

IM009 - Armo (IM)

1. Inquadramento del sito

Il sito di Armo, nel medesimo comune, si colloca su di un pendio rivolto verso SW e attraversato dalla Strada Provinciale 6; tale versante è soggetto a instabilità ed erosione ad opera del rio che lo incide, lungo il quale sono evidenti segni di instabilità spondale. Il substrato roccioso della zona appartiene alla Formazione di Albenga, quest'ultima rappresentata da alternanze ritmiche di calcari grigi con intercalazioni argillose più o meno quarzose (Fig.1).

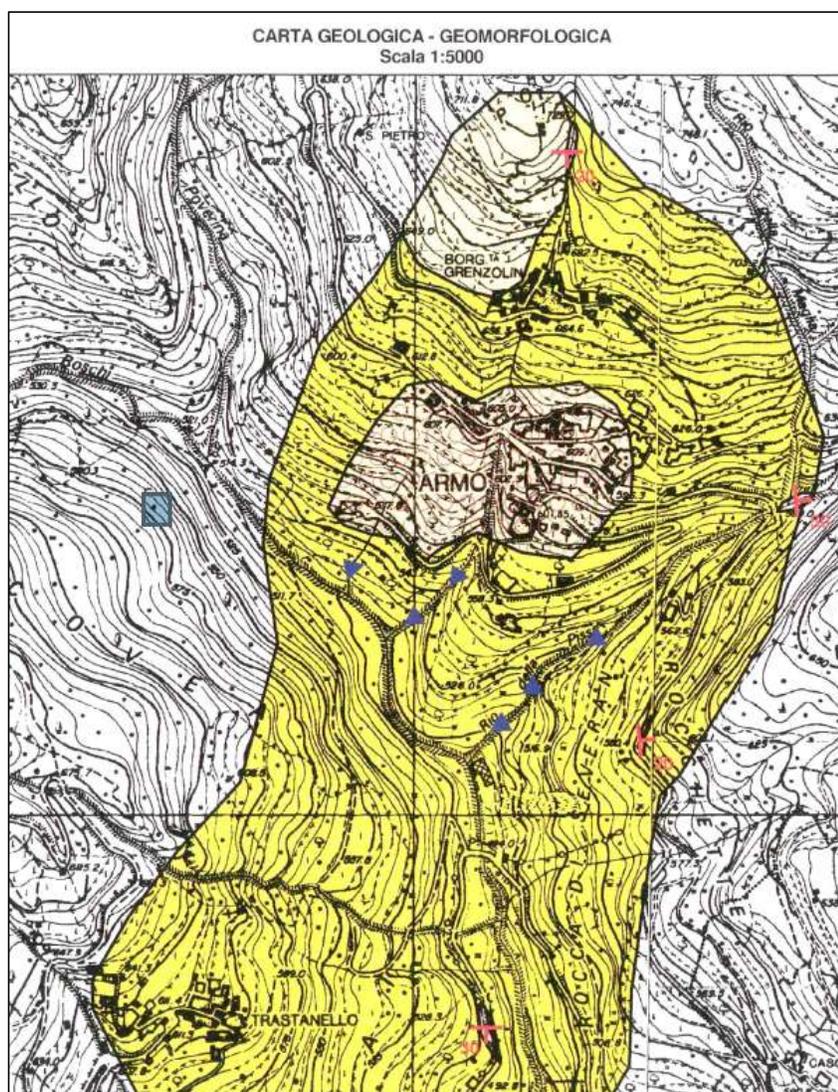


Fig. 1 - Stralcio Carta Geologica 1:5.000 (estratto da Relazione geologica Macciò 2014).

2. Campagna di indagine 2012

Il territorio del Comune di Armo è stato oggetto di studio negli anni passati per verificare nello specifico “lo stato di instabilità ed erosione del Rio della Pissa dalla strada provinciale fino a valle” (relazione Studio Geologia Macciò, 2014).

Dalla relazione geologica, redatta nel 2012, e dai sondaggi a carotaggio continuo, spinti a 20 m e 26 m di profondità, si evince che: “(omissis..) per i primi 3-5 m di profondità siamo in presenza di una coltre detritica di versante che è stata in parte oggetto di rimaneggiamenti antropici per pratiche agricole e sistemazioni del terreno “. Inoltre “esiste una correlazione fra le risultanze inclinometriche e del carotaggio nelle quali si registra un debole spostamento del tubo inclinometrico a partire da quota 12 m. Si può pertanto ipotizzare che ad un profondità superiore a m 12 il substrato roccioso fortemente alterato e destrutturato mostri condizioni geotecniche in miglioramento”.

I sondaggi a carotaggio continuo sono stati attrezzati con inclinometri (S1 e S2) a cui sono stati successivamente associati altrettanti piezometri (“Interventi di messa in sicurezza e mitigazione del rischio idrogeologico per la tutela della pubblica incolumità dell’abitato di Armo”- Studio Geologia Macciò, 2014), ubicati nel centro abitato, necessari per definire il cinematisimo del dissesto e programmare eventuali interventi di consolidamento (Fig.2).

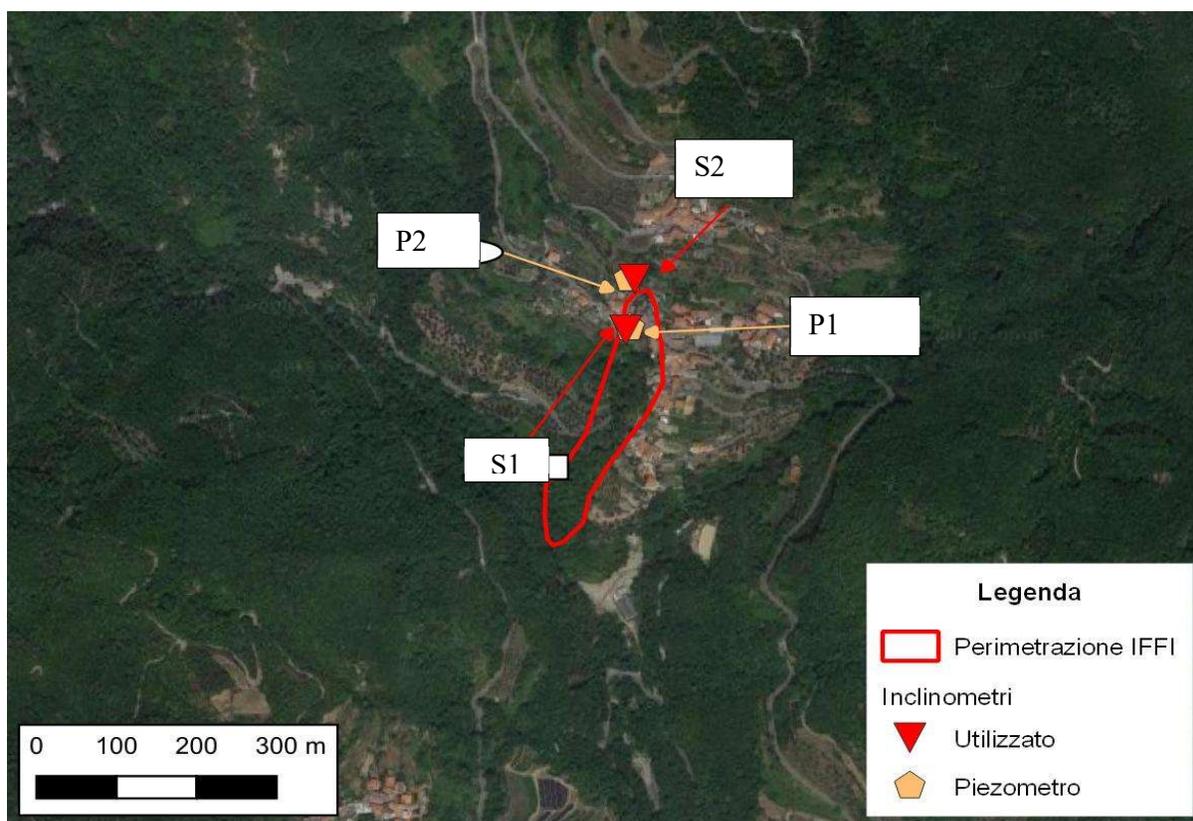


Fig. 2 - Ubicazione inclinometri S1 e S2 e piezometri P1 e P2.

Le foto seguenti mostrano le cassette contenenti le carote relative ai sondaggi negli intervalli basali della perforazione, con evidente alterazione e tettonizzazione del flysch. Nel caso specifico il flysch è rappresentato da calcari con intercalazioni argillose: il passaggio ad un basamento con caratteristiche litotecniche leggermente migliori avviene nei livelli profondi (Fig.3).



Fig. 3 – Orizzonti basali del basamento roccioso alterato e destrutturato nei quali sono installati gli inclinometri (a sinistra S1 10-20 m, a destra S2 20-26 m).

La fase di monitoraggio iniziale ha riguardato l'esecuzione di letture di esercizio nel 2014 che hanno consentito di rilevare un debole incremento dei valori, senza però definire alcuna superficie di scivolamento (Figg. 4-5).

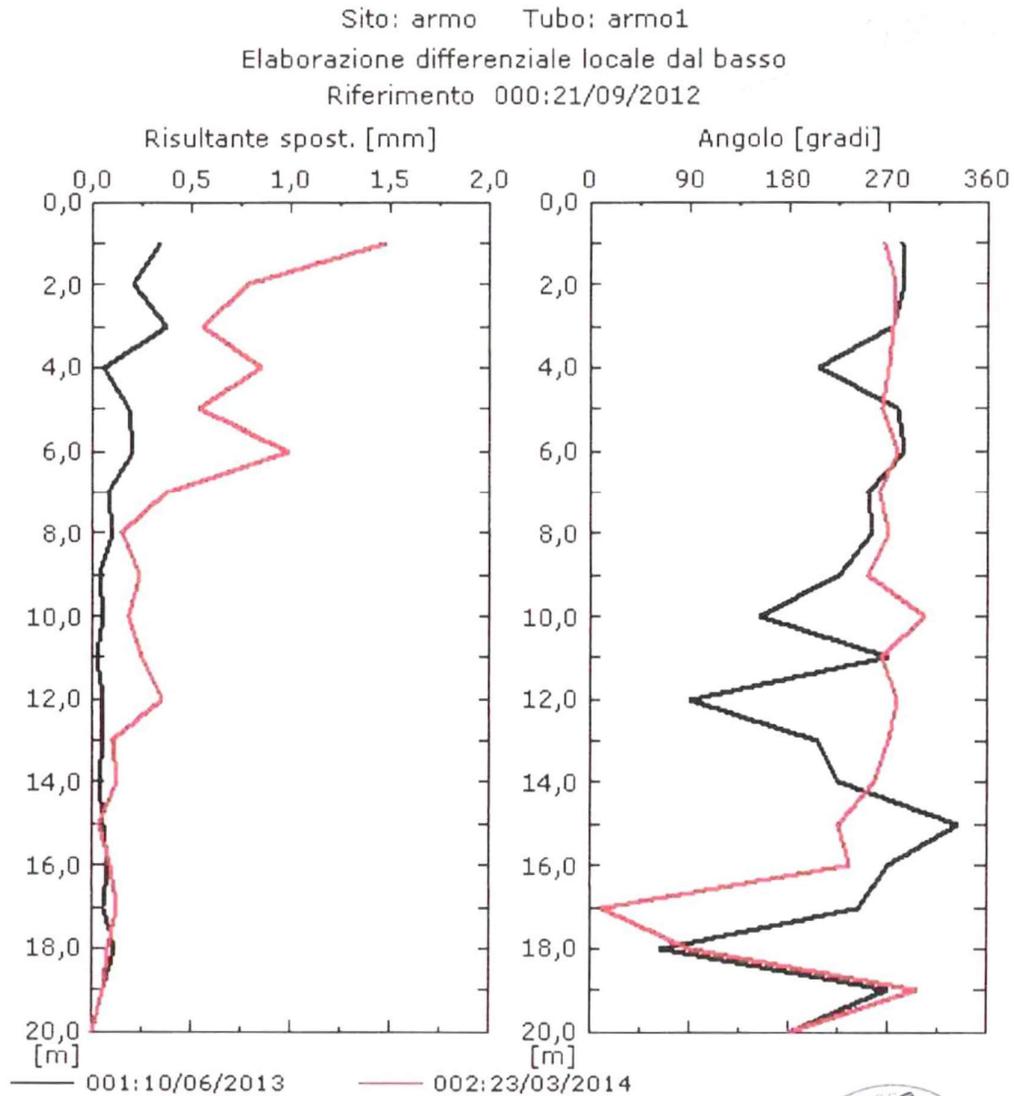
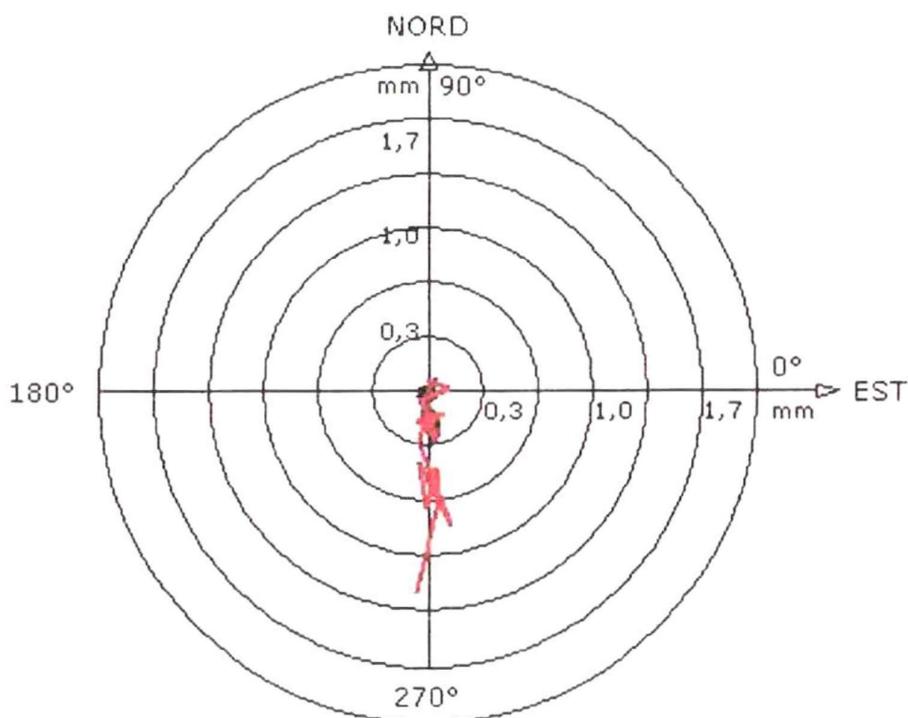


Fig. 4a – Grafici relativi all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro S1

Sito: armo Tubo: armo1
Elaborazione differenziale locale dal basso
Riferimento 000:21/09/2012

Diagramma polare della deviazione



— 001:10/06/2013

— 002:23/03/2014



Fig. 4b - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro S1

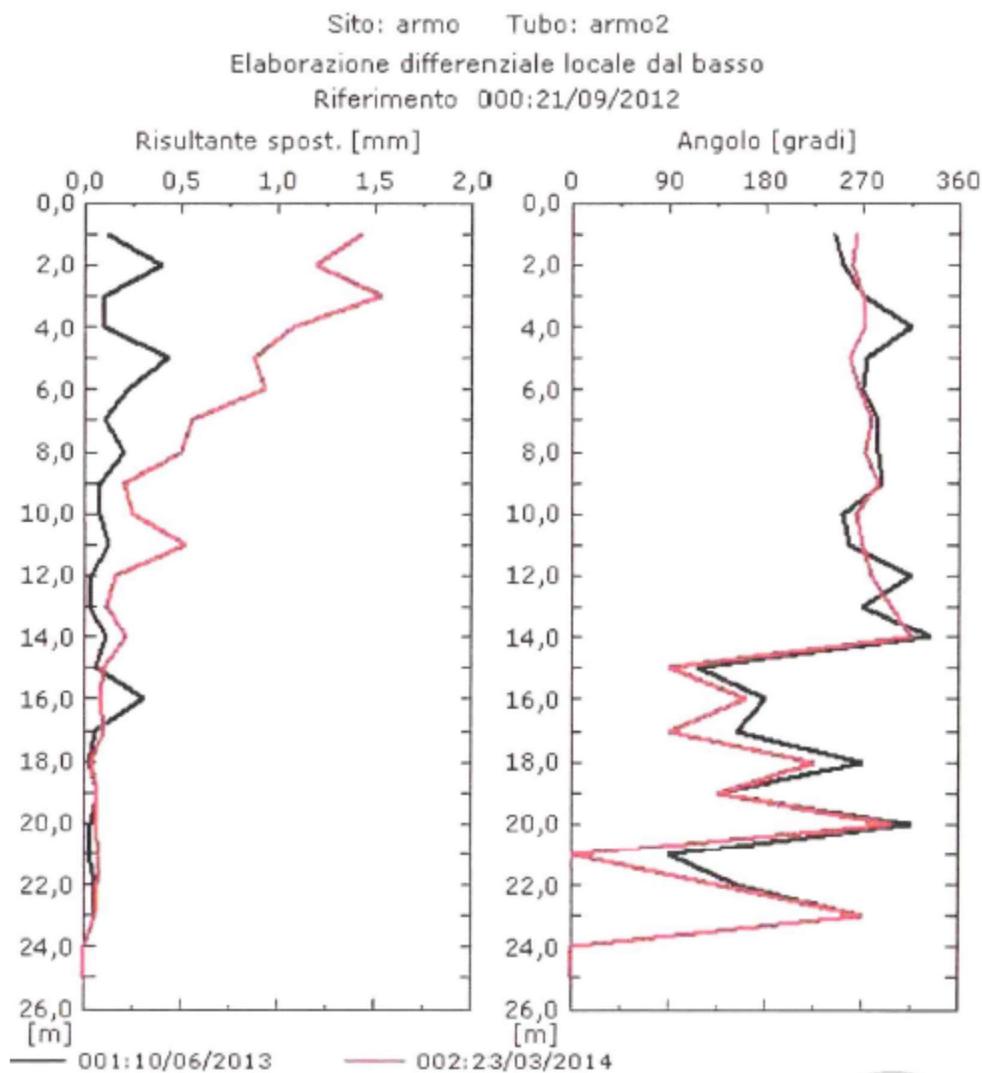
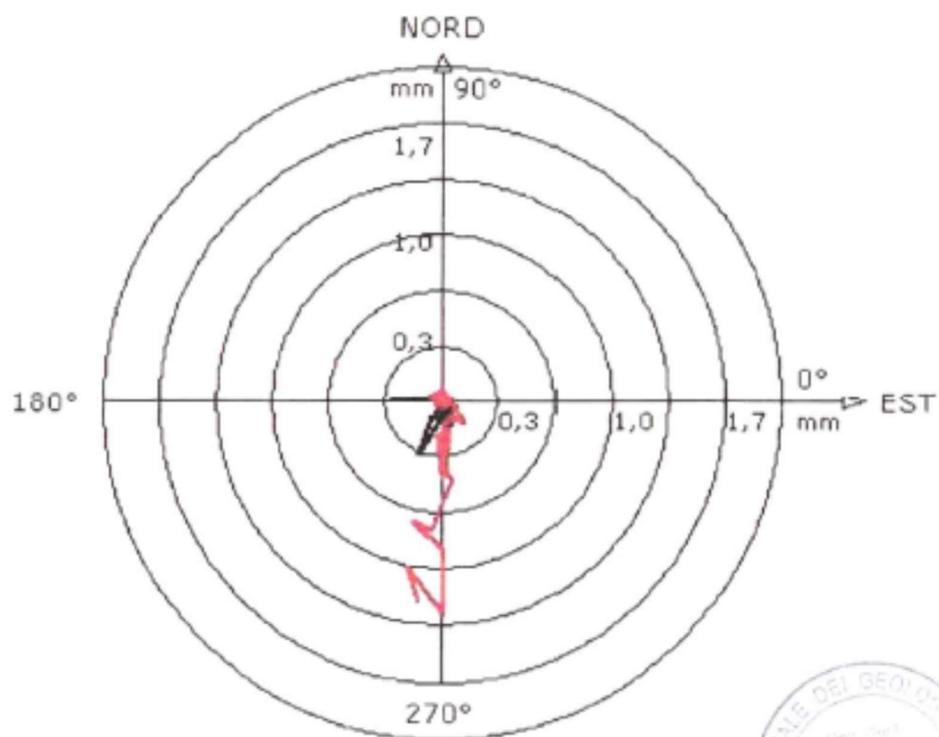


Fig. 5a – Grafici relativi all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro S1

Sito: armo Tubo: armo2
Elaborazione differenziale locale dal basso
Riferimento 000:21/09/2012

Diagramma polare della deviazione



— 001:10/06/2013 — 002:23/03/2014



Fig. 5b - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro S1

Nel corso dell'anno 2015 è stata verificata da parte di ARPAL la strumentazione inclinometrica (S1 e S2) e piezometrica, ubicata nel centro abitato interessato dal movimento di un corpo franoso perimetrato IFFI (Piattaforma IdroGEO). La ricognizione ha consentito di prendere in carico gli inclinometri: il monitoraggio ha avuto inizio nel 2016 e continua fino ad oggi. Nel periodo 2018-2022 sono state installate nei piezometri P1 e P2 due sonde freatiche fisse in modo tale da poter acquisire un set di dati giornalieri e poterli rapportare con le pluviometrie e con i dati inclinometrici.

Inclinometri S1 e S2

Tipo	Colamento rapido
Stato	Quiescente generico
Identificativo	0080123600
Area [mq]	18607

3. Analisi dei dati inclinometrici (2016-2019)

Inclinometro S1 (19.5 m) – centro abitato

Nel 2020, in seguito all'ispezione con la telecamera da foro e con la sonda pilota, è stata riscontrata una zona tra -17,5 e -19,5 m caratterizzata da gradini e schiacciamenti (Fig. 6). La discesa della sonda pilota è avvenuta con estrema difficoltà così come il suo recupero in corrispondenza della deformazione critica del tubo.

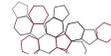


Fig. 6 – Ispezione televisiva tra -17,5 e -19,5 m: la deformazione lungo il piano di scivolamento ha comportato la rottura della tubazione S1.

L'elaborazione differenziale integrale nel periodo 2016-2019 ha evidenziato uno spostamento in testa tubo di circa 16 mm, evidente dai grafici dell'elaborazione integrale e locale con una direzione di movimento verso S-SW (Figg.7-8).

Il piano di scivolamento, particolarmente visibile dal picco dell'elaborazione locale, posto come già detto a -18 m, ha determinato uno spostamento di circa 11 mm.

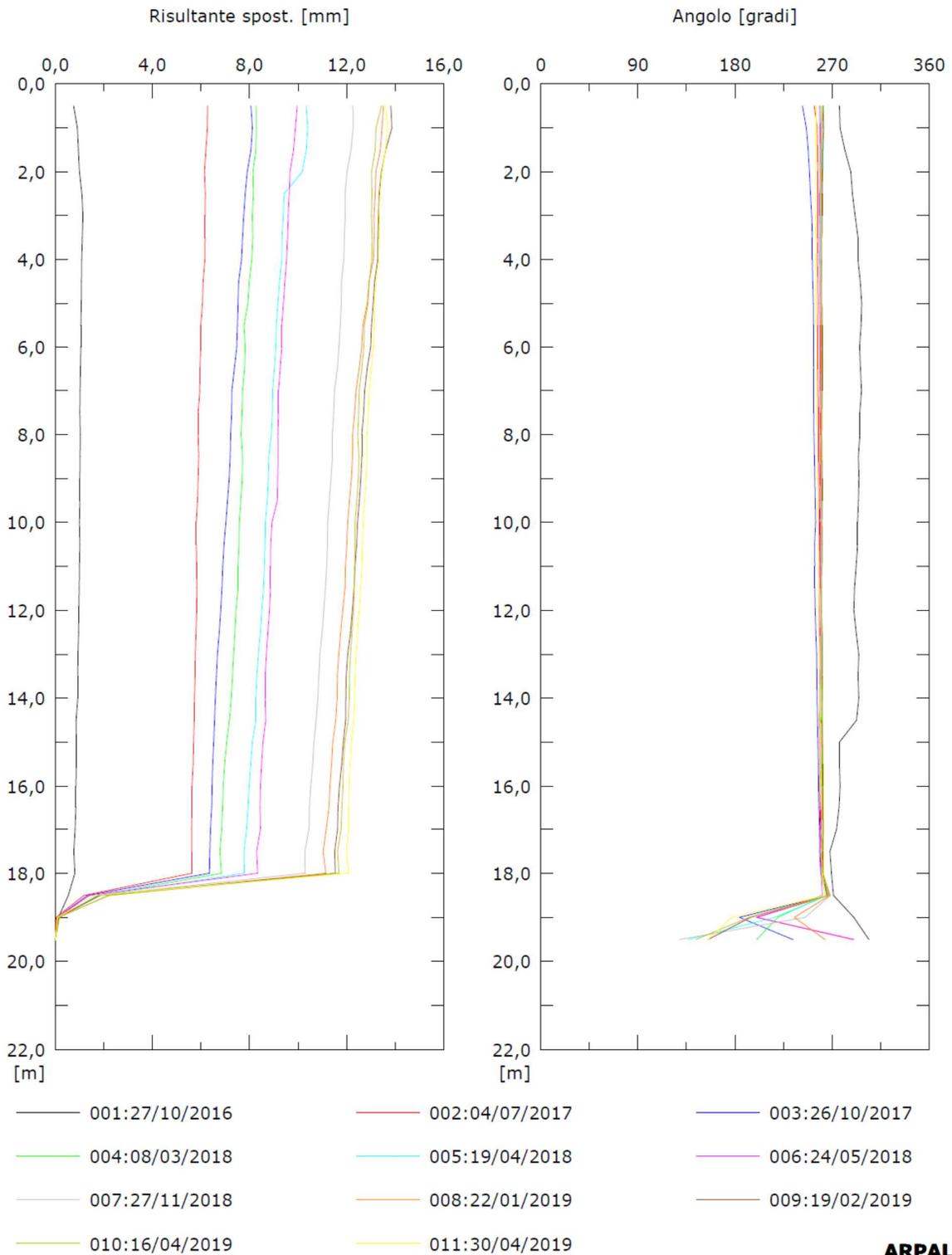
Nel corso del 2019, le 5 letture effettuate (utilizzate nell'ambito del progetto *AD-VITAM*) avevano mostrato una progressione della deformazione, sia nell'elaborazione integrale che in locale per tutto il periodo di monitoraggio fino alla prudenziale sospensione delle letture per la sopra citata difficoltà nel recupero delle sonde.



Sito: Armo Tubo: S1

Elaborazione differenziale integrale dal basso

Riferimento 000:28/04/2016



ARPAL

Fig. 7a - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) dell'inclinometro S1

Sito: Armo Tubo: S1

Elaborazione differenziale locale dal basso

Riferimento 000:28/04/2016

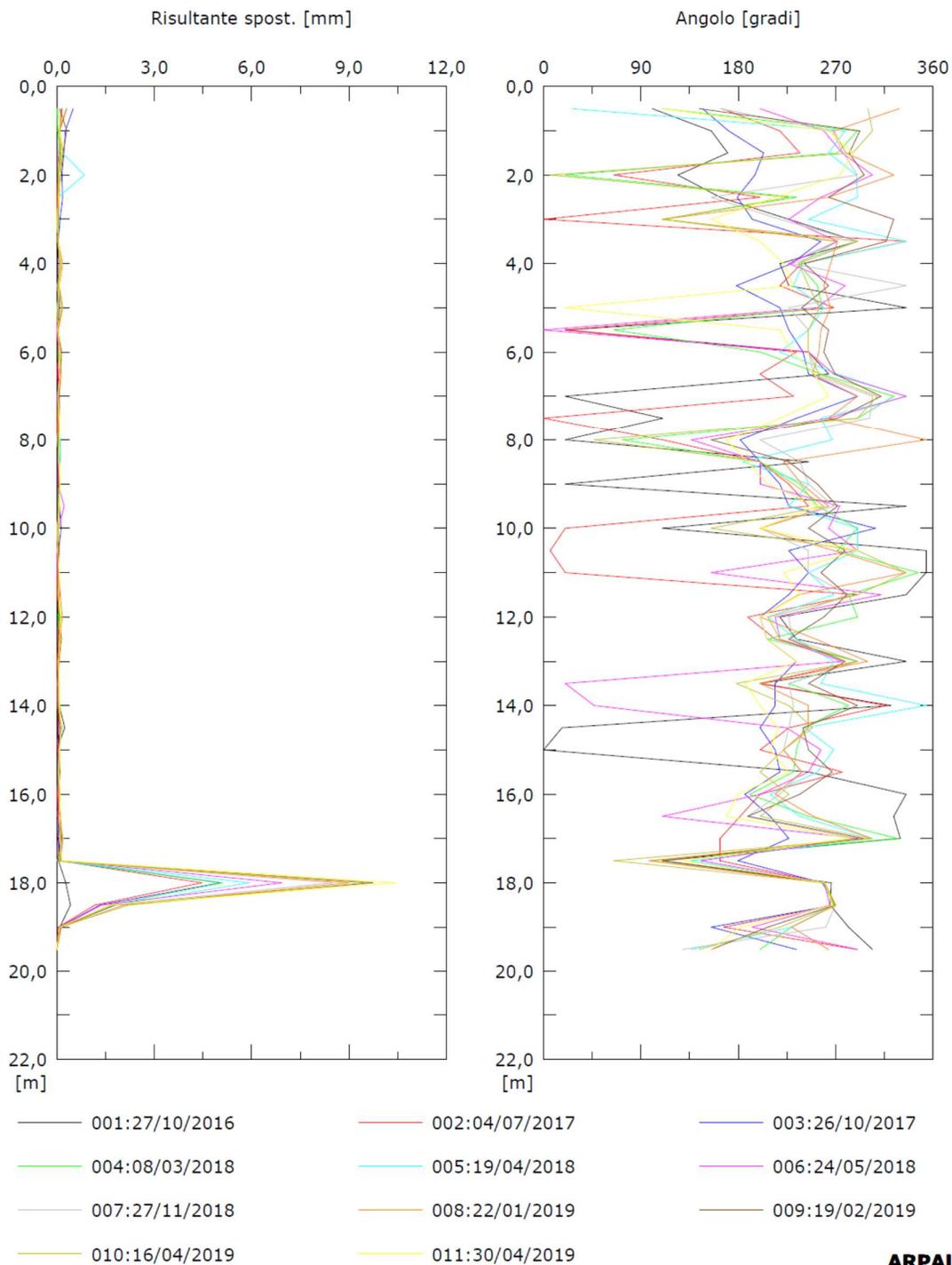


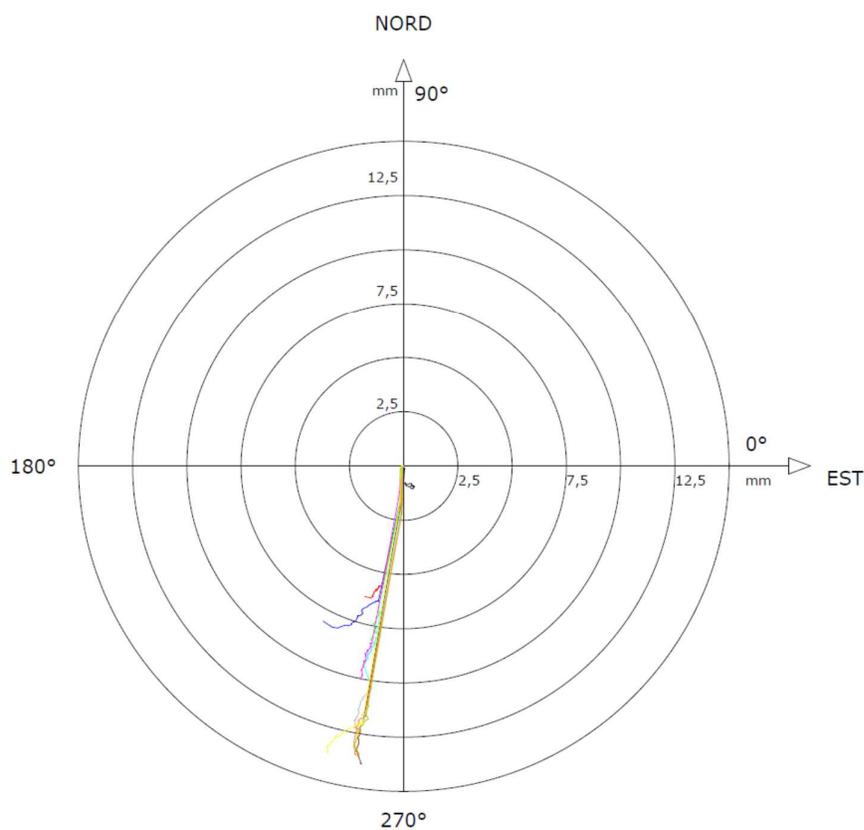
Fig. 7b – Grafici relativi all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro S1

Sito: Armo Tubo: S1

Elaborazione differenziale integrale dal basso

Riferimento 000:28/04/2016

Diagramma polare della deviazione



- | | | |
|------------------|------------------|------------------|
| — 001:27/10/2016 | — 002:04/07/2017 | — 003:26/10/2017 |
| — 004:08/03/2018 | — 005:19/04/2018 | — 006:24/05/2018 |
| — 007:27/11/2018 | — 008:22/01/2019 | — 009:19/02/2019 |
| — 010:16/04/2019 | — 011:30/04/2019 | |

ARPAL

Fig. 8 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro S1

4. Analisi dei dati inclinometrici 2016-2024 (monitoraggio attivo)

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

Data	Attività	Strumentazione	Sistema di misura
04/06/2024	lettura di esercizio sulle guide A1B1/A3B3	Inclinometro S2 Piezometri P1 e P2	Sonda servoaccelerometrica biax. S222463 Freatimetro manuale

Inclinometro S2 (25 m) – testa frana

Dalle letture condotte nel 2024 si osserva un limitato incremento di deformazione alla profondità di circa -19 m, evidente dai grafici dell'elaborazione integrale e locale con una direzione di movimento verso S-SW (Fig. 8).

L'elaborazione differenziale integrale evidenzia uno spostamento in testa tubo di circa 24 mm, con incremento di 2 mm rispetto alle letture del 2023. Il piano di scivolamento, particolarmente visibile dal picco dell'elaborazione locale, posto come già detto a -19 m, ha uno spostamento di circa 13 mm con incremento inferiore al millimetro.

Sebbene l'entità dello spostamento non sia considerevole, risulta evidente la presenza di una zona di debolezza con deformazione in evoluzione che evidenzia un trend costante.

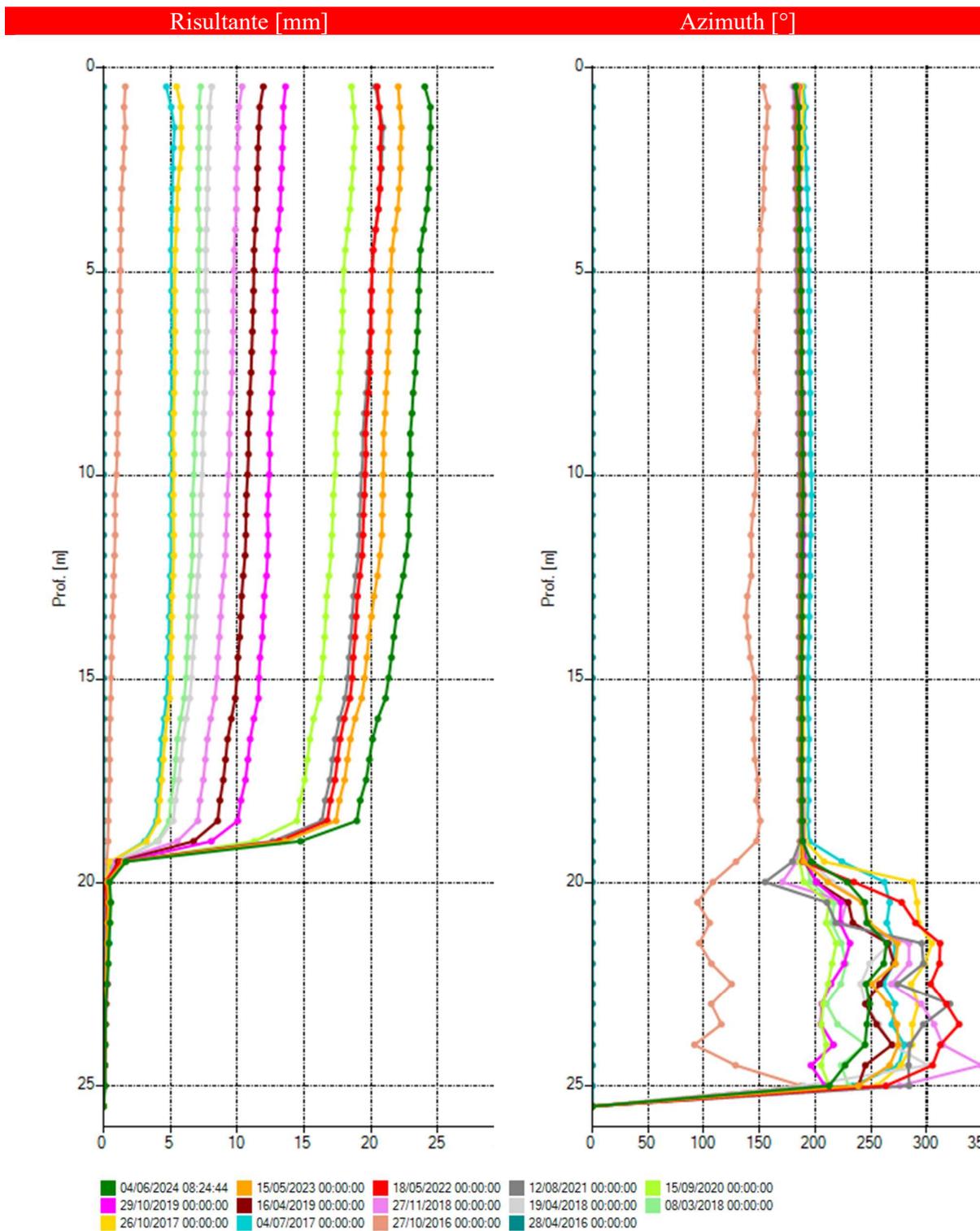


Fig. 8a - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) dell'inclinometro S2.

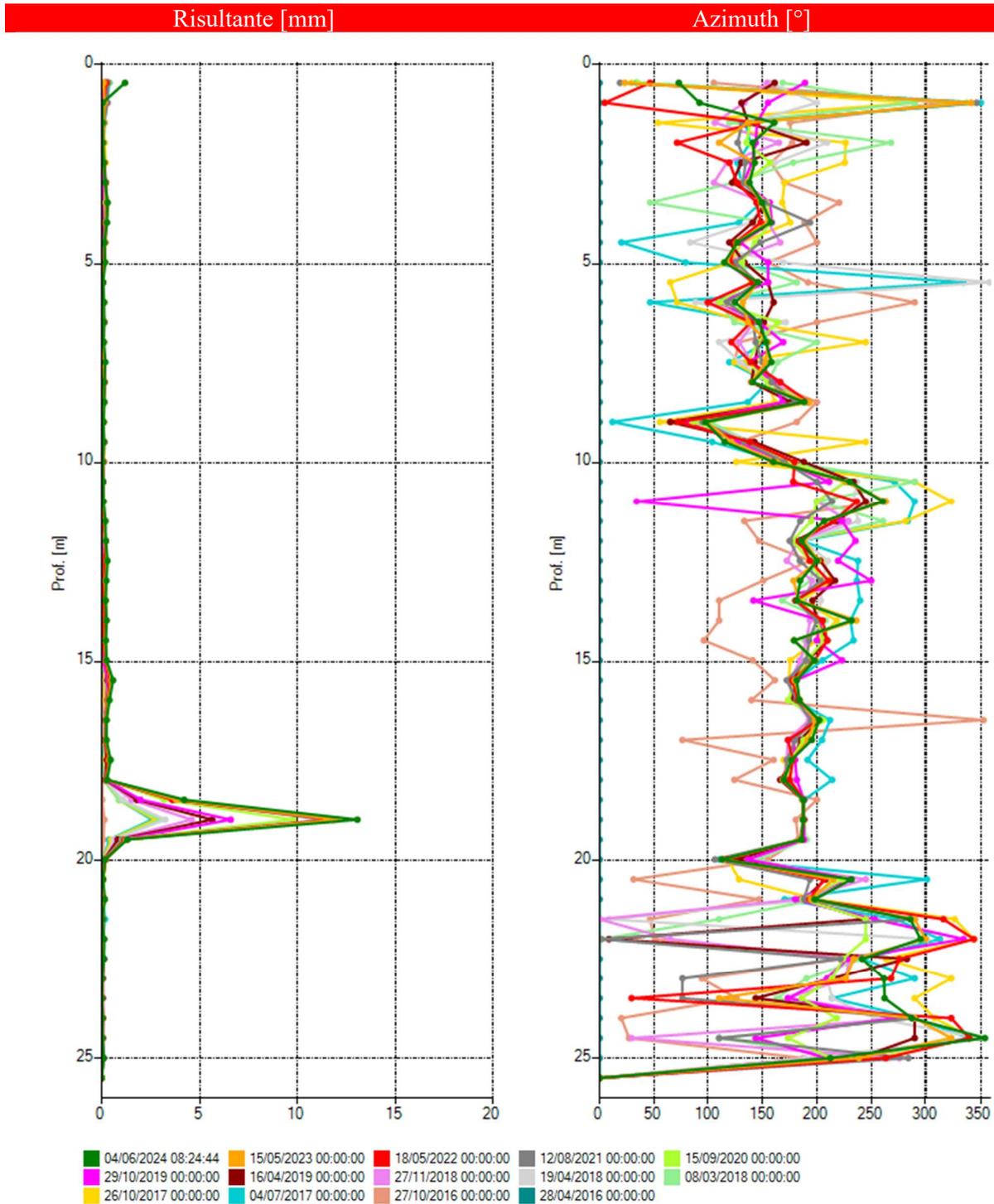


Fig. 8b - Grafici relativi all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro S2.

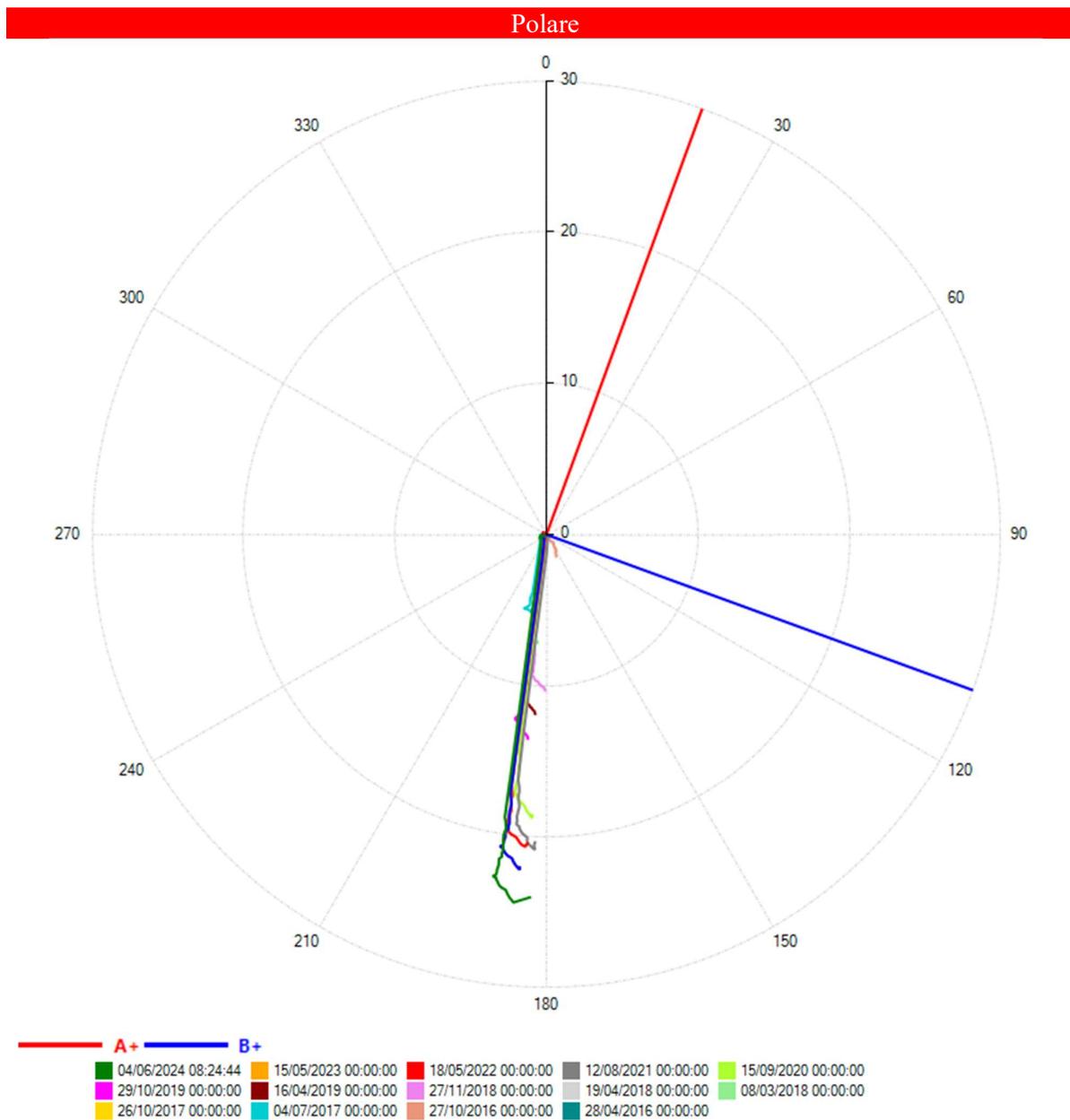


Fig. 9 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro S2.

5. Conclusioni

Con la presa in carico da parte di ARPAL (2016) si è proseguito il monitoraggio iniziato nel 2012, permettendo di individuare con certezza il piano di scivolamento presente in profondità tra -18 e -19 m da p.c., osservato in entrambi i tubi inclinometrici. I valori rilevati indicano deformazioni estremamente lente, risultando simili in entrambi gli inclinometri, generalmente con un movimento di circa 2 mm/anno e comunque con valori sempre inferiori ai 5 mm/anno.

Il trend di deformazione risulta evidente dal grafico di Fig.10 e come si può osservare pause e accelerazioni del movimento risultano assolutamente concordi. Tra il 2021 e il 2024, il regime pluviometrico è risultato particolarmente modesto e le deformazioni hanno subito un progressivo rallentamento.

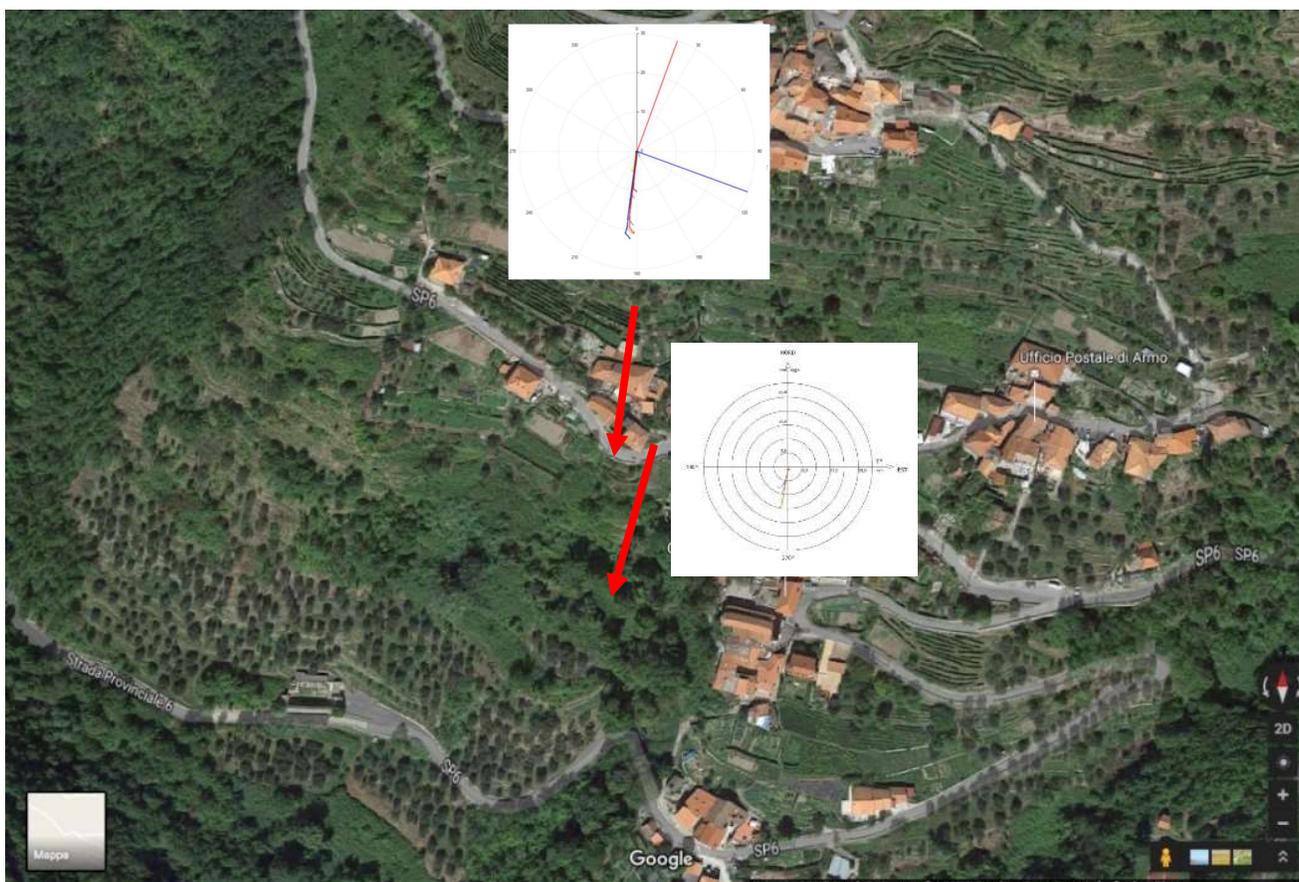


Fig. 9 - Pendio monitorato nel territorio del Comune di Armo.

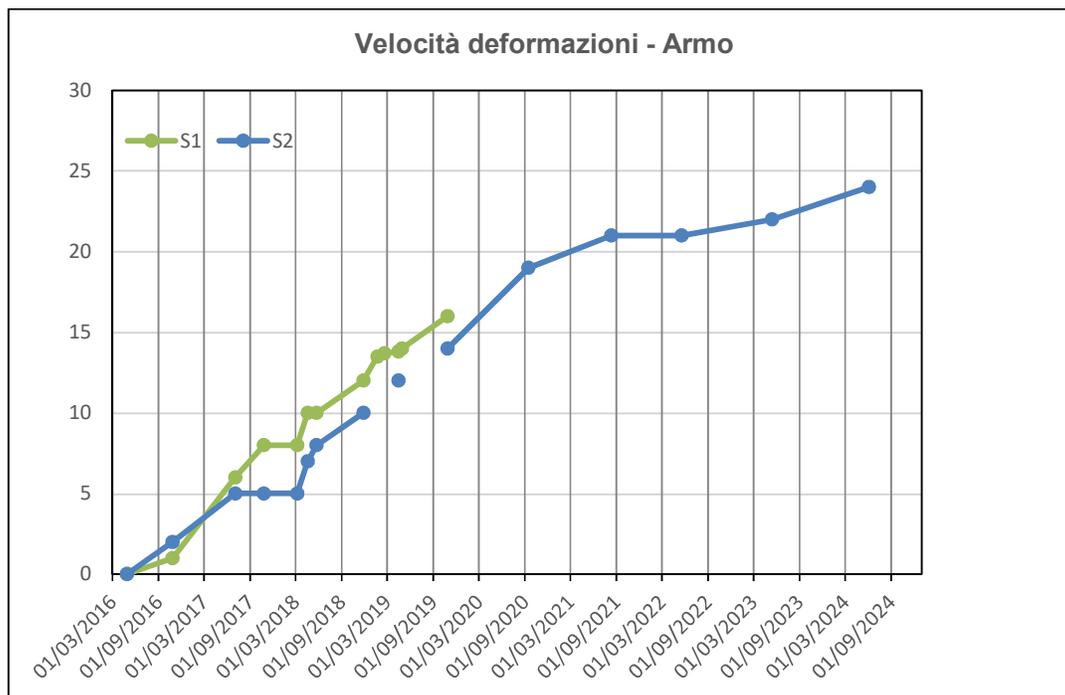


Fig. 10 - Velocità delle deformazioni (sull'ordinata spostamenti in mm) della frana di Armo nel periodo 2016-2024

Per quanto ricavabile dai valori piezometrici registrati manualmente, la falda è risultata mediamente localizzata fino al 2023 a circa -14 m di profondità da p.c., con escursioni massime di circa 3 m. Ciò significa che il piano di scivolamento è rimasto costantemente in uno stato di saturazione, situazione non favorevole in termini di stabilità. Nel 2024 i valori di soggiacenza della falda risultano di quasi 10 metri inferiori attestandosi intorno ai -24 m di profondità.

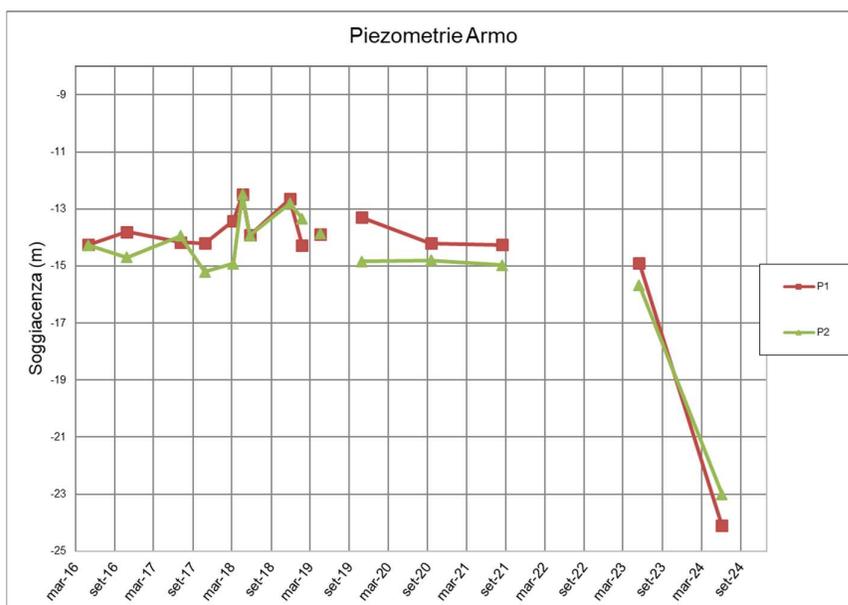


Fig. 11 - Piezometrie registrate nel sito di Armo nel periodo 2016-2024.

I grafici (Figg.11 e 12) mostrano invece il rapporto tra precipitazioni e soggiacenza della falda di versante nei due piezometri con il monitoraggio in continuo: nello specifico, dal trend del livello della falda di versante, monitorata nella zona di testa (P1) nel periodo aprile 2019 - settembre 2020, si osserva una risalita massima di circa 4 m quasi istantaneamente a seguito di eventi meteorologici importanti (vedi periodo autunnale 2019) ed una discesa meno rapida della risalita per i successivi 15 gg (unici dati disponibili).

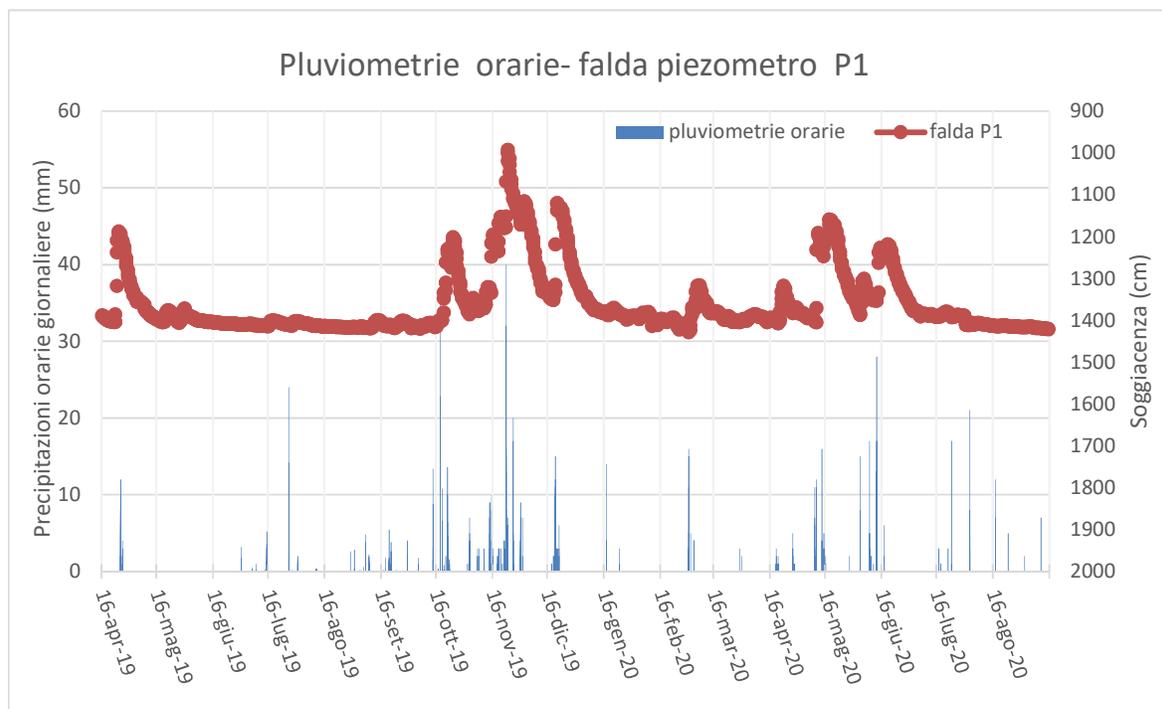


Fig. 11 - Piezometrie rilevate e pluviometrie orarie 2019-2020 (ad oggi unici dati disponibili).

Più a monte (P2), tra il 2019 ed il 2022, si assiste ad un comportamento costante della falda che risulta meno sensibile agli eventi meteo istantanei: solo nel caso dell'evento autunnale 2019 la risalita arriva a valori di circa 5 m in pochi giorni mentre l'abbassamento continua a svilupparsi nell'arco di mesi durante tutto il 2021 a causa del regime pluviometrico particolarmente modesto rispetto agli anni precedenti.

Nel 2024 è stata riscontrata una anomalia strumentale che è stata corretta, a partire da gennaio si nota una dinamica coerente con il passato, sebbene con una minore escursione della soggiacenza rispetto alla media delle precipitazioni (fig.12).

In generale si assiste alla presenza di una falda di versante dal comportamento costante e abbastanza sensibile agli eventi meteo accaduti nel periodo di osservazione. Da sottolineare inoltre l'assenza di ricarica significativa della falda in corrispondenza di picchi di pioggia in estate, fatto verosimilmente dovuto al fenomeno dell'evapotraspirazione.

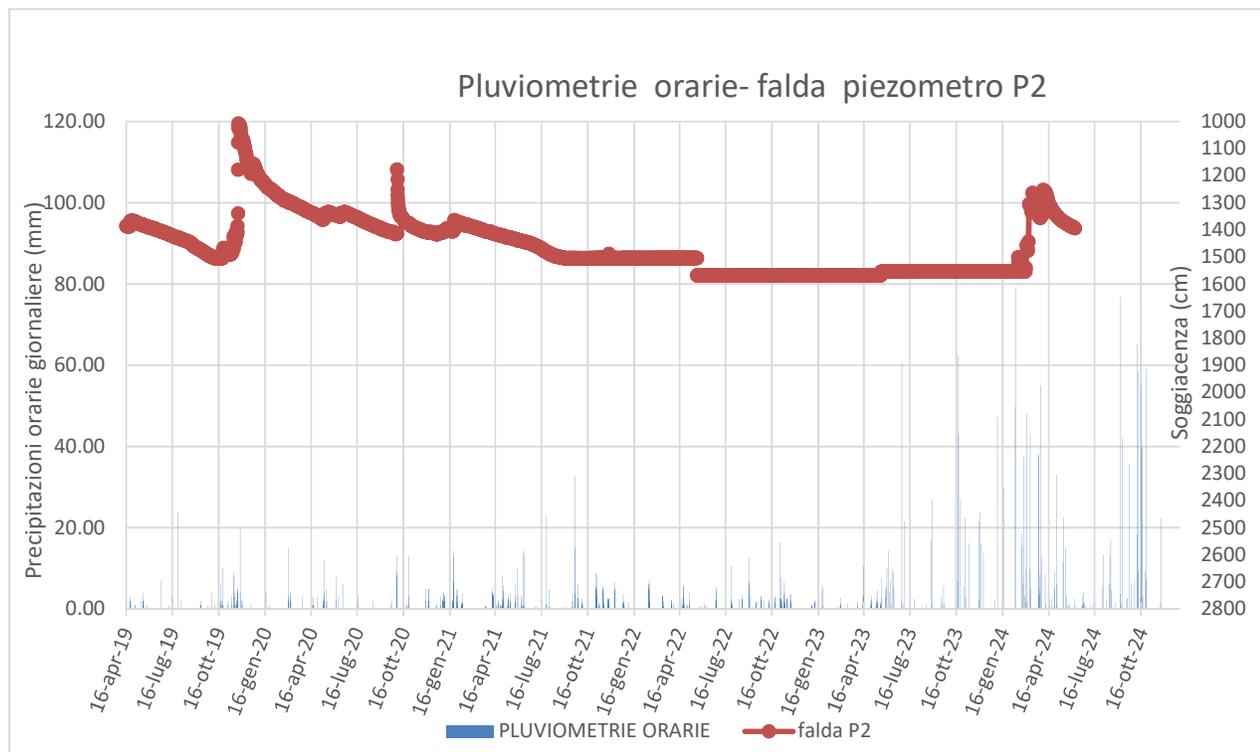


Fig. 12 - Piezometrie rilevate e pluviometrie orarie 2020-2024.

Per quanto riguarda una possibile correlazione diretta tra le precipitazioni e gli spostamenti del terreno dal 2015 si è osservata una relativa scarsità di eventi meteorologici significativi.

La distribuzione delle piogge risulta tendenzialmente concentrata in pochi mesi e nello specifico (Fig.13):

- il 2016 è stato caratterizzato da una cumulata nel mese di novembre pari a 434 mm con ben 358 mm caduti in 5 giorni: risalta l'evento alluvionale del 24 novembre con 181 mm;
- il 2017 è stato un anno poco piovoso ed emerge una iniziale disparità di comportamento fra i tubi inclinometrici. S1, infatti, ha registrato un debole movimento senza che ci fossero corrispondenti eventi piovosi estremi, mentre S2 non ha registrato nulla;
- il 2018 si configura come un anno più piovoso, caratterizzato da diversi eventi estremi (gennaio – 120 mm, marzo – 126 mm, aprile 94 mm/5gg, ottobre 347 mm/5gg, 111 mm/6gg), che determinano un riallineamento del trend del movimento nel mese di novembre a scapito di una fase primaverile differente nei due inclinometri;
- il 2019 si presenta come un anno in cui si osserva una sequenza di mesi piovosi alternati a mesi privi di eventi (spostamenti contenuti) fino all'autunno che con i mesi di ottobre, novembre e dicembre raggiunge i 920 mm di pioggia (eventi estremi in novembre pari a quasi

300 mm in tre gg- evento di 185 mm/g). Tali eventi hanno caratterizzato lo spostamento osservato nel corso del 2020, sempre in linea con il trend generale del versante;

- nel periodo 2020-2023 il regime pluviometrico è stato caratterizzato da cumulate ridotte vista la estrema rarità di eventi con valori superiori a 20 mm/giorno.
- nel 2024 si sono registrate cumulate che hanno raggiunto gli 80 mm giornalieri, le quali hanno determinato un innalzamento della soggiacenza della falda, non correlato con accelerazioni del movimento del pendio.

Si osserva come il trend di deformazione non sia facilmente correlabile alle precipitazioni e come il cinematismo non sempre segua in modo lineare l'andamento pluviometrico: nello specifico, prendendo ad esempio quanto osservato nel periodo gennaio 2018 - aprile 2019, si osservano spostamenti importanti nell'inverno 2018, mentre incrementi di minore entità compaiono a seguito di cumulate giornaliere di 127 mm di pioggia nei mesi di ottobre 2018 e febbraio 2019, a testimonianza del fatto che la reattività del versante a determinati input meteo, risulta ancora ambigua. Il periodo 2020-2024 non permette nuove valutazioni in questo senso: per quanto riguarda S2 nel 2023 e 2024 l'incremento di spostamento (differenziale integrale) è risultato infatti poco significativo rispetto alle letture precedenti.

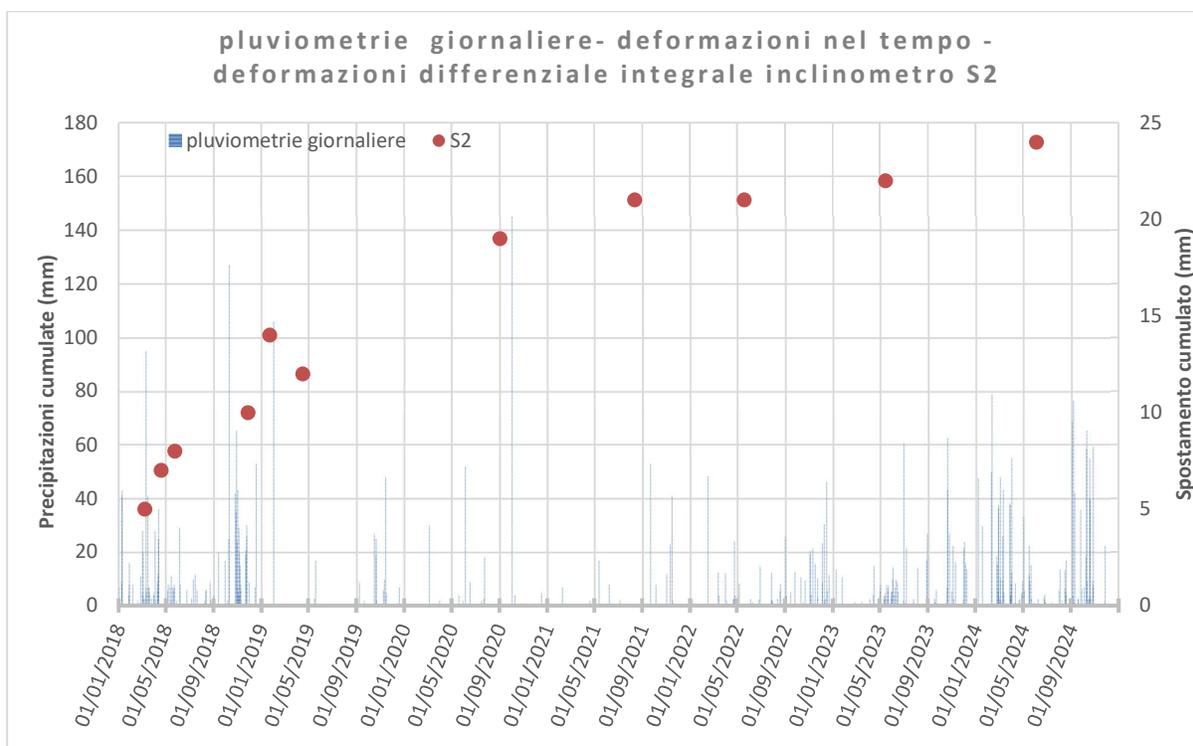


Fig. 13 – Andamento pluviometrico giornaliero (stazione RANZO) e risultante differenziale integrale su inclinometro S2.