

GE013 - Santo Stefano d'Aveto (GE)

1. Inquadramento del sito

Il sito monitorato di Santo Stefano d'Aveto (Città Metropolitana di Genova) trova all'interno di un corpo di frana che prende origine alle pendici del M. Bue e che coinvolge varie litologie del substrato roccioso; tale instabilità rappresenta l'evoluzione progressiva in colata di alcuni scorrimenti di roccia in blocchi. L'abitato risulta distribuito su vari settori della colata, con differenti caratteristiche morfologiche e litologiche, sia in relazione alla lunga storia macroevolutiva della colata di fondovalle sia in rapporto ai contributi di alimentazione laterale. I fattori principali di instabilità locale sembra, quindi, che siano dovuti all'estrema eterogeneità sia composizionale che granulometrica del corpo, con una distribuzione dei movimenti che variano da orizzontali a verticali in funzione del settore della frana (*"Atlante dei Centri Abitati Instabili della Liguria"* – CNR – Prov. di Genova, 2004).

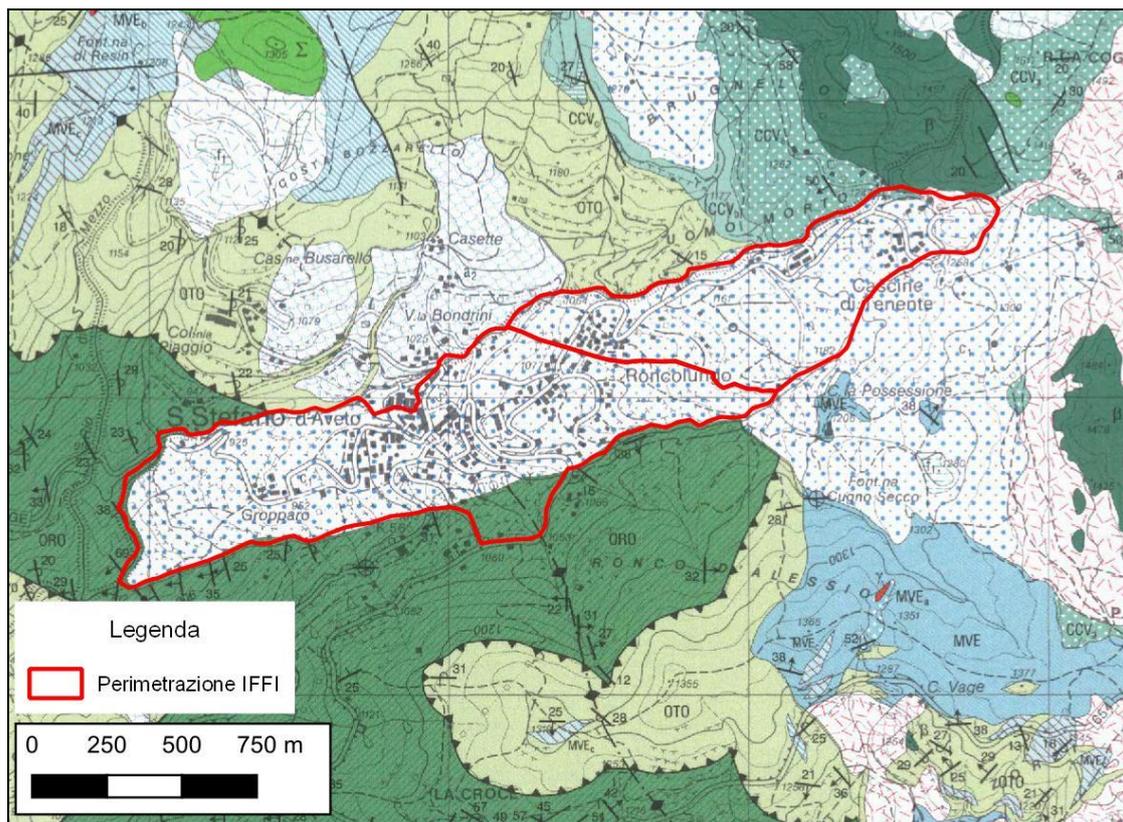


Fig. 1 - Stralcio della Carta Geologica d'Italia (progetto CARG) - Foglio 215 "Bedonia" (scala originale 1:50.000). a1 (cerchi rossi): frane in evoluzione; a2: frane quiescenti; a3: detriti di versante; a4 (trattini azzurri): depositi eluvio-colluviali; c1: depositi glaciali; f1: depositi palustri; OTO: flysch di Ottone; MVE: complesso di Monte Veri (MVE_b: breccie poligenica amatrice pelitica; MVE_c: breccie poligeniche a matrice arenitica); CCV: Complesso di Casanova (CCV_a: arenarie ofiolitiche; CCV_b: breccie mono e poligeniche a matrice pelitica; CCV_c: breccie poligeniche a matrice arenitica); β: olistoliti di basalto; Σ: olistoliti di ultramafiti; γ: granitoidi); ORO: flysch di Monte Orocco.). Per la legenda dei simboli e dei litotipi non riportati nel presente documento, far riferimento alla legenda della carta originale. Le aree interessate da instabilità ricadono all'interno del perimetro IFFI - IdroGEO (linea rossa).

Il dissesto di Santo Stefano d'Aveto, localizzato in un'area dove sono a contatto, mediante sovrascorrimenti circa E-W, il Flysch di Ottone, il Complesso di Casanova e il Flysch di Orocco (Fig.1), è stato monitorato dal 2008 attraverso le letture degli inclinometri SSA1, SSA2 e SSA3, realizzati tra la fine del 2007 e il 2008 (*"Indagini geotecniche e installazione di n°3 inclinometri"*- Ditta Geotirreno, 2007) e sui piezometri in località Roncolungo, "recuperati" durante l'attività di ricognizione del 2008 (Fig.2).

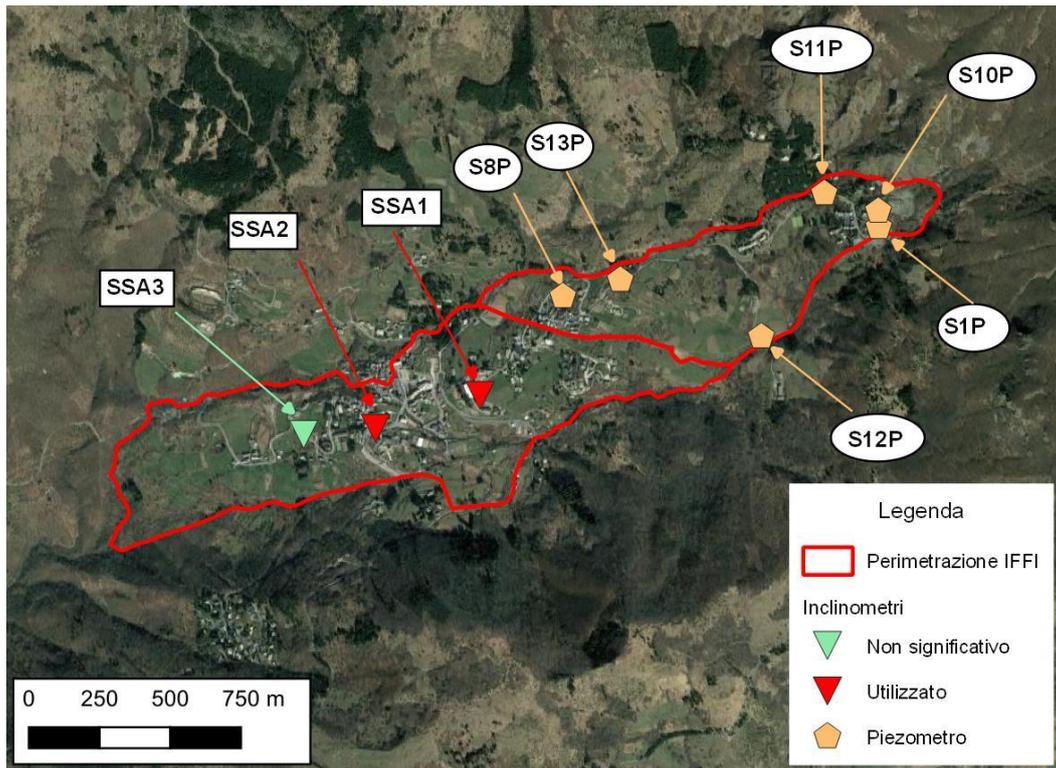


Fig. 2 - Posizione degli inclinometri SSA1, SSA2 e SSA3 e piezometri S1P, S8P, S10P, S11P, S12P, S13P all'interno del corpo di frana.

2. Campagna di indagini 2007

Nel 2007 è stata condotta, grazie ad un finanziamento regionale, una campagna di indagini geognostiche costituita dalla realizzazione di n. 3 carotaggi continui a rotazione, che ha permesso di approfondire le conoscenze nel sito di S. Stefano d'Aveto. Le caratteristiche dei sondaggi e relative installazioni sono riassunte di seguito:

- S1 (59 m) attrezzato con inclinometro fino alla profondità di 57 m;
- S2 (69 m) attrezzato con inclinometro fino alla profondità di 66 m;
- S3 (71 m). attrezzato con inclinometro fino alla profondità di 69 m.

L'ubicazione delle stazioni di monitoraggio è stata decisa al fine di indagare il corpo di frana lungo il suo asse longitudinale (Fig.3).



Fig. 3 - Posizione degli inclinometri SSA1, SSA2 e SSA3 realizzati durante la campagna di indagini 2007.

Dalle stratigrafie redatte durante l'installazione degli inclinometri si evince che il substrato della frana di Santo Stefano d'Aveto si trova ad una profondità variabile tra i 40 m (abitato) e i 64 m (valle dell'abitato). Nello specifico, i sondaggi hanno individuato, a partire dal piano campagna, un accumulo detritico molto potente con frequente presenza di clasti e/o blocchi di dimensioni metriche di ofioliti (basalti e serpentiniti) in una matrice limoso-argillosa cui soggiace un livello roccioso, assimilabile a una breccia poligenica (clasti ofiolitici e calcarei), che riposa al di sopra di un basamento roccioso di natura arenacea.

Dall'analisi stratigrafica e dalla verifica dei dati inclinometrici sembra verosimile che il movimento della massa franosa possa interessare una superficie di scivolamento (deformazione rilevata in SSA1 e SSA2) coincidente con il piano di scollamento tra la coltre detritica e il sottostante primo livello roccioso ofiolitico (profondità 37 - 40 m) nella zona dell'abitato; invece, alla stessa profondità a valle dell'abitato (SSA3) si individua una deformazione che coincide con una variazione nelle caratteristiche geotecniche della coltre, passando da un detrito limoso-argilloso a un materiale sciolto sabbioso di natura poligenica (*"livello caotico di ciottoli e ghiaia di natura ofiolitica verdastra in matrice limo/sabbiosa/argillosa di colore prima violaceo poi verdastro passante a livello limo sabbioso di colore grigiastro verdognolo contenente ghiaietto e ciottoli inclusi, di natura poligenica ed eterometrica "sciolto"*).

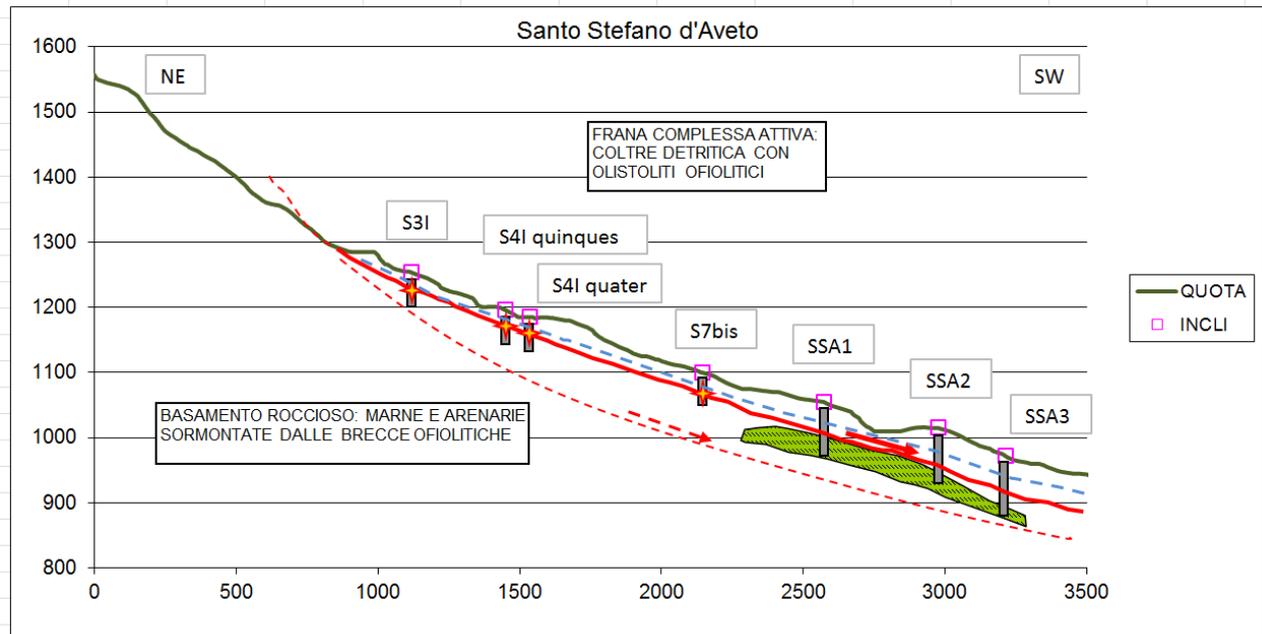


Fig. 4 – Sezione del versante di Santo Stefano d'Aveto e la frazione di Roncolungo. Linea verde: superficie topografica; linea rossa: possibile superficie di scivolamento intermedia; linea tratteggiata rossa: superficie di scivolamento profonda ipotizzata; linea tratteggiata blu: livello della falda freatica.

La massa detritica potrebbe scorrere quindi a -40 m da p.c., lungo il contatto con le breccie ofiolitiche e, più a valle, ove la potenza del detrito sembra arrivare a 64 m, lungo una superficie di scivolamento localizzata all'interno della massa stessa a 40 m.

La strumentazione inclinometrica risulta collocata nella frana identificata nel Progetto IFFI – IdroGeo così come segue:

Inclinometri: SSA1, SSA2 e SSA3

Tipo	Complesso
Stato	Quiescente generico
Identificativo	0100044102
Area [mq]	840719

Zona Rocca d'Aveto

Tipo	Complesso
Stato	Attivo/riattivato/sospeso
Identificativo	0100044101
Area [mq]	474761

3. *Analisi dei dati inclinometrici (monitoraggio non attivo)*

Inclinometro SSA3 (67.5 m) – valle del centro abitato

La storia dell'inclinometro in oggetto risulta alquanto complessa: a partire dal momento dell'installazione e della lettura di zero, eseguita nel marzo 2008, nel giro di pochi mesi (giugno 2008) sono stati registrati valori globali di spostamento di circa 67 mm. Le letture acquisite ad oggi hanno consentito di rilevare movimenti fino a un massimo di 80 mm, e una rilevante oscillazione strumentale tra 64 mm e 80 mm.

Dall'elaborazione differenziale integrale non si evincono particolari deformazioni se non una perturbazione nella morfologia delle deformate intorno a 37 m che coincide con la profondità alla quale l'elaborazione differenziale locale rileva la presenza del picco principale (Fig.5). Tale profondità inoltre coincide con quelle riportate negli altri inclinometri alle quali si rileva la massima profondità del movimento della massa franosa. Inoltre, la zona più profonda rispetto ai -40 m da p.c. mostra valori di spostamento nell'elaborazione locale di una certa entità già a fondo foro; pertanto nel caso in oggetto rimane di particolare importanza la verifica dell'elaborazione differenziale locale e il controllo del movimento nel picco della deformazione. Dal 2012 si concorda con Regione Liguria la sospensione delle letture.

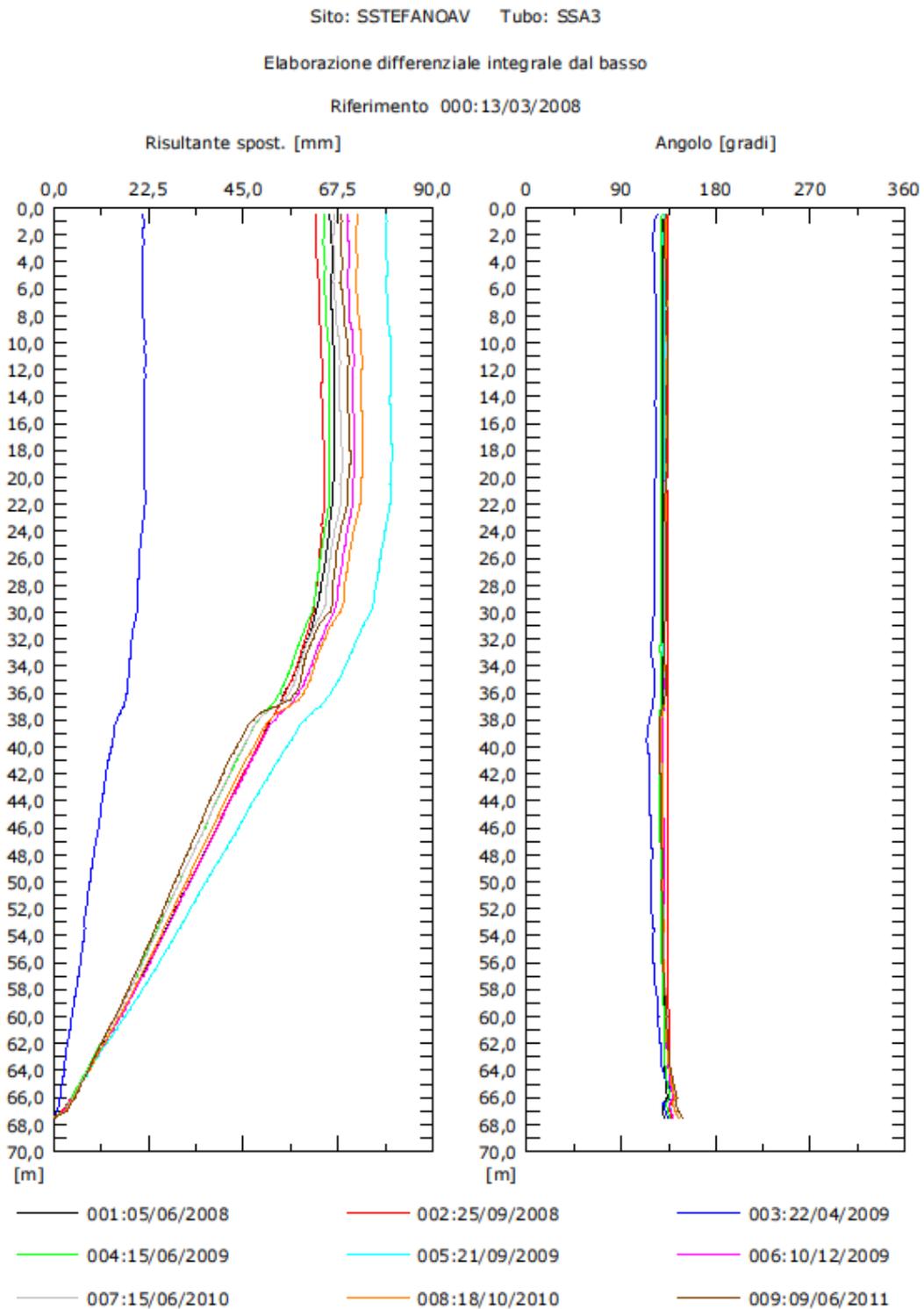


Fig.5 a Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) dell'inclinometro SSA3.

Sito: SSTEFANOAV Tubo: SSA3

Elaborazione differenziale locale dal basso

Riferimento 000:13/03/2008

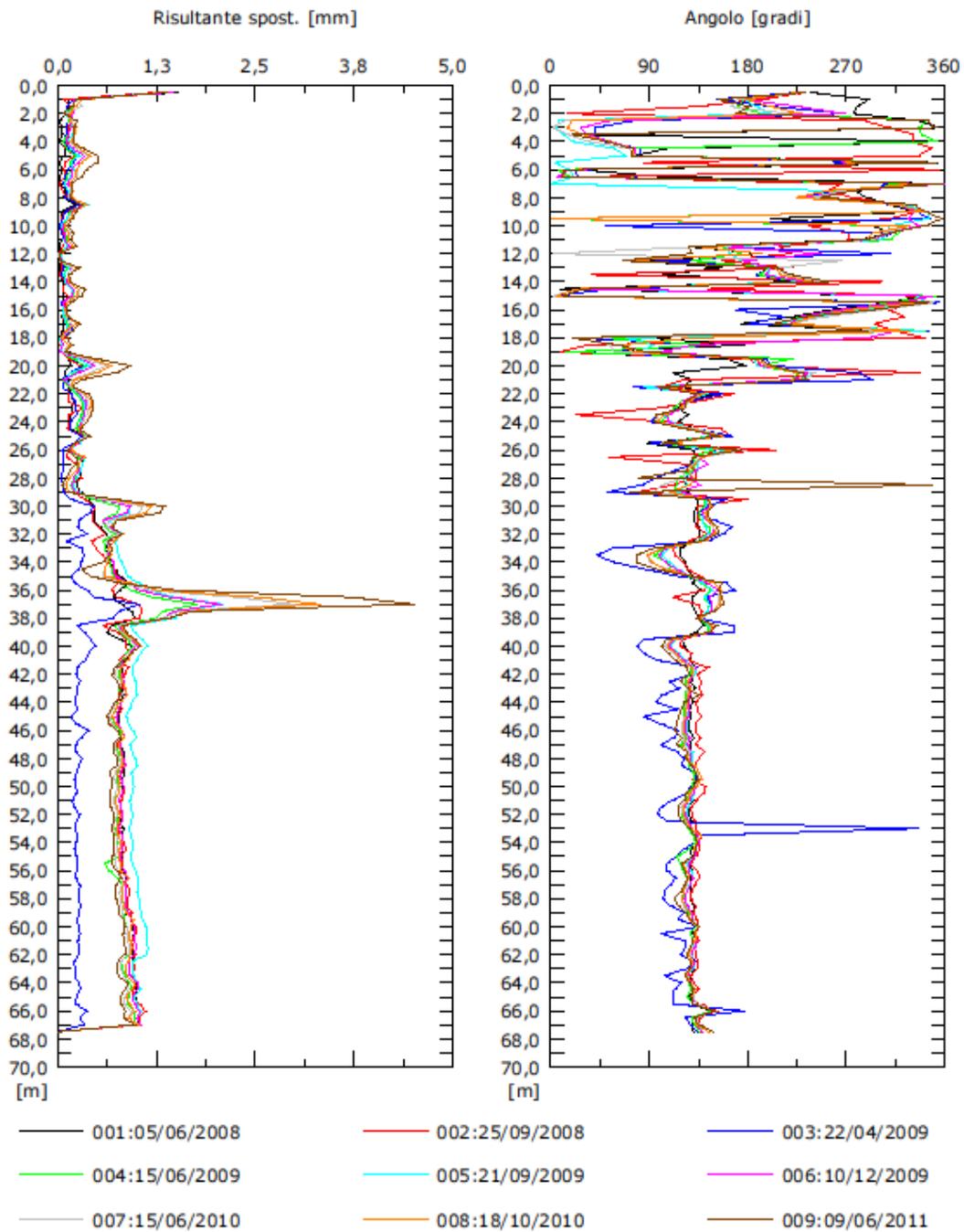


Fig.5 b Grafici relativi all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali), dell'inclinometro SSA3.

4. Analisi dei dati inclinometrici (monitoraggio attivo)

Di seguito si riassume l'attività di monitoraggio del 2024.

Data	Attività	Strumentazione	Sistema di misura
05/08/2024	lettura di esercizio sulle guide A1/A3	Inclinometri SSA1 e SSA2	Sonda servoaccelerometrica biax. S060314

Tab. 1 – Ultime misure effettuate nel sito di Santo Stefano d'Aveto

Inclinometro SSA1 (56.5 m) - zona centrale della frana (a monte del centro abitato)

La verifica dei *dataset* nell'anno 2024 attraverso i “*checksum*” e la “*deviazione standard*” non ha evidenziato anomalie strumentali nella lettura effettuata. La curva relativa al differenziale integrale, lettura 2024 (rosso), si colloca a pochi mm dalla cumulata 2023 (magenta). Tale valore va confrontato con la curva del differenziale locale in cui esso si conferma in lieve incremento lungo tutta la colonna inclinometrica. Inoltre, è importante sottolineare che l'accuratezza della misura va rapportata alla lunghezza dell'inclinometro: in generale i valori negli ultimi anni hanno subito un'oscillazione che andrà analizzata con le prossime letture per verificarne l'entità in maniera più precisa. Ad oggi si è registrato uno spostamento complessivo a testa tubo di 83,5 mm, con un incremento di circa 3.5 mm rispetto alla misura di dicembre 2023. La variazione locale massima è pari a 3,85 mm ed è stata evidenziata alla profondità di 42,5 metri, a conferma dei dati pregressi. Sul differenziale locale non risulta individuabile una superficie di scivolamento principale: l'entità degli spostamenti misurati rientrano nell'errore strumentale e non si discostano dalle letture precedenti.

Il diagramma polare, infine, conferma la direzione di movimento delle letture precedenti (azimuth medio pari a 230° circa), mostrando una modesta deviazione della risultante degli spostamenti, verosimilmente dovuta ad una rotazione dell'inclinometro, essendo quest'ultimo installato in un deposito morenico avente una potenza quasi confrontabile alla lunghezza dell'inclinometro stesso.

Sito: SSTEFAOAV Tubo: SSA1

Elaborazione differenziale integrale dal basso

Riferimento 000:13/03/2008

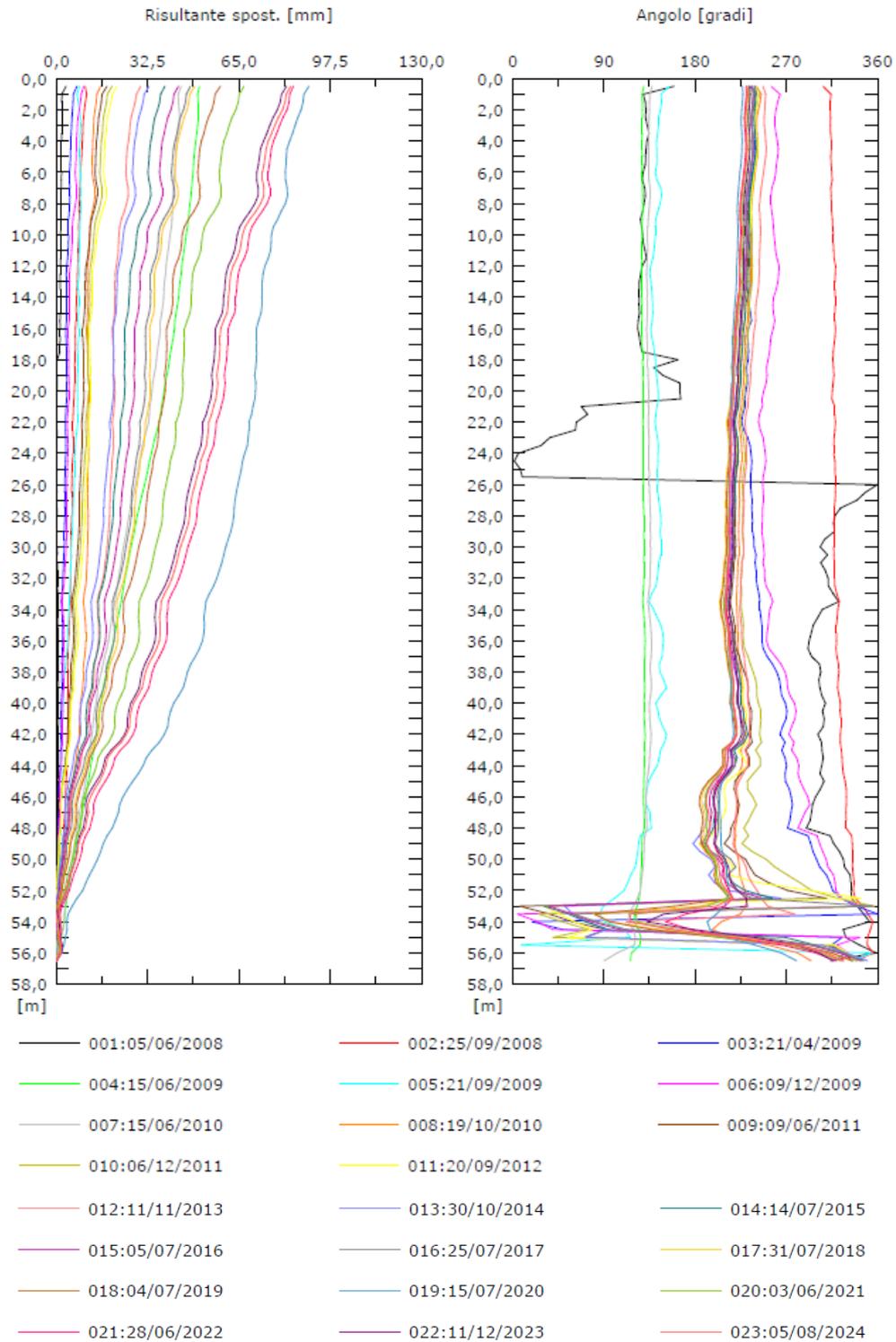


Fig. 6a - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) dell'inclinometro SSA1

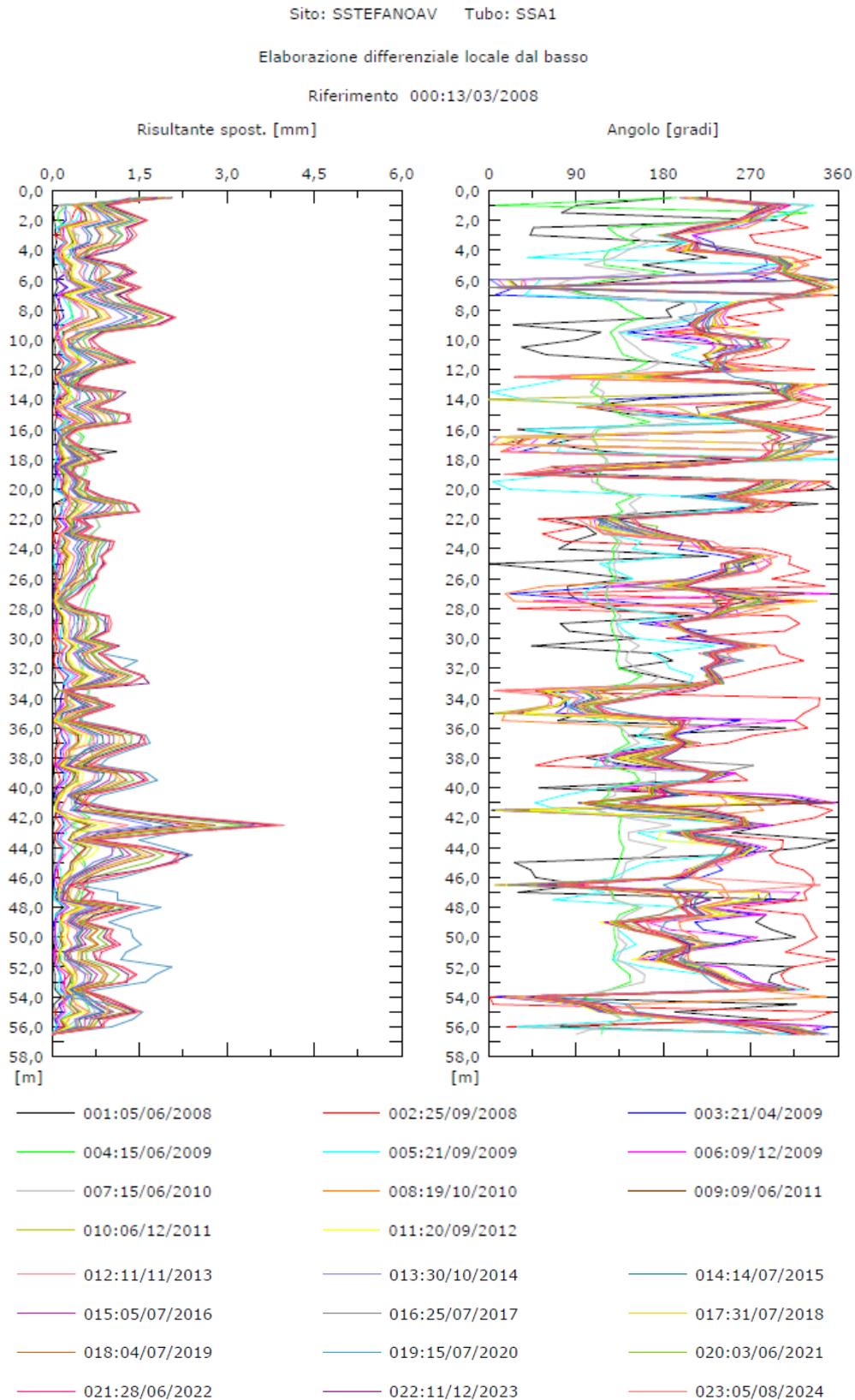


Fig. 6 - Grafici relativi all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro SSA1.

Sito: SSTEFAVOAV Tubo: SSA1

Elaborazione differenziale integrale dal basso

Riferimento 000:13/03/2008

Diagramma polare della deviazione

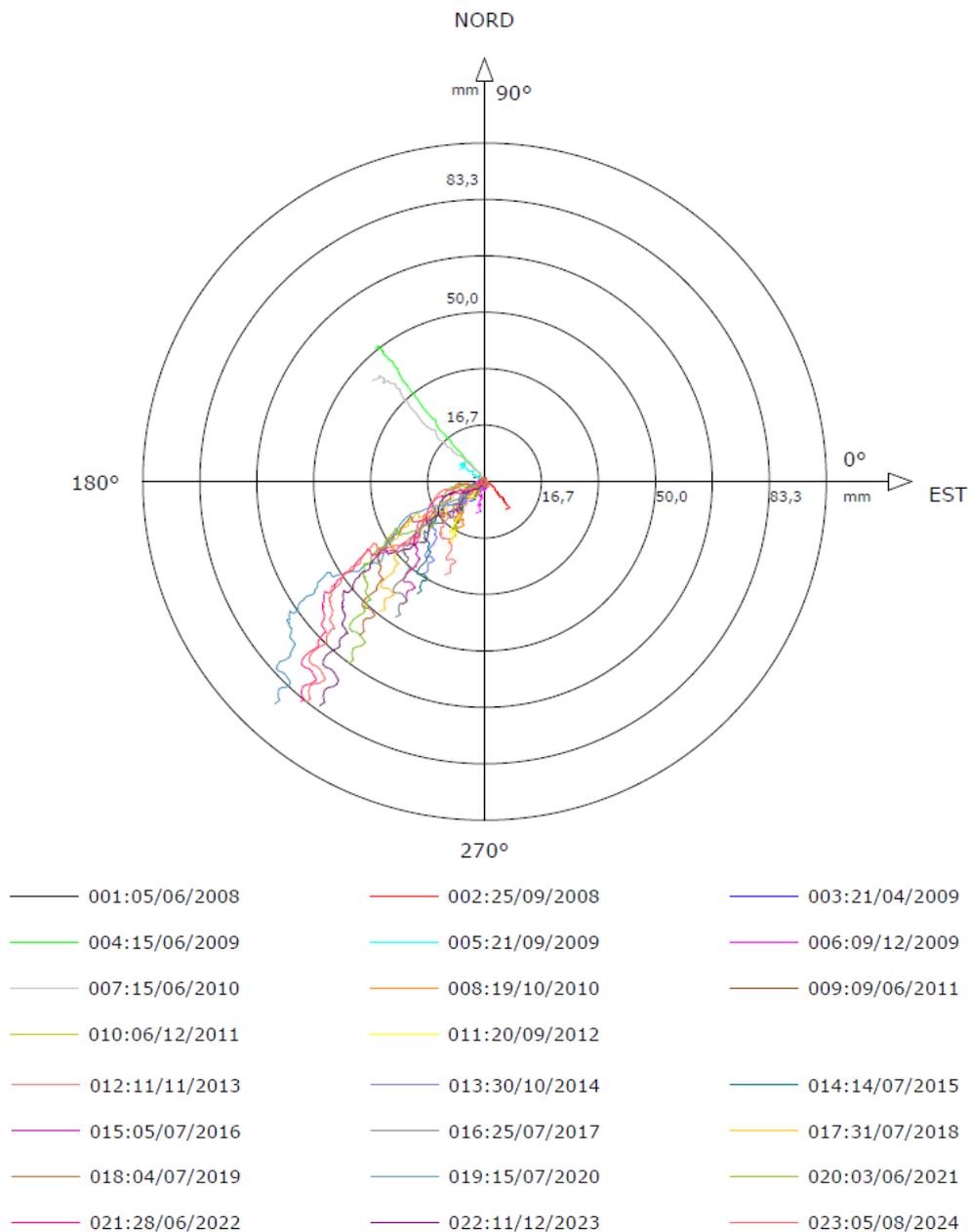


Fig. 7 – Diagramma polare relativo all'elaborazione differenziale integrale dell'inclinometro SSA1.

Inclinometro SSA2 (62.5 m) – centro abitato

La verifica dei *dataset* nell'anno 2024 attraverso i “*checksum*” e la “*deviazione standard*” non ha evidenziato anomalie strumentali nella lettura effettuata. La curva sul differenziale integrale 2024 mostra un incremento di circa 10 mm rispetto alla misura 2023. Ad oggi lo spostamento cumulato a testa tubo arriva a 119,5 mm.

La variazione locale massima è calcolata alla profondità di 13,5 metri in 2,8 mm all'interno di una fascia di deformazione più marcata compresa tra 12,5 e 14,5 metri da p.c.; va rilevato che le misure elaborate mostrano spostamenti locali superiori a 2 mm anche alle profondità di 47,5m, 36,5m, 33,5m che giustificano la cumulata totale indicando una deformazione estesa a tutto il corpo di frana e non legata ad una sola superficie di scorrimento.

Il diagramma polare di SSA2 mostra una direzione di scivolamento verso SW (azimuth medio pari a 200°), concordemente con la direzione di perdita di quota del pendio (Figg.8-9).

Sito: SSTEFAVOAV Tubo: SSA2

Elaborazione differenziale integrale dal basso

Riferimento 000:12/03/2008

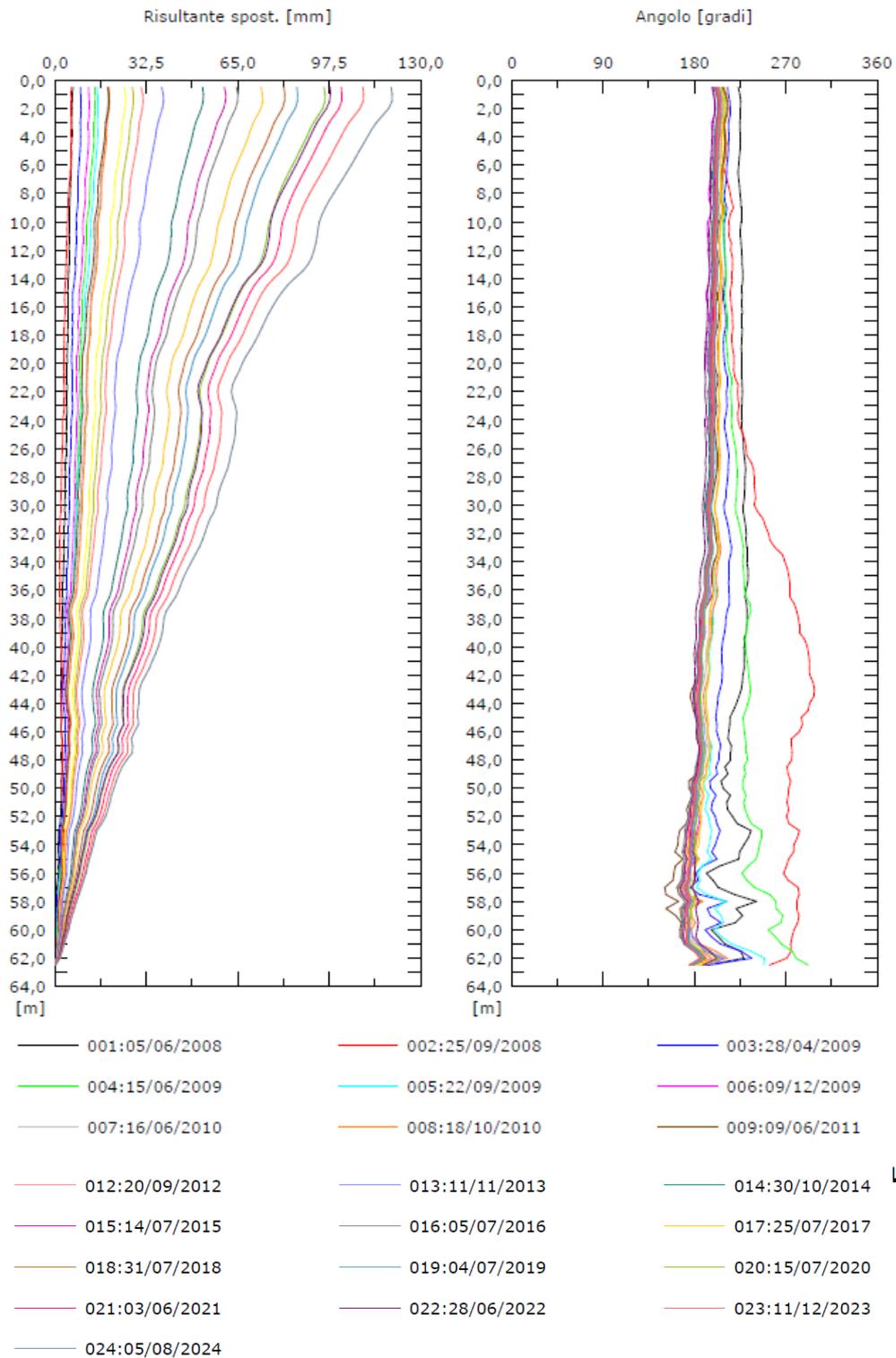


Fig. 8a - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) dell'inclinometro SSA2.

Sito: SSTEFANOAV Tubo: SSA2

Elaborazione differenziale locale dal basso

Riferimento 000:12/03/2008

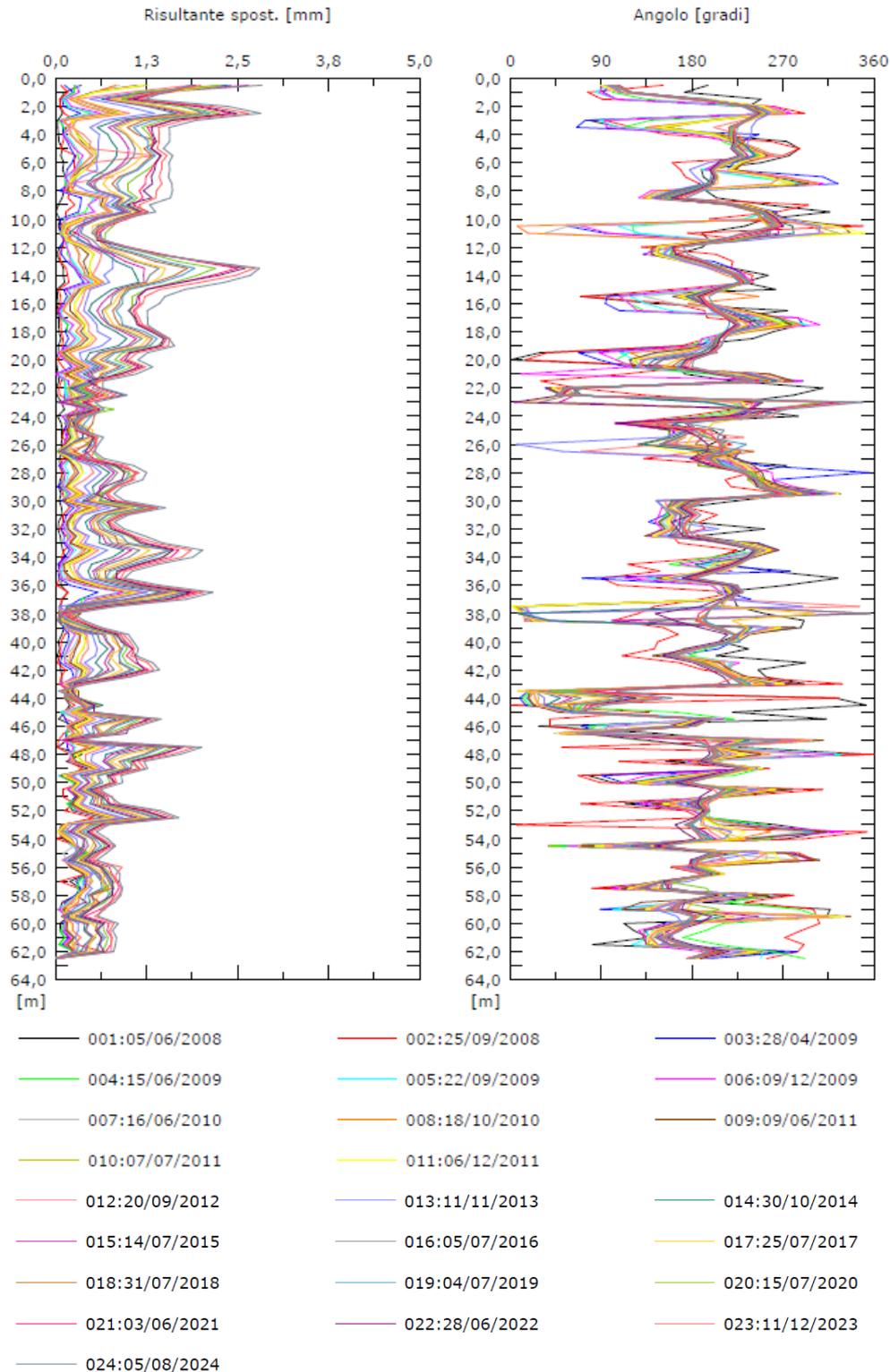


Fig. 8b - Grafici relativi all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro SSA2.

Sito: SSTEFAÑOAV Tubo: SSA2

Elaborazione differenziale integrale dal basso

Riferimento 000:12/03/2008

Diagramma polare della deviazione

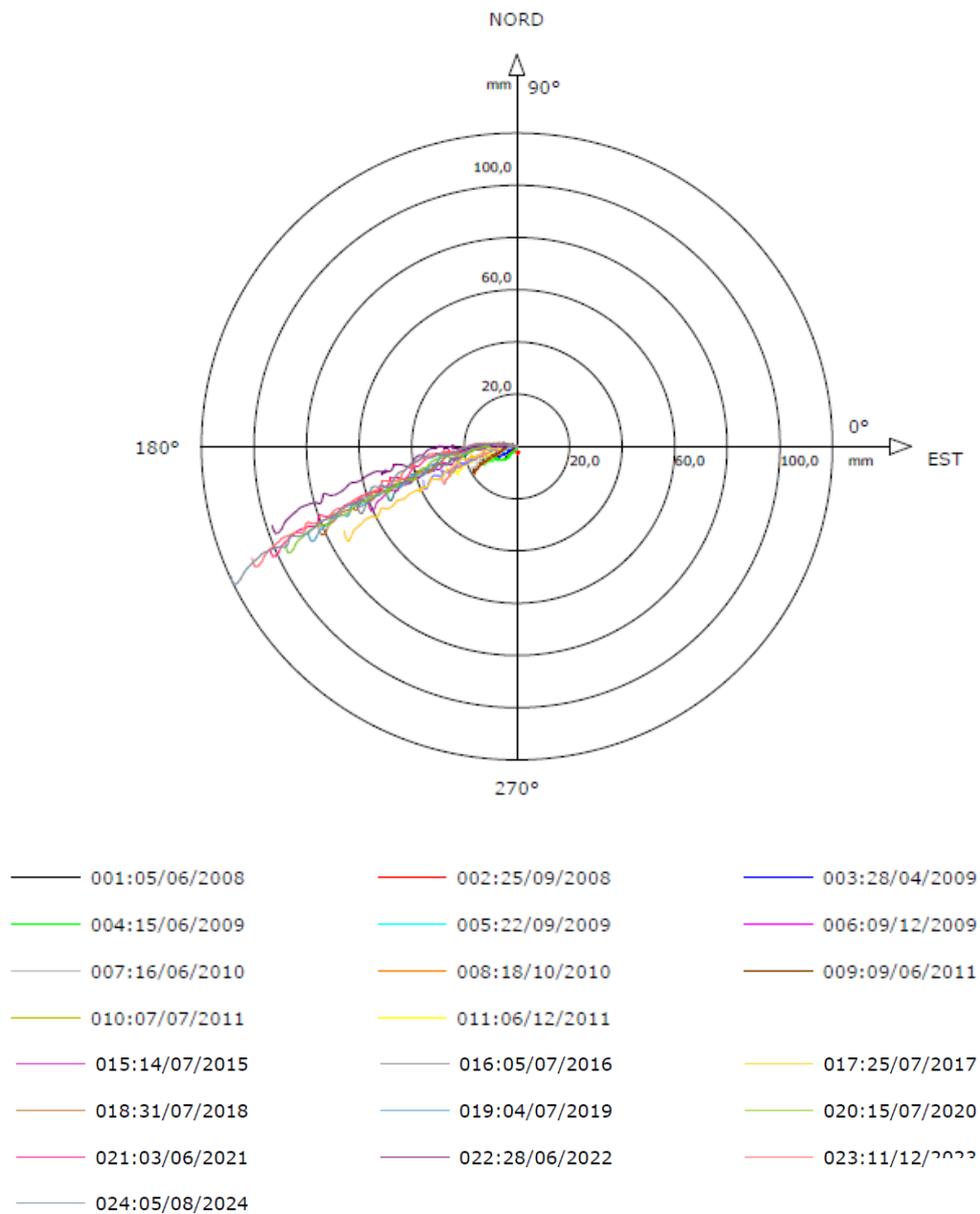


Fig. 9 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro SSA2.

5. Conclusioni

Come riportato nei grafici soprastanti, gli spostamenti maggiori ammontano a circa 120 mm nella zona centrale dell'abitato e 83 mm nella zona a monte, in direzione W-SW, che rappresenta la direzione di espansione della frana; in particolare, la zona del centro abitato ha evidenziato direzioni azimutali di spostamento concordi con la direzione morfologica di valle. La presenza di movimenti, apparentemente indipendenti, è strettamente connessa alle dimensioni del colamento, il cui movimento può subire delle variazioni locali sia in direzione sia in valori assoluti degli incrementi di spostamento; nonostante l'elevata profondità delle tubazioni inclinometriche, spesso si registrano spostamenti anche in prossimità del fondo foro. La zona ove sono posizionati SSA1 e SSA2 (centro abitato e monte del centro abitato) mostra delle direzioni azimutali concordi con la direzione morfologica di valle SW, mentre più a valle del centro abitato, ove è collocato SSA3, si sono registrate delle direzioni univoche di movimento verso NW, con una deviazione verso il torrente Fossato Grosso, il quale attualmente opera un'azione erosiva sul lato settentrionale della massa franosa (Figg.10 e 11).

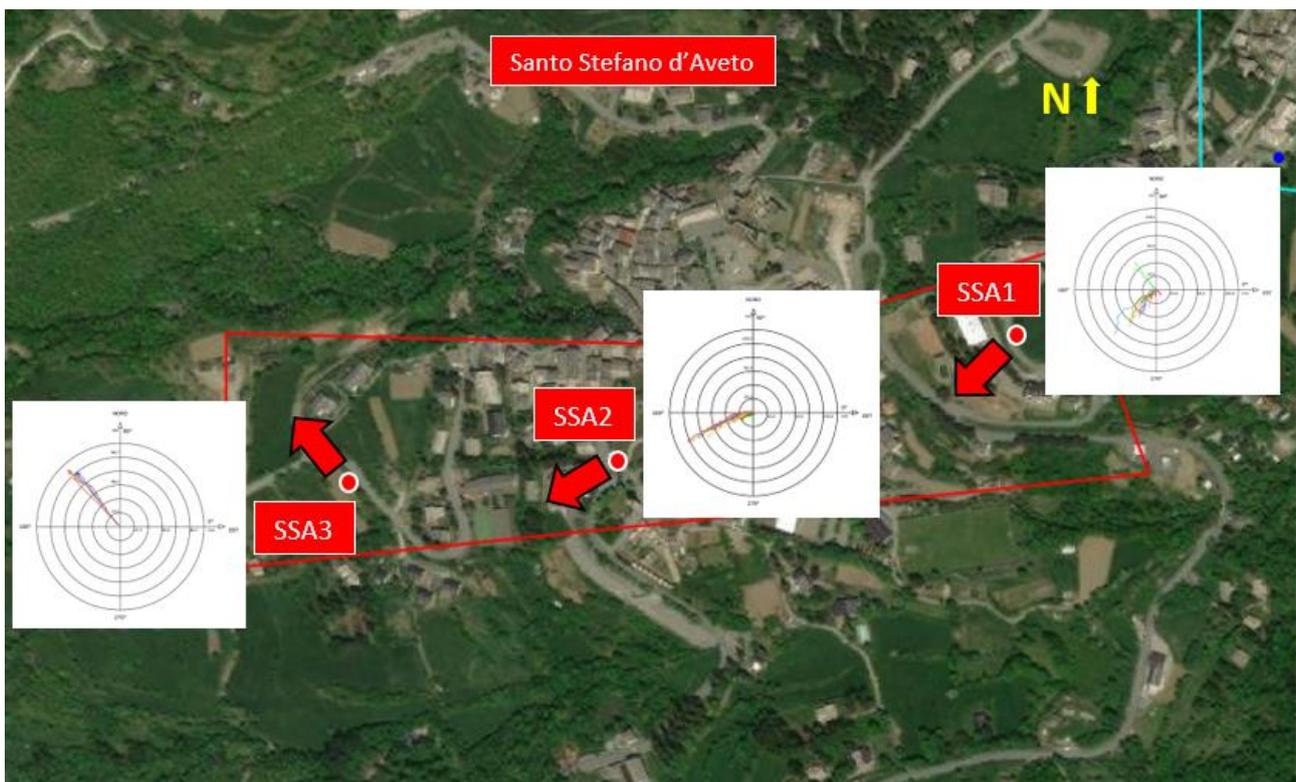


Fig. 10 - Direzione di movimento dell'area in frana che coinvolge l'abitato di Santo Stefano d'Aveto.

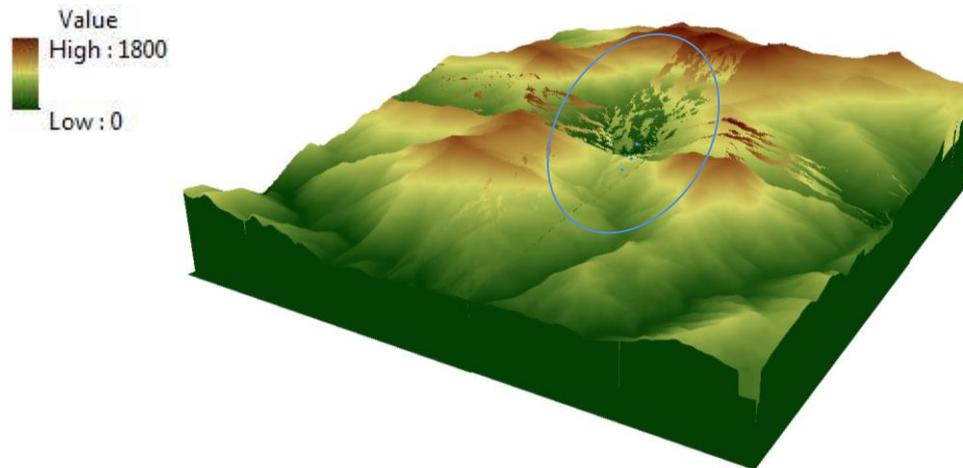


Fig. 11 – DTM dell’area in frana che coinvolge la frana di Santo Stefano d’Aveto e la frazione di Roncolungo: si può osservare la barriera di rilievi da cui si è originato il movimento franoso

La velocità media della massa franosa nel periodo 2008-2024 si attesta intorno a valori di 5-10 mm/anno senza particolari periodi critici. Lo spostamento orizzontale, misurato in costante lenta progressione (eccezione fatta per l’accelerazione presumibilmente correlata all’evento sismico 2011), può essere definito di tipo “*deformazione profonda da creep*”. La sequenza delle riattivazioni e delle pause risulta evidente in tutta l’area, con valori totali di spostamento registrati negli inclinometri paragonabili fino al 2013, anno in cui si osserva una minima differenza pari a circa 10 mm tra SSA2 e SSA1. Gli anni successivi risultano caratterizzati da una serie di incrementi sensibilmente superiori in SSA2 (Fig.12): la differenza di velocità tra la zona centrale e quella più a monte sembra infatti essere aumentata negli ultimi anni.

Sulla base delle informazioni derivate dall’acquisizione di nuovi dati inclinometrici e di dati pregressi, si può ipotizzare un’unica superficie di scorrimento che potrebbe collegare le deformazioni negli inclinometri tagliati a monte (intorno a 13 m di profondità) con le deformazioni rilevate a valle a maggiore profondità intorno a 40 m. L’assenza di una superficie di scorrimento netta (e forse in alcune zone lo spostamento a fondo foro), desunta dall’interpretazione delle letture inclinometriche, non esclude comunque la possibile presenza di scorrimenti ancora più profondi non intercettati dalle installazioni inclinometriche monitorate.

I dati relativi alla circolazione idrica sotterranea permettono di osservare che il livello della falda, sebbene monitorato nella parte superiore dell’accumulo franoso (Fig.13), si mantiene molto in superficie con valori inferiori a 5 m di profondità, ad eccezione del piezometro S10, intestato nella parte alta del corpo franoso: pertanto la quasi totalità della frana si trova in condizioni di saturazione per tutto l’anno.

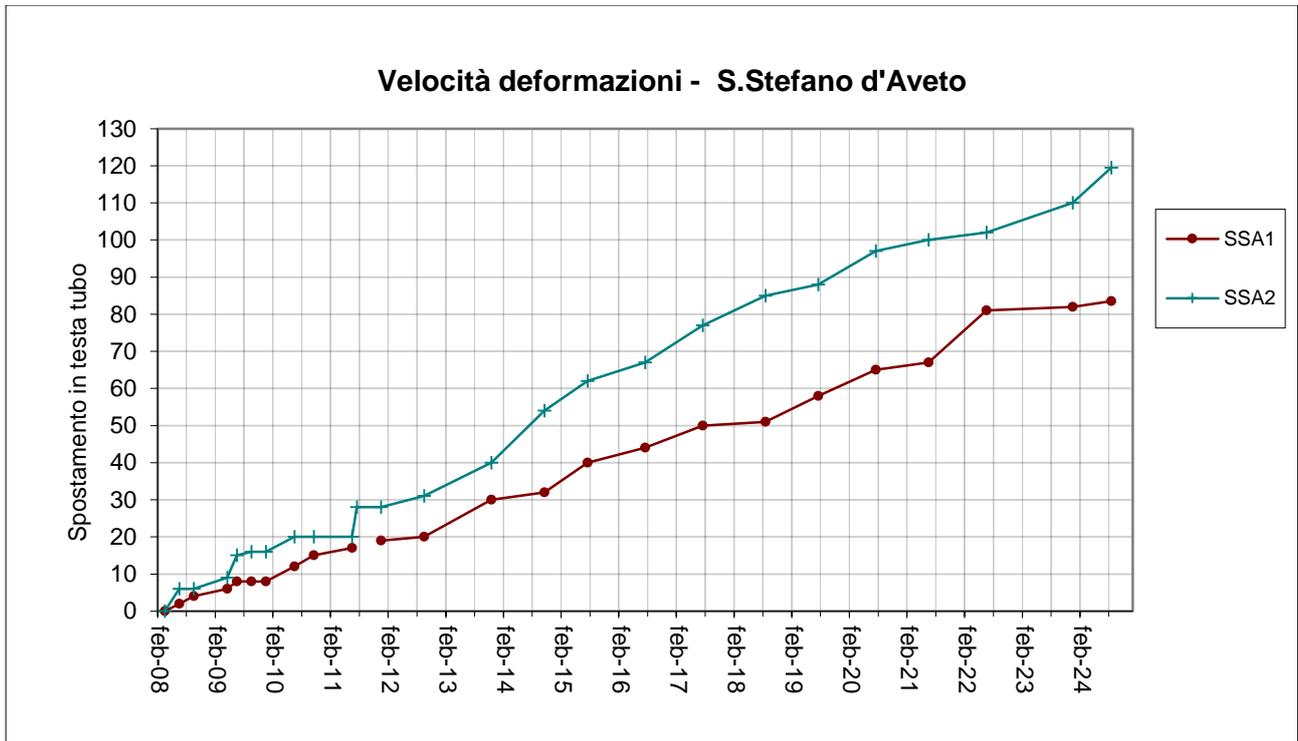


Fig. 12 - Velocità delle deformazioni nel periodo 2008-2024 – Linea di tendenza SSA1 e SSA2

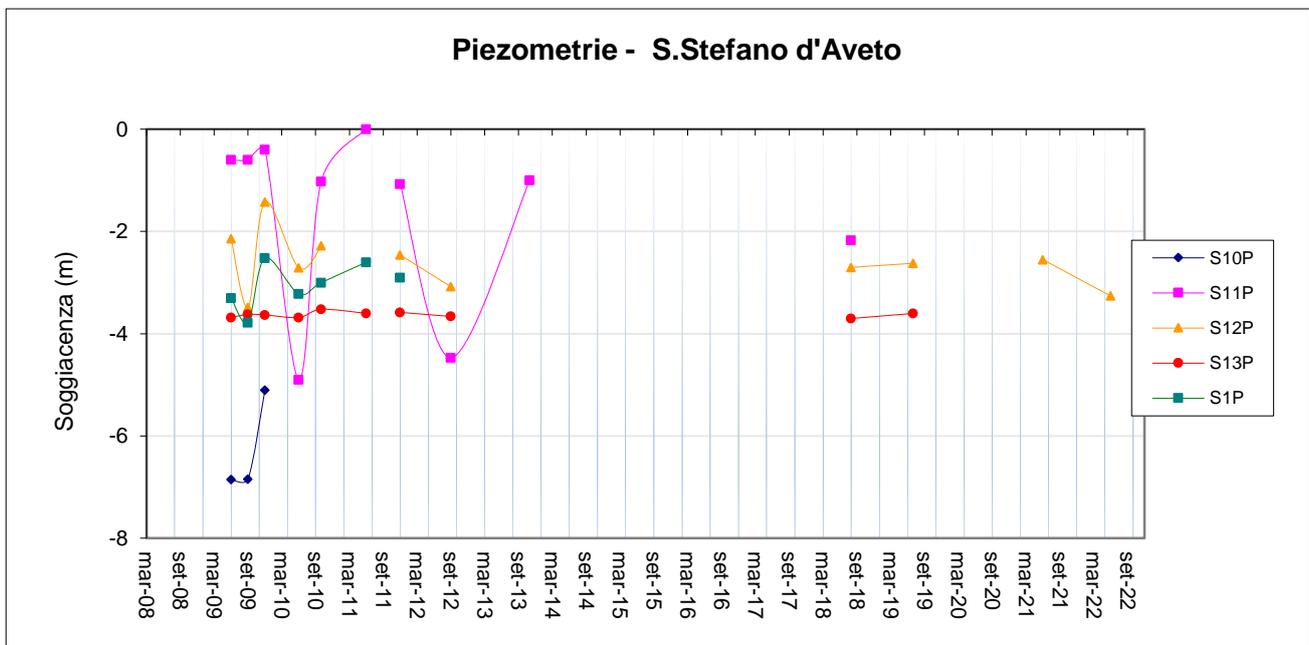


Fig. 13 - Soggiacenza della falda.

Il rapporto tra eventi meteorici e movimenti del versante dal 2008 al 2024 è rappresentato nei grafici seguenti (Figg.14 e 15):

- anni 2008 e 2009: pulsazione della frana con spostamenti moderati e stasi spesso non perfettamente sincroni nelle varie zone del versante, dovuti principalmente ai massimi pluviometrici dei mesi autunnali (picchi di 362 e 353 mm per i mesi di ottobre e novembre 2009) e ad una presenza di eventi estremi distribuiti nel periodo autunnale con valori di 200-250 mm in pochi giorni;
- anno 2010: l'attività della frana risulta differenziata con incrementi sostanziali nella zona centrale fino a quasi nulli nella zona posta più a monte, in un anno piuttosto piovoso nel periodo autunnale (valori di 988 mm di pioggia tra settembre e dicembre);
- anni 2011 e 2012: gli anni sono stati caratterizzati da un quantitativo di piogge complessivamente inferiore al 2010, cui si associa una quiescenza del fenomeno franoso, ad eccezione del movimento nel giugno 2011, presumibilmente correlato ad un evento sismico;
- anni 2013 e 2014: le decise riattivazioni rilevate sono da mettere verosimilmente in relazione agli eventi precipitativi registrati a partire dall'autunno 2012, presenti per tutto il 2013 e proseguiti per i primi mesi del 2014. Si osserva, in particolare, a partire da ottobre 2013 fino a febbraio 2014 (cumulata mensile di novembre 2014 con oltre 500 mm ed evento estremo di 368 mm/4gg) un periodo prolungato e intenso con quantitativi pluviometrici pari a 1467 mm/5mesi;
- anni 2015-2017: eccezione fatta per l'evento sub-alluvionale di settembre 2015 con 137 mm di pioggia in poche ore e per le cumulate di febbraio e novembre 2016 e dicembre 2017, questi anni sono caratterizzati da precipitazioni da scarse a modeste che hanno comportato comunque ulteriori spostamenti in linea con quanto rilevato dal 2008;
- anno 2018: è stato un anno mediamente piovoso, con un evento estremo alla fine di ottobre del 2018 (418 mm/3gg). La risposta della frana agli eventi meteo, non particolarmente intensi e duraturi, risulta non univoca: nella zona centrale si è osservato un trend di spostamento in linea con gli anni precedenti (da mettere in relazione con le cumulate di gennaio e aprile pari a 300 mm ciascuna), mentre la zona superiore non ha evidenziato alcun movimento (stasi);
- anno 2019: caratterizzato da precipitazioni modeste ad eccezione di eventi particolarmente intensi nel mese di ottobre e novembre, mese in cui si registra una cumulata superiore ai 600 mm. Nella lettura di luglio 2019 si registra una riattivazione nella zona di monte pari a 1 cm e un debole incremento a valle: tali spostamenti potrebbero essere attribuibili agli eventi meteo di ottobre 2018.
- anno 2020: caratterizzato da precipitazioni nella norma, si registra un'attività sostanziale della frana, verosimilmente da imputare anche al regime pluviometrico dei mesi ottobre-dicembre, in cui risalta la cumulata mensile di quasi 700 mm nel mese di novembre (con 267 mm di pioggia caduti in 3 gg).

- anno 2021: caratterizzato da precipitazioni nella norma, si registra un'evoluzione del corpo di frana con accelerazioni nella media annuale. Gli eventi più intensi sono stati registrati a gennaio e novembre con cumulate di pioggia pari a 294 mm/mese e 325 mm/mese. Le piogge di intensità maggiore (eventi estremi) hanno raggiunto, negli stessi mesi, cumulate pari a 162 mm e 221 mm.
- anno 2022: caratterizzato da precipitazioni nella norma, si registra un'evoluzione del corpo di frana con accelerazioni registrate nell'inclinometro SSA1, mentre per l'inclinometro SSA2 il movimento non ha subito differenze rispetto all'anno precedente. Gli eventi più intensi sono stati registrati a novembre e dicembre con cumulate di pioggia pari a 264 mm/mese e 297 mm/mese.
- anno 2023: l'inclinometro SSA1 evidenzia lievi incrementi di spostamento rispetto a quanto misurato nel 2022, mentre per quanto riguarda l'inclinometro SSA2 il movimento ha registrato un aumento degli spostamenti totali rispetto al trend del biennio precedente. Gli eventi più intensi sono stati registrati a maggio e dicembre con cumulate di pioggia pari a 264 mm/mese e 297 mm/mese.
- anno 2024: il trend di spostamenti misurati dall'inclinometro SSA1 rimane costante rispetto l'anno precedente, mentre per l'inclinometro SSA2 il movimento ha registrato un incremento degli spostamenti totali lievemente superiore a quanto accaduto nell'anno precedente. Le precipitazioni cumulate maggiori sono state registrate nei mesi di febbraio, marzo e ottobre, con cumulate prossime ai 300 mm/mese, ad eccezione del mese di ottobre in cui sono stati misurati 633 mm/mese.

Ad oggi, quindi, il corpo morfologico sembra spostarsi nel tempo con incrementi della stessa entità a prescindere da eventi meteorici anche di particolare entità: nelle varie zone si riscontrano risposte a eventi prolungati/intensi e stasi in periodi secchi, spesso non in fase; risulta conseguentemente difficile interpretare la dipendenza diretta pioggia-spostamento.

Date le dimensioni del complesso coltre franosa/substrato alterato e disarticolato che scorre su un basamento rigido a profondità superiori a 40 m, ne segue come siano fondamentali gli aspetti relativi alla scadente qualità geomeccanica dell'ammasso roccioso di base e alla gravità, entrambe concause del dissesto in atto. Non si può escludere ancora che, considerando una coltre franosa che si estende in superficie per oltre 5 km di lunghezza e potente oltre 70 m, con una falda freatica stazionaria a profondità esigue di circa 3-4 m, gli eventi meteorici abbiano un'influenza diretta limitata e possano essere considerati una causa secondaria del movimento.

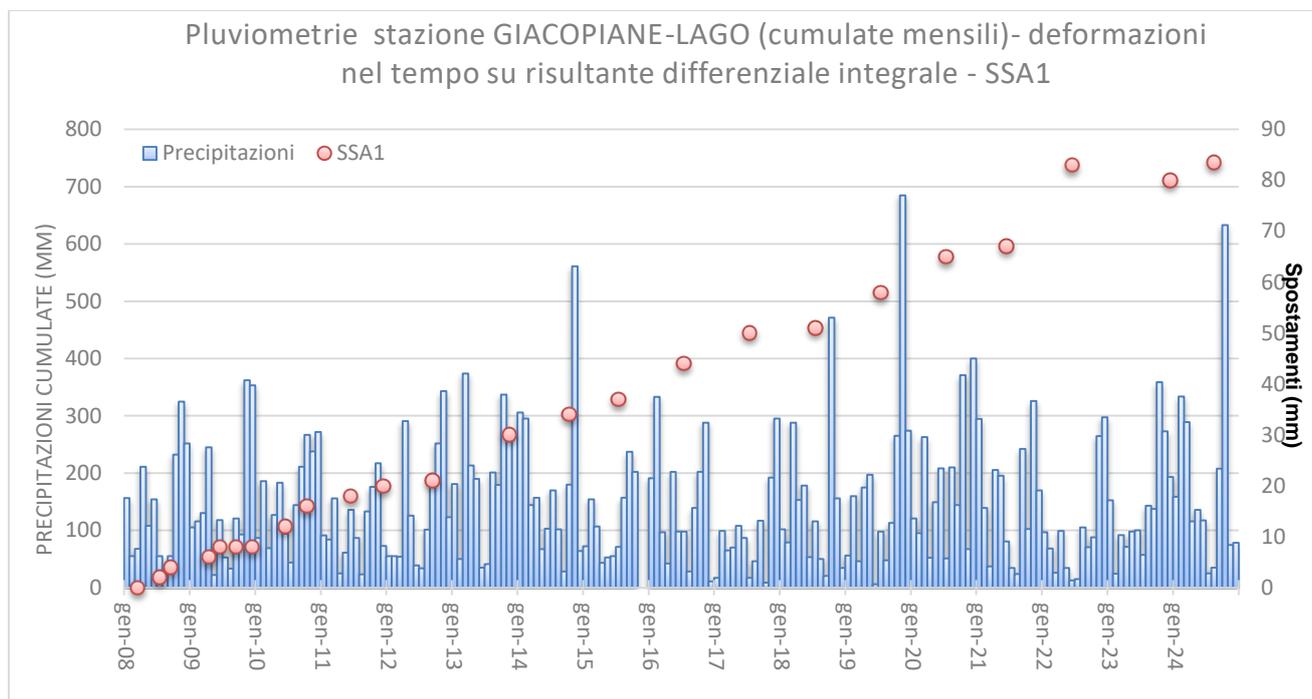


Fig. 14 – Andamento pluviometrico mensile (stazione LGIAC) e letture inclinometriche SSA1, periodo 2008-2024.

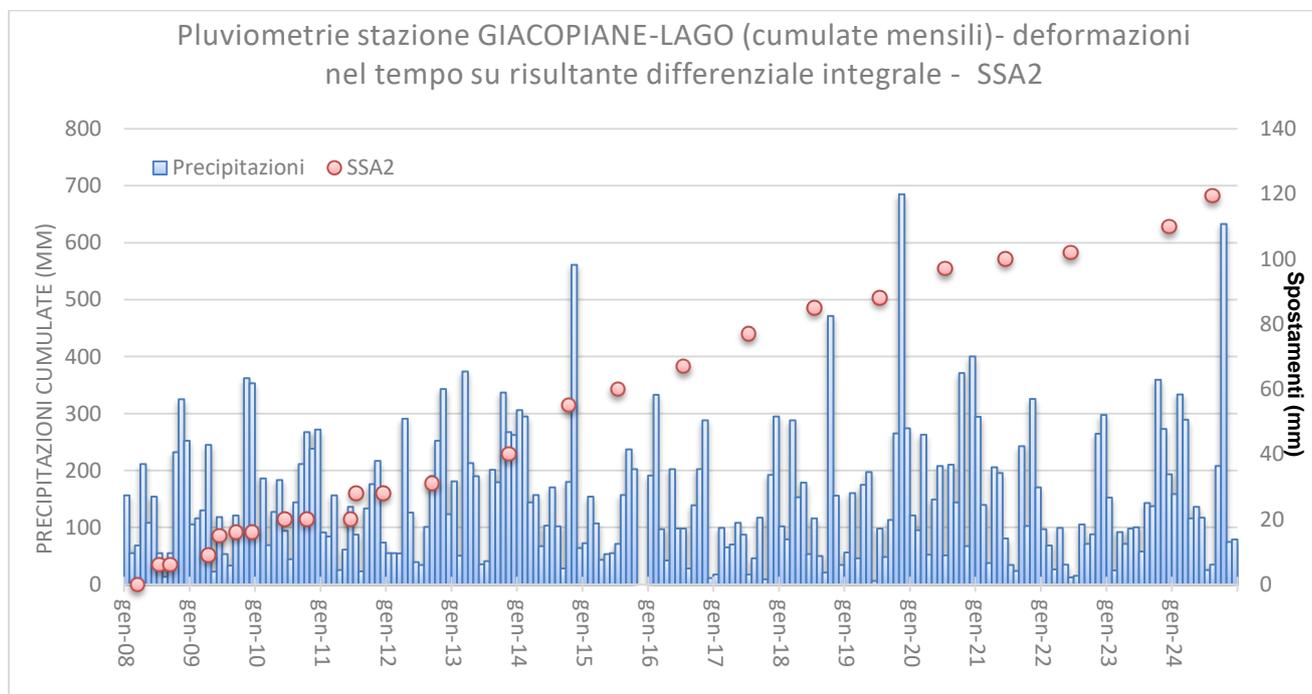


Fig. 15 – Andamento pluviometrico mensile (stazione LGIAC) e letture inclinometriche SSA2, periodo 2008-2024.