

5 Ville San Pietro- Borgomaro (IM)

5.1 Inquadramento del sito

Il sito di Ville S.Pietro si colloca nel Comune di Borgomaro in un'area dove affiora il Flysch di Sanremo. *“Affiorano bancate torbiditytiche di marne e arenarie calcaree con potenze variabili fino a un paio di metri e livelli calcilutitici passanti a strati marnoso-arenacei e strati arenacei e argillitici. La roccia affiorante appare, a tratti, interessata da più sistemi di fratturazione, che contribuiscono ulteriormente a determinare situazioni di instabilità sia causando lo scadimento delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso sia determinando situazioni di franapoggio allorquando le discontinuità sono disposte sfavorevolmente rispetto al versante. I caratteri morfologici dell'area indagata sono determinati da una serie di corpi franosi che la modellano complessivamente a partire dalla zona a monte della frazione Case Soprane fino al suo piede, in corrispondenza del corso del Torrente Impero. Si tratta di una serie di fenomeni con stile di attività complesso, caratterizzati da cinematismi di scorrimento, cui hanno fatto seguito colamenti della massa franata costituita da blocchi e clasti calcarei e marnosi immersi in una matrice prevalentemente argillosa. Il corpo di dimensioni maggiori occupa la porzione centrale del tratto di versante in esame e risulta spezzato a differenti quote da ripiani a debole inclinazione, che potrebbero corrispondere alle zone di testata di scorrimenti rotazionali. La frana di dimensioni maggiori ha probabilmente rimodellato una frana più antica, verosimilmente uno scivolamento, che ha coinvolto masse rocciose distaccatesi nella parte alta del versante, dove la giacitura degli strati conforme alla pendenza dello stesso può essere stata causa predisponente il collasso. Un lembo di questa frana è ancora visibile immediatamente a sudest del nucleo centrale della frazione Costa. Alla morfogenesi gravitativa si aggiunge quella torrentizia, che si esplica sostanzialmente nell'erosione operata dai rii che drenano il versante e recapitano le loro acque direttamente nel Torrente Impero”* (da Atlante dei Centri Instabili della Liguria – prov. IM).

La frana di dimensioni maggiori, ha probabilmente rimodellato una frana più antica, verosimilmente uno scivolamento, che ha coinvolto masse rocciose distaccatesi nella parte alta del versante dove la giacitura degli strati può essere stata causa predisponente al collasso. I corpi di frana di tipologia complessa sommano caratteristiche tipiche dello scorrimento e del colamento; di un certo rilievo è la riattivazione dell'antico corpo di frana che sta interessando la parte centrale dell'abitato con effetti immediati sugli edifici (*“Atlante dei Centri Abitati Instabili della Liguria” – CNR – Prov. IM, 2007*)

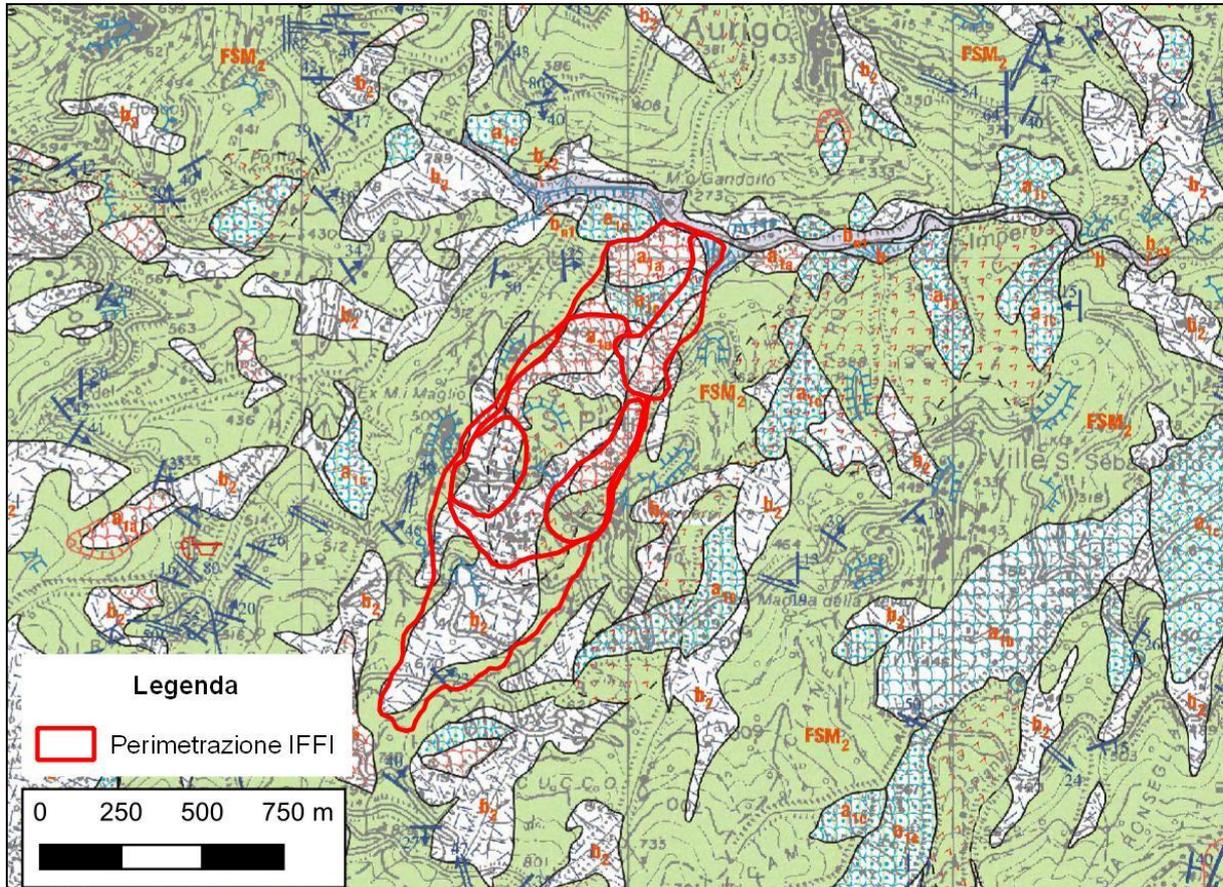


Fig. 1 - Stralcio Carta Geologica Regionale (CARG) sc.1:25.000

Il sito di Ville S. Pietro si trova su un corpo di frana di grandi dimensioni classificato nell'Inventario dei Fenomeni Franosi Italiani. Data l'esigenza di approfondire le conoscenze geologico-stratigrafiche e caratterizzare tipo di fenomeno, nel corso degli anni sono state condotte diverse campagne di indagini anche finalizzate alla progettazione di interventi di mitigazione del dissesto. Di seguito si riportano in ordine cronologico le campagne geognostiche che hanno portato alla realizzazione di inclinometri e piezometri riportati in figura 2 e gli esiti del monitoraggio che ne è conseguito.

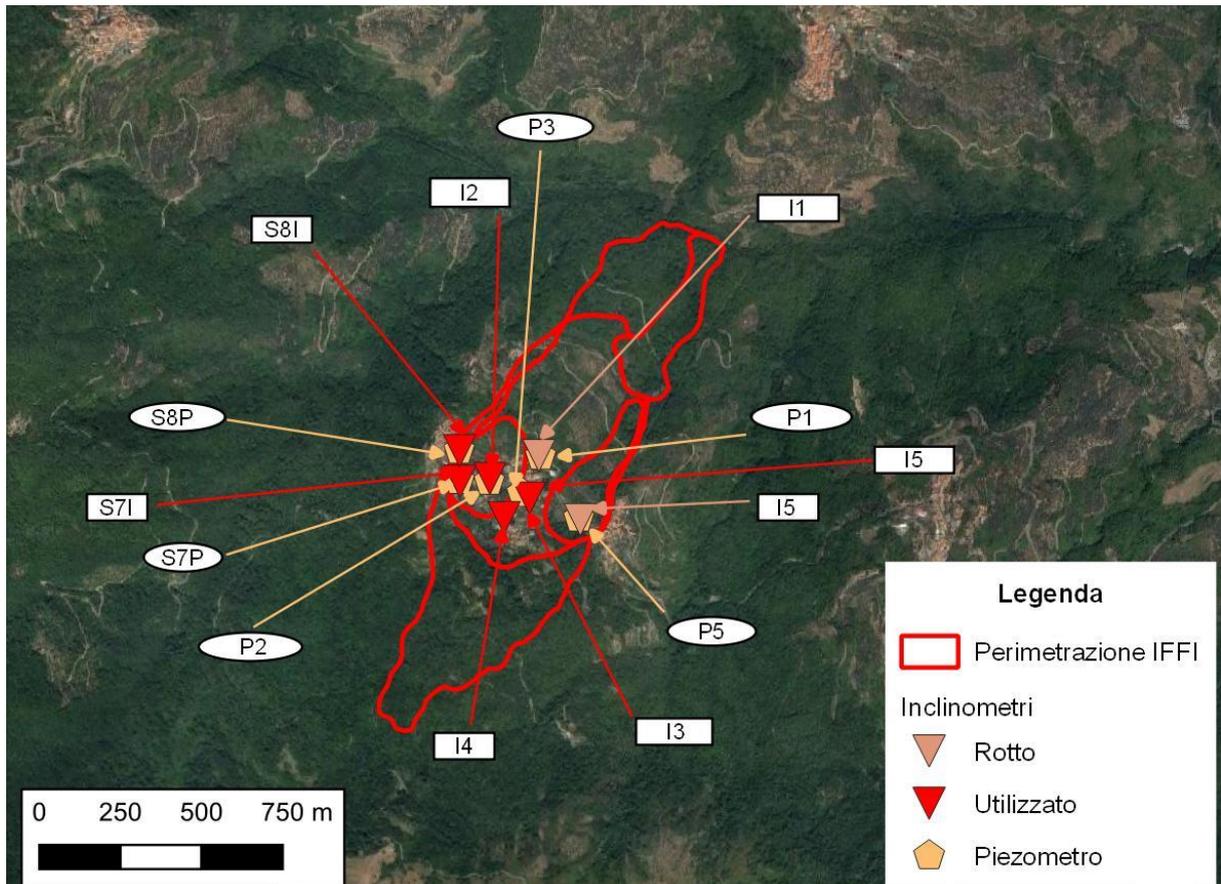


Fig.2 - Posizione degli inclinometri I1, I2, I3, I4, I5, S7I e S8I e piezometri P1, P2, P3, P5, S7P e S8P all'interno del corpo di frana

5.2 Campagna di indagine 2002

A partire dal 2002, la Comunità Montana ha commissionato la realizzazione di n.5 sondaggi a rotazione successivamente attrezzati ad inclinometro: I1 (21.5 m), I2: (21 m), I3 (25 m), I4 (28 m) e I5 (15 m). Per ottimizzare le informazioni derivanti dal monitoraggio e avere un quadro più completo del fenomeno, in associazione agli inclinometri sono stati installati altrettanti piezometri (P1, P2, P3, P4, P5) per la verifica periodica della soggiacenza del livello di falda (Fig.3).

Dal 2009 il sito di Ville S.Pietro è stato inserito nella rete REMOVER e ARPAL ha preso in carico il monitoraggio inclinometrico su I2, I3, I4 (I5 e I1 non risultano più leggibili) e sui piezometri P1, P2, P3 (nel dicembre 2017 P3 è stato attrezzato con una sonda freaticometrica automatica).

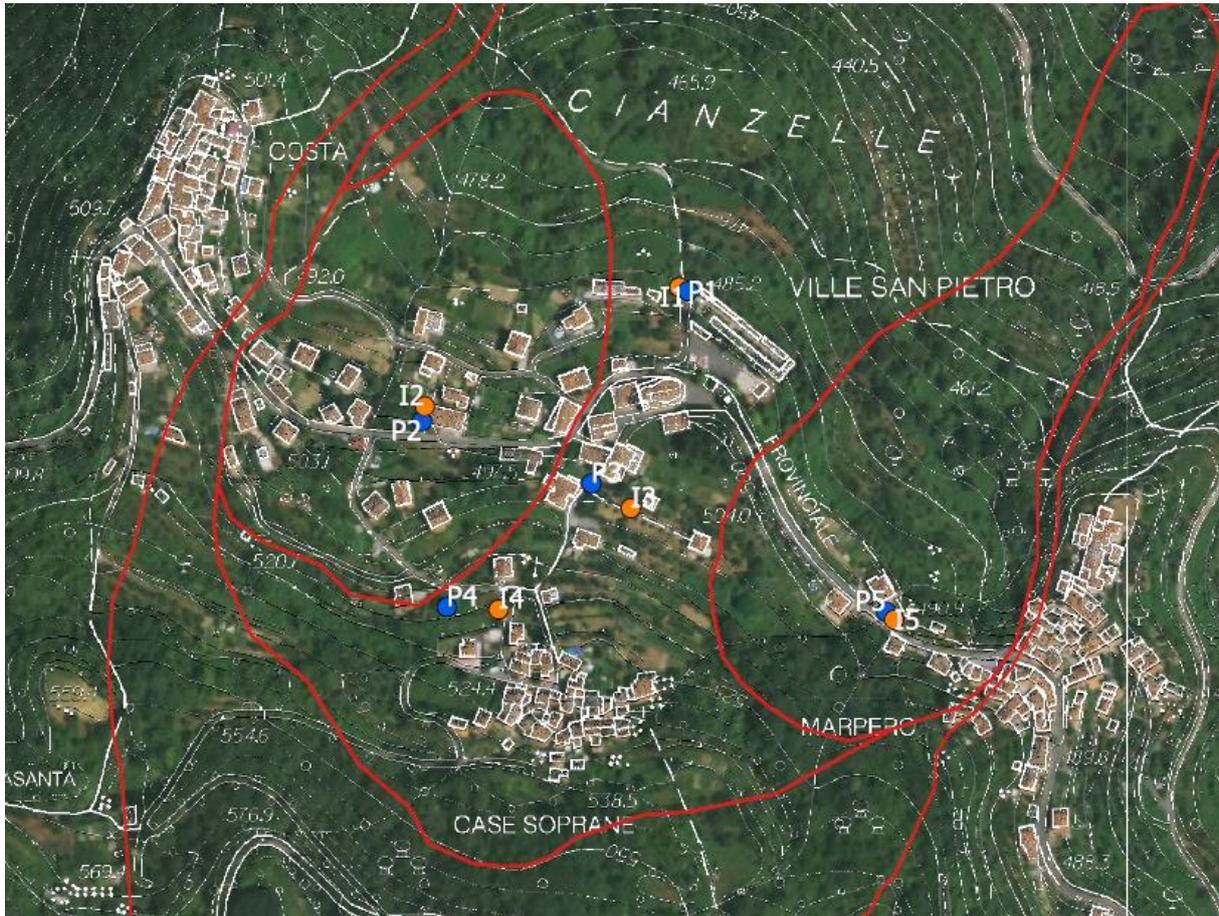


Fig. 3 – planimetria inclinometri e piezometri realizzati durante la campagna di indagini 2002.

5.3 Campagne di indagine 2018

Nell'ambito del progetto *AD VITAM*, sono stati realizzati 4 sondaggi a distruzione di nucleo per l'installazione di 2 piezometri (S7P e S8P) spinti fino alla profondità 15 m e 2 inclinometri spinti fino alla profondità di 30 m (S7I e S8I). Dall'analisi dei cuttings è stata ricostruita una stratigrafia così composta: fino a 0.50 m terreno vegetale, da 0.50 a 10-18 m è presente una coltre detritica franosa, seguita dal substrato roccioso calcareo fino ad una profondità di 30 m (Fig.4).

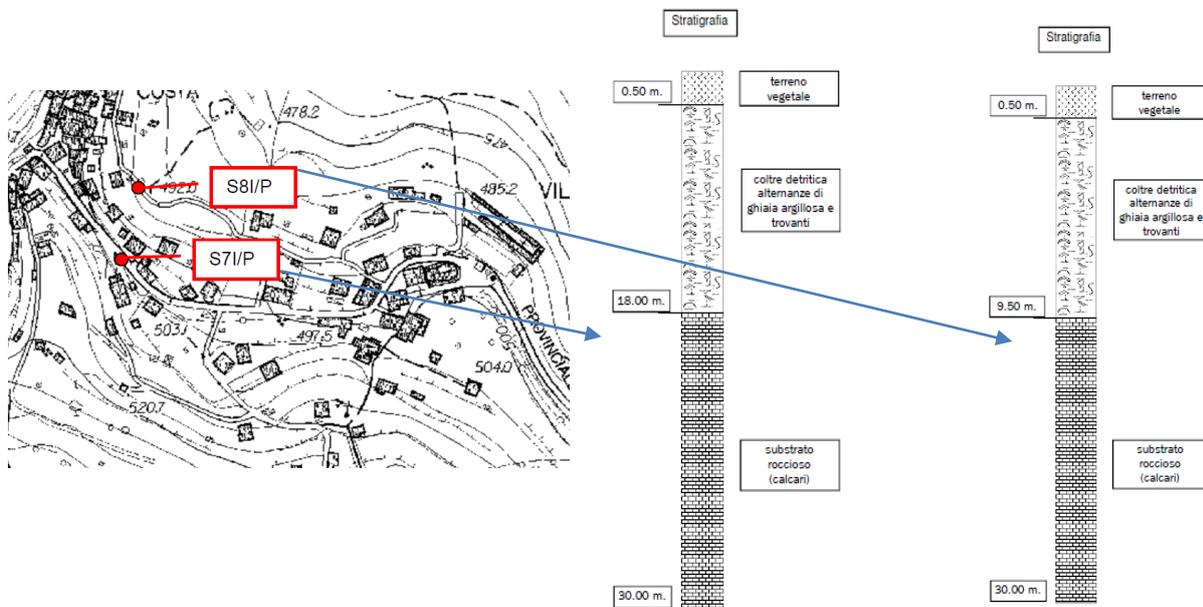


Fig. 4 - Ubicazione inclinometri S7I, S8I associati ai rispettivi piezometri S7P, S8P. A destra la stratigrafia ricostruita dai cuttings per i sondaggi S7I e S8I.

Le installazioni presenti ricadono all'interno di un esteso corpo di frana di tipo "scivolamento/scorrimento" esteso per l'intero l'abitato di Ville San Pietro che comprende anche due corpi minori (Fig.5). Il sistema franoso è così stato censito nell'*Inventario dei Fenomeni Franosi Italiani* (Progetto IFFI) come segue:

inclinometri : I3 e I4, I1 ex

| | |
|----------------|--------------------------------------|
| Tipo | Scivolamento rotazionale/traslattivo |
| Stato | Quiescente generico |
| Identificativo | 0080005704 |
| Area [mq] | 189427 |

Inclinometri: I2, S7I

| | |
|----------------|------------------------|
| Tipo | Sprofondamento |
| Stato | Attivo/riattivato/sosp |
| Identificativo | 0080005705 |
| Area [mq] | 48575 |

Inclinometri: I5 ex



REMOVER 2008-2024

| | |
|----------------|-------------------------------------|
| Tipo | Scivolamento rotazionale/traslativo |
| Stato | Attivo/riattivato/sospeso |
| Identificativo | 0080005703 |
| Area [mq] | 54280 |

Inclinometri: S8I

| | |
|----------------|-------------------------------------|
| Tipo | Scivolamento rotazionale/traslativo |
| Stato | Relitto |
| Identificativo | 0080005701 |
| Area [mq] | 289613 |

5.4 Campagna di indagini (2021-2022)

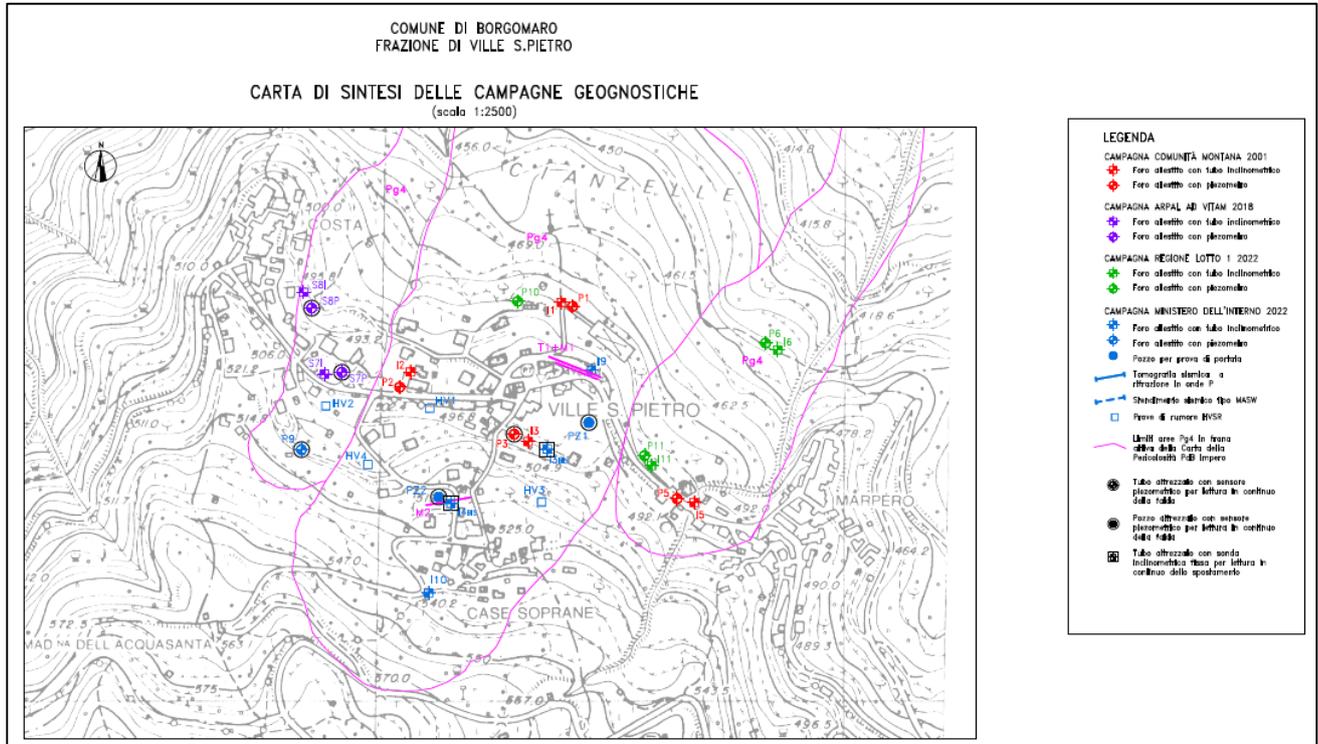


Fig. 5 – Planimetria campagna di indagini 2021/2022

A seguito dei finanziamenti ottenuti dal Comune di Borgomaro sia da parte di Regione Liguria, sia dal Ministero dell'Interno, per l'anno 2022 è stata realizzata una campagna di indagini comprensiva di inclinometri e piezometri, parte dei quali strumentati con sonde fisse per la teletrasmissione dei dati acquisiti automaticamente.

Nella fattispecie, sono stati installati n.6 inclinometri, di cui 2 strumentati con sonde fisse in foro e n.2 piezometri attrezzati con teletrasmissione dei dati:

- I3bis (inclinometro attrezzato con n.3 sonde fisse alla profondità di 15,9-20,1 m da p.c.)
- I4bis (inclinometro attrezzato con n.3 sonde fisse alla profondità di 20,4-24,6 m da p.c.)
- I6 (inclinometro)
- I9 (inclinometro)
- I10 (inclinometro)
- I11 (inclinometro)
- P6 (piezometro attrezzato con sonda freaticometrica fissa e teletrasmissione dati)
- P11 (piezometro attrezzato con sonda freaticometrica fissa e teletrasmissione dati)

5.5 *Analisi dei dati inclinometrici (2009-2018)*

Inclinometro I1 (20 m) – zona mediana della frana e immediato valle dell'abitato (cimitero)

Dall'elaborazione integrale si è registrato un valore totale di spostamento pari a 90 mm in direzione N-NE, coerentemente con l'orientazione del versante. Dall'elaborazione locale si può osservare come la deformazione lungo il piano di taglio principale, localizzato tra -10 e -11 m, abbia evidenziato valori di 50 mm (Figg. 6 e 7). Considerando il tempo intercorso dal 2009 ad oggi si può sintetizzare il comportamento della frana in una sequenza di stasi e riattivazioni, queste ultime registrate nei periodi dicembre 2010-maggio 2011, settembre 2012-luglio 2013, novembre 2013-luglio 2014 (la maggiore deformazione) e in ultimo un debole incremento nel 2015 per arrivare al 2018 con un periodo di circa 3 anni di quiescenza ed una ripresa finale tale da deformare in modo definitivo la tubazione.

In data 22/11/2018 si è constatato, mediante video-ispezione, che l'inclinometro non è utilizzabile per uno schiacciamento tra -8 m e -11 m e per la presenza di gradini non superabili a -10,40 m e -10,55 m (Fig.8).

Sito: VILLESPIET Tubo: I1

Elaborazione differenziale integrale dal basso

Riferimento 000:08/09/2009

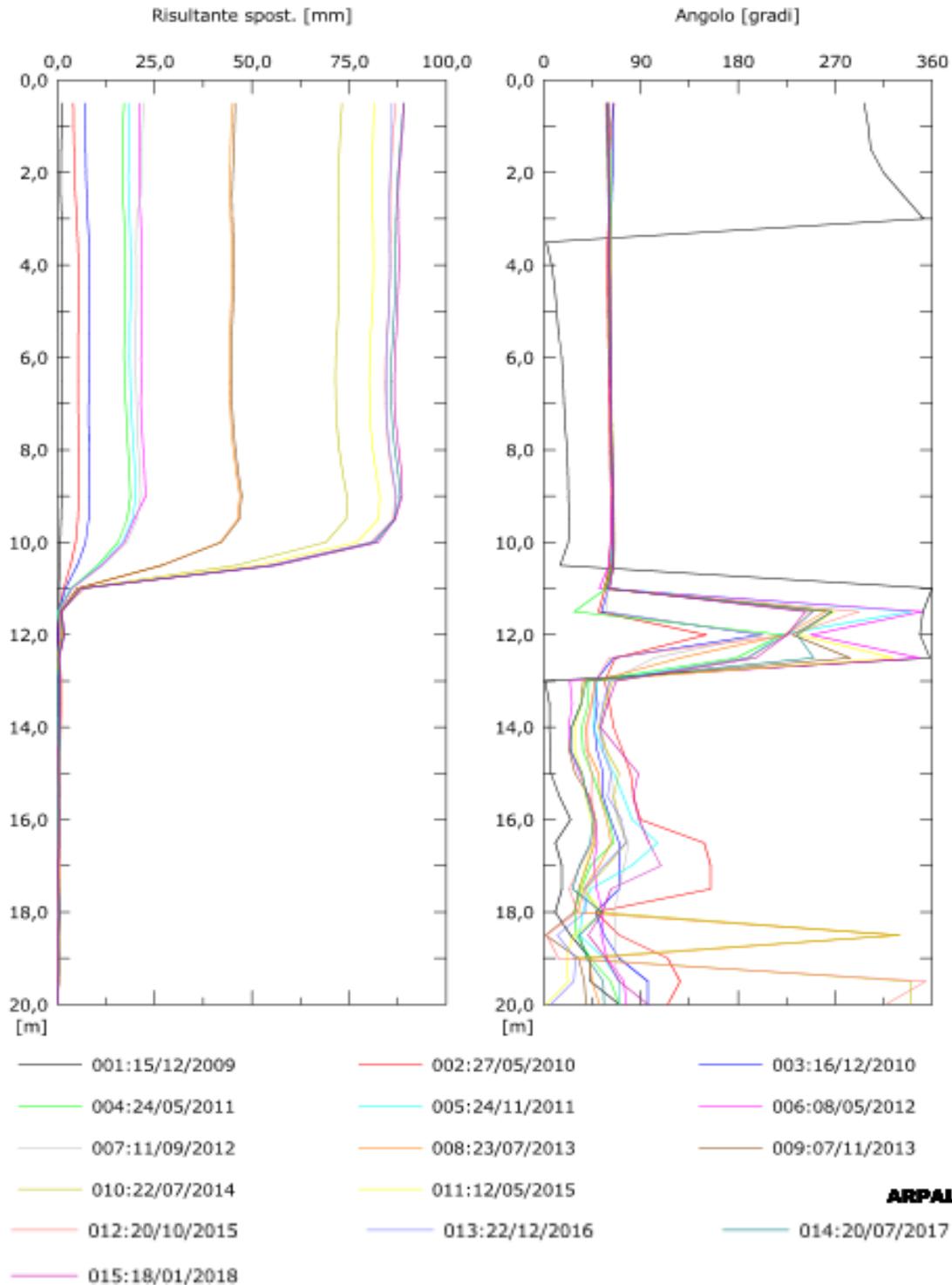


Fig. 6a - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) dell'inclinometro I1.

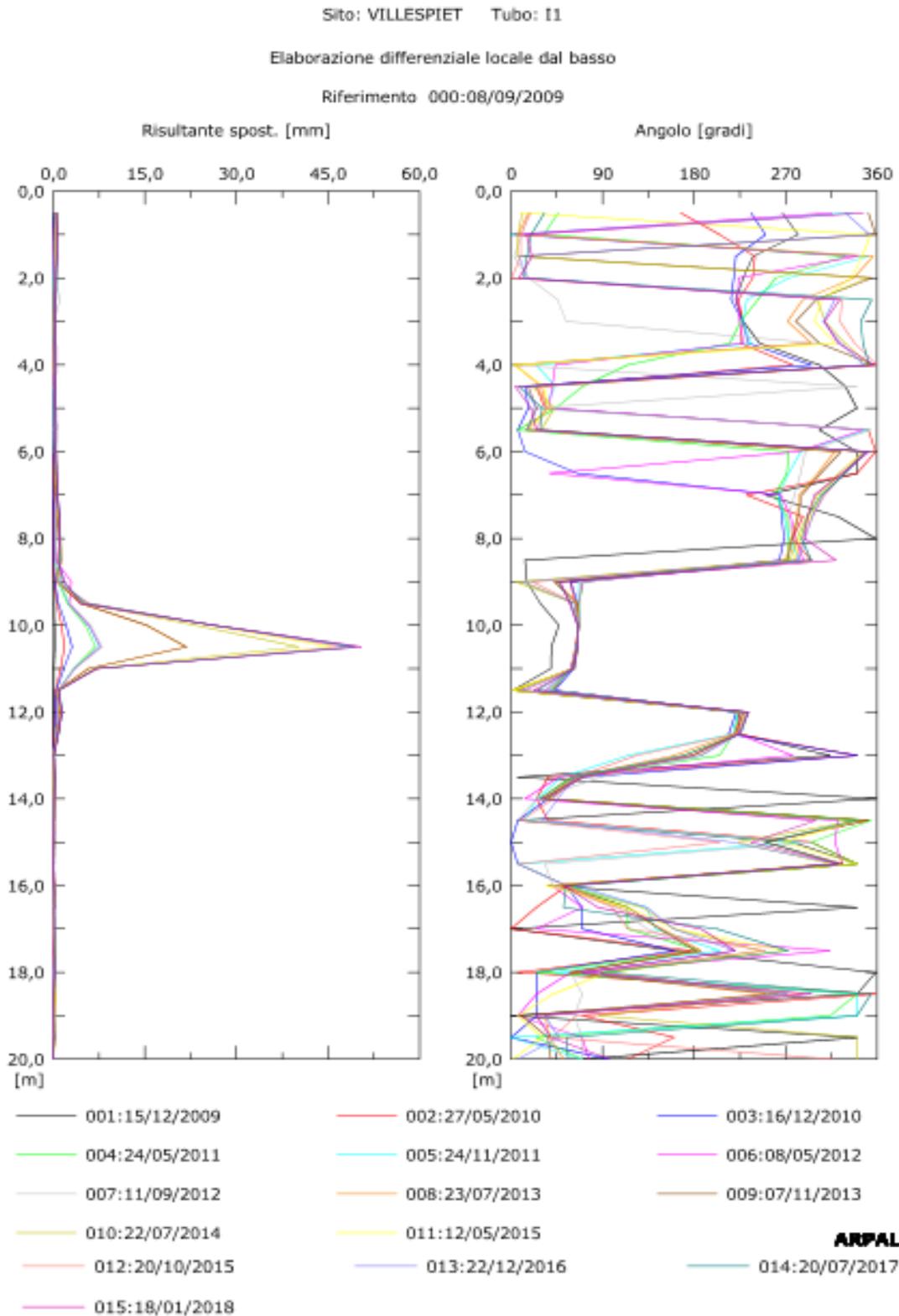


Fig. 6b - Grafici relativi all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro I1.

Sito: VILLESPIET Tubo: I1

Elaborazione differenziale integrale dal basso

Riferimento 000:08/09/2009

Diagramma polare della deviazione

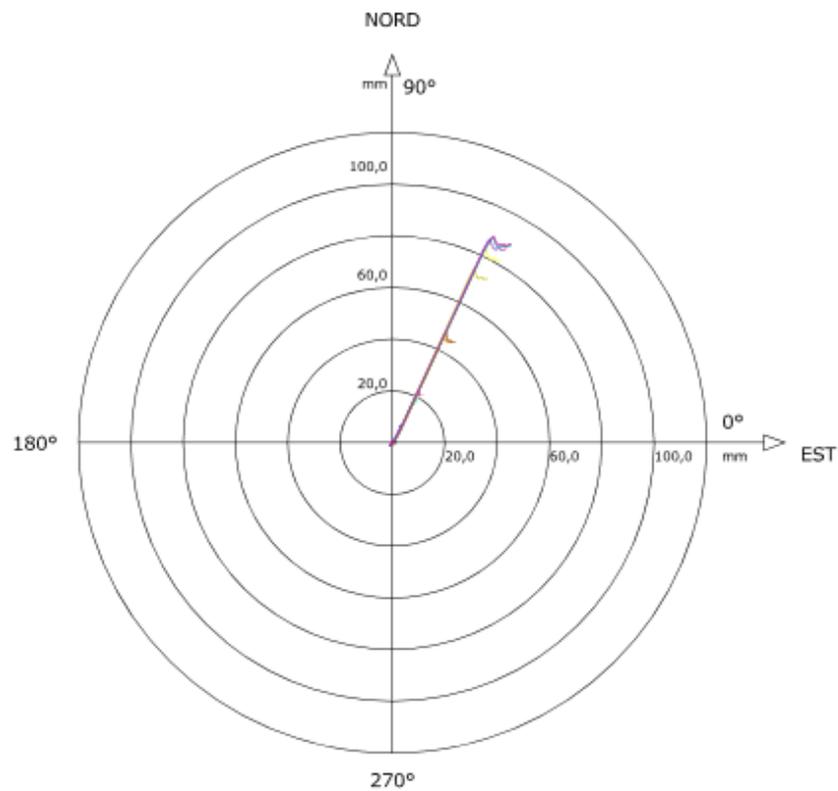


Fig. 7 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro I1



Fig. 8a - Deformazioni in I1: gradino a -10.40 m



Fig. 8b - Deformazioni in I1: gradino a -10.55 m

Inclinometro I2 (20 m) – zona mediana della frana e centro abitato

Nel 2022 il monitoraggio inclinometrico è stato interrotto a causa dell'eccessiva deformazione della tubazione che non ha consentito il passaggio della sonda testimone. Dall'elaborazione integrale si evidenzia uno spostamento totale di circa 100 mm in direzione N-NE, coerentemente con l'orientazione del versante. Il piano di taglio risulta localizzato alla profondità compresa tra -13 e -11 m senza evidenza di altri livelli di deformazione: i valori dello spostamento sono confermati dall'elaborazione differenziale locale che rileva il picco di deformazione di circa 50 mm a circa 12 m (Figg. 9 e 10).

Considerando il tempo intercorso dal 2009 ad oggi si può sintetizzare il comportamento della frana in una sequenza di stasi e riattivazioni che si susseguono ciclicamente ad intervalli sia stagionali che annuali.

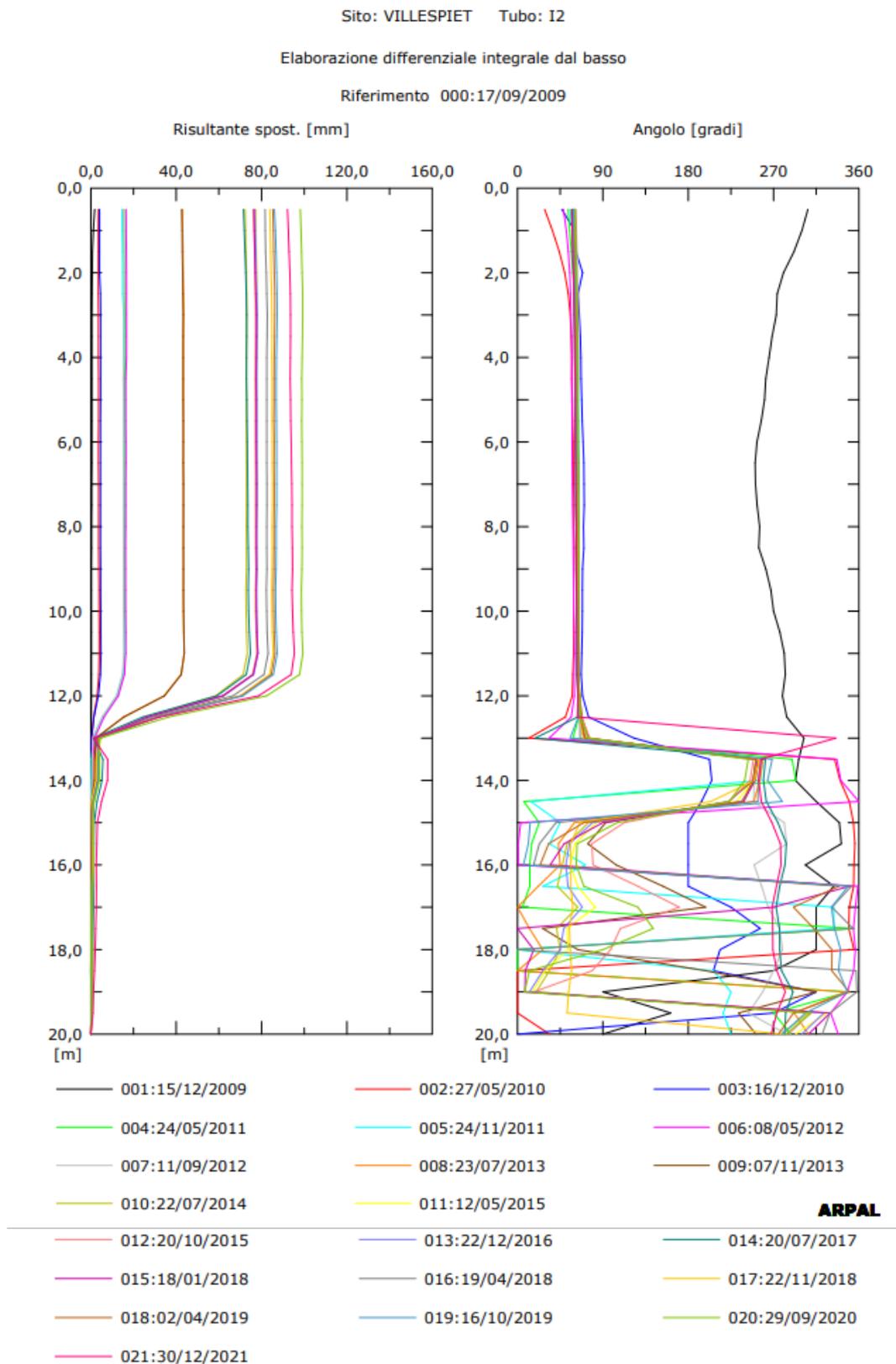


Fig. 9a- Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) dell'inclinometro I2.

Sito: VILLESPIET Tubo: I2

Elaborazione differenziale locale dal basso

Riferimento 000:17/09/2009

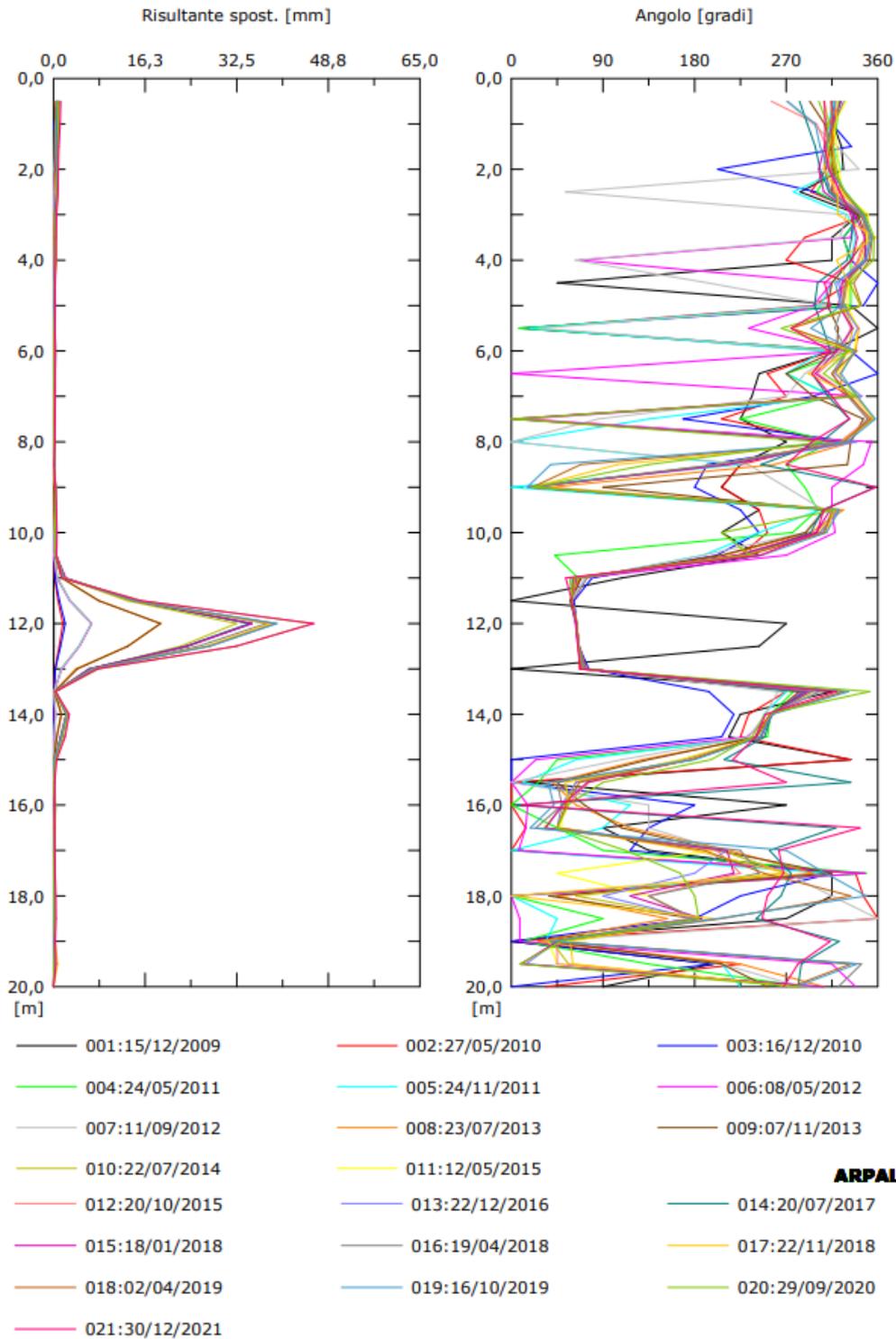


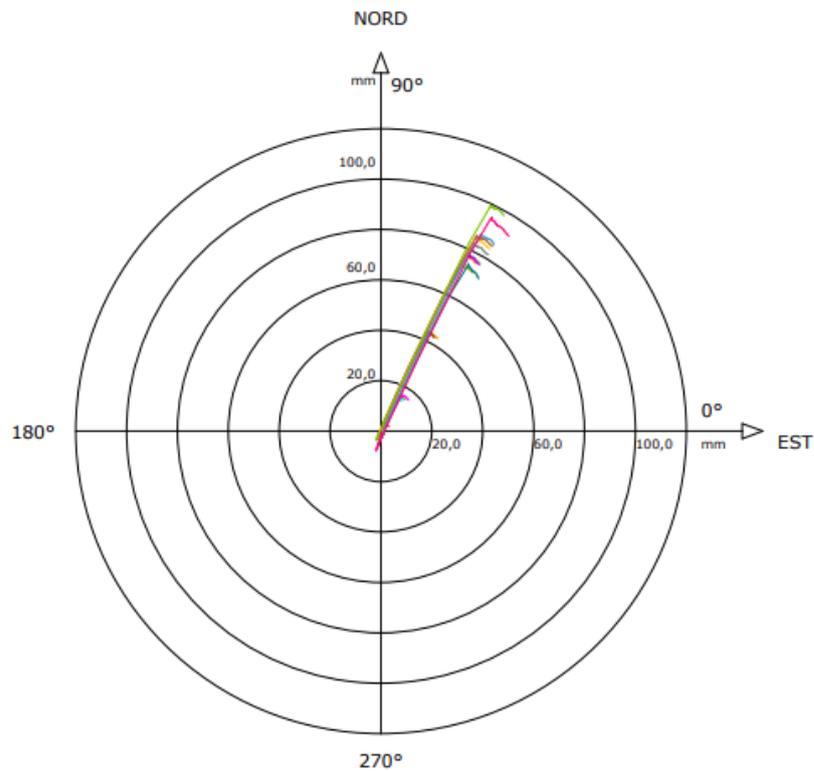
Fig. 9b- Grafici relativi all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro I2.

Sito: VILLESPIET Tubo: I2

Elaborazione differenziale integrale dal basso

Riferimento 000:17/09/2009

Diagramma polare della deviazione



- | | | |
|----------------|----------------|----------------|
| 001:15/12/2009 | 002:27/05/2010 | 003:16/12/2010 |
| 004:24/05/2011 | 005:24/11/2011 | 006:08/05/2012 |
| 007:11/09/2012 | 008:23/07/2013 | 009:07/11/2013 |
| 010:22/07/2014 | 011:12/05/2015 | ARPAL |
| 012:20/10/2015 | 013:22/12/2016 | 014:20/07/2017 |
| 015:18/01/2018 | 016:19/04/2018 | 017:22/11/2018 |
| 018:02/04/2019 | 019:16/10/2019 | 020:29/09/2020 |
| 021:30/12/2021 | | |

Fig. 10 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro I2

Inclinometro I3 (23.5 m) – zona mediana della frana e centro abitato

Durante il monitoraggio 2021 l'inclinometro è stato dismesso a seguito della difficoltà riscontrata nella discesa della sonda testimone in corrispondenza della fascia di deformazione data dal piano di scivolamento principale già ben definito ed evidenziato dal monitoraggio negli anni scorsi; è stata condotta una videoispezione di verifica della deformazione dell'inclinometro (Fig.13). Dall'elaborazione integrale si osserva un valore totale di 94 mm in direzione N, coerentemente con l'orientazione del versante. L'unico piano di taglio individuato risulta localizzato tra -17 m e -19 m di profondità. I valori dello spostamento sono confermati dall'elaborazione differenziale locale che registra il picco di deformazione a circa 18 m (Figg. 11 e 12).

Considerando il tempo intercorso dal 2009 ad oggi si può sintetizzare il comportamento della frana in una sequenza di stasi e riattivazioni, queste ultime registrate nei periodi dicembre 2010-maggio 2011, settembre 2012-luglio 2013, novembre 2013-luglio 2014, gennaio 2019 e ottobre 2020. Le ultime letture effettuate hanno confermato le difficoltà riscontrate nella discesa della sonda pilota a -18 m.

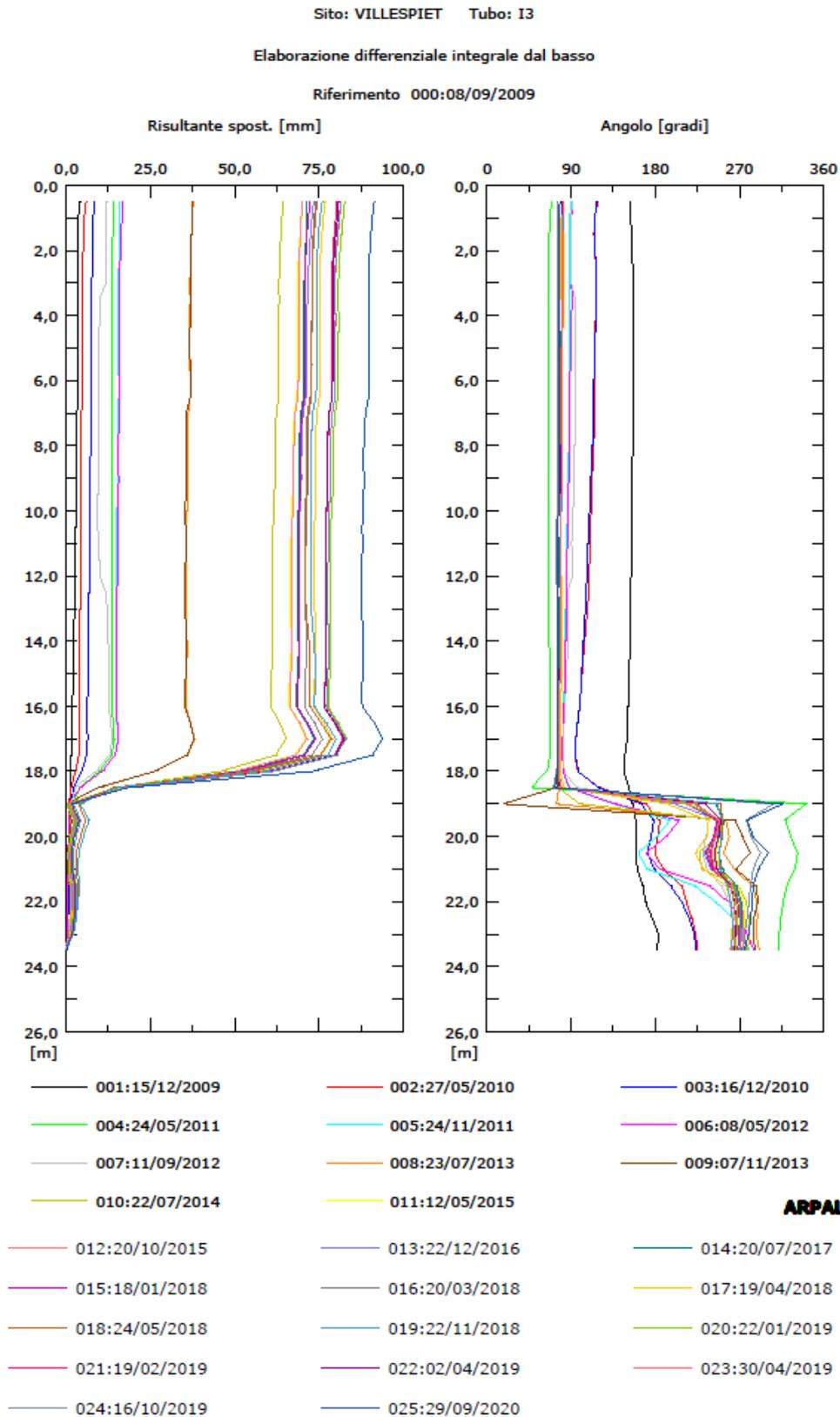


Fig. 11a - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale dell'inclinometro I3.

Sito: VILLESPIET Tubo: I3

Elaborazione differenziale locale dal basso

Riferimento 000:08/09/2009

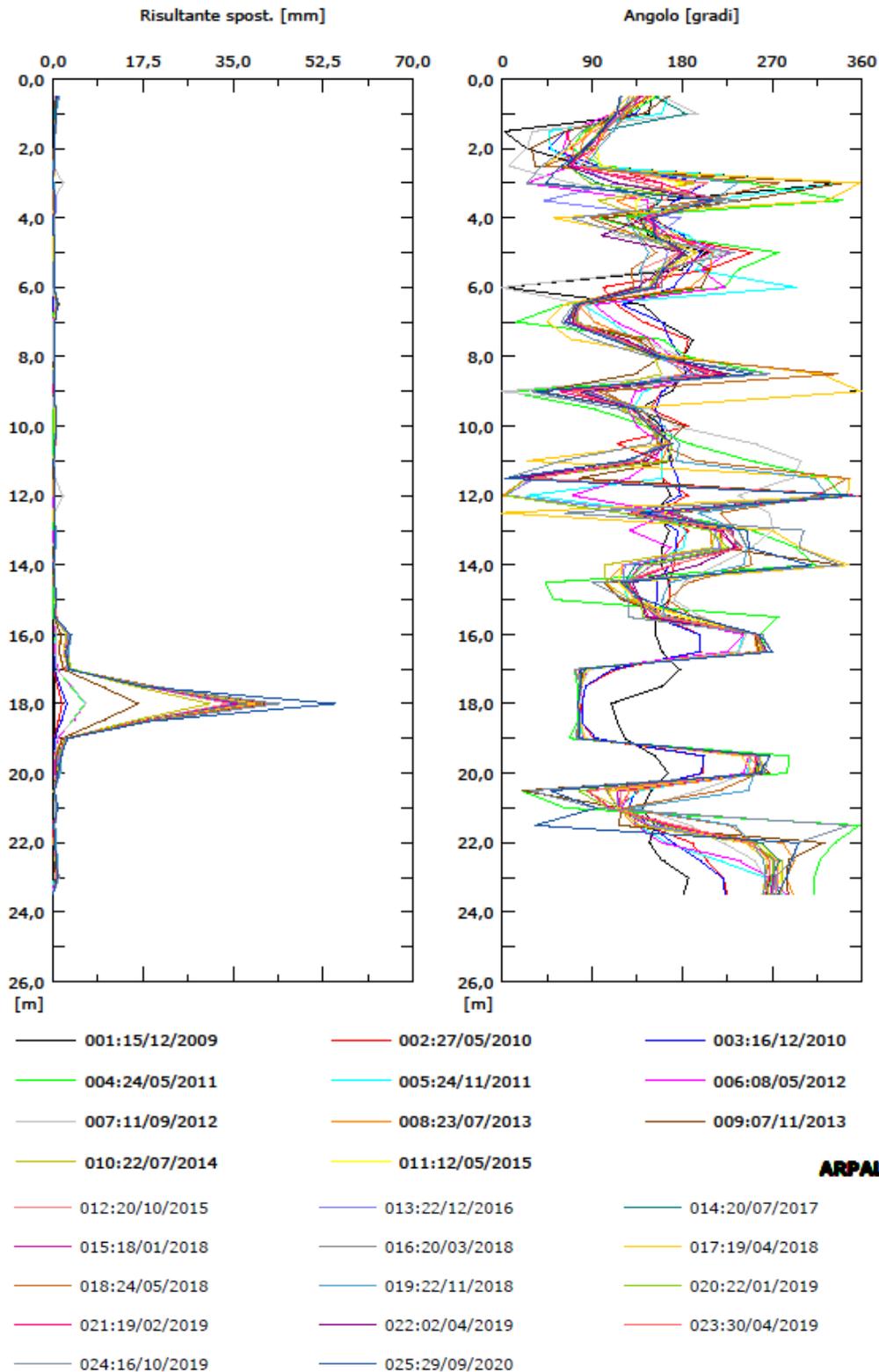


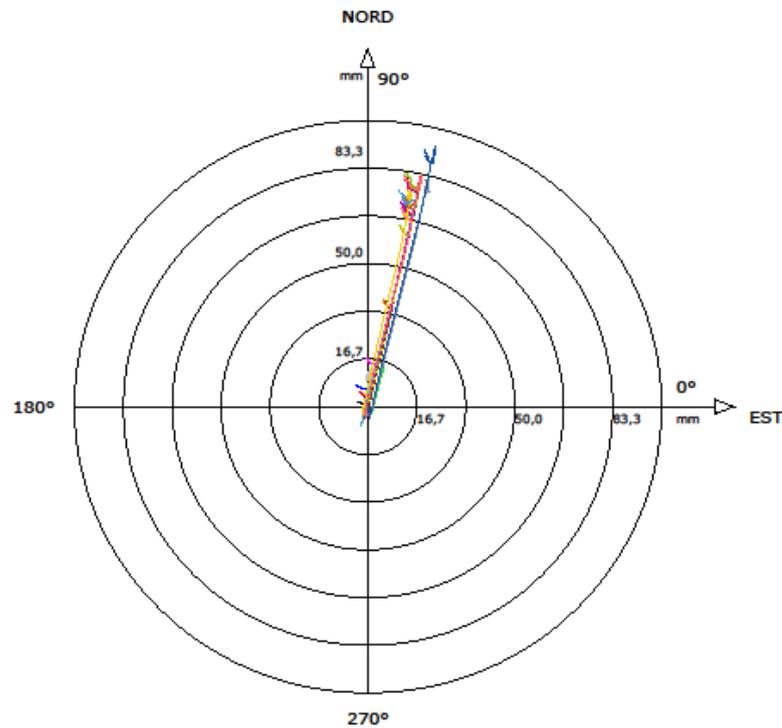
Fig. 11b - Grafici relativi all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro I3.

Sito: VILLESPIET Tubo: I3

Elaborazione differenziale integrale dal basso

Riferimento 000:08/09/2009

Diagramma polare della deviazione



- | | | |
|----------------|----------------|----------------|
| 001:15/12/2009 | 002:27/05/2010 | 003:16/12/2010 |
| 004:24/05/2011 | 005:24/11/2011 | 006:08/05/2012 |
| 007:11/09/2012 | 008:23/07/2013 | 009:07/11/2013 |
| 010:22/07/2014 | 011:12/05/2015 | |
| 012:20/10/2015 | 013:22/12/2016 | 014:20/07/2017 |
| 015:18/01/2018 | 016:20/03/2018 | 017:19/04/2018 |
| 018:24/05/2018 | 019:22/11/2018 | 020:22/01/2019 |
| 021:19/02/2019 | 022:02/04/2019 | 023:30/04/2019 |
| 024:16/10/2019 | 025:29/09/2020 | |

ARPAL

Fig. 12 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro I3



Fig. 13 – Immagine tratta dalla videoispezione in foro relativa a I3 (2021). Le frecce rosse indicano la strozzatura del tubo determinata dalla deformazione registrata nel corso degli anni dalla tubazione inclinometrica nella fascia tra -17 m e -19 m dal piano campagna.

Inclinometro I4 (25 m) – zona mediana della frana e centro abitato

La verifica dei *dataset* nell'anno 2021 attraverso i “*checksum*” e la “*deviazione standard*” non ha evidenziato anomalie strumentali nei cicli di letture effettuate. Dall'elaborazione integrale si rileva un lieve incremento rispetto al 2020. Lo spostamento globale si attesta a circa 112.5 mm in direzione N-NE coerentemente con l'orientazione del versante. L'unico piano di taglio risulta localizzato tra -21 m e -23 m di profondità. I valori dello spostamento sono confermati dall'elaborazione differenziale locale che rileva il picco di deformazione a circa 22.5 m (Figg.14 e 15). Considerando il tempo intercorso dal 2009 ad oggi si può sintetizzare il comportamento della frana in una sequenza di stasi e riattivazioni che si susseguono ciclicamente ad intervalli sia stagionali che annuali.

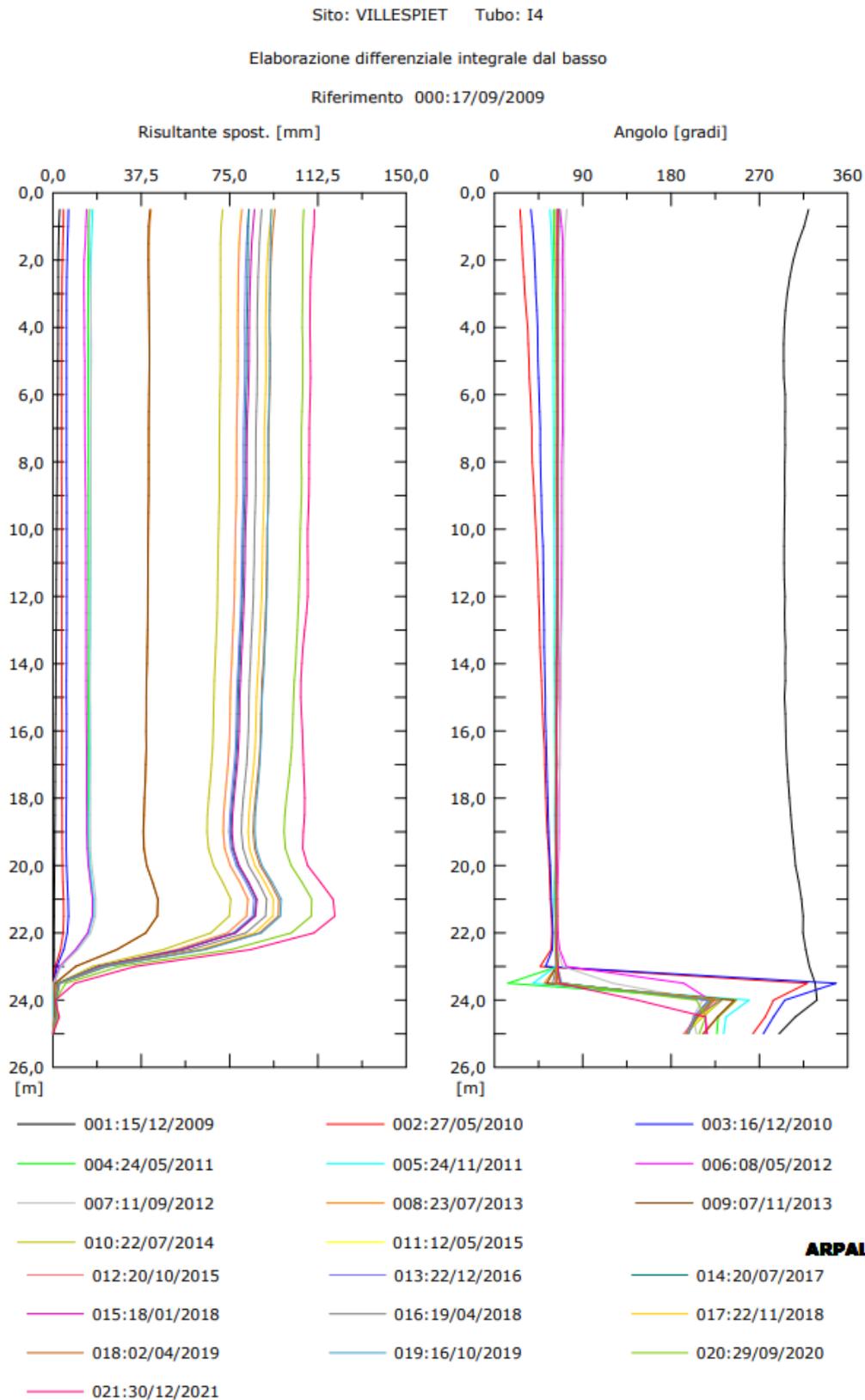


Fig.14a - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale dell'inclinometro I4.

Sito: VILLESPIET Tubo: I4

Elaborazione differenziale locale dal basso

Riferimento 000:17/09/2009

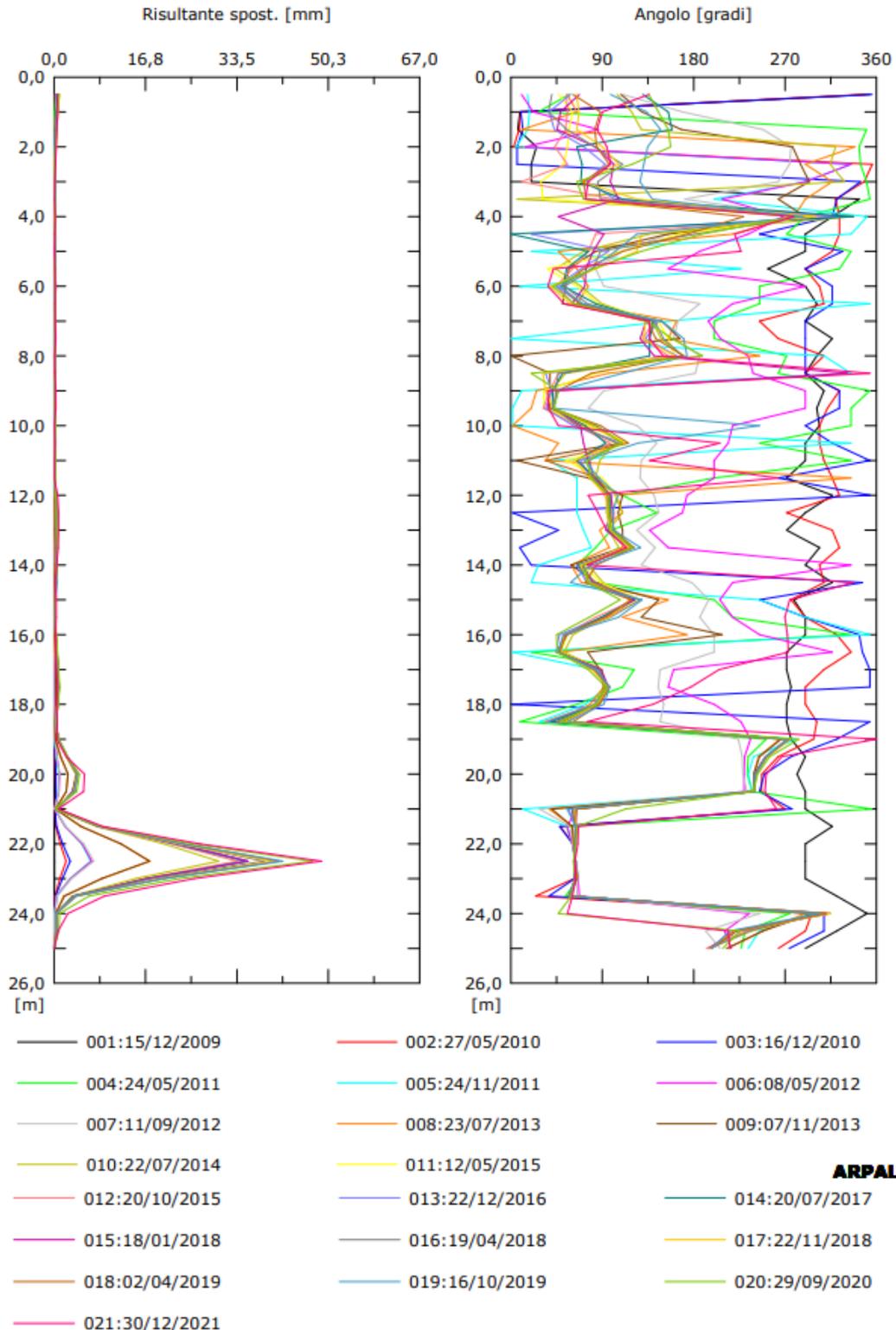


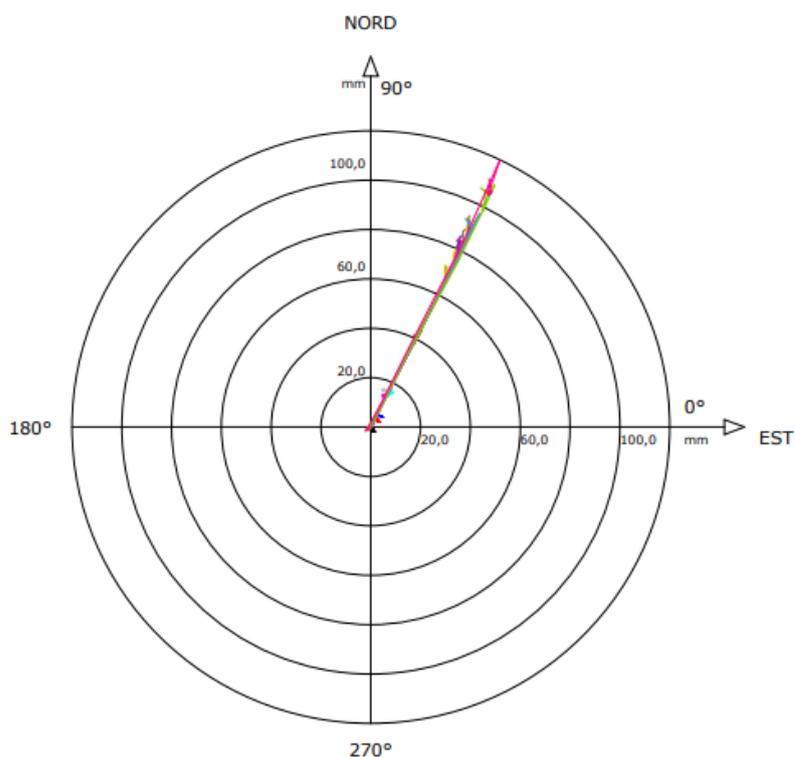
Fig.14b - Grafici relativi all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro I4.

Sito: VILLESPIET Tubo: I4

Elaborazione differenziale integrale dal basso

Riferimento 000:17/09/2009

Diagramma polare della deviazione



001:15/12/2009

002:27/05/2010

003:16/12/2010

004:24/05/2011

005:24/11/2011

006:08/05/2012

007:11/09/2012

008:23/07/2013

009:07/11/2013

010:22/07/2014

011:12/05/2015

ARPAL

012:20/10/2015

013:22/12/2016

014:20/07/2017

015:18/01/2018

016:19/04/2018

017:22/11/2018

018:02/04/2019

019:16/10/2019

020:29/09/2020

021:30/12/2021

Fig. 15 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro I4

Inclinometro I5 (13.5 m) – zona mediana della frana e immediata periferia del centro abitato

Nel corso del 2013 si è verificata la rottura della tubazione con l'impossibilità ad acquisire i dati della deformazione e mediante telecamera da foro si è ripreso il punto dello schiacciamento con un evidente scalino il 22/07/2014 (Fig.16). Dall'elaborazione integrale si è rilevato uno spostamento globale di circa 27 mm in direzione N-NE coerentemente con l'orientazione del versante in tre anni di tempo.

Il piano di taglio principale risulta localizzato a 10 m e non sono presenti altri livelli di deformazione. I valori dello spostamento sono confermati dall'elaborazione differenziale locale che rileva un picco di 20 mm di deformazione a circa 10 m (Figg. 17 e 18). Nel corso del 2012 si sono verificati deboli incrementi a seguito dell'accelerazione registrata nell'inverno 2011.

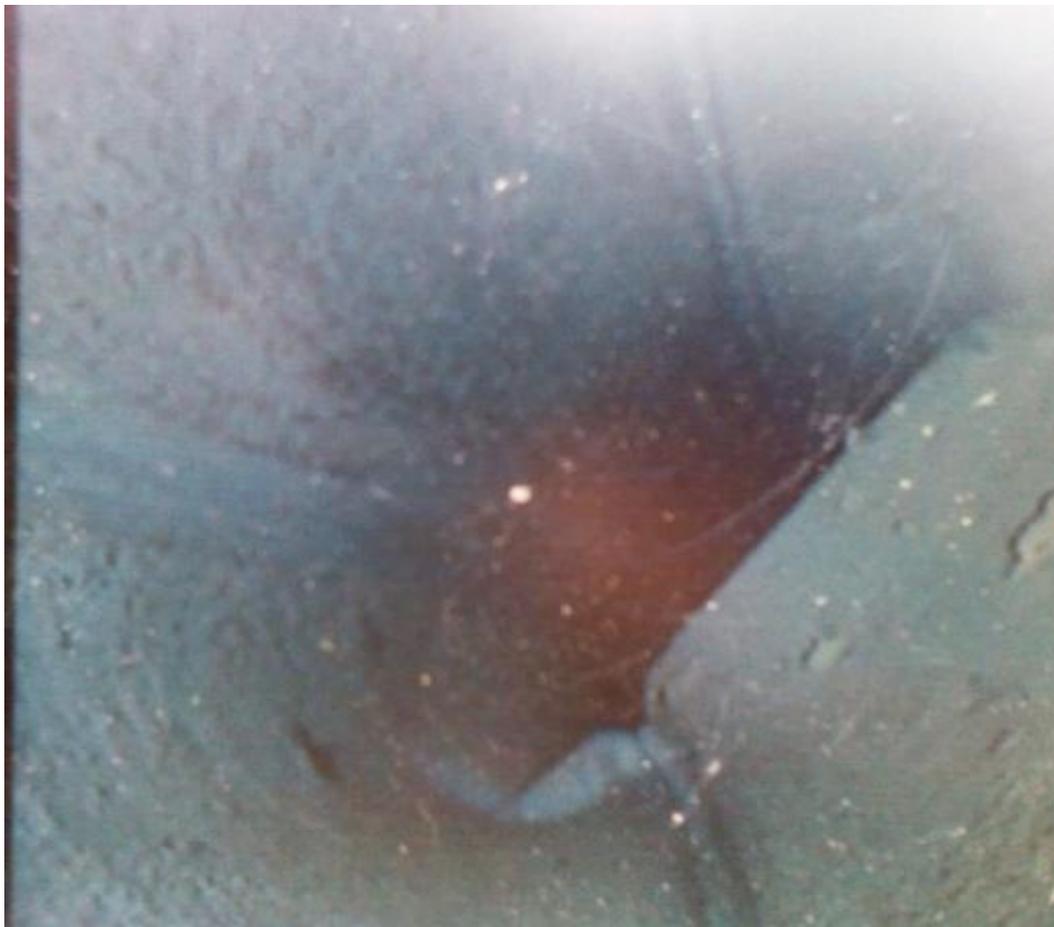
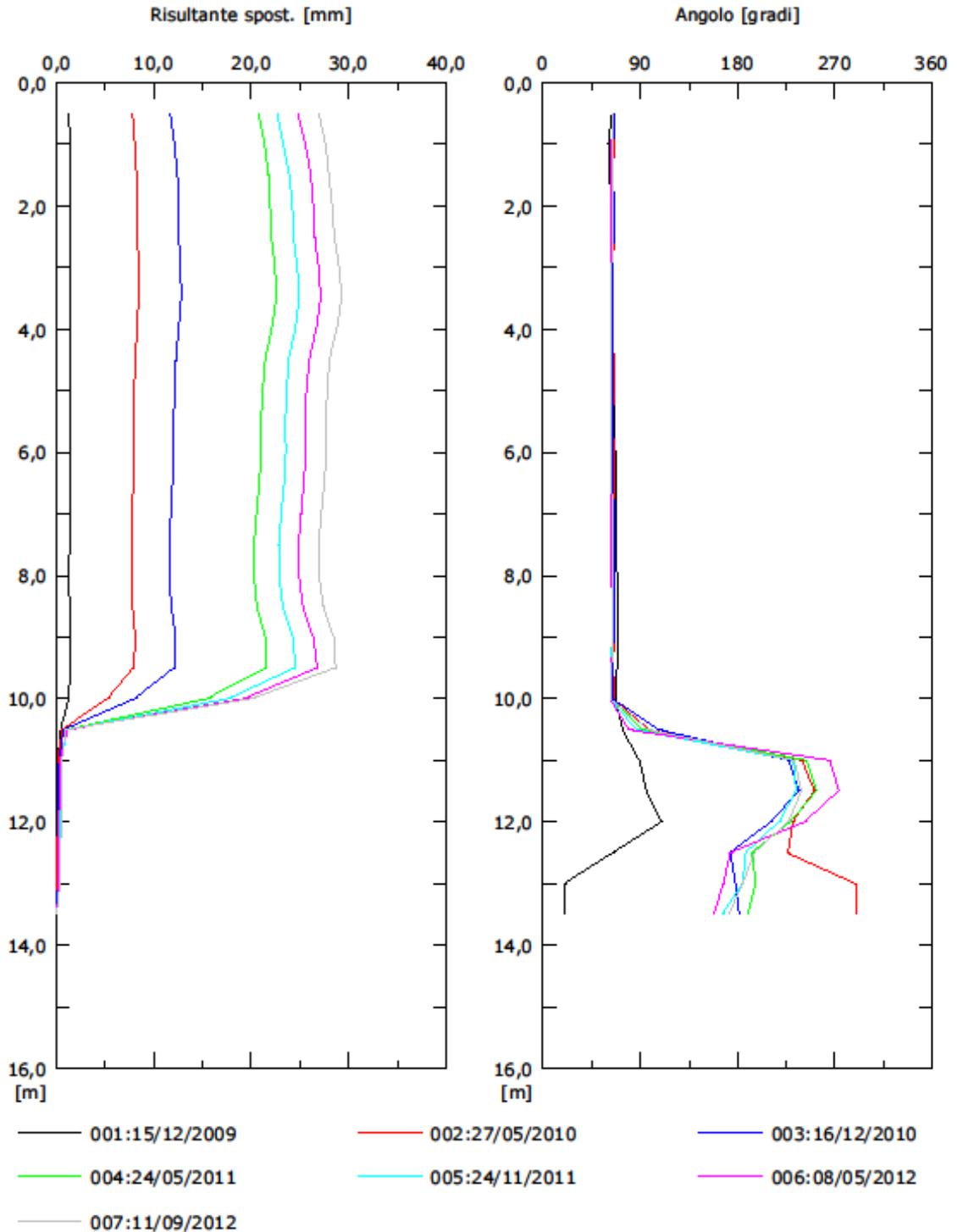


Fig. 16 - Ispezione televisiva: si può osservare la forte deformazione dell'inclinometro I5 che alla profondità di 10m non consente più il passaggio della sonda inclinometrica

Sito: VILLESPIET Tubo: 15

Elaborazione differenziale integrale dal basso

Riferimento 000:17/09/2009



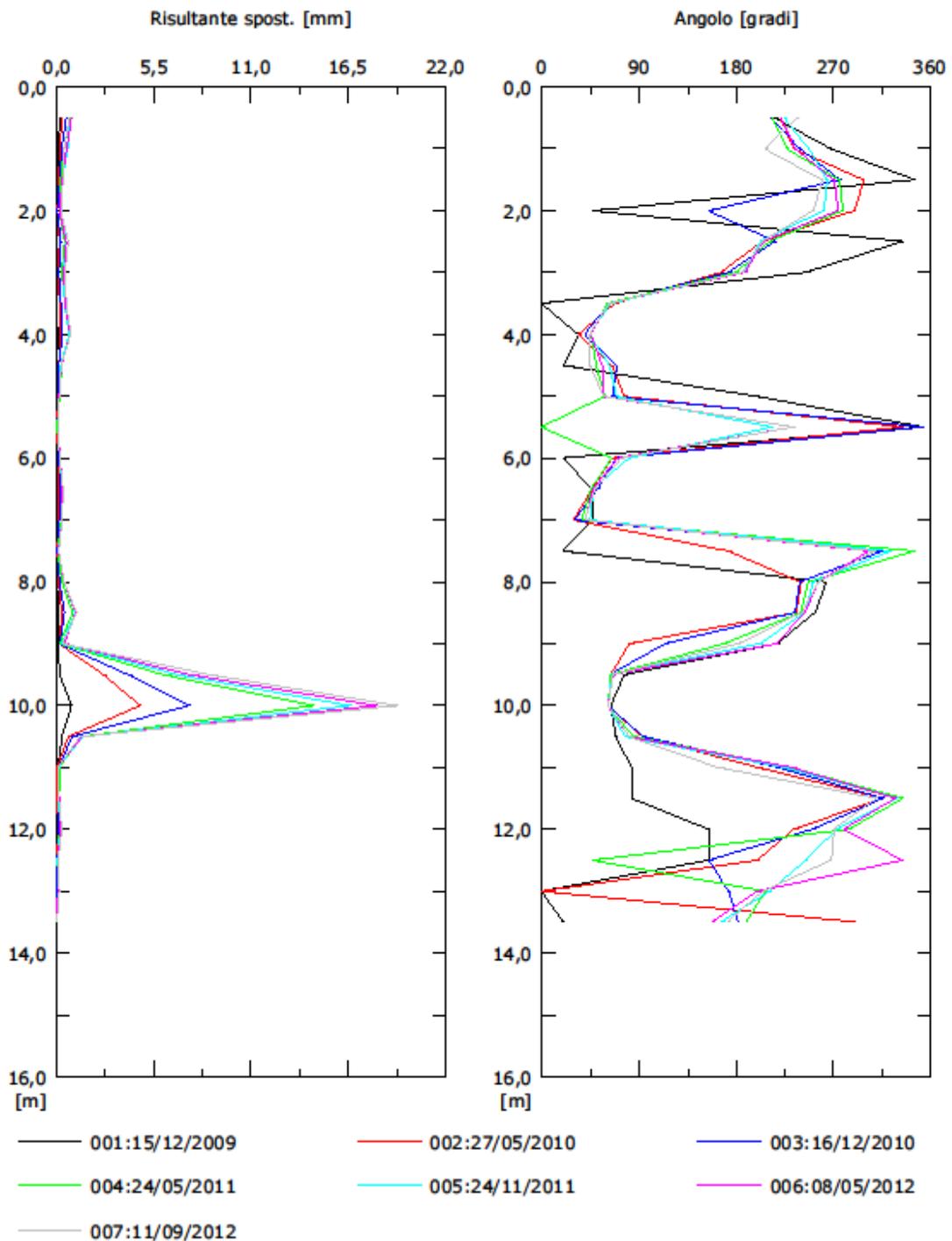
SOCIETA'

Fig. 17a - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti)

Sito: VILLESPIET Tubo: I5

Elaborazione differenziale locale dal basso

Riferimento 000:17/09/2009



SOCIETA'

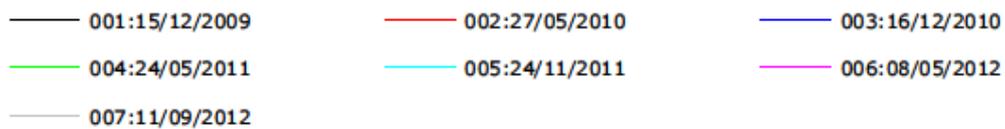
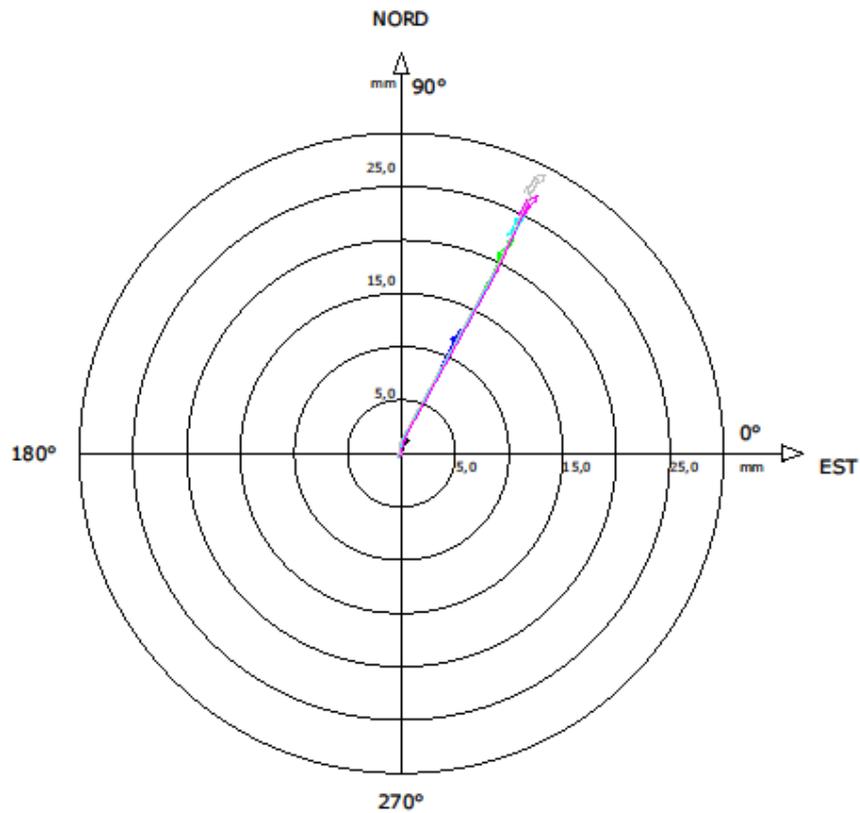
Fig. 17b - Grafici relativi all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro I5.

Sito: VILLESPIET Tubo: I5

Elaborazione differenziale integrale dal basso

Riferimento 000:17/09/2009

Diagramma polare della deviazione



SOCIETA'

Fig. 18 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro I5

5.6 *Analisi dei dati inclinometrici (monitoraggio attivo)*

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

| Data | Attività | Strumentazione | Sistema di misura |
|-------------|--|---|--|
| '06/11/2024 | lettura di esercizio guide A1/A3 | Inclinometro S7I, S8I, I6, I9, I10, I11, I3bis, I4bis | Sonda servoaccelerometrica biax. S222643 |
| 06/11/2024 | Scarico dati | P3 | Scarico dati manuale |
| 13/02/2025 | ripetute letture per verifica dei dati del novembre 2024 | S8I, I10 | Sonda servoaccelerometrica biax. S222643 |

Tab. 1 – Ultime misure effettuate nel sito di Ville San Pietro.

Inclinometro I3bis

Nel 2022 il Comune di Borgomaro ha commissionato la realizzazione di questo nuovo inclinometro nelle immediate vicinanze di I3 con installazione di n.3 sonde inclinometriche fisse alle quote -15,9, -17,3 e -18,7 m da p.c. in grado di trasmettere i dati di spostamento in continuo su portale dedicato.

Nel 2024, in concomitanza con un intervento di manutenzione straordinaria della strumentazione è stata effettuata la lettura manuale per una verifica della quota della superficie di scorrimento rispetto a quella di installazione delle sonde con massimo spostamento locale calcolato a 18,5 m: la lettura di riferimento è quella del gennaio 2022 e le elaborazioni delle letture automatiche che mostrano spostamenti (Figg.19-20).

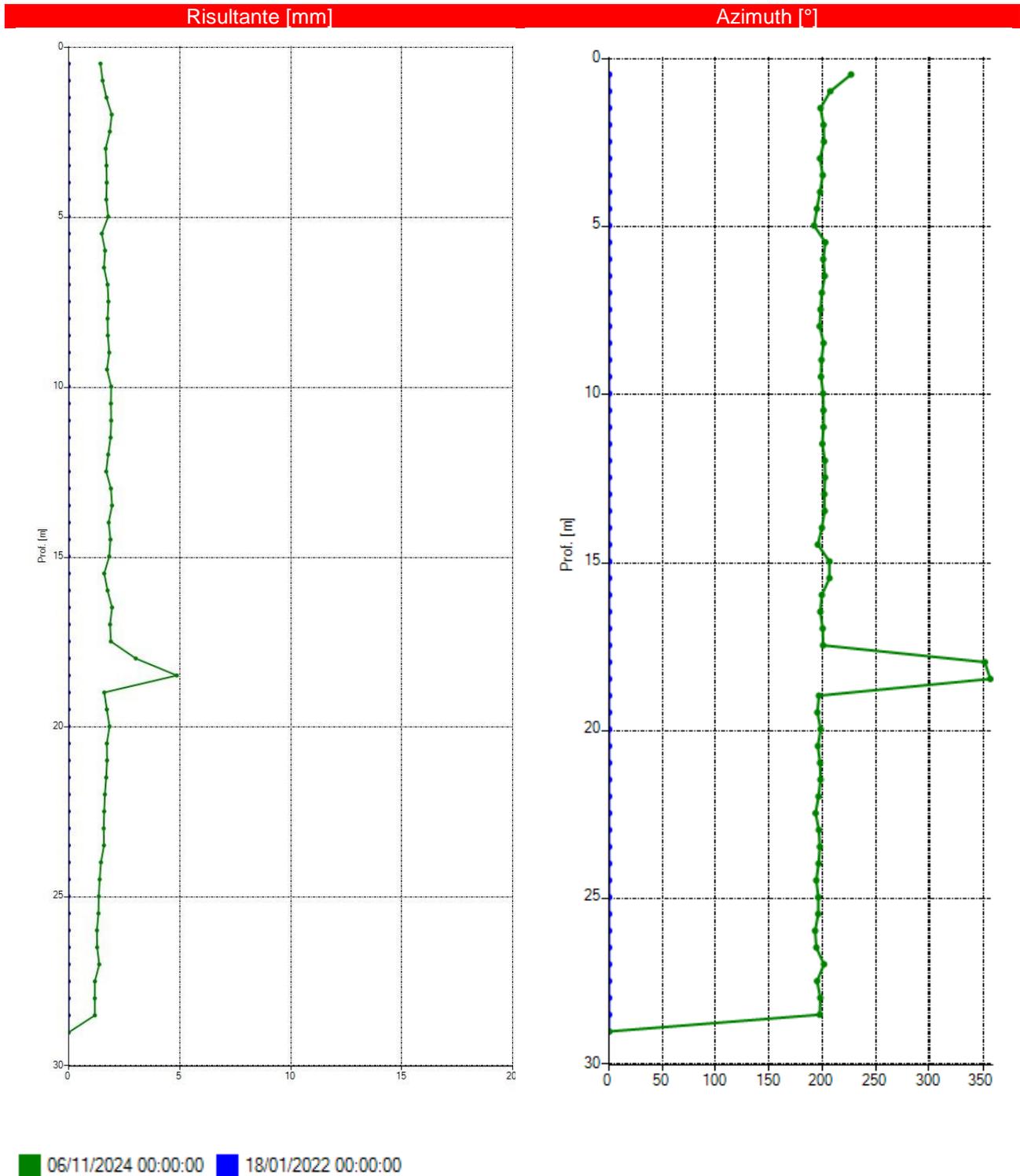


Fig. 19 - Grafico relativo all'elaborazione locale dell'inclinometro I3bis (attrezzato con n.3 sonde fisse)

REMOVER 2008-2024

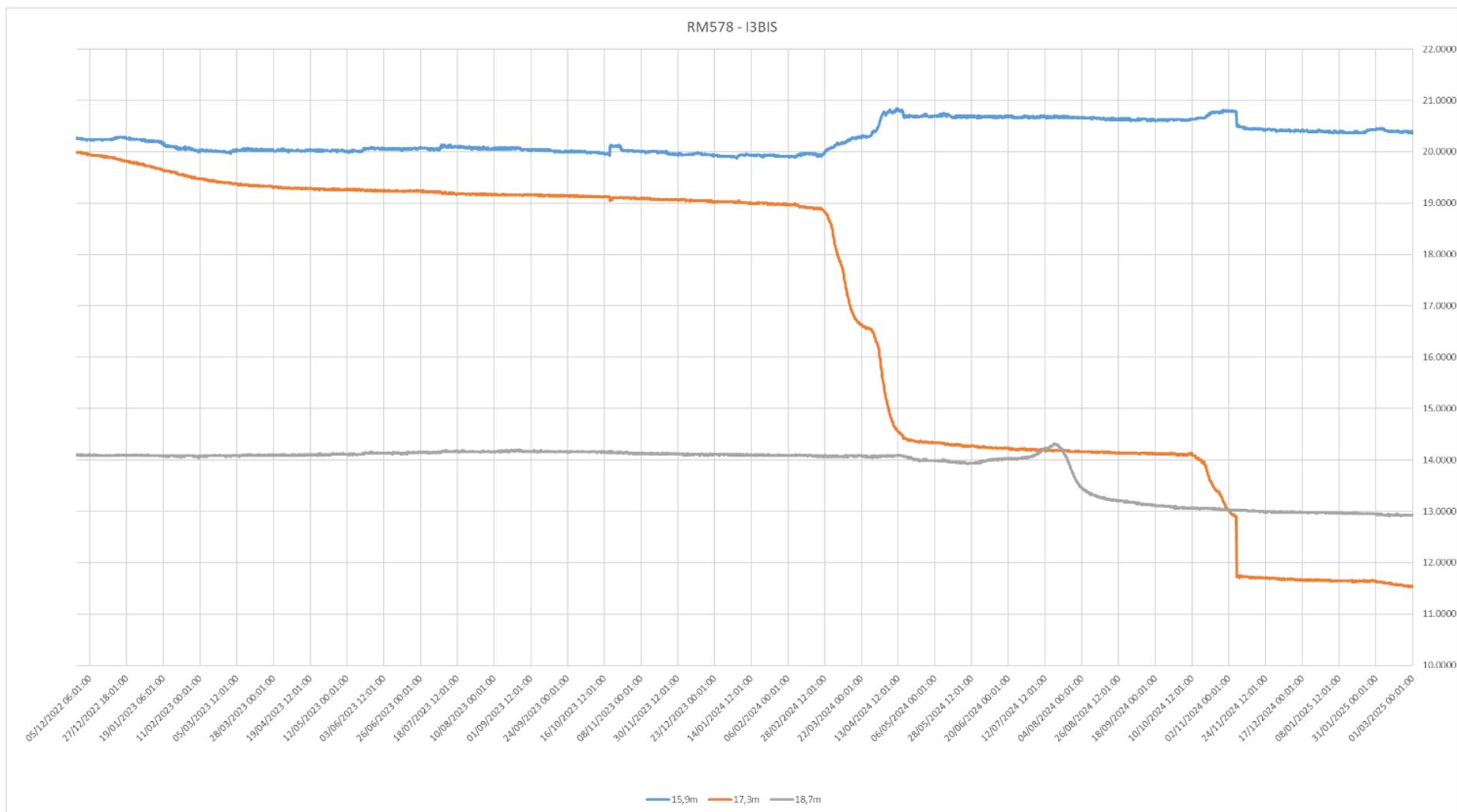


Fig. 20 - Grafico relativo all'elaborazione dei dati inclinometrici automatici dell'inclinometro I3bis (dati OTR).

Inclinometro I4bis

Nel 2022 il Comune di Borgomaro ha commissionato la realizzazione di questo nuovo inclinometro nelle immediate vicinanze di I4 con installazione di n.3 sonde inclinometriche fisse tra 20,4-24,6 m da p.c. e sistema di trasmissione dati su portale dedicato.

Nel 2024 anche questa stazione è stata oggetto di manutenzione straordinaria ed è stata effettuata una lettura manuale di controllo della quota della superficie di scorrimento rispetto a quella di installazione delle sonde: la lettura di riferimento è quella del gennaio 2022 e le elaborazioni mostrano al momento un buon accordo tra le letture automatiche e quelle manuali, con massima variazione locale calcolata a 22 m (spostamento di 3,3 mm sulla sonda fissa a 21,8 m) (Figg.21-22).

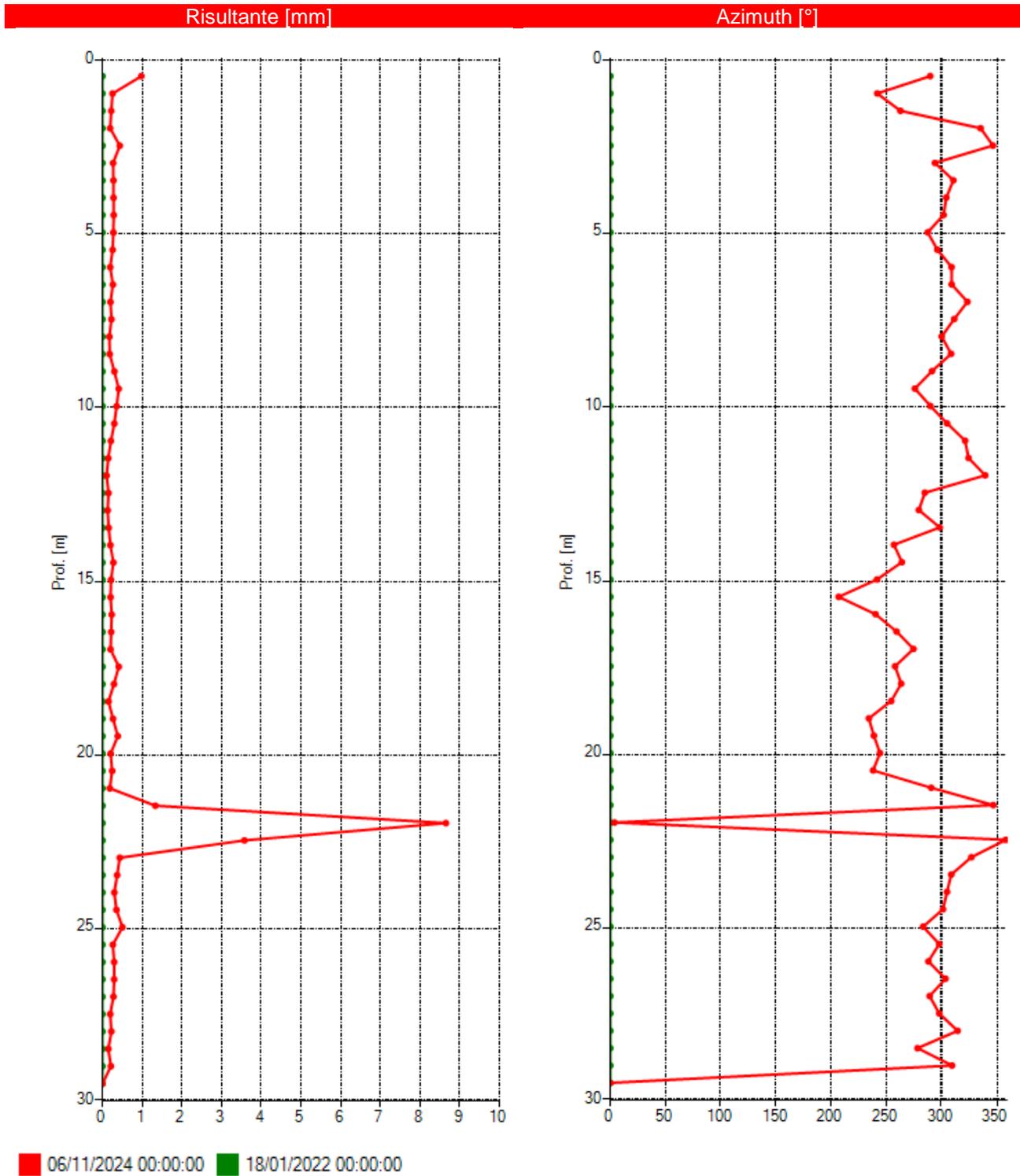


Fig. 21 - Grafico relativo all'elaborazione locale dell'inclinometro I4bis (attrezzato con n.3 sonde fisse)

REMOVER 2008-2024

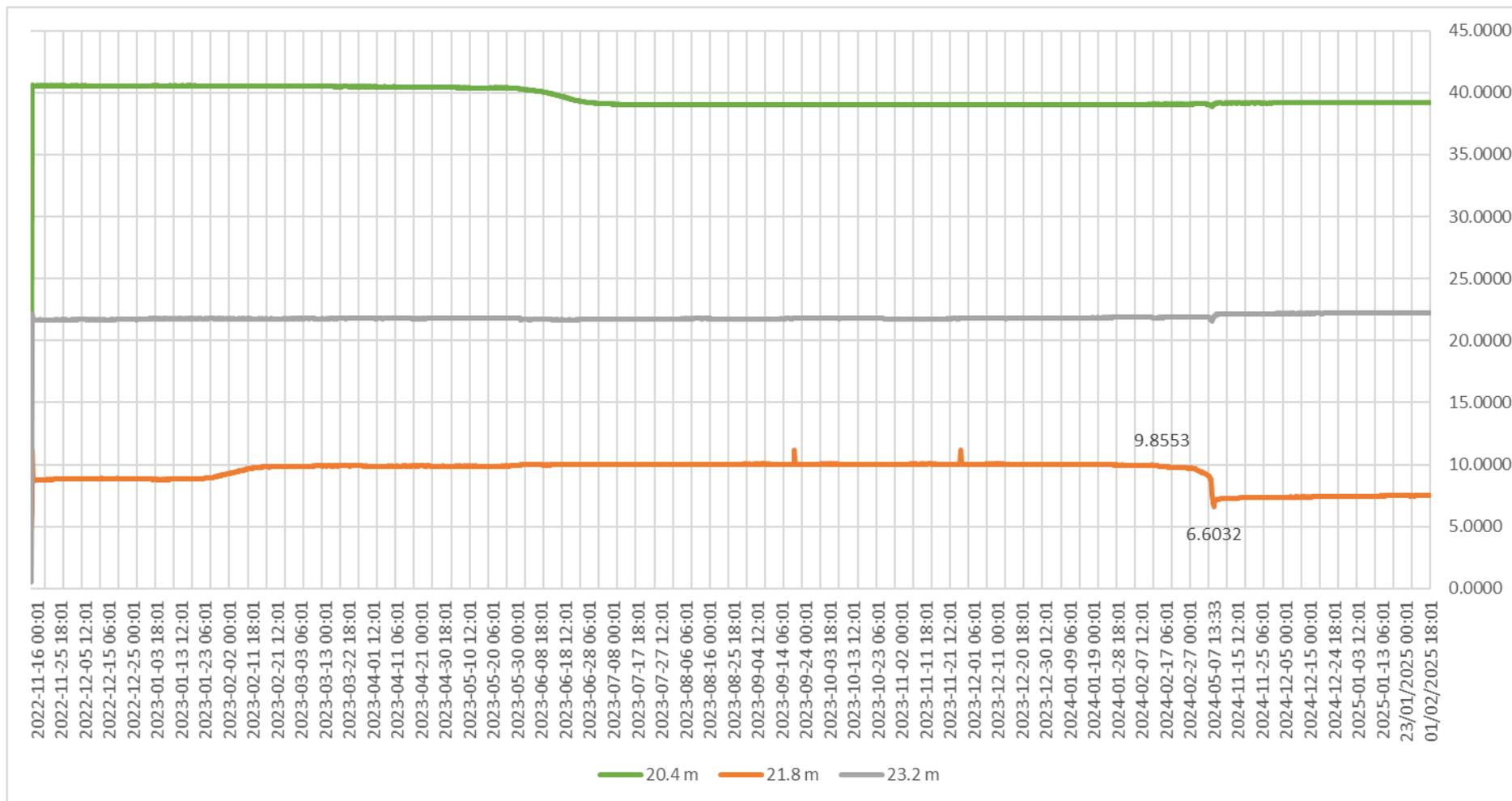


Fig. 22 Grafico relativo all'elaborazione dei dati inclinometrici automatici dell'inclinometro I4bis (dati OTR).

Inclinometro I6

Nel corso del 2024 la verifica dei dataset attraverso i “checksum” e la “deviazione standard” non ha evidenziato anomalie strumentali nei cicli di letture effettuate. Dall’ultima lettura è stato possibile individuare uno spostamento totale di 37,6 mm a testa tubo con un incremento di 34 mm dalla lettura precedente. La variazione locale di inclinazione massima è stata individuata per la prima volta con chiarezza a 12 m di profondità, con spostamento di circa 12 mm rispetto al 2023. La lettura del diagramma polare indica una direzione dello spostamento in direzione N-NE (Figg.23-24) in accordo con l’orientamento del versante.

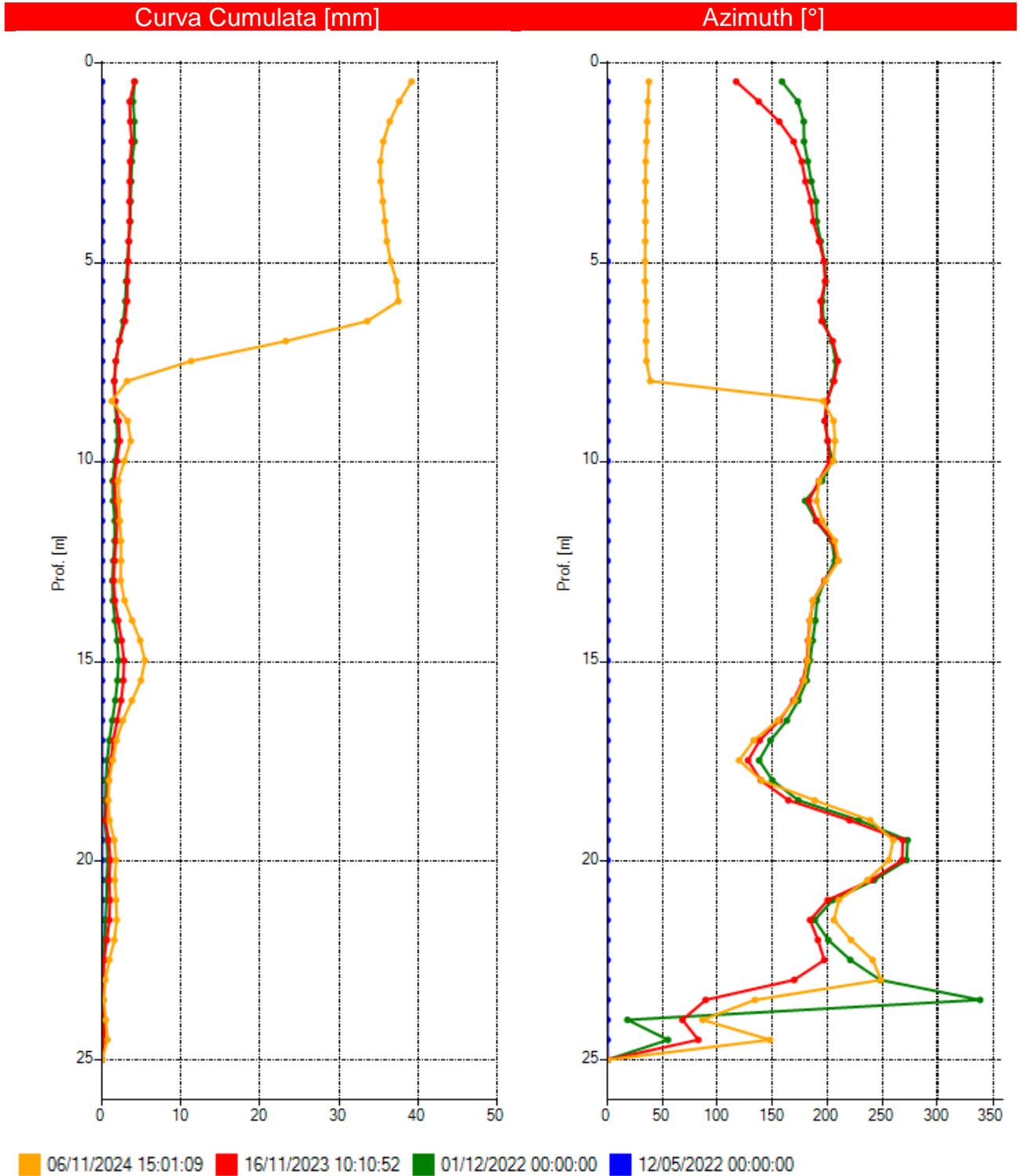


Fig. 23a - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) dell'inclinometro I6

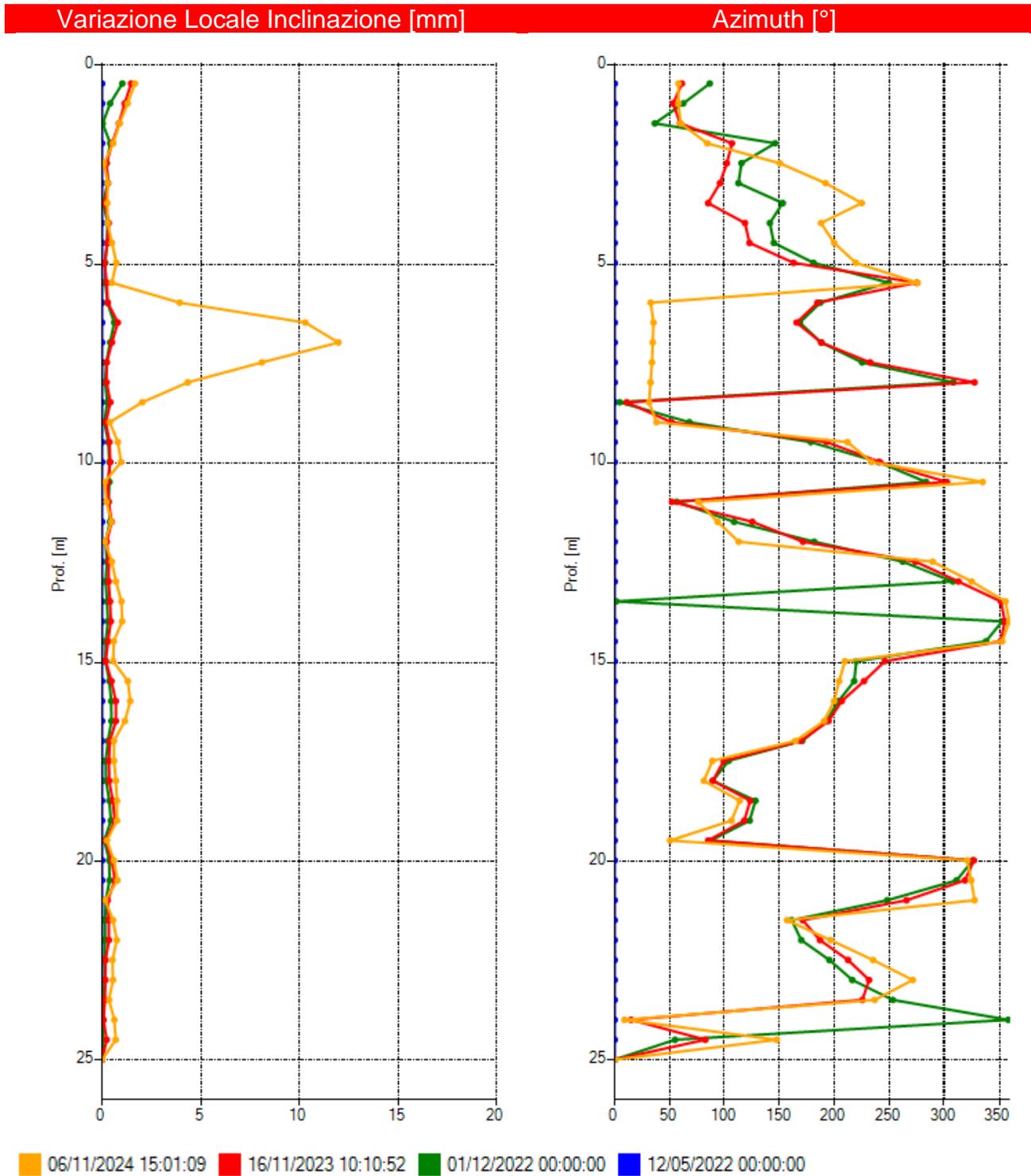


Fig. 23a - Grafici relativi all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro I6

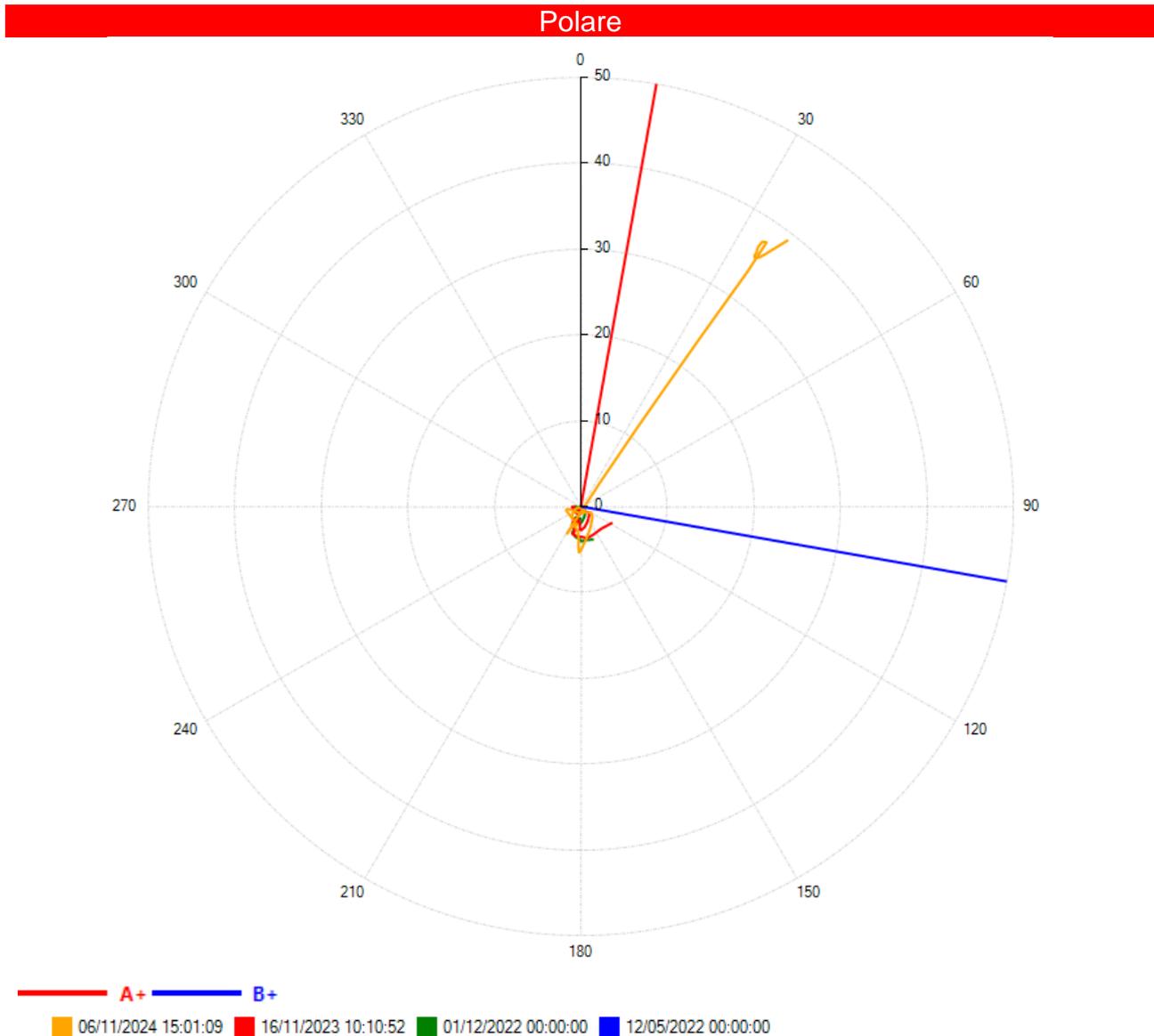


Fig. 24 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro I6.

Inclinometro I9

Nel corso del 2024 la verifica dei dataset attraverso i "checksum" e la "deviazione standard" non ha evidenziato anomalie strumentali nei cicli di letture effettuate. Differenziale integrale: dalla lettura di riferimento è stato riscontrato un incremento degli spostamenti osservati a testa tubo pari a circa 9.5 mm con risultante di 17.5 mm e sulla variazione locale si individua per la prima volta un piano di scivolamento definito tra 9 e 10 metri da piano campagna dove lo spostamento locale raggiunge i 2,5 mm. Sul diagramma polare la componente del vettore spostamento indica un trend di spostamento in direzione N, compatibile con l'orientazione del versante in corrispondenza del muro di contenimento a valle dell'inclinometro (Figg. 25-26).

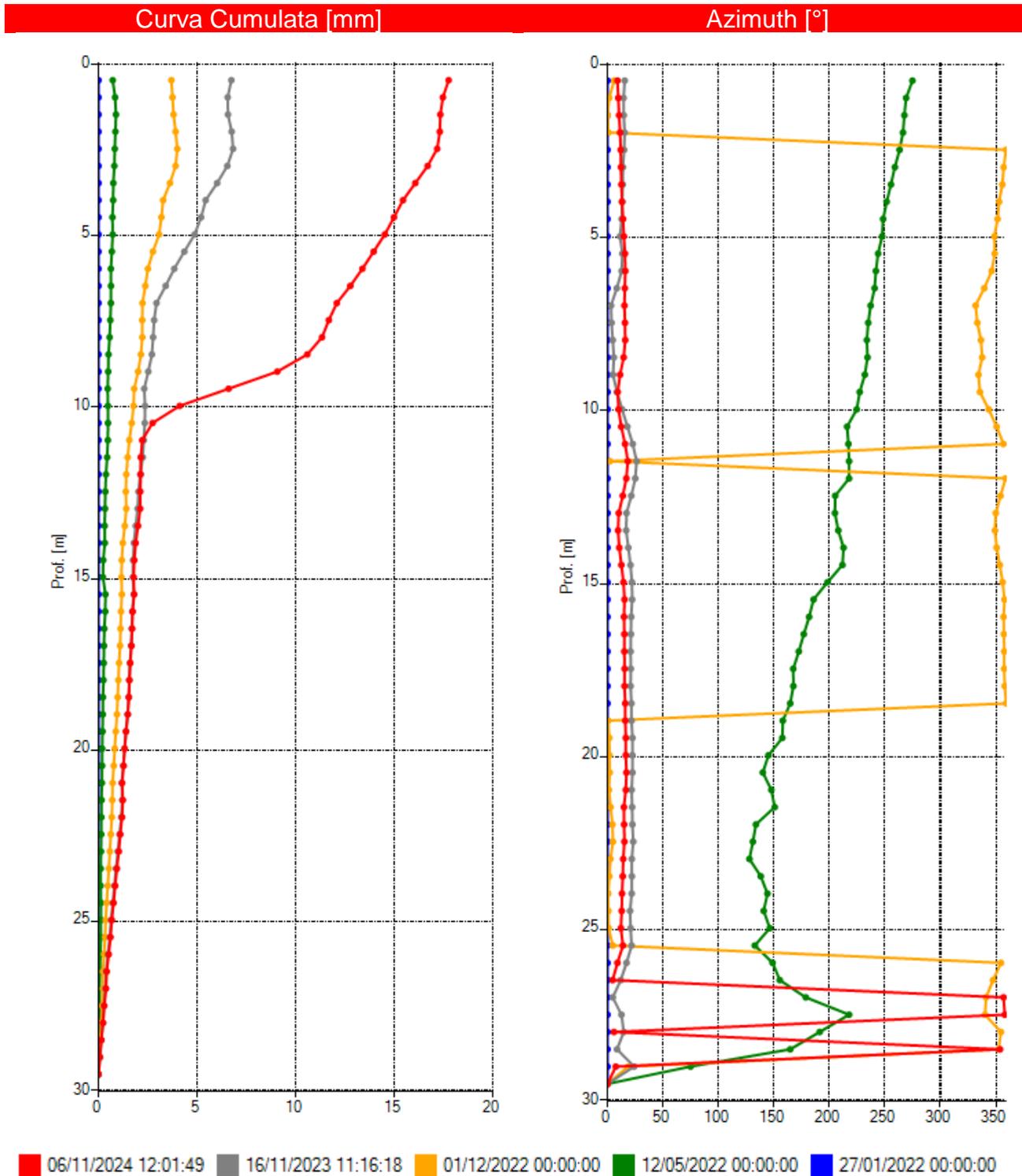


Fig. 25a - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) dell'inclinometro I9.

Variatione Locale Inclinazione [mm]

Azimuth [°]

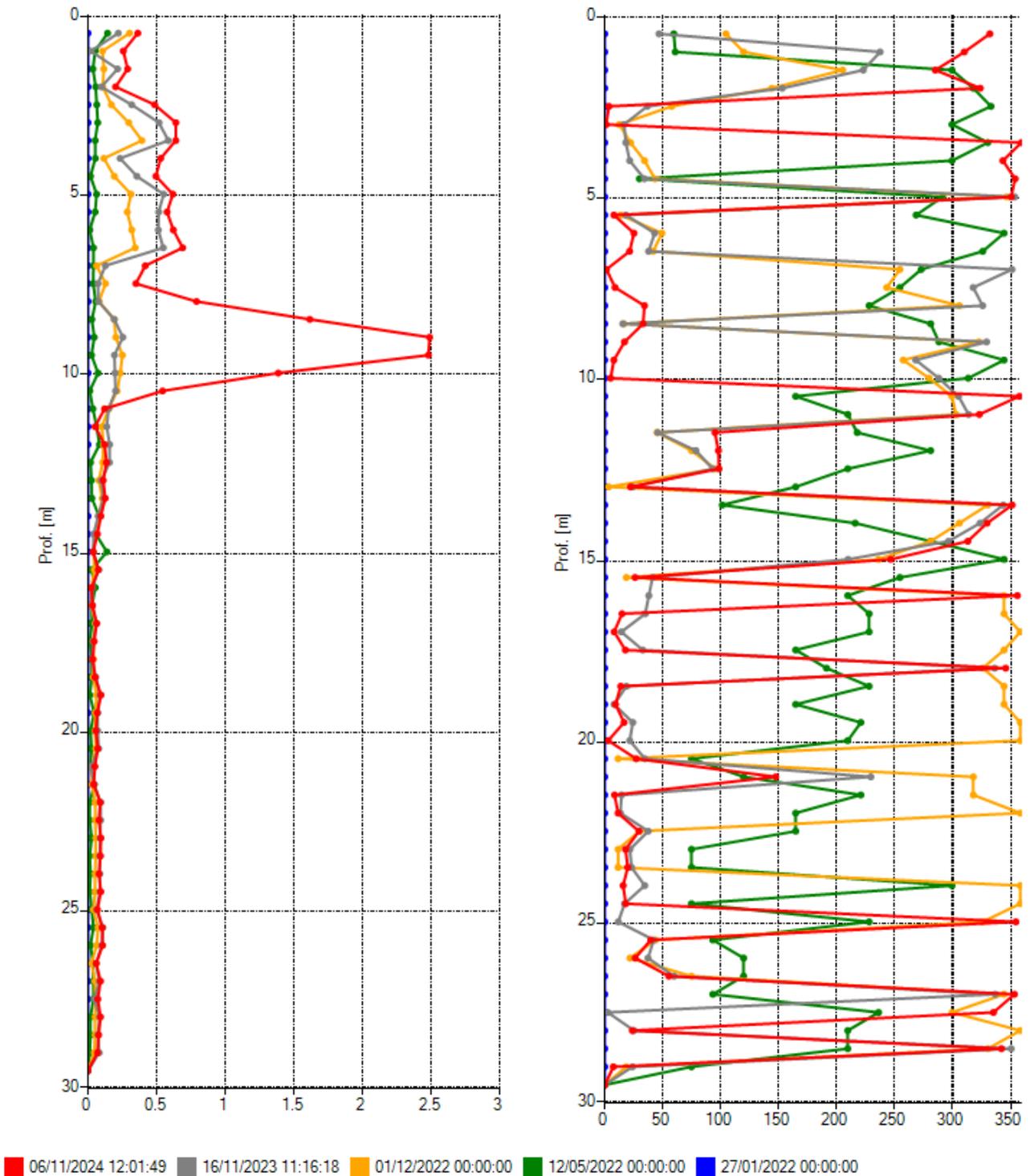


Fig. 25b - Grafici relativi all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro I9.

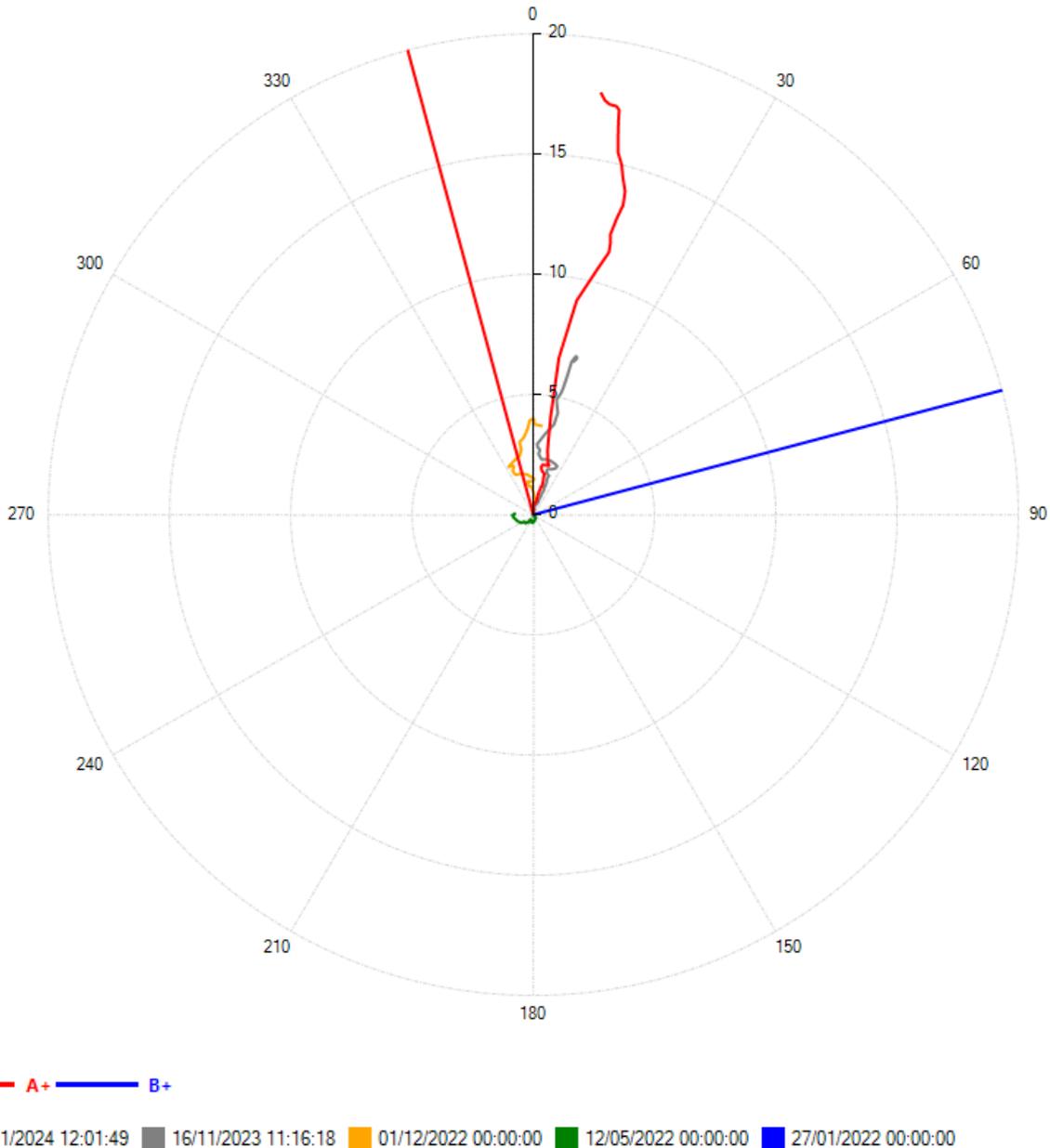


Fig. 26 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro I9.

Inclinometro I10

Nel corso del 2024 è stata effettuata una lettura di esercizio, che è stata ripetuta a febbraio 2025 per verificare l'anomalia riscontrata rispetto alla lettura 2023. L'elaborazione del differenziale integrale si riscontra un incremento dello spostamento cumulato a testa tubo prossimo a 10 mm. Rispetto alle variazioni locali l'analisi mostra la massima deformazione, calcolata in 2,6 mm, a 19 metri di profondità con un incremento di 2 mm rispetto al 2023. Diagramma polare: tendenza dello spostamento in direzione N, in accordo con l'assetto del versante (Figg. 27-28).

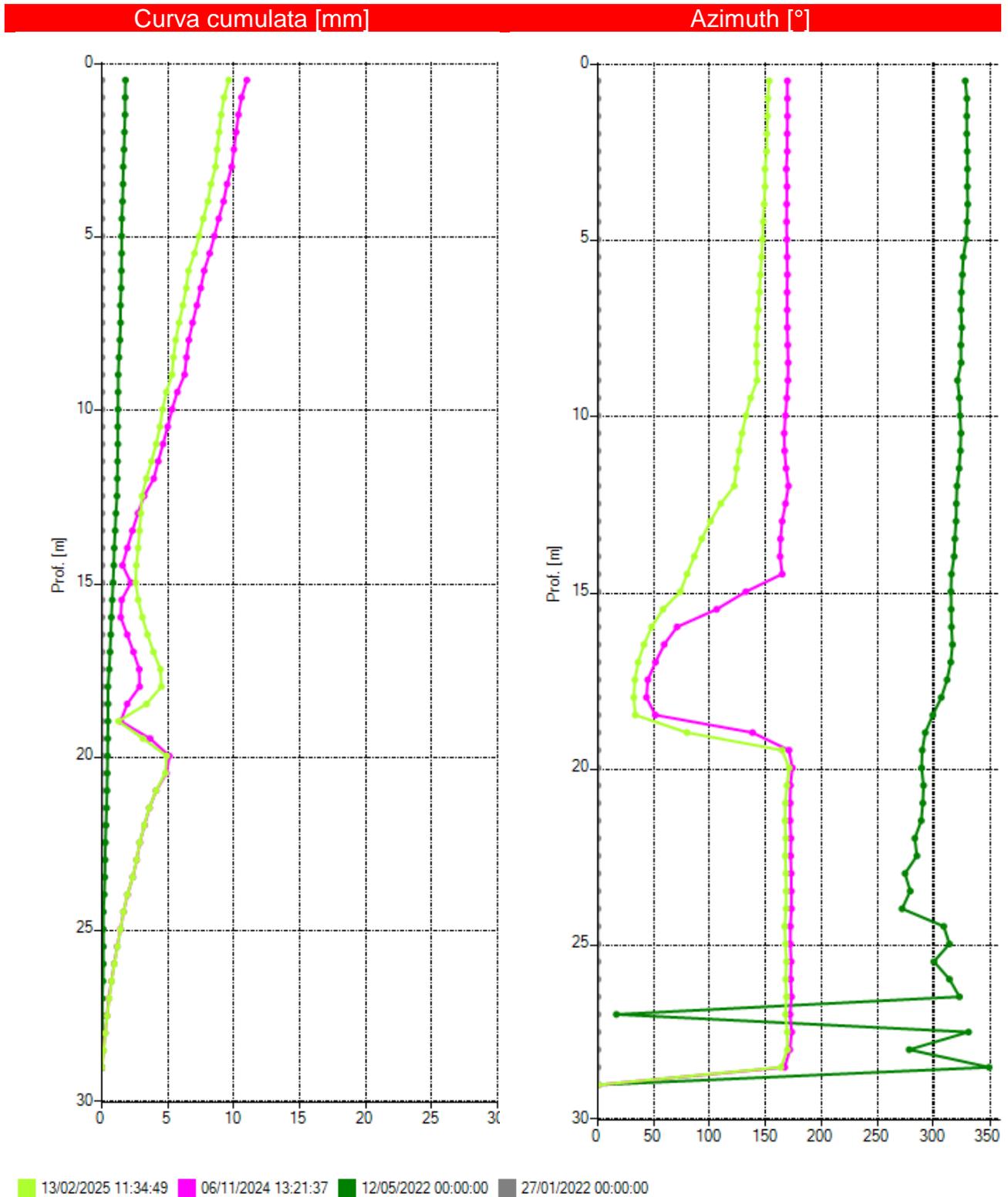


Fig. 27a - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) dell'inclinometro I10

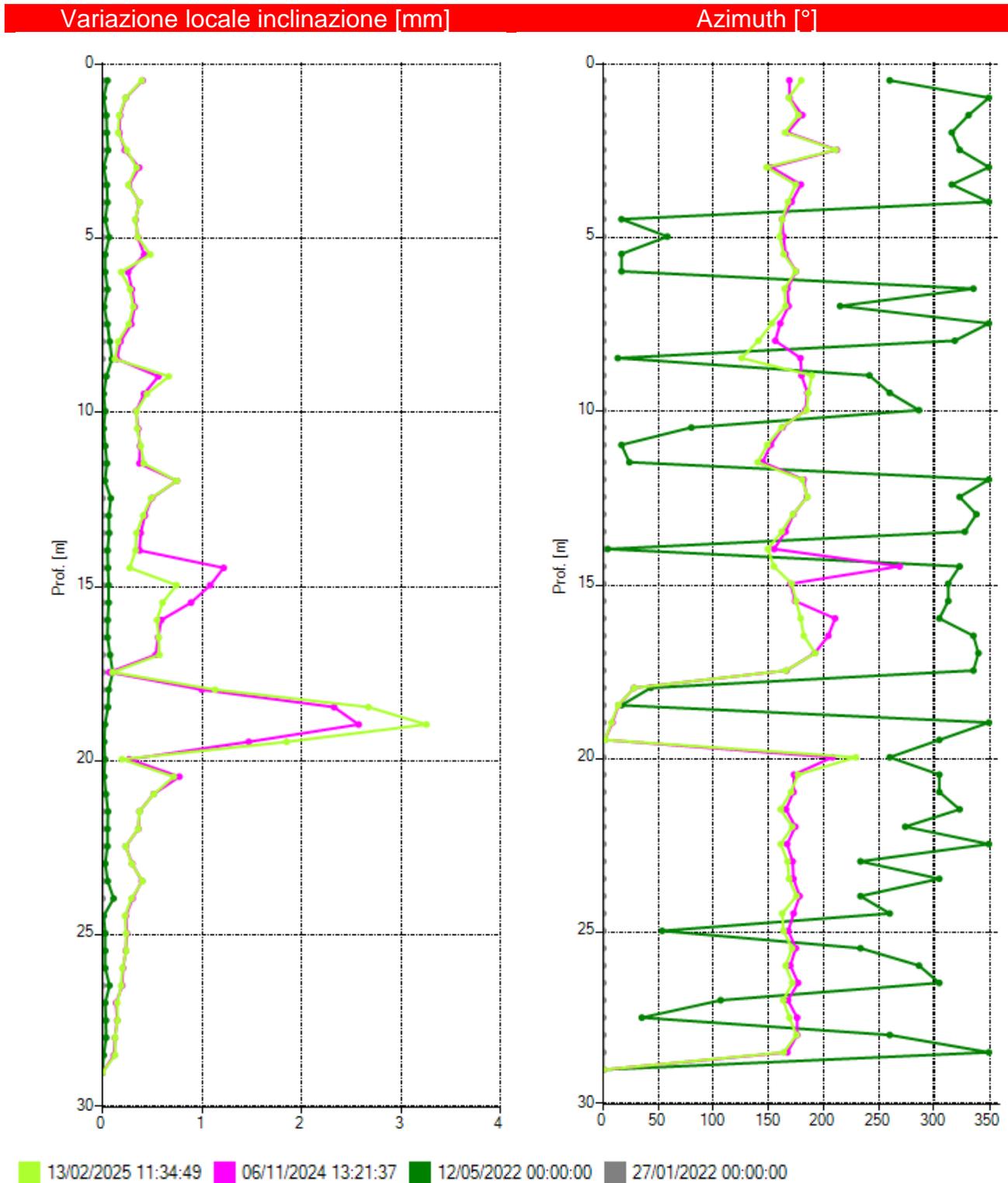


Fig. 27b - Grafici relativi all'elaborazione differenziale (spostamenti locali) dell'inclinometro I10

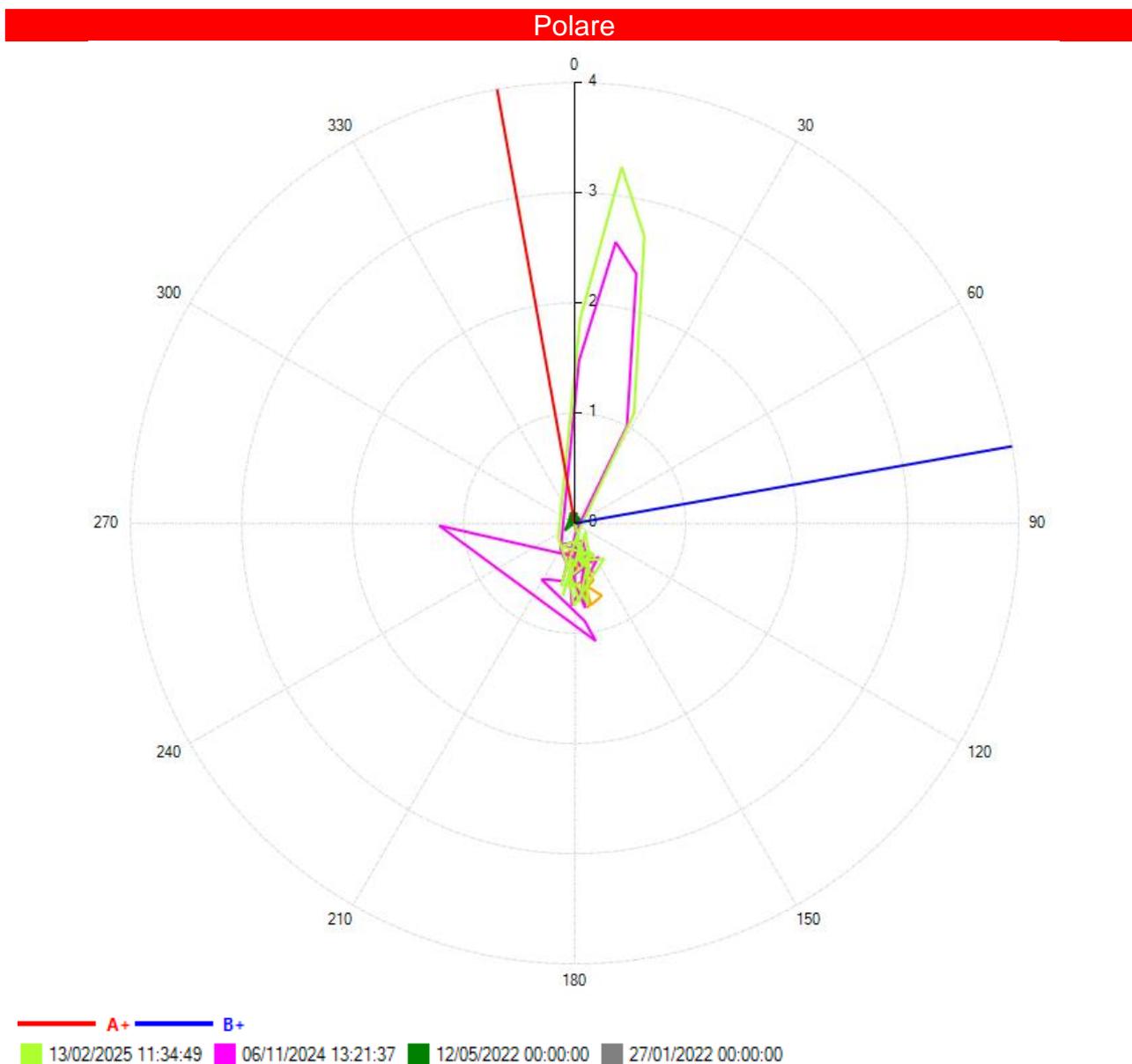


Fig. 28 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro I10

Inclinometro I11

Nel corso del 2024 la verifica dei dataset attraverso i “checksum” e la “deviazione standard” non ha evidenziato anomalie strumentali nei cicli di letture effettuate. Differenziale integrale: dalla lettura 2023 le deformazioni hanno subito un incremento di 17 mm per una cumulata di 24 mm. Differenziale locale: nel grafico è osservabile un picco a circa 12,5 m di profondità con deviazione di circa 12,3 mm sul locale. Diagramma polare: si conferma la componente principale in direzione NE coerente con l'esposizione del versante nel punto di monitoraggio (Figg. 29-30).

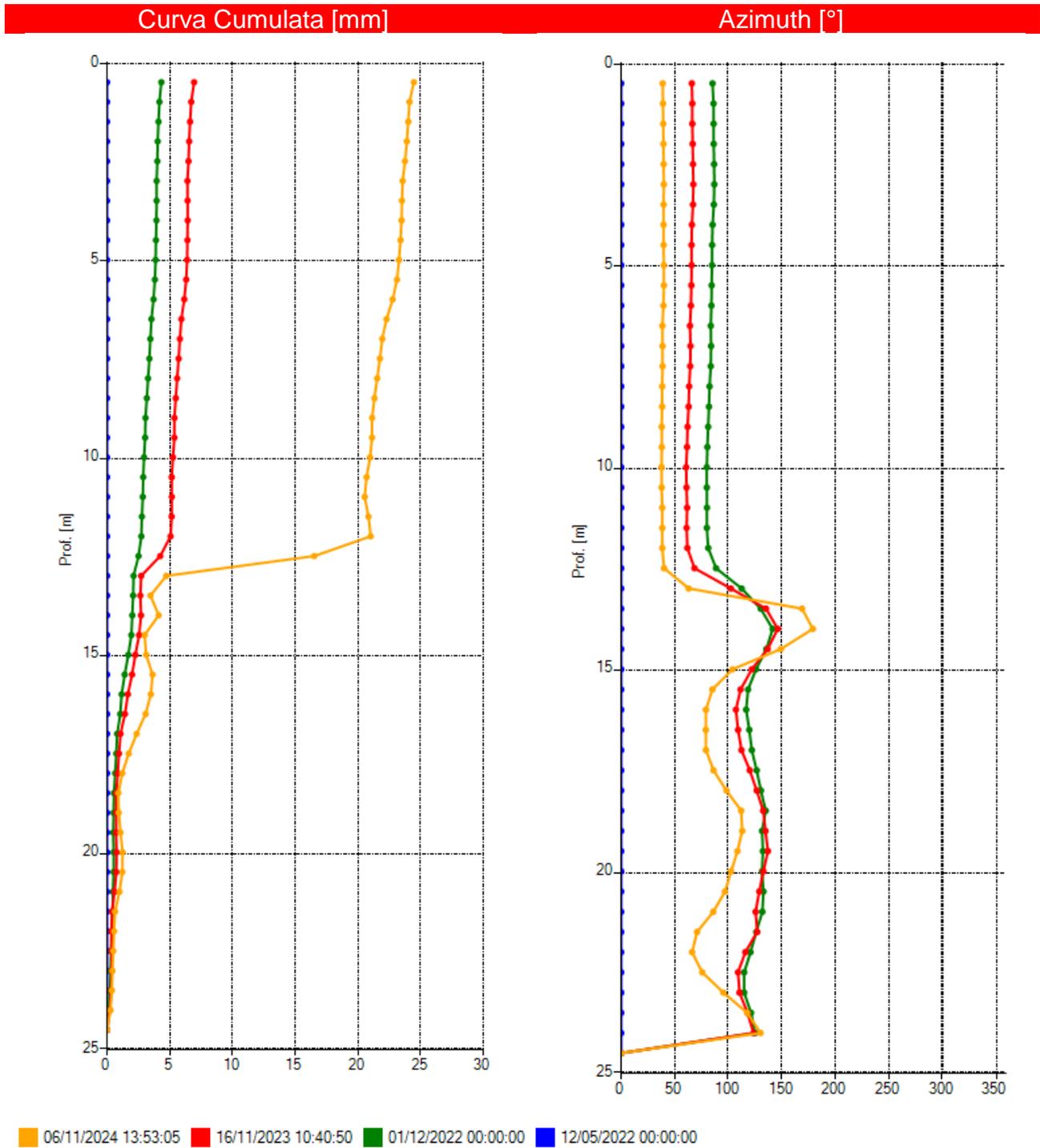
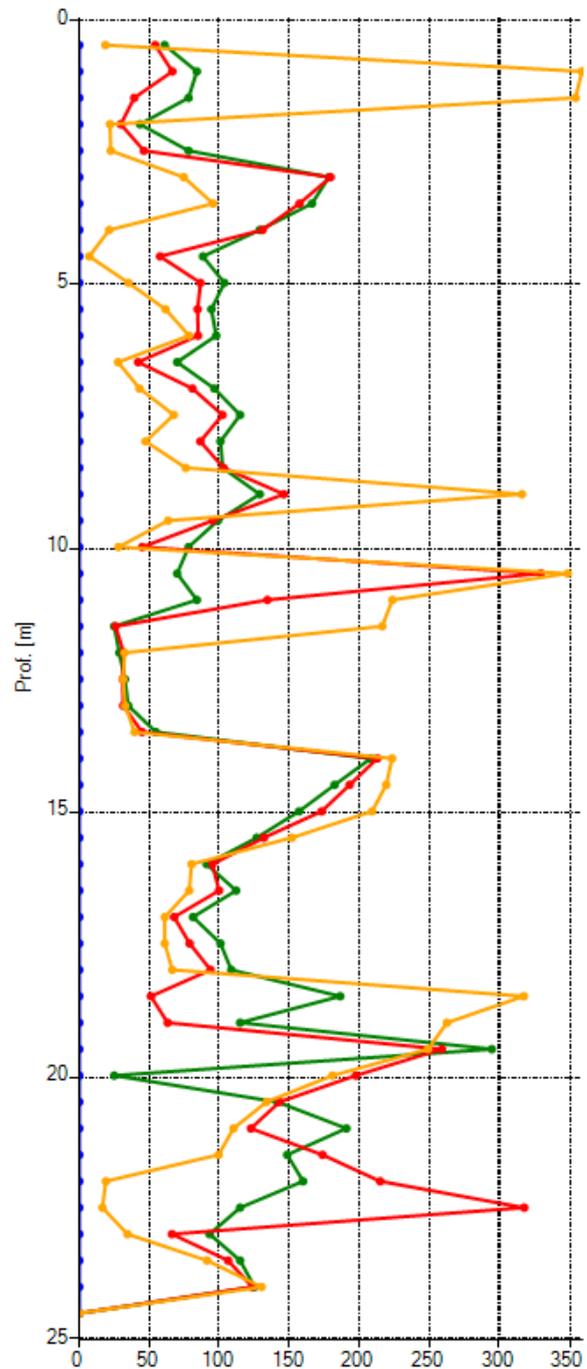
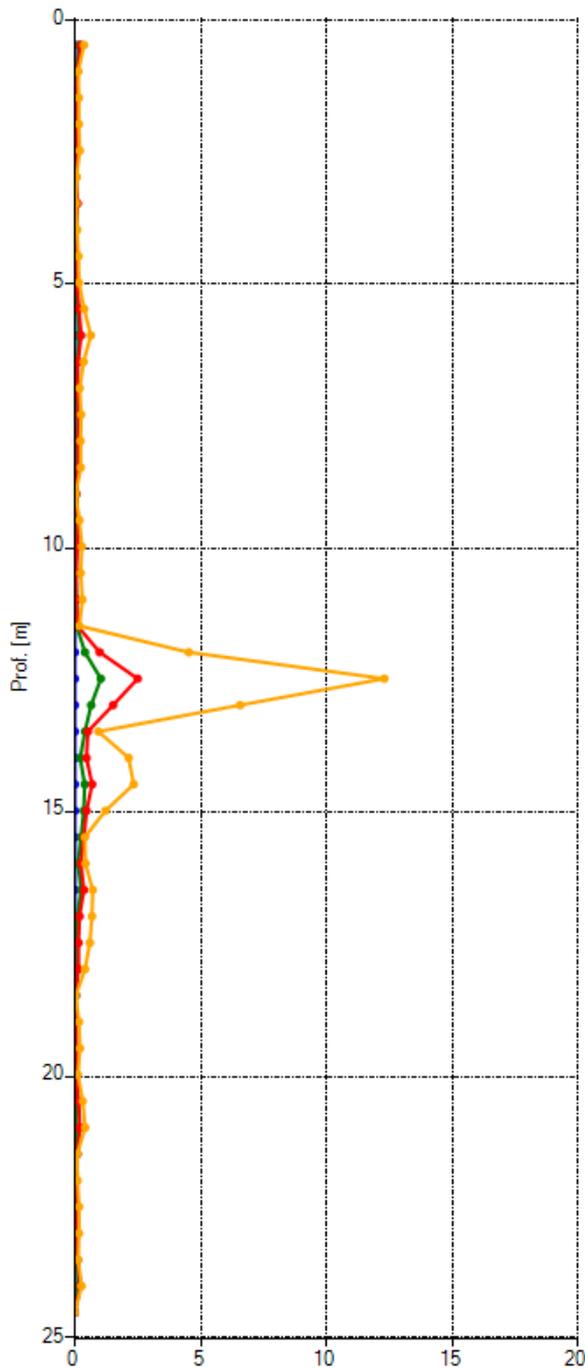


Fig. 29a - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti dell'inclinometro I11

Variatione Locale Inclinazione [mm]

Azimuth [°]



■ 06/11/2024 13:53:05
 ■ 16/11/2023 10:40:50
 ■ 01/12/2022 00:00:00
 ■ 12/05/2022 00:00:00

Fig. 29b - Grafici relativi all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro I11

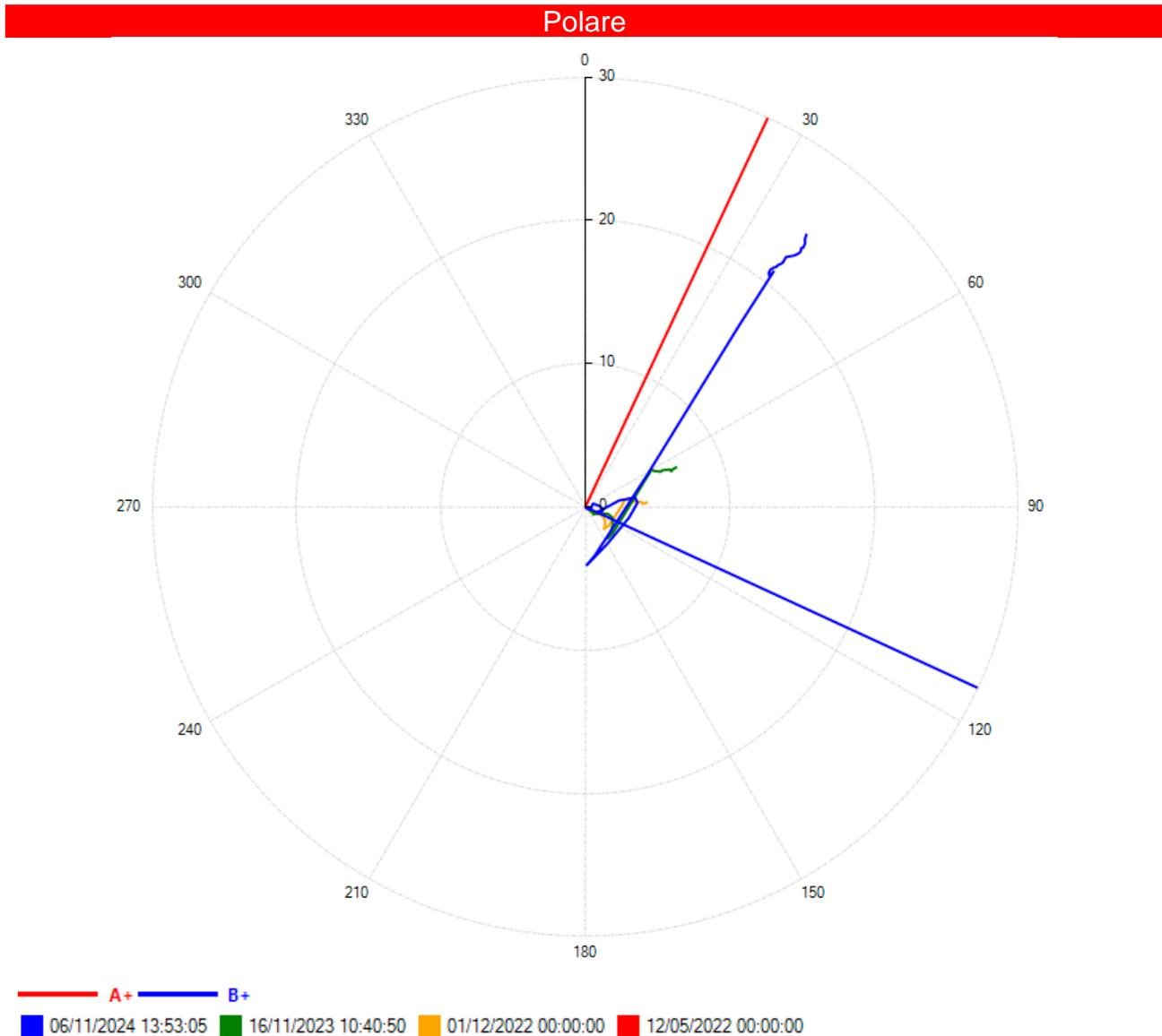


Fig. 30 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro I11

Inclinometro S71 (29 m) – zona mediana della frana e immediata periferia del centro abitato

Nel corso del 2023 la verifica dei dataset attraverso i “checksum” e la “deviazione standard” non ha evidenziato anomalie strumentali nei cicli di letture effettuate. Differenziale integrale: le deformazioni sul differenziale integrale arrivano a 37,5 mm a testa tubo con incremento di 13,5 mm circa dall'ultima lettura mostrando una deviazione progressiva da fondo foro fino alla quota della superficie di scivolamento principale (12 m). Differenziale locale: nel grafico è osservabile un picco a circa 12 m di profondità con deviazione di circa 12 mm sul locale. Sul resto della tubazione non si riscontrano spostamenti ad esclusione di una deriva da fondo foro fino al piano di scorrimento.

Diagramma polare: si conferma la componente principale del vettore spostamento verso NNE in linea con il la direzione di massima pendenza del versante in quel punto (Figg. 31-32).

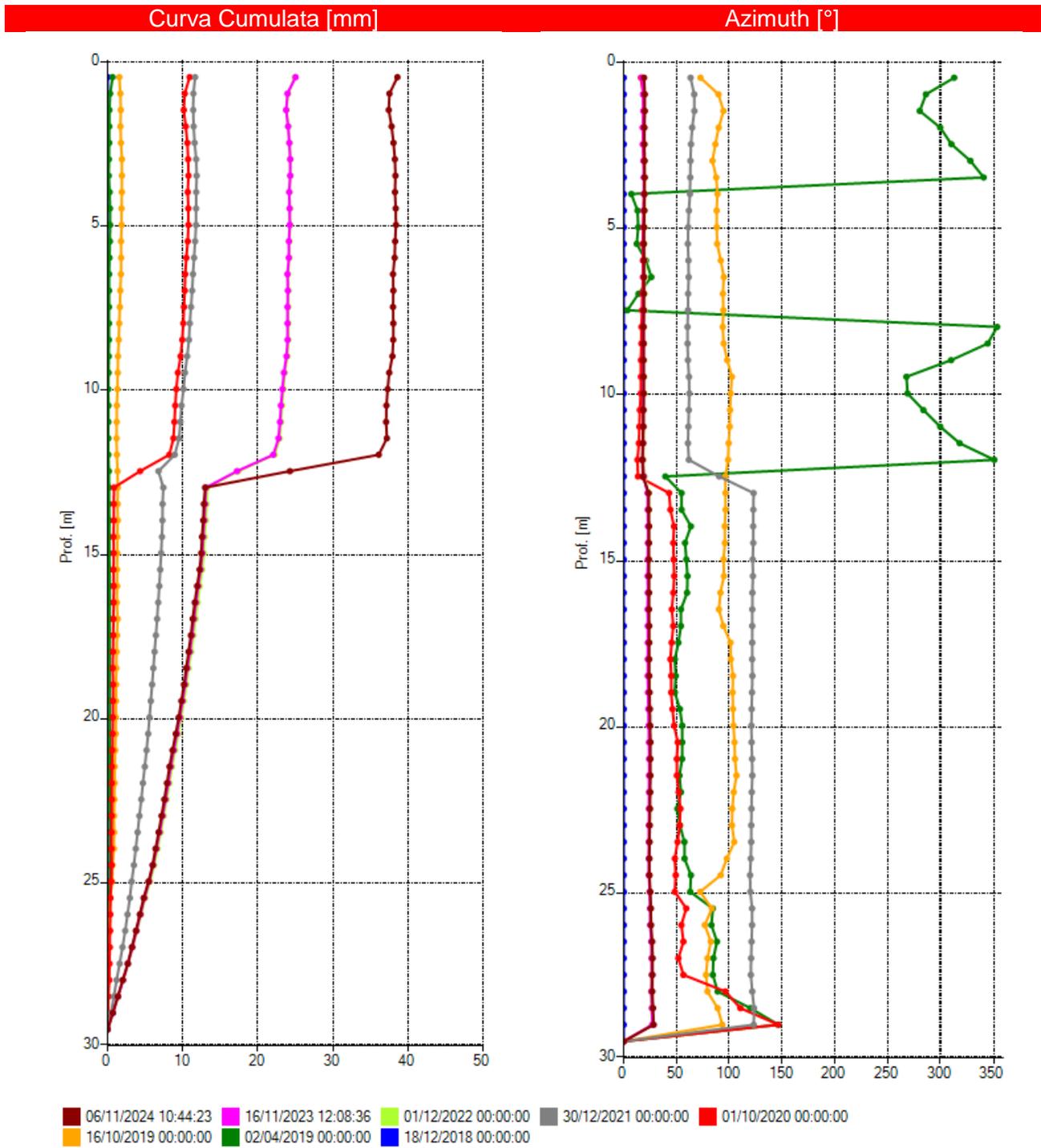


Fig. 31a - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) dell'inclinometro S71.

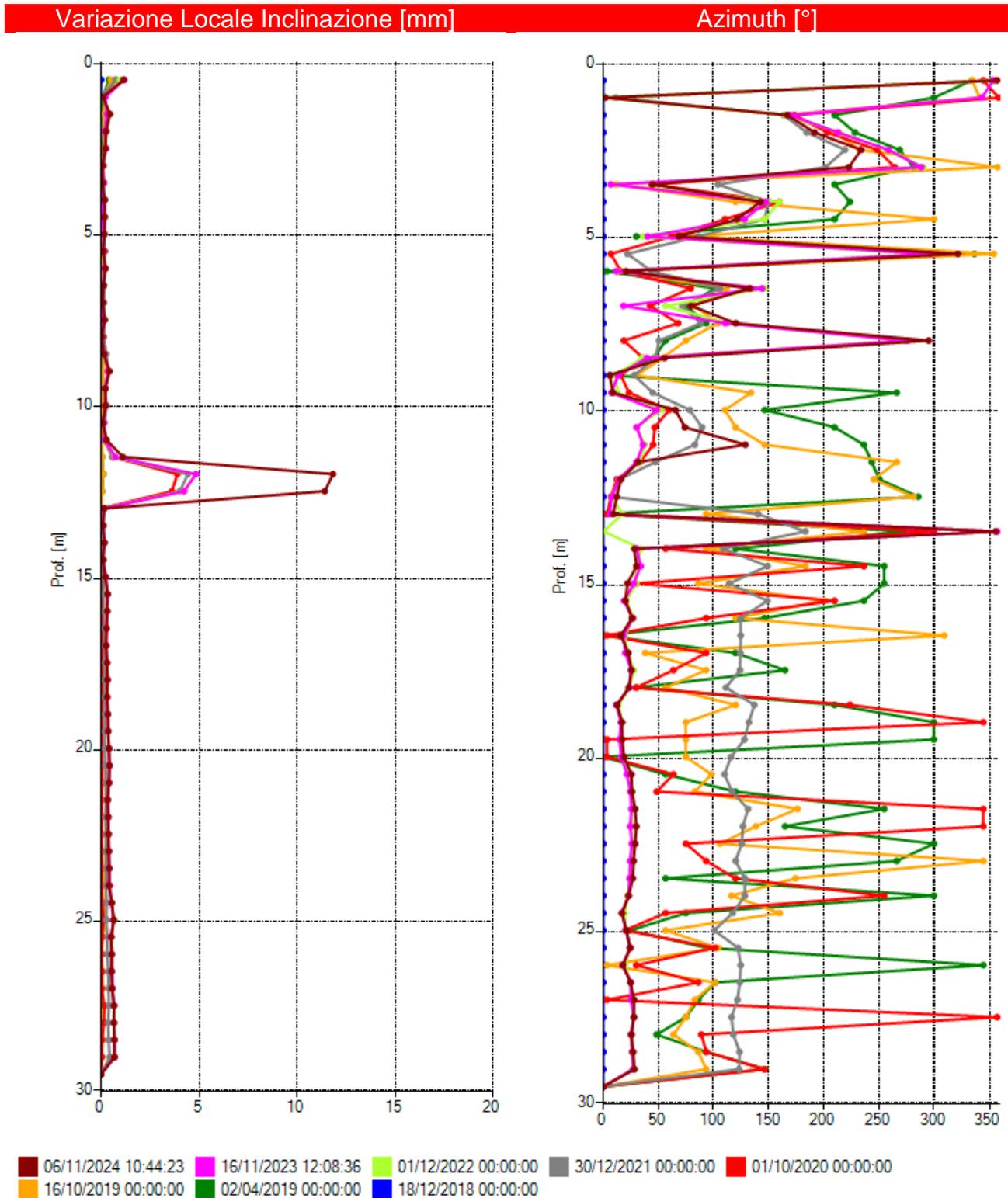


Fig. 31b - Grafici relativi all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro S71.

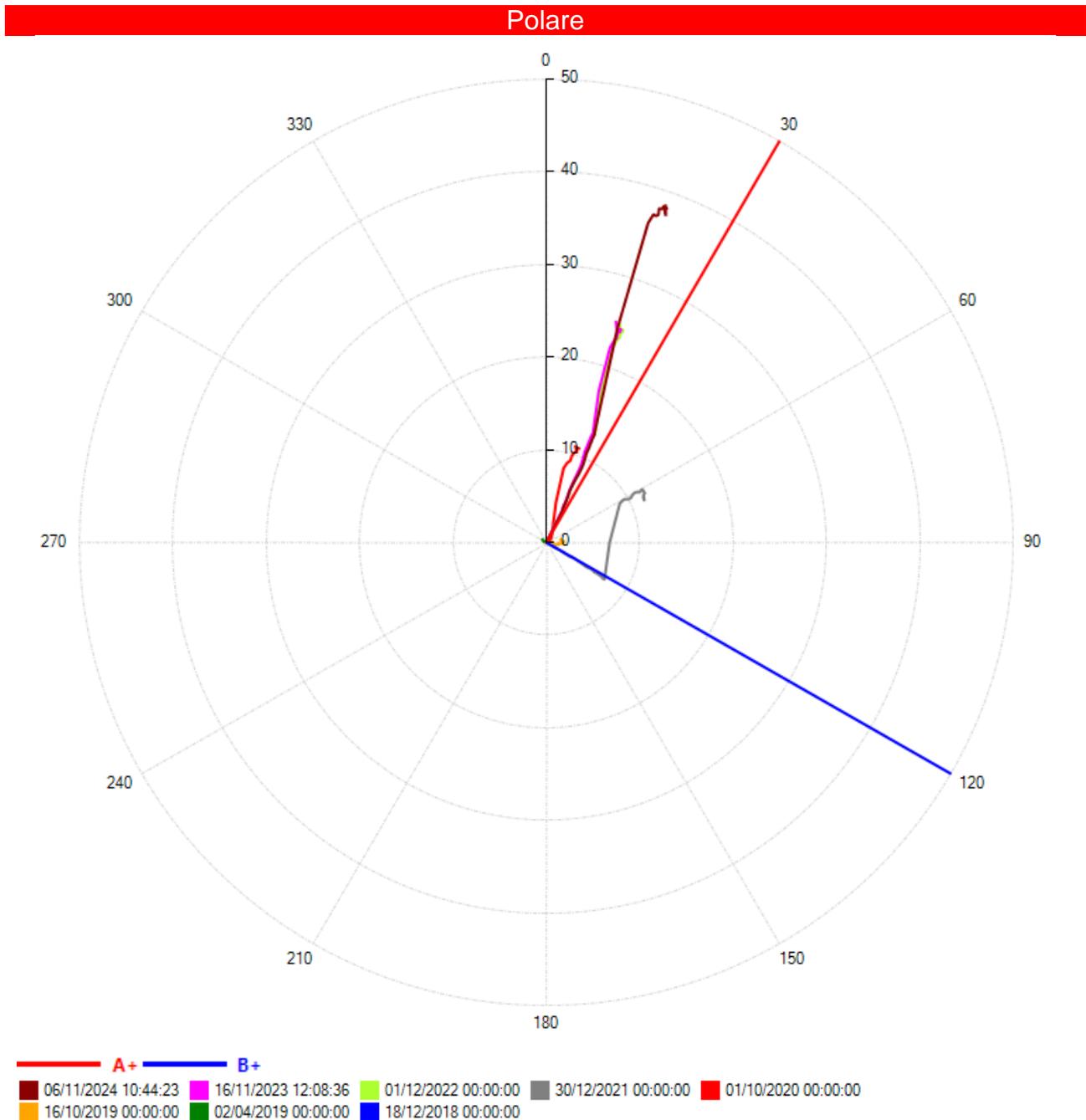


Fig. 32 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro S71

Inclinometro S8I (29 m) – zona mediana della frana e immediata periferia del centro abitato

La lettura relativa alla campagna 2024 è stata ripetuta all'inizio del 2025 per problemi strumentali. Rispetto alla lettura precedente del 2023, le deformazioni hanno subito un aumento di circa 5 mm per un totale di circa 9 mm degli spostamenti totali. Differenziale locale: appare evidente una sostanziale assenza di deviazioni da 29 m fino a 6 m di profondità. A 6 m infatti è presente

l'unica superficie in cui si concentra la deformazione con valore locale di circa 4,3 mm. Diagramma polare: dal diagramma si evince che lo spostamento complessivo ha direzione NE, anche in questo caso compatibile con l'esposizione del versante (Figg. 33 e 34).

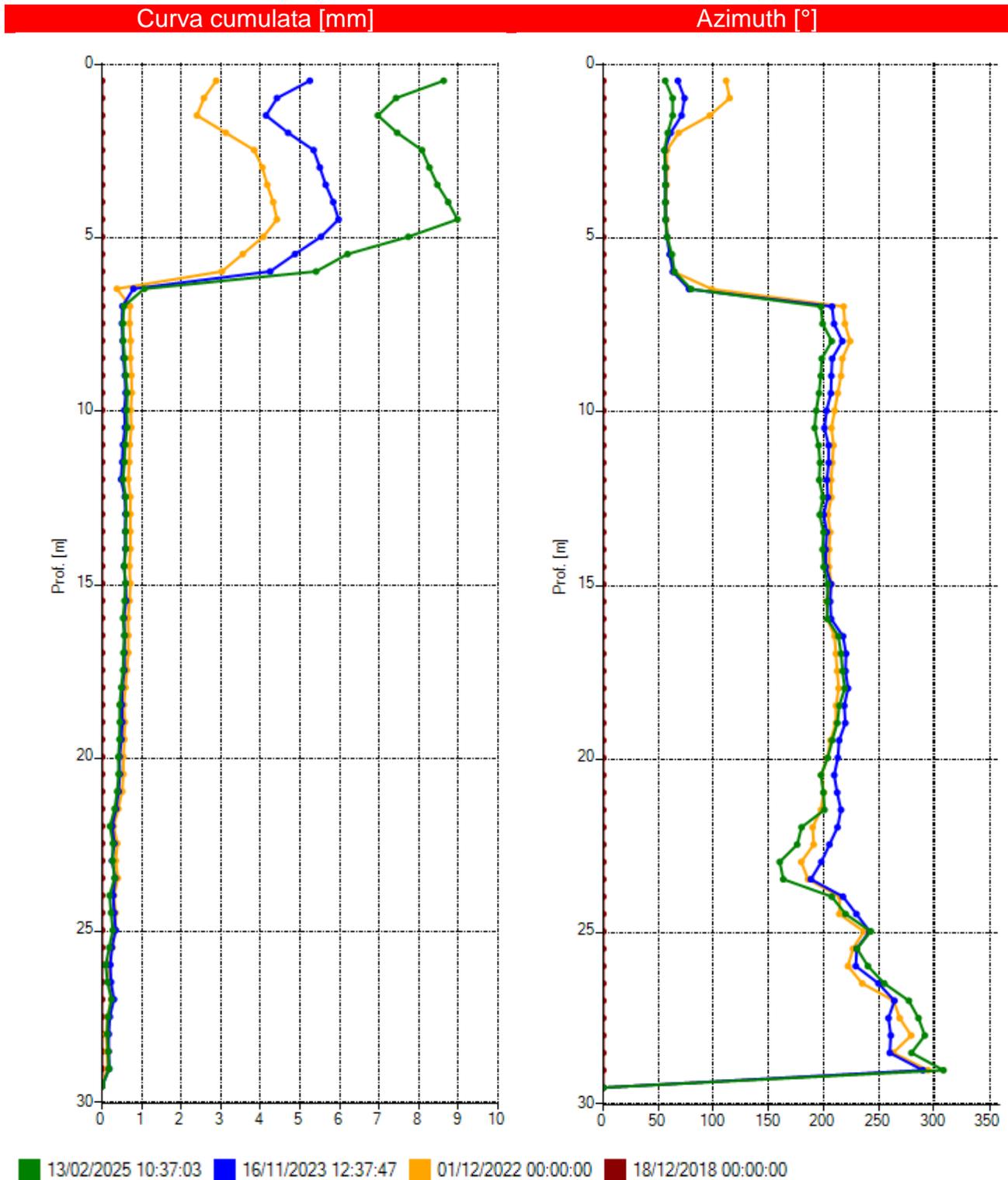


Fig. 33a - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) dell'inclinometro S81

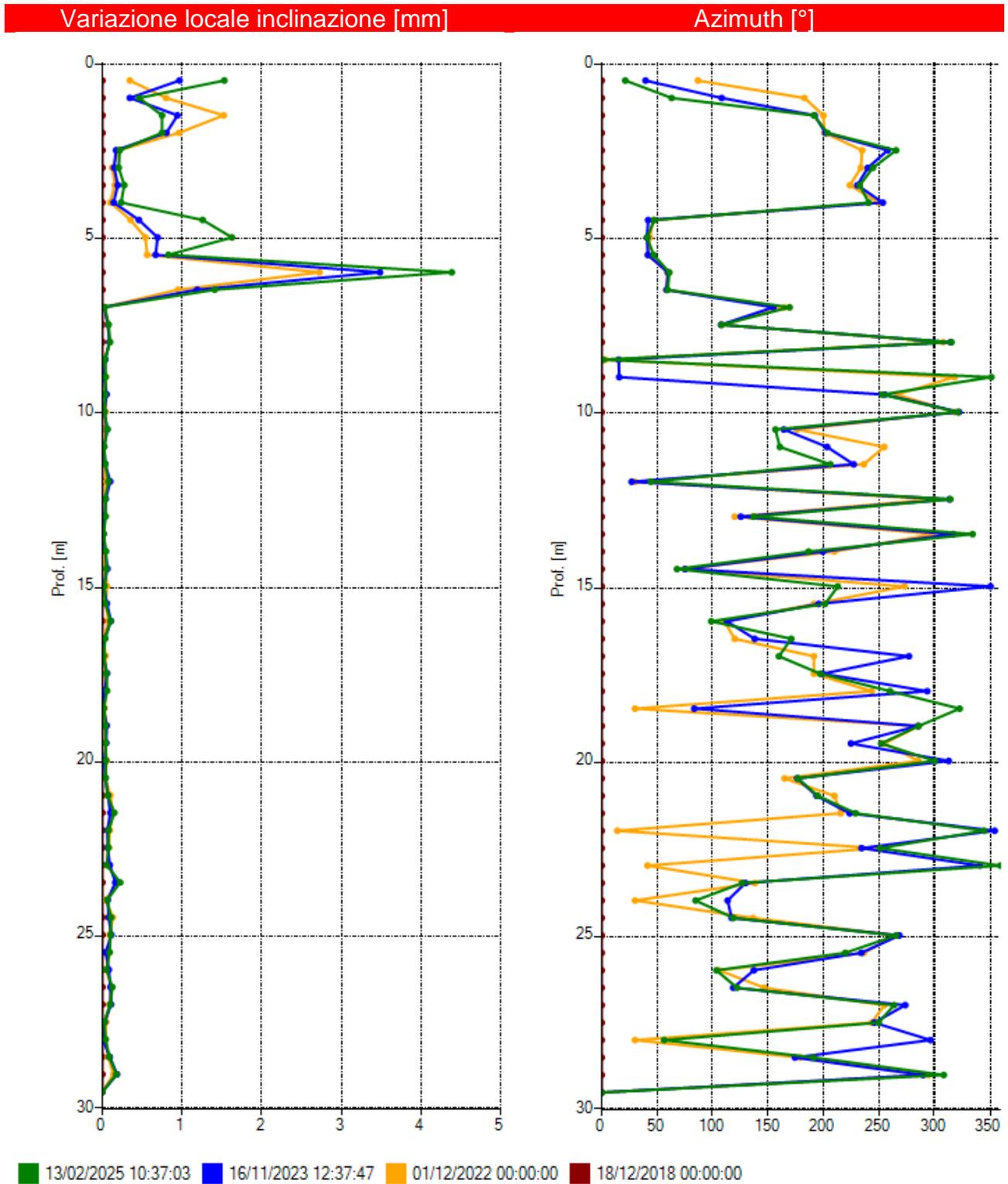


Fig. 33b - Grafici relativi all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro S8I

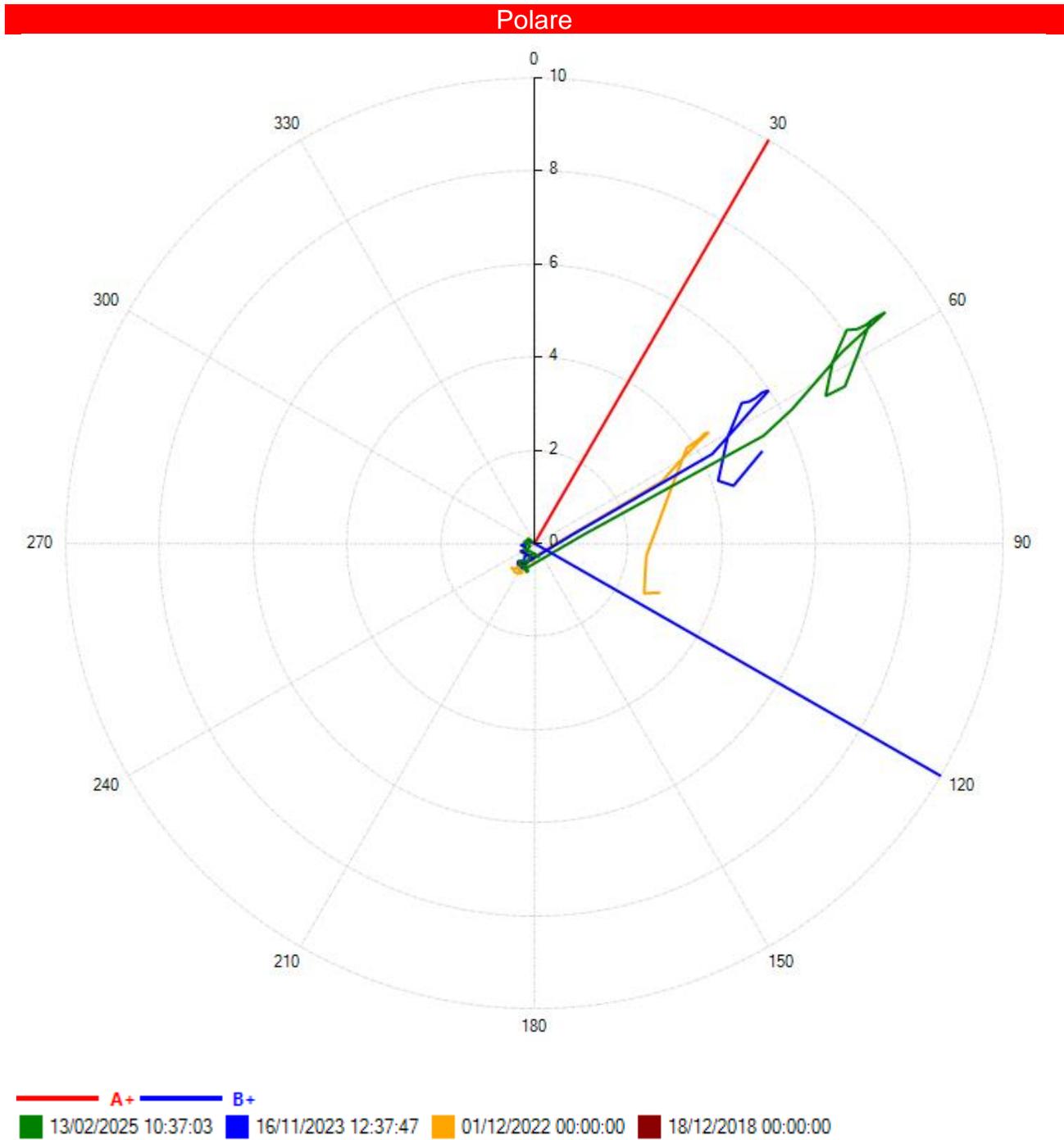


Fig. 34 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro S81

5.7 Conclusioni

I movimenti che coinvolgono l'abitato di Ville San Pietro sono caratterizzati da deformazioni localizzate a profondità variabili, intorno a 10-12 m per la zona di valle (I2, I1 e I5), mentre per gli inclinometri topograficamente più elevati (I3 e I4), sono a profondità superiori (18 m per I3bis e 23 m per I4bis). La direzione del movimento risulta complessivamente orientata nei quadranti NNE in modo coerente con l'esposizione del versante.

In particolare l'inclinometro I5, ubicato tra due caseggiati in cui sono particolarmente evidenti fessurazioni dalla base fino al tetto così come molti altri edifici, ha mostrato una superficie di taglio intorno a 10 m, profondità alla quale è stata registrata una costante presenza di circolazione idrica sotterranea.

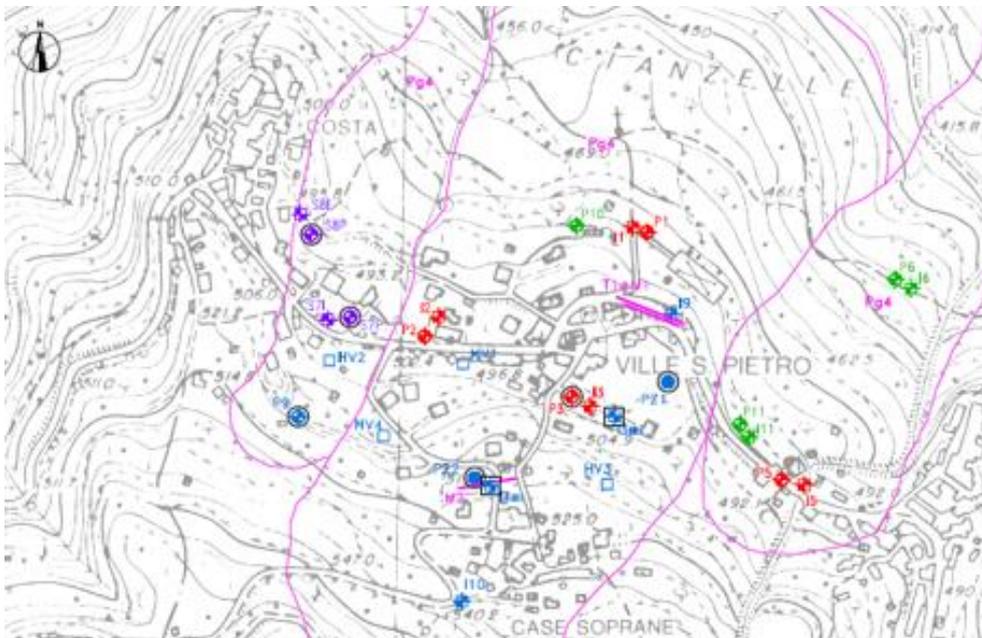


Fig. 35 -Direzione di movimento principale della frana nell'abitato di Ville San Pietro. Nella figura sono rappresentati i diagrammi polari degli inclinometri in esercizio per l'anno 2021 i quali identificano un movimento del versante in direzione NNE.

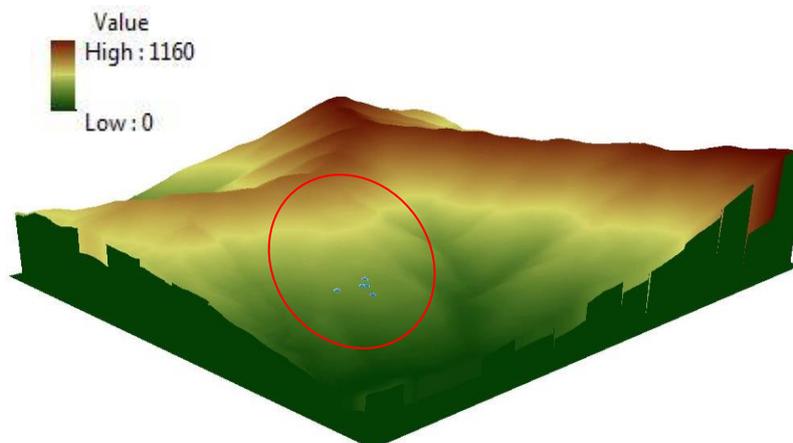


Fig.36 - DTM dell'orografia dell'area circostante con particolare riferimento all'area a monte: il sito ove è posizionata la strumentazione è caratterizzato da una minore pendenza rispetto al crinale e da un elevato contrasto di quota con l'asta torrentizia a valle.

Il 2024 ha mostrato un sensibile incremento degli spostamenti rispetto agli anni precedenti con valori compresi tra 10 e 20 mm nella maggior parte delle stazioni (Fig.37). Lo spostamento massimo è stato calcolato per la stazione I6, collocata a valle dell'abitato che mostra un aumento di 34 mm rispetto alla lettura 2023; questa differenza può essere legata alla esecuzione di interventi di regimazione delle acque superficiali a monte della frazione di ville S. Pietro i cui effetti non sono percepibili a valle.

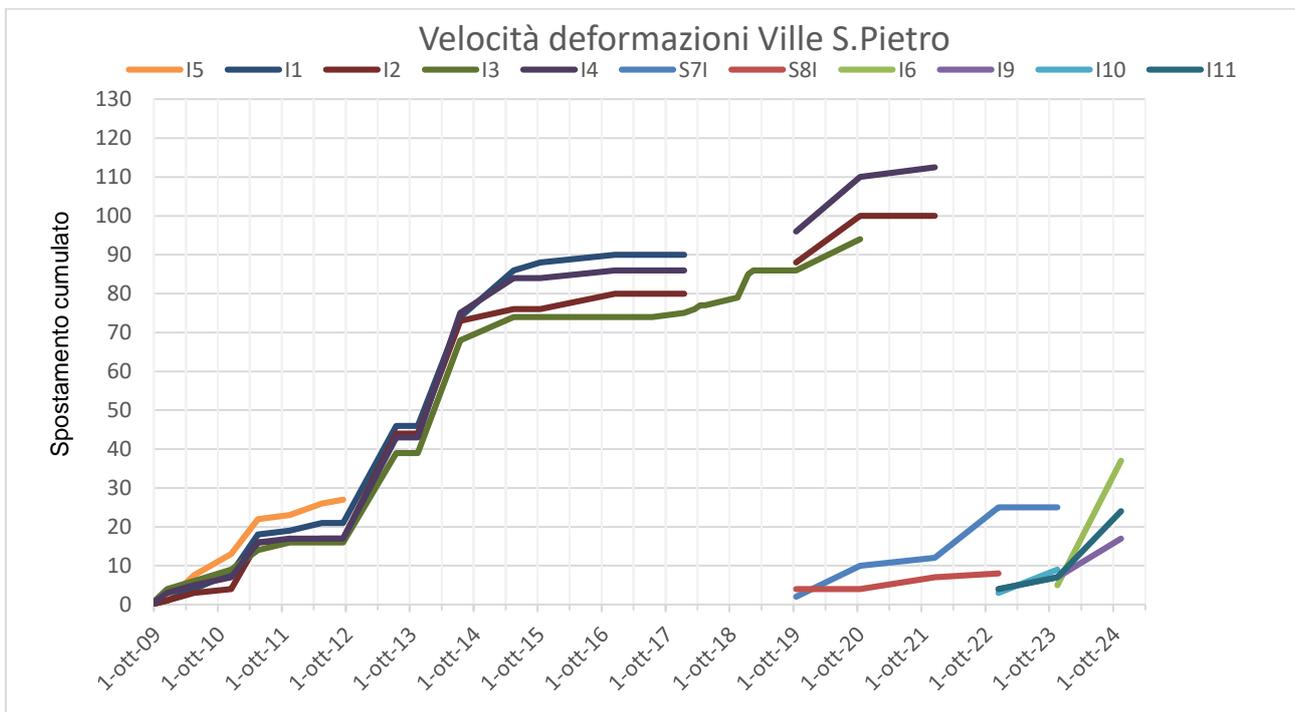


Fig. 37 -Velocità delle deformazioni degli inclinometri registrate sul differenziale integrale nel periodo di esercizio indicato in ascisse.

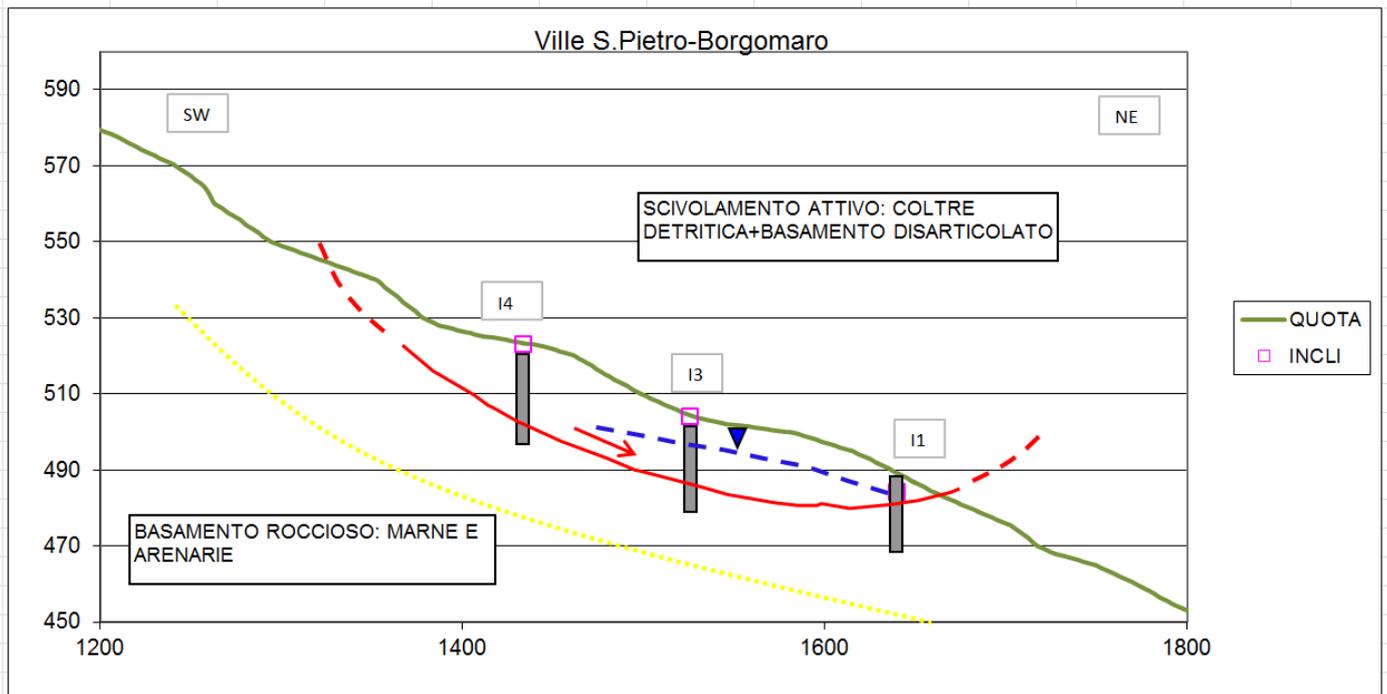


Fig. 38 – Sezione dell'area in frana che insiste sull'abitato di Ville San Pietro (2018). In Giallo una ipotetica superficie di scorrimento profonda che prende in considerazione la grande paleofrana.

Per quanto riguarda l'osservazione dell'andamento stagionale del livello di falda in funzione delle piogge, a partire dal 2019 sono state installate sonde freatiche automatiche per la lettura in continuo dei livelli di falda nelle stazioni attrezzate a piezometro.

Dall'analisi dei dati misurati dal piezometro P3 (RM371 in Fig.39) è emerso che la falda risponde maggiormente ad episodi di pioggia prolungati piuttosto che a precipitazioni intense e concentrate. In particolare si può osservare come il livello risale in pochi giorni mentre impiega più di una decina di giorni a raggiungere nuovamente il livello iniziale (picco asimmetrico).

Il piezometro P6 (RM580 in Fig.39) a partire dall'inizio del 2023 ha evidenziato un progressivo abbassamento della soggiacenza fino a livelli prossimi alla profondità di installazione della sonda con un'escursione che dal 2022 ha superato i 10 metri.

Il piezometro P11 (RM581 in Fig.39) non mostra variazioni sensibili a seguito delle precipitazioni, mantenendo un livello pressochè costante di soggiacenza.

REMOVER 2008-2024

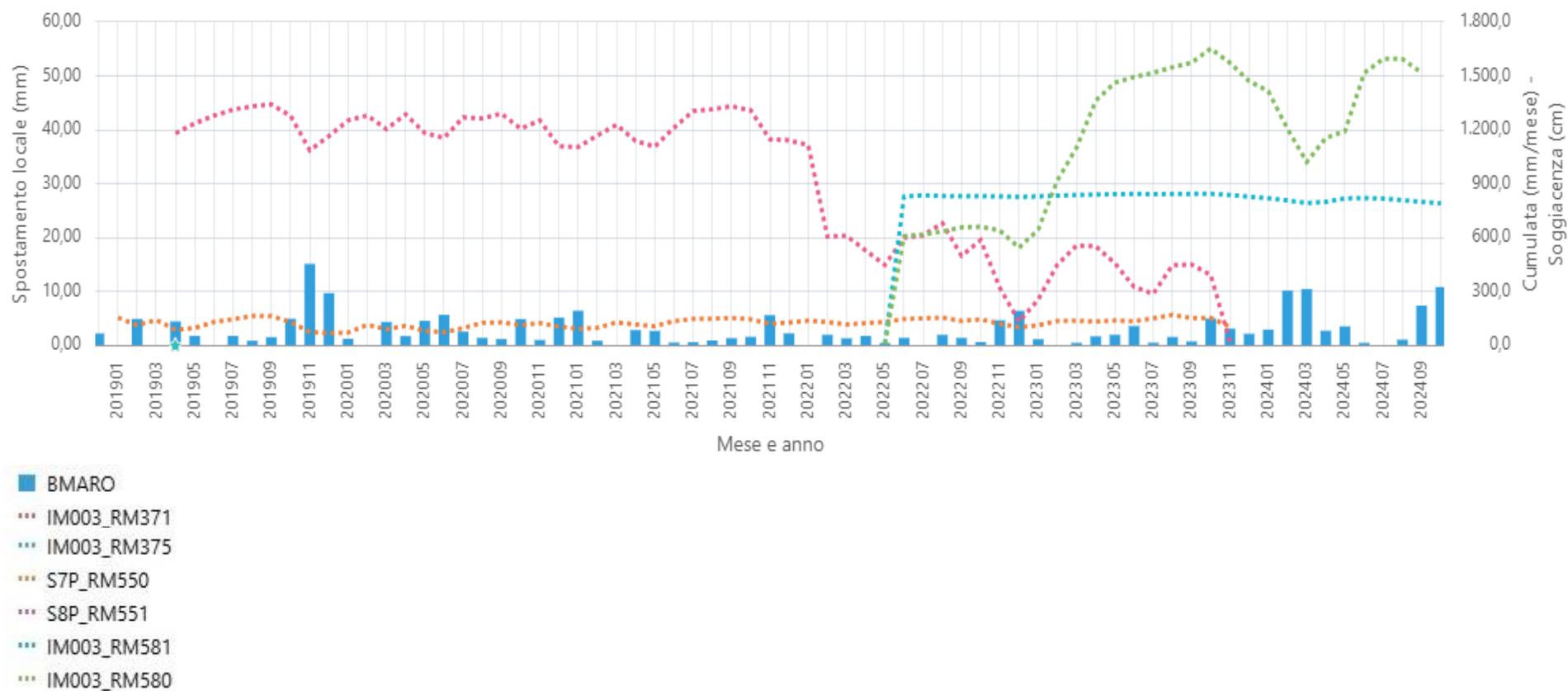


Fig. 39 – Variazione della soggiacenza della falda misurata da fine 2019 a confronto con le precipitazioni orarie giornaliere della stazione Borgomaro (BMARO).

Nei piezometri S7P e S8P è stata rilevata un'evidente differenza di soggiacenza: nel corso dell'anno il livello di falda rilevato in superficie S7P non mostra oscillazioni massime di circa 2 m con una ricarica veloce a seguito di eventi rilevanti ed un drenaggio altrettanto rapido. Nel contempo la zona di valle (S8P), maggiormente periferica, delinea un comportamento in cui la falda tende a stabilizzarsi a profondità maggiori (circa 3 m) con oscillazioni più marcate che portano anche alla saturazione del piezometro, evidenziando una maggiore reattività agli stessi eventi meteo. Al contrario di S7P, in S8P drenaggio avviene con una velocità inferiore rispetto alla ricarica.

La frana di Ville San Pietro sembra avere un cinematismo reattivo agli eventi meteo che generalmente producono un effetto sulle accelerazioni registrate dagli inclinometri. Tuttavia il rapporto pioggia/deformazioni non sempre segue una relazione lineare mostrando periodi di quiescenza prolungata difficilmente correlabili con gli eventi meteo anche di una certa entità, che normalmente producono effetti sulla frana (Figg. 40-42).

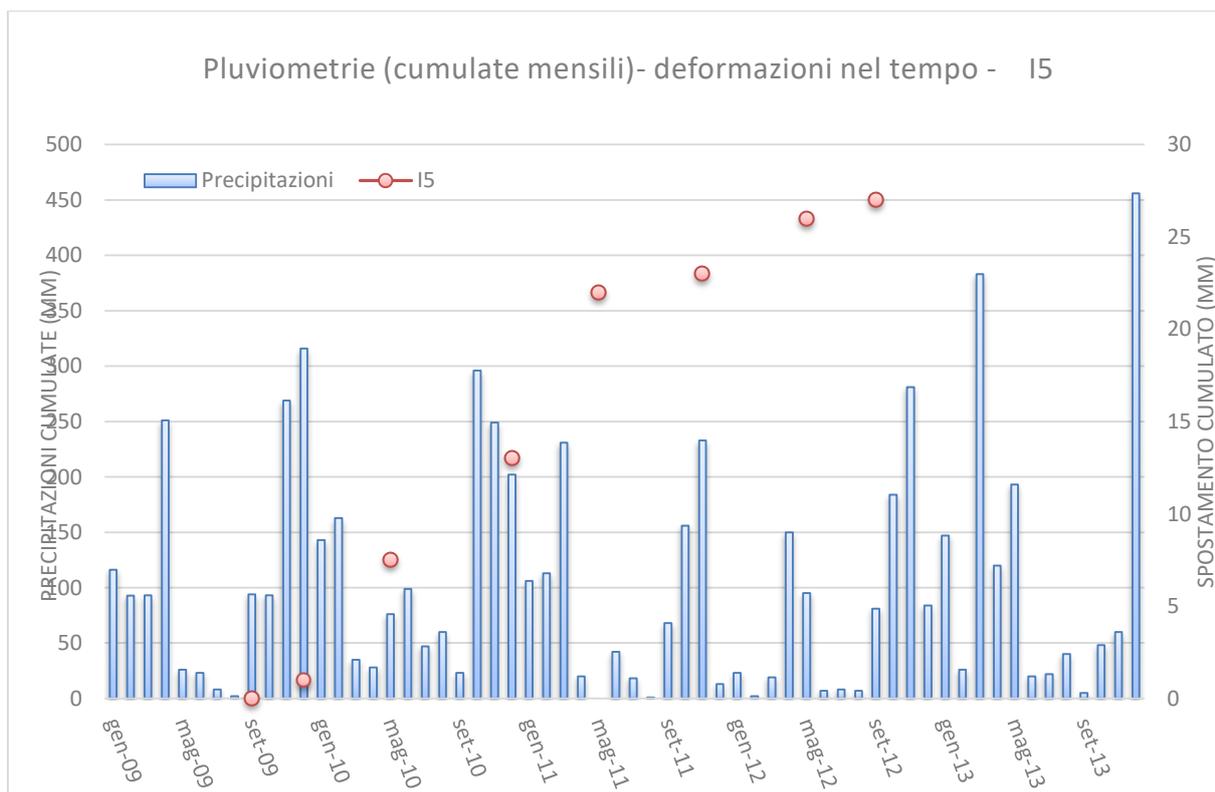


Fig. 40 – Andamento pluviometrico mensile, eventi estremi (stazione BMARO) e letture inclinometriche I5 – periodo 2009-2013

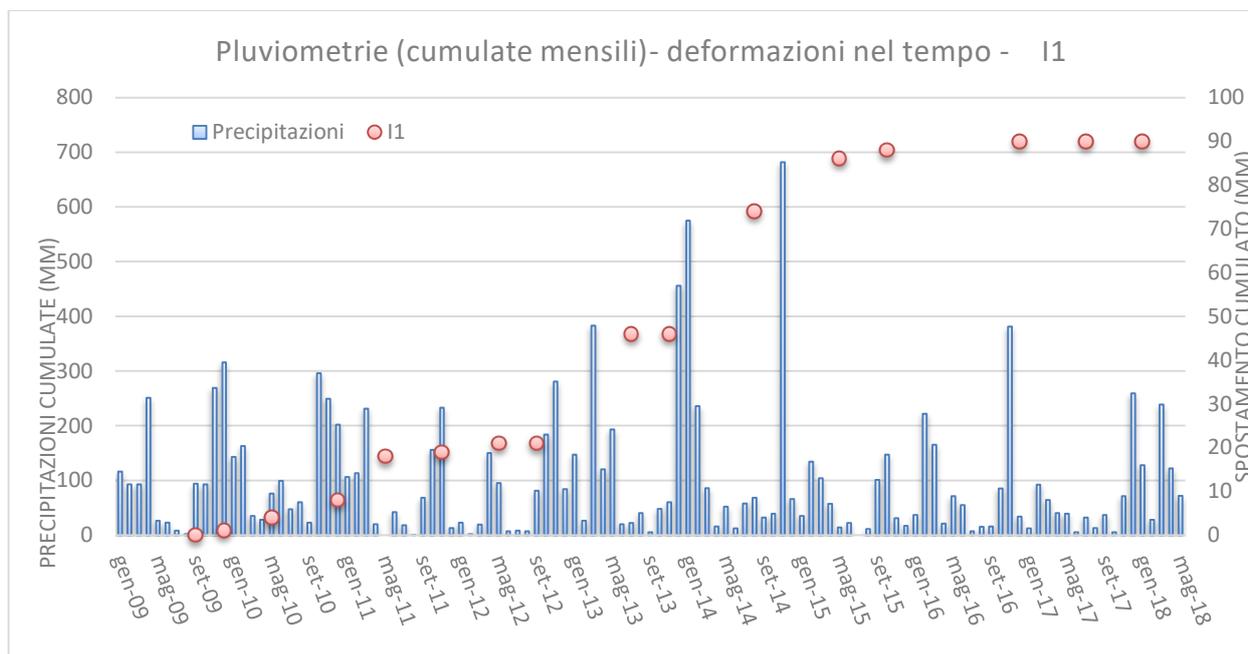


Fig. 41 – Andamento pluviometrico mensile, eventi estremi (stazione BMARO) e letture inclinometriche I1 – periodo 2009-2018

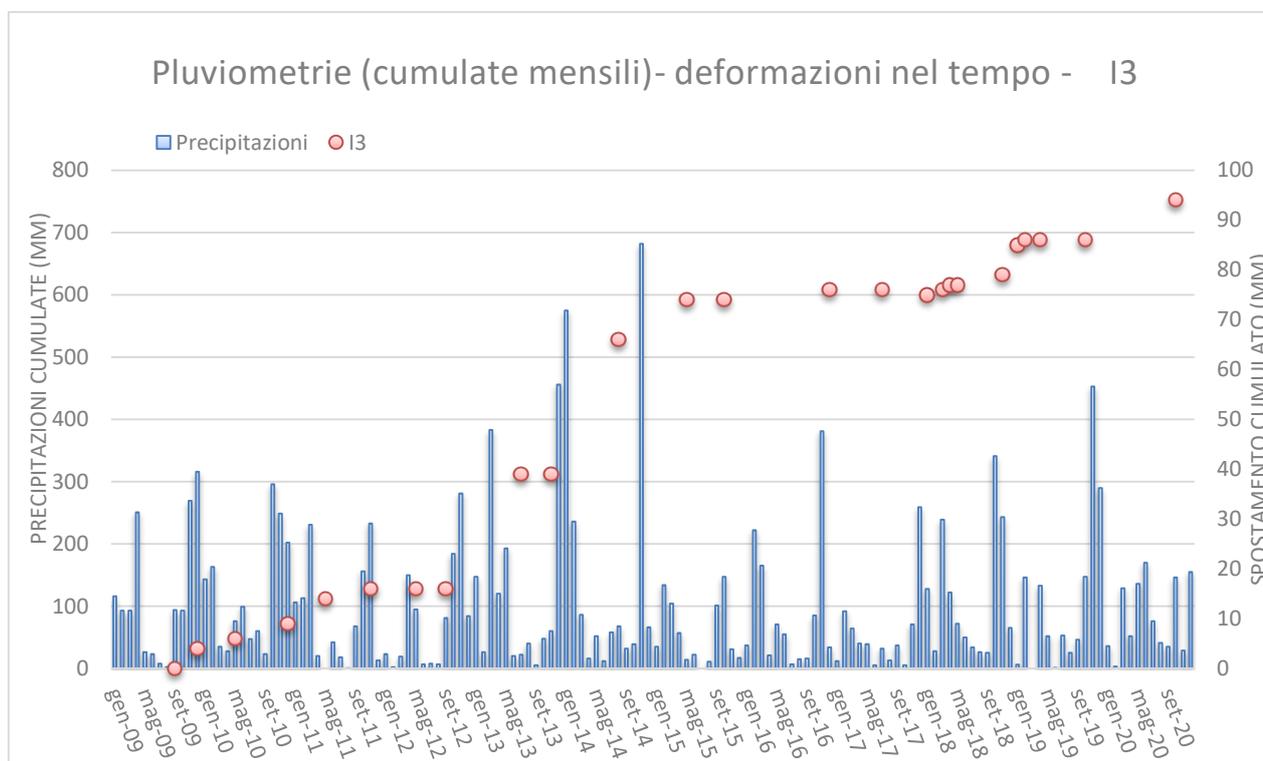


Fig. 42 – Andamento pluviometrico mensile, eventi estremi (stazione BMARO) e letture inclinometriche I3 – periodo 2009-2020

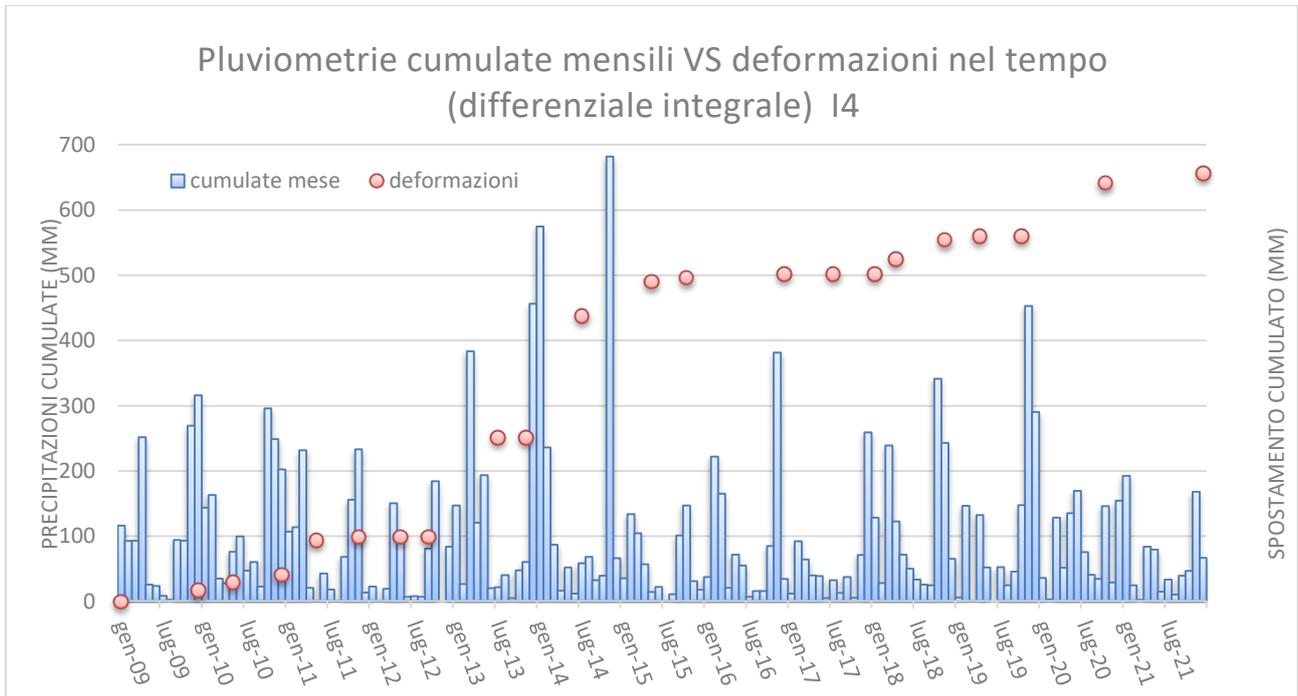


Fig. 45 – Andamento pluviometrico mensile (stazione BMARO) e letture inclinometriche I4 – periodo 2009-2021