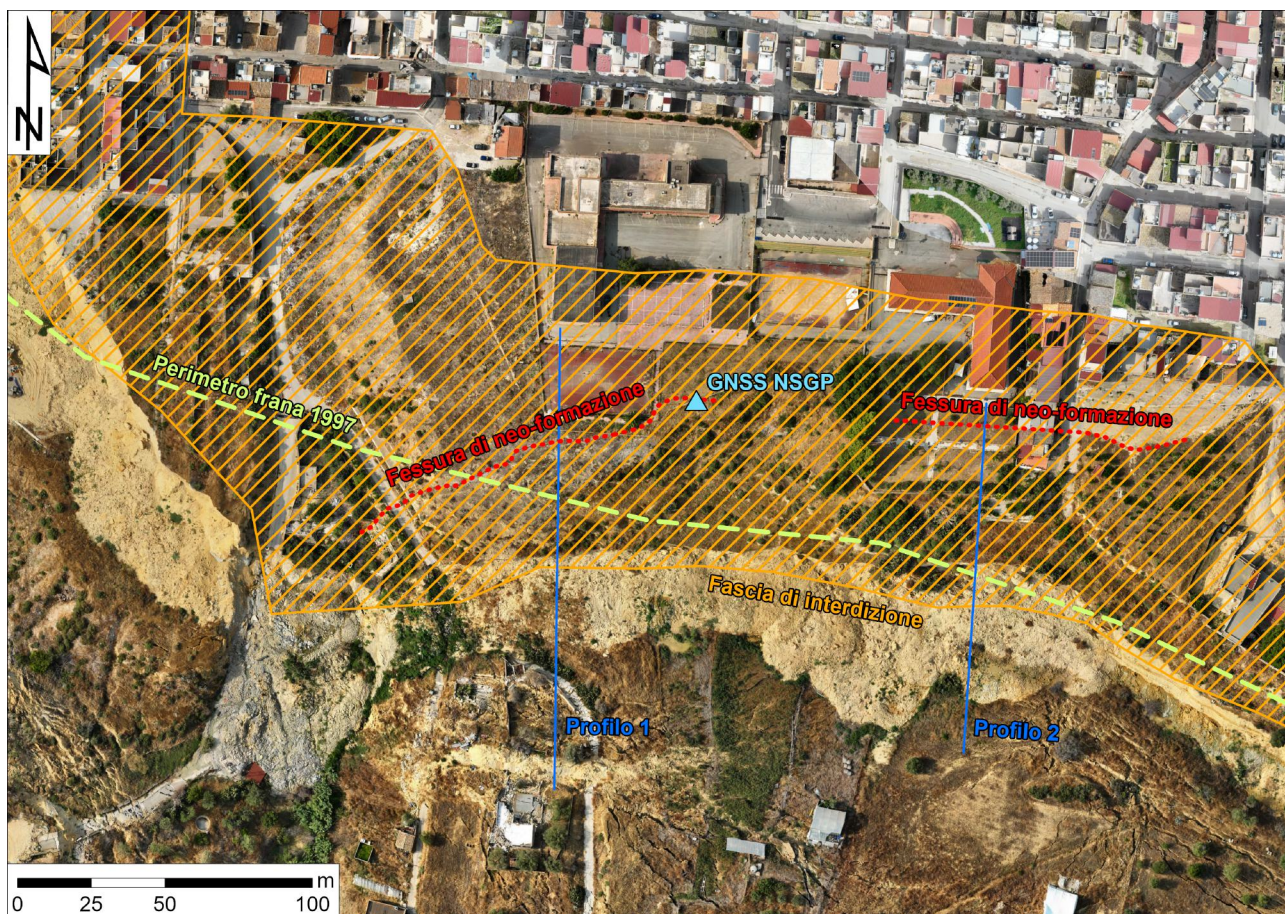


Figura 46 - Ubicazione delle tracce dei profili topografici illustrati nella Figura 47 e nella Figura 48.

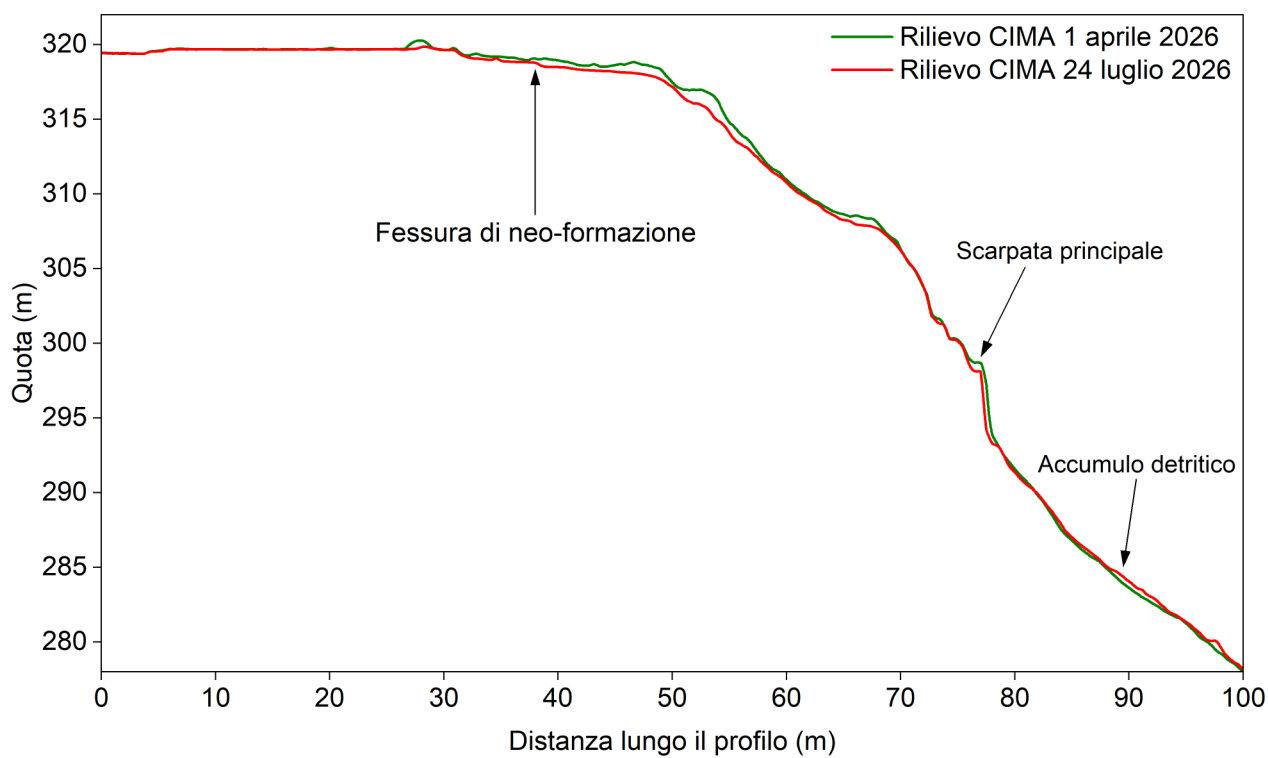


Figura 47 - Variazioni topografiche nel periodo intercorso fra i due rilievi della Fondazione CIMA (aprile-luglio 2026) lungo il profilo 1 (traccia in Figura 46).

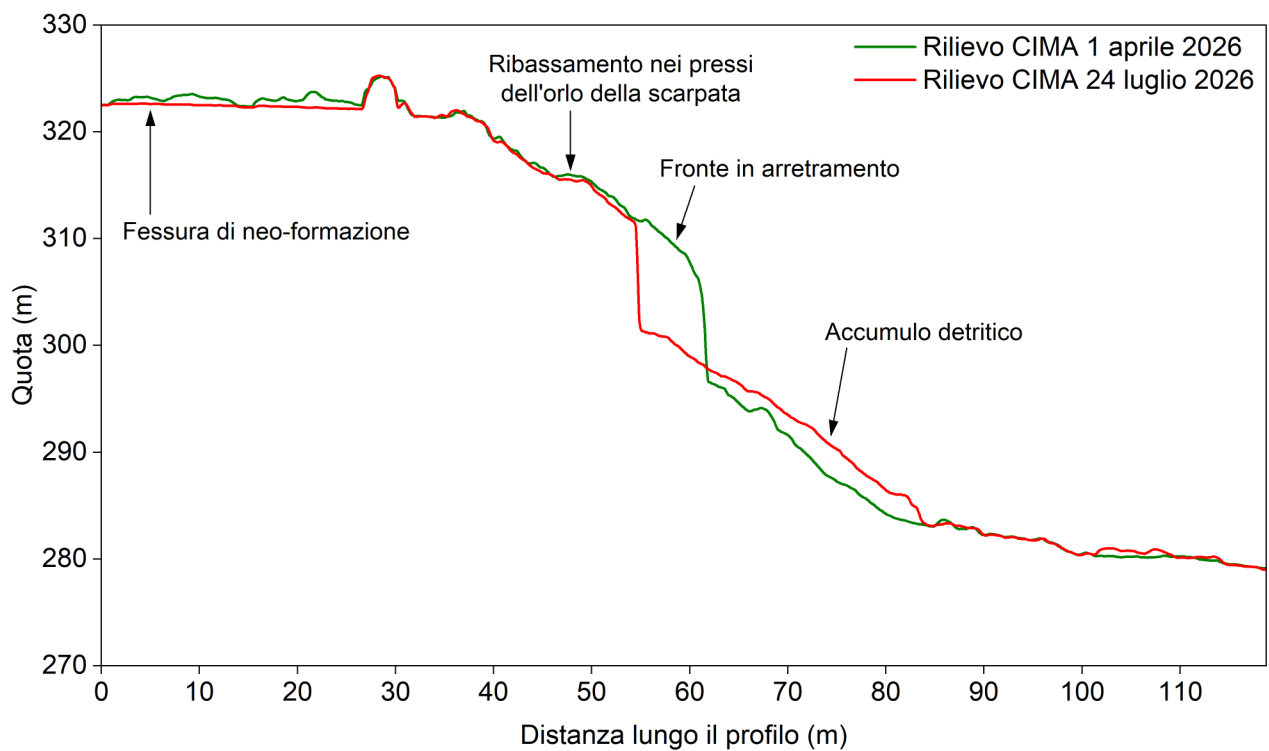


Figura 48 - Variazioni topografiche nel periodo intercorso fra i due rilievi della Fondazione CIMA (aprile-luglio 2026) lungo il profilo 2 (traccia in Figura 46).

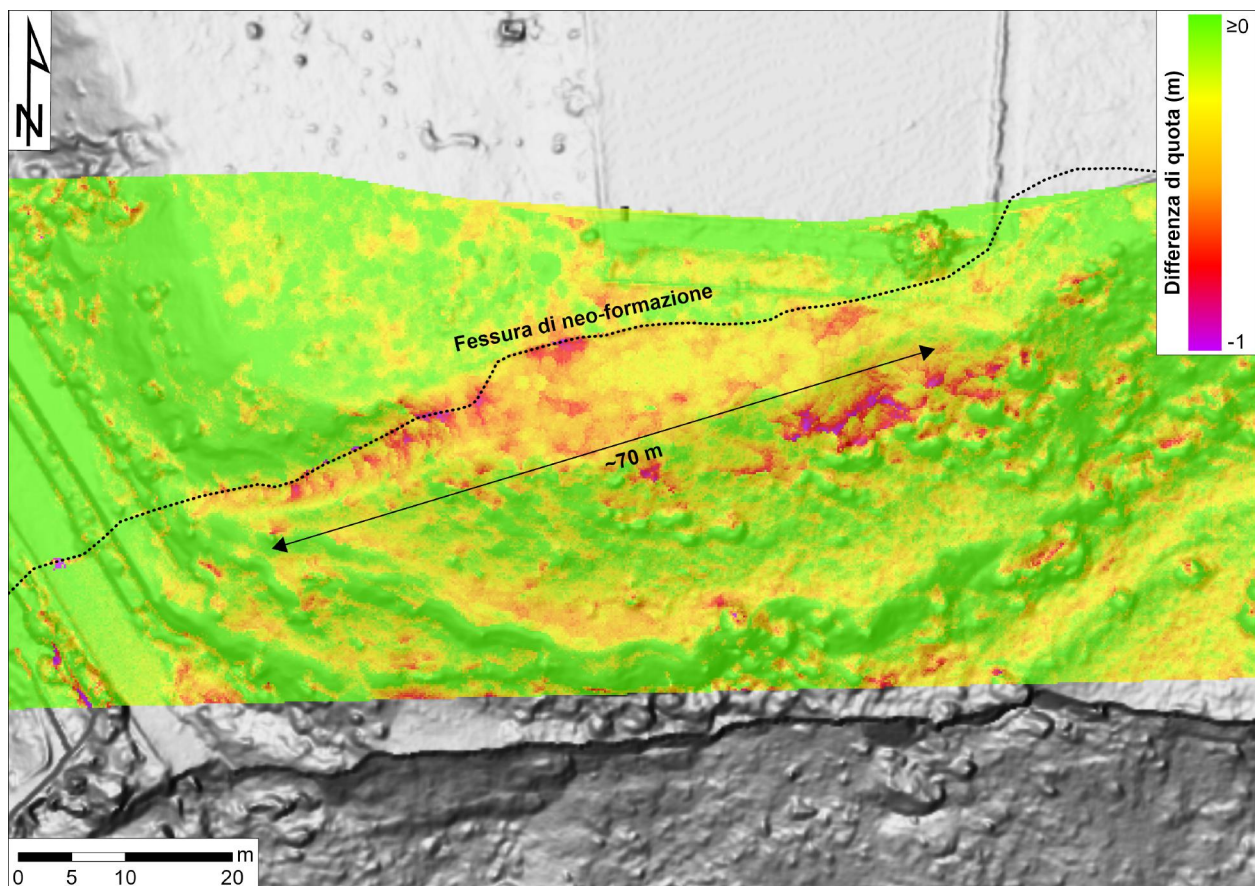


Figura 49 - Differenza di quota tra le nuvole di punti dei due rilievi della Fondazione CIMA (aprile-luglio 2026) nell'area antistante il plesso scolastico San Giuseppe. Si evince un tratto di circa 70 m della fessura di neo-formazione interessato da un ribassamento di qualche decina di centimetri (come documentato dai rilievi speditivi *in situ*), pertanto da ritenersi maggiormente predisposto a costituire il nuovo coronamento della frana in caso di retrogressione dello stesso.

5 Conclusioni

Alla luce delle osservazioni raccolte, si ritiene che sia le fessure di neo-formazione nell'area del plesso scolastico San Giuseppe sia la retrogressione repentina del coronamento nei pressi di Via Ustica siano manifestazioni di fenomeni localizzati di riattivazione della Frana Centrale lungo superfici di scivolamento profonde.

Essi non sono quindi ascrivibili alla naturale degradazione della scarpata formatasi durante la fase parossistica di gennaio 2026 verso un nuovo assetto di equilibrio.

Ciò è compatibile con quanto riportato in Casagli *et al.* (2026a), in cui, parallelamente al graduale arretramento della scarpata a elevata inclinazione, si rimarcava che *“il quadro complessivo [...] permane in uno stato di instabilità evolutiva, con un rischio residuo elevato per l'intero corpo di frana”, “rimane possibile la riattivazione [...] lungo superfici di scivolamento già impostate”* e che *“eventuali riattivazioni del corpo di frana principale [...] possono prevedere fenomeni di arretramento più profondi, la cui entità può essere comunque cautelativamente assimilata a quella massima osservata in occasione dell'evento del 25-26 gennaio (25-30 m)”*.

Tale interpretazione trova conferma nei risultati del monitoraggio strumentale mostrati nel presente rapporto. L'analisi interferometrica multitemporale (Sentinel-1 e COSMO-SkyMed) mostra, in geometria discendente, spostamenti differenziali che superano la soglia di stabilità in corrispondenza di entrambi i settori investigati, con alcuni punti di misura che, dopo una fase di rallentamento, evidenziano una nuova accelerazione nelle acquisizioni più recenti.

Coerentemente, la stazione GNSS NSGP, ubicata sul ciglio della scarpata presso il plesso scolastico, ha registrato dall'installazione uno spostamento di circa 4,5 cm verso sud e un abbassamento di quota di circa 2,5 cm, con in particolare una componente di circa 1 cm verso sud a partire dal 1° luglio 2026, indicativa di una ripresa del movimento.

Sul piano morfometrico, il confronto dei rilievi topografici documenta un arretramento della scarpata concentrato in nicchie circoscritte, con valori che talora raggiungono circa 10 m in prossimità del plesso scolastico San Giuseppe e di via Ustica. In quest'ultimo settore, successivamente all'ultimo rilievo della Fondazione CIMA, si è verificata una retrogressione repentina e in massa del coronamento fino a circa 25 m.

In corrispondenza della fessura antistante la scuola è inoltre riconoscibile un tratto di circa 70 m interessato da un ribassamento di qualche decina di centimetri, da ritenersi il più predisposto a costituire il nuovo coronamento della frana in caso di ulteriore retrogressione della stessa.

Si rileva altresì una correlazione spaziale fra l'ubicazione delle suddette fessure e le nicchie in rapida evoluzione lungo la scarpata principale, elemento che suggerisce la coesistenza di effetti localizzati di detensionamento e di elevata saturazione (come testimoniato dalle riprese termiche effettuate dalla Fondazione CIMA).

Tali meccanismi sono con ogni probabilità conseguenti alle precipitazioni moderate che si sono protratte nei mesi di marzo-aprile 2026 e all'evento temporalesco eccezionale occorso in data 1° luglio 2026. Come già osservato in occasione della prima fase parossistica del 15-16 gennaio 2026, appare sempre più verosimile che vi sia una risposta relativamente dilazionata del sistema rispetto alle piogge, causata dalla scarsa permeabilità dei terreni argillosi in cui si imposta la superficie di scivolamento basale e dalla presenza di percorsi preferenziali di infiltrazione di origine strutturale e/o gravitativa.

A questo proposito, l'apertura delle fessure di neo-formazione rappresenta una criticità che deve essere quanto prima mitigata mediante interventi di sigillatura e/o impermeabilizzazione, anche provvisori.

Si sottolinea l'urgenza di dare massima priorità all'installazione di strumentazione in foro finalizzata al monitoraggio profondo delle pressioni interstiziali e degli spostamenti, rivedendo eventualmente lo schema della rete di monitoraggio prevista in funzione dell'ubicazione delle manifestazioni dei fenomeni gravitativi recenti.

Si ritiene parimenti importante l'installazione di ulteriori sensori GNSS a valle dei tratti in cui le fessurazioni denotano un rigetto più significativo e una maggiore continuità spaziale.

Le evidenze riscontrate confermano l'adeguatezza degli interventi di mitigazione strutturale proposti in Casagli *et al.* (2026a), i quali fra le altre cose si incentrano sulla *“realizzazione di un sistema integrato di drenaggio profondo, costituito da gallerie drenanti e campi pozzi di emungimento, finalizzati alla regolazione dei livelli piezometrici nei livelli argillosi e sabbiosi e alla mitigazione dei meccanismi di instabilità. A tali opere si affiancano interventi di regimazione superficiale, tra cui la riprofilatura dei pendii mediante strutture in terra armata con livelli drenanti, la realizzazione di canali di gronda e il ripristino del reticolo idraulico minore, anche mediante tecniche di ingegneria naturalistica”*.

Si precisa che tutte le nuove fessure sul terreno si sono formate all'interno dell'attuale fascia di interdizione; di conseguenza non sussistono, al momento, i presupposti per una sua ripermimetrazione.

Si raccomanda ad ogni modo di intensificare l'attività di sorveglianza (sia in termini di monitoraggio strumentale sia di ispezioni periodiche *in situ*) per quanto concerne la possibile evoluzione delle manifestazioni gravitative nell'area.

6 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. 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. (2026b). *Le frane di Niscemi del gennaio 2026. Valutazione del rischio residuo nel centro abitato*. Rapporto di aggiornamento del 05/06/2026.
- 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.