

IM007- Aquila d'Arroscia (IM)

1. Inquadramento del sito

Il sito di Aquila d'Arroscia si colloca geologicamente in un'area in cui il substrato roccioso è costituito dai Calcari di Ubaga, sequenza flyschoidale marnoso – arenacea di tipo ad Elmintoidi costituita da un'alternanza di torbiditi marnoso – arenacee e calcilutiti e marne. Nella successione stratigrafica dell'area sono anche presenti intercalazioni di arenarie torbiditiche e alla base quarzareniti torbiditiche e conglomerati simili alla formazione di M. Bignone. Vanno segnalati, qui come nelle due formazioni precedenti, olistoliti e olistostromi di argilliti rimaneggiate riferibili ai litotipi dei Complessi di base di età Cretaceo Superiore – Eocene Inferiore. In particolare, nel sito in esame, affiora un complesso di unità flyschoidi che si trova in posizione sommitale rispetto al dominio delfinese – provenzale a est e ovest e, verso nord, rispetto ai domini sub brianzone, brianzone e piemontese che si identifica nell'Unità Borghetto d'Arroscia – Alassio. Dal punto di vista geomorfologico il versante in esame è caratterizzato da un'elevata pendenza, mentre i corsi d'acqua minori hanno un andamento circa N-S prima di confluire nel Torrente Arroscia che a sua volta sfocia nella piana di Albenga.

2. Campagna di indagini 2011

Nel 2011 è stata eseguita una campagna geognostica finalizzata a verificare l'assetto stratigrafico del versante su cui insiste l'abitato di Aquila d'Arrosia, con l'obiettivo finale di installare un sistema di monitoraggio geotecnico ("Studio preliminare relativo al movimento franoso ricadente in zona di rischio R3 (...) - Studio di Geologia Macciò, 2012). Sono stati eseguiti n. 2 sondaggi attrezzati ad inclinometro, S1 e S2, misurati dal 2011 al 2014 (Fig. 1). In tale relazione si afferma infatti che *"la campagna geognostica eseguita, oltre a verificare l'assetto stratigrafico del versante su cui insistono i fabbricati in oggetto, ha avuto l'obiettivo di installare un sistema di monitoraggio geotecnico, finalizzato alla definizione dell'evoluzione del grado di rischio esistente dei fabbricati in ragione della sicurezza pubblica e privata"*.

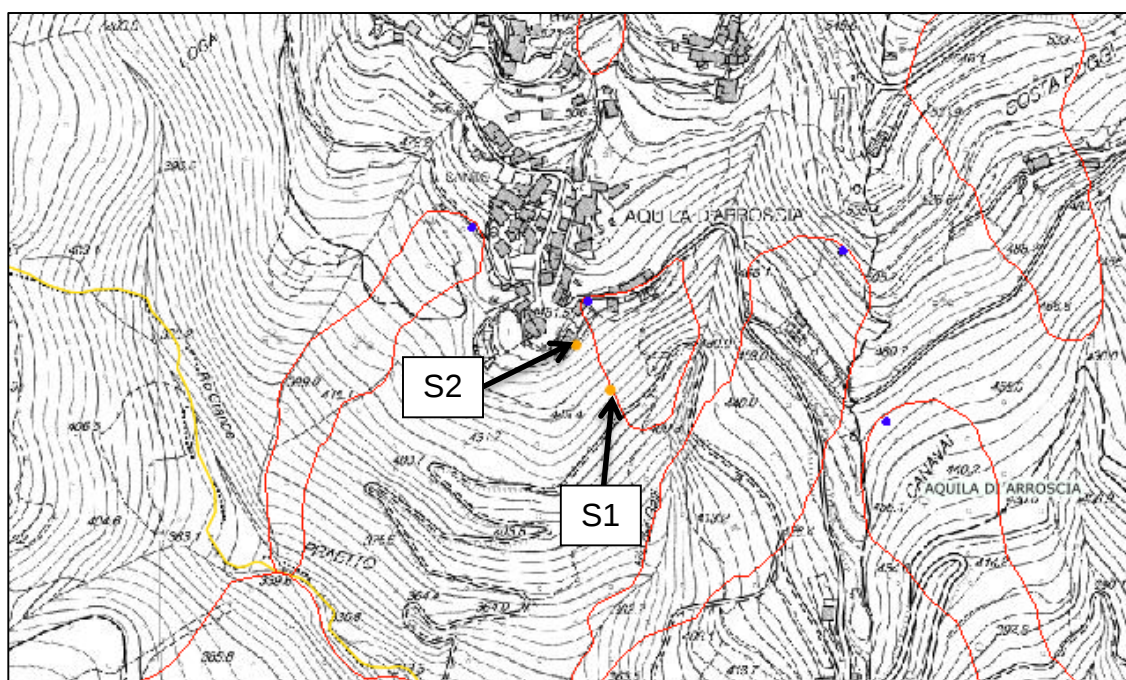


Fig. 1 - Ubicazione inclinometri S1 e S2.

Dai sondaggi eseguiti per l'installazione degli inclinometri si evince come il basamento roccioso sia presente a circa -3 m di profondità da p.c. in S1 (Fig.2), e sia identificato con la seguente definizione *"calcarei marnosi grigio-azzurri e ... marne da calcaree ad argillose grigie; presenti abbondanti vene di calcite biancastra"*.

Foto n.3 Materiale carotaggio S1 tra 0.0-5.0 m



Foto n.4 Materiale carotaggio S1 tra 5.0-10.0 m



Foto n.5 Materiale carotaggio S1 tra 10.0-15.0 m



Foto n.6 Materiale carotaggio S1 tra 15.0-20.0 m



Fig. 2 – Calcari e marne calcaree presenti a -3 m di profondità in S1 (valle).

Il secondo sondaggio eseguito a valle è caratterizzato da una sequenza di strati alterati e tettonizzati con presenza di fratture beanti e ossidate e livelli cataclastici, al di sotto di una copertura detritica di pochi metri, passanti infine ad un substrato calcareo con caratteristiche geomeccaniche migliori a -28 m di profondità (Figg. 3 e 4).

Foto n.2 Materiale carotaggio S2 tra 0.0-5.0 m



Foto n.3 Materiale carotaggio S2 tra 5.0-10.0 m



Fig. 3 – Copertura detritica superficiale con livelli di materiale sciolto alternato a livelli rocciosi molto alterati e disarticolati di calcari e marne calcaree in S2 (monte).

Foto n.4 Materiale carotaggio S2 tra 10.0-15.0 m



Foto n.4 Materiale carotaggio S2 tra 15.0-20.0 m



Foto n.6 Materiale carotaggio S2 tra 20.0-25.0 m



Foto n.7 Materiale carotaggio S2 tra 25.0-30.0 m



Fig. 4 – Basamento roccioso calcareo stratificato con livelli di materiale sciolto alternato a livelli rocciosi molto alterati e disarticolati di calcari e marne calcaree in S2. A -28 m si individua un passaggio netto a un basamento più compatto (monte).

Nel periodo 2011-2014 è stato eseguito un monitoraggio che ha permesso di rilevare nella zona di valle un movimento a -3 m di profondità (contatto coltre-basamento) per un totale di 15 mm. Nella zona di monte non sono stati rilevati particolari deformazioni, ad eccezione di un picco di lieve entità a -27.5 m di profondità, evidenziato in occasione dell'ultima lettura di tale ciclo.

Nel corso dell'anno 2015 è stata verificata da parte di ARPAL la strumentazione inclinometrica (S1 e S2), che risulta ubicata lungo il pendio sottostante la sede stradale e in prossimità di un corpo

franso perimetrato IFFI (Piattaforma IdroGEO). La ricognizione ha consentito di prendere in carico gli inclinometri e il monitoraggio con le letture è iniziato nel 2016.

Inclinometri S1 e S2

Tipo	Scivolamento rotazionale/traslato
Stato	Quiescente generico
Identificativo	0080126500
Area [mq]	11527.9695500946

3. Analisi dei dati inclinometrici 2011-2024 (monitoraggio attivo)

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

Data	Attività	Strumentazione	Sistema di misura
13/06/2024	Lettura di esercizio	Inclinometro S1 Inclinometro S2	Sonda servoaccelerometrica biax. S222643

Tab. 1 - Misure effettuate nel 2024 nel sito di Aquila.

Inclinometro S1 (19 m) – parte bassa del pendio

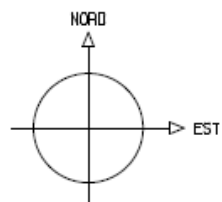
Nel 2023 non è stato possibile eseguire la lettura di esercizio a causa del danneggiamento della parte apicale della tubazione inclinometrica che ha reso di fatto impossibile proseguire il monitoraggio con il sistema di acquisizione .

Durante il rilevamento eseguito per la campagna di misure del 2024, si è scelto di effettuare una nuova lettura di zero con il sistema di acquisizione BRAIN, senza una lettura di congiunzione tra i due sistemi. Il monitoraggio riprenderà pertanto a partire dalla campagna del 2025.

Si riportano, quindi, i dati pregressi dal 2011 fino all'ultima lettura effettuata nel 2022.

I dati acquisiti tra marzo 2011 e febbraio 2014, avevano evidenziato l'esistenza di un livello di deformazione principale alla profondità di -3 m da p.c. (Fig. 5a, elaborazione differenziale locale). La cumulata totale dello spostamento al 2014 (Fig. 5b) era stata calcolata di poco superiore a 15 mm, rilevati principalmente nel periodo compreso tra le letture di esercizio del 2013 e del 2014, mentre l'azimuth medio dello spostamento era già identificabile in direzione SE (Fig. 6).

Al 2022 i dati disponibili, derivanti dalla strumentazione integrata nella rete remover a partire dal 2016, evidenziavano uno spostamento massimo registrato in S1 di circa 18 mm sul differenziale integrale, mentre il differenziale locale, alla profondità di -3 m da p.c., mostra un valore locale di 6 mm circa (Figg. 7a,b). Il movimento prevalente, concorde con le precedenti letture, è concentrato in direzione SE (Fig.8).



TERRA srl - 8 assi

ELABORAZIONE INCLINOMETRI

TUBO INCLINOMETRICO: S1

LOCALITA': Aquila d'Arroscia

SPOSTAMENTI DIFFERENZIALI INTEGRALI

ELABORAZIONE DAL BASSO

RISULTANTE SPOSTAMENTO

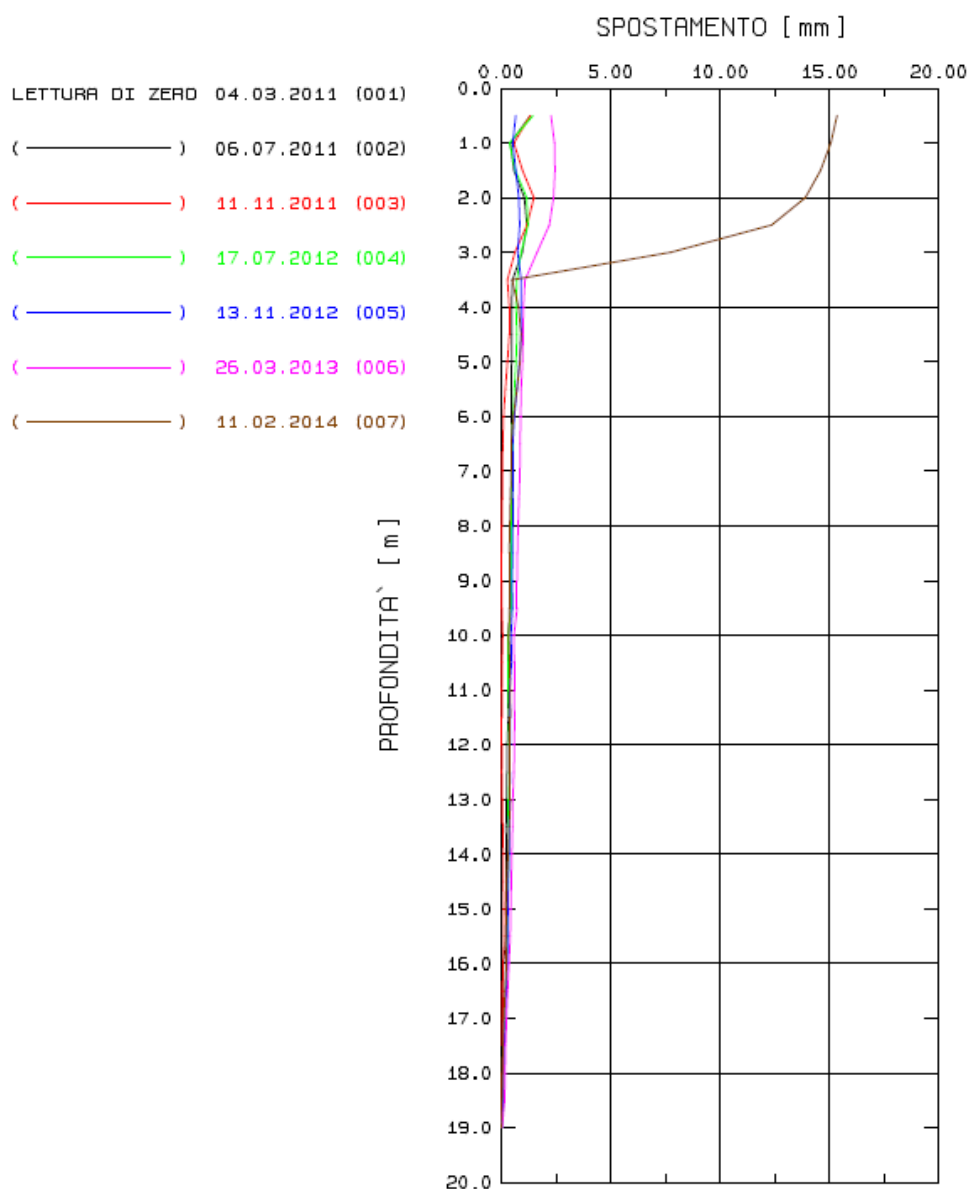
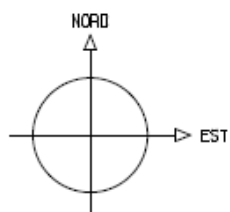


Fig. 5a - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) dell'inclinometro S1.



TERRA srl - 8 assi

ELABORAZIONE INCLINOMETRI

TUBO INCLINOMETRICO: S1

LOCALITA': Aquila d'Arroscia

SPOSTAMENTI DIFFERENZIALI LOCALI

SPOSTAMENTO ASSE X (EST)

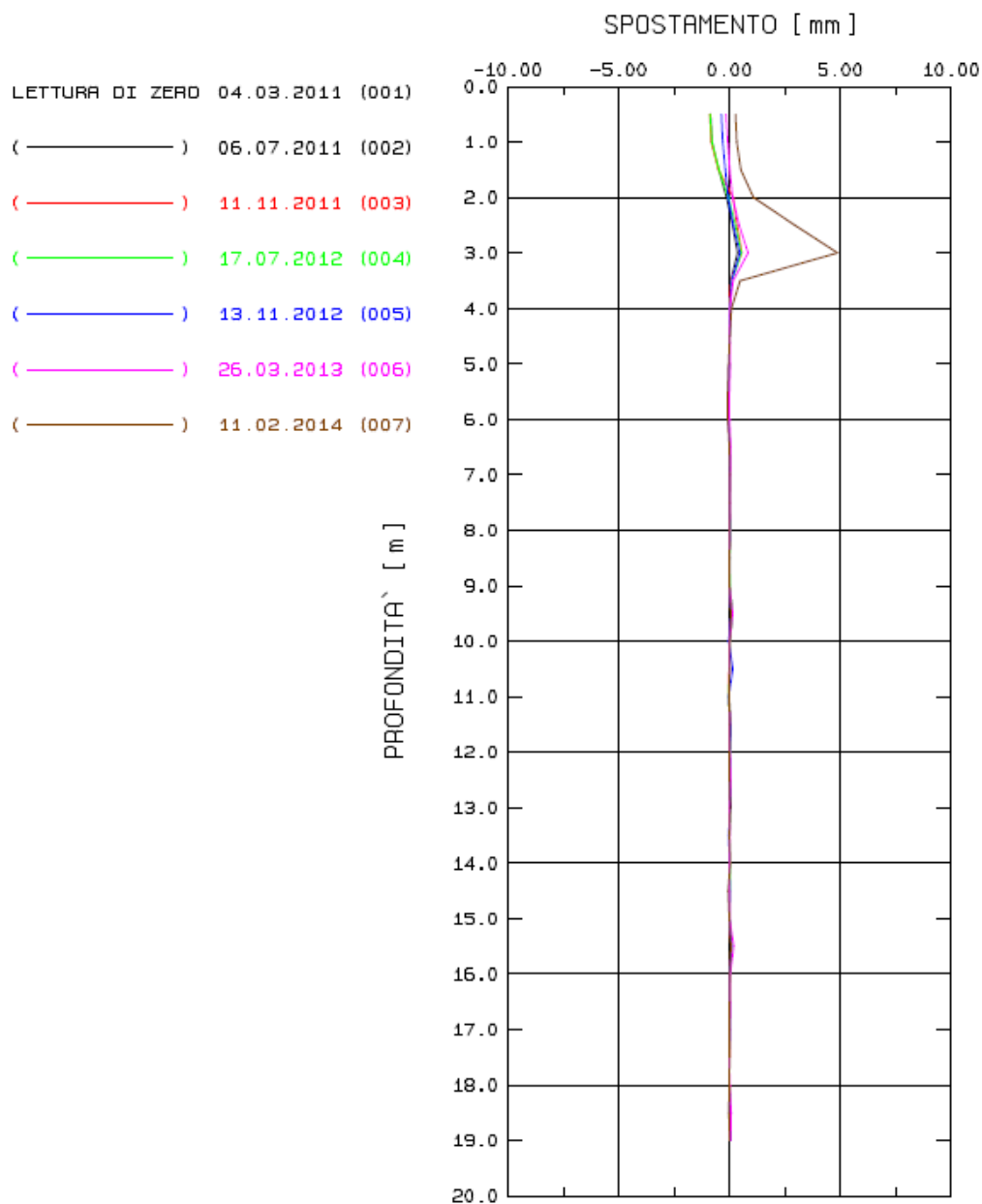
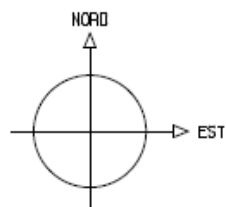


Fig. 5b - Grafici relativi all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro S1.



TERRA srl - 8 assi

ELABORAZIONE INCLINOMETRI

TUBO INCLINOMETRICO: S1

LOCALITA': Aquila d'Arroscia

SPOSTAMENTI DIFFERENZIALI INTEGRALI

ELABORAZIONE DAL BASSO

DIAGRAMMA POLARE DELLA DEVIAZIONE

LETTURA DI ZERO 04.03.2011 (001)

(—————) 06.07.2011 (002)

(—————) 11.02.2014 (007)

(—————) 11.11.2011 (003)

(—————) 17.07.2012 (004)

(—————) 13.11.2012 (005)

(—————) 26.03.2013 (006)

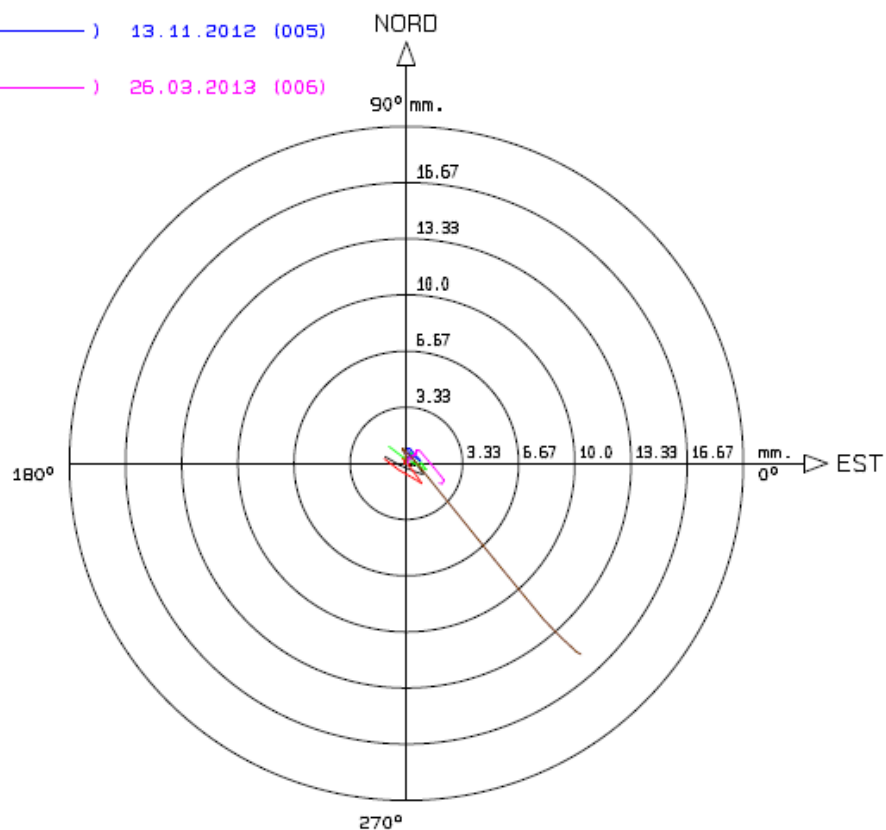
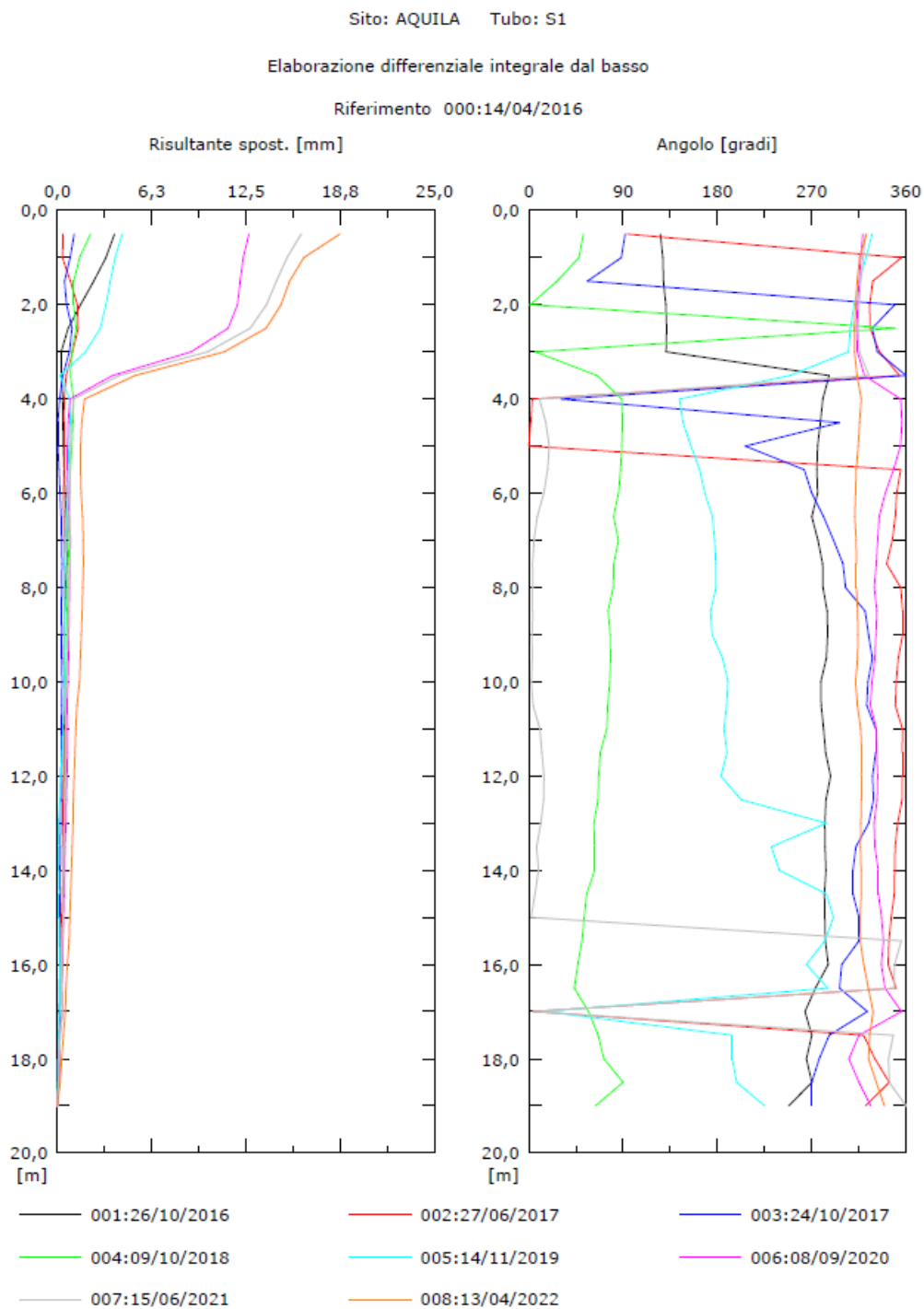
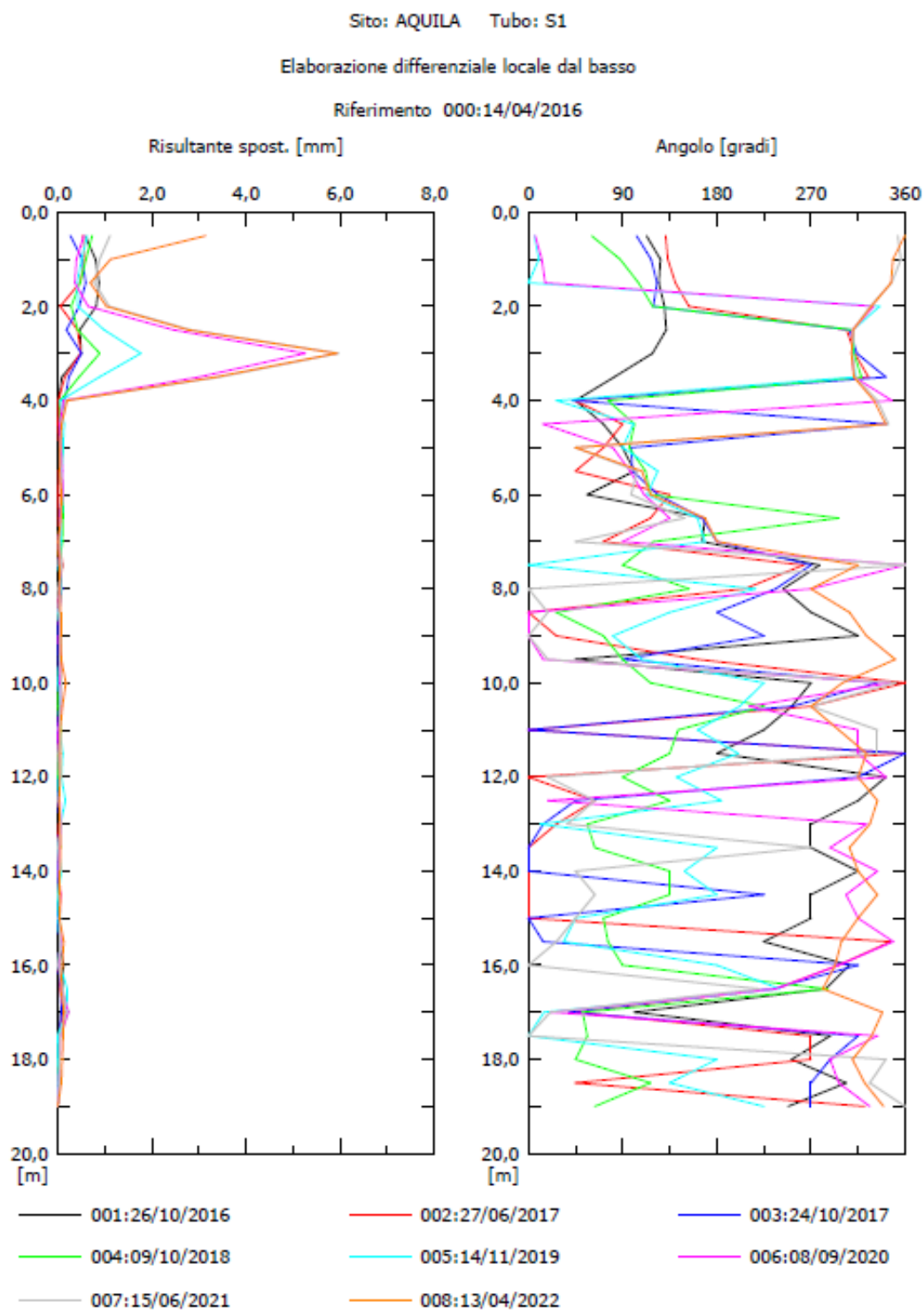


Fig. 6 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione)
 dell'inclinometro S1



ARPAL

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



ARPAL

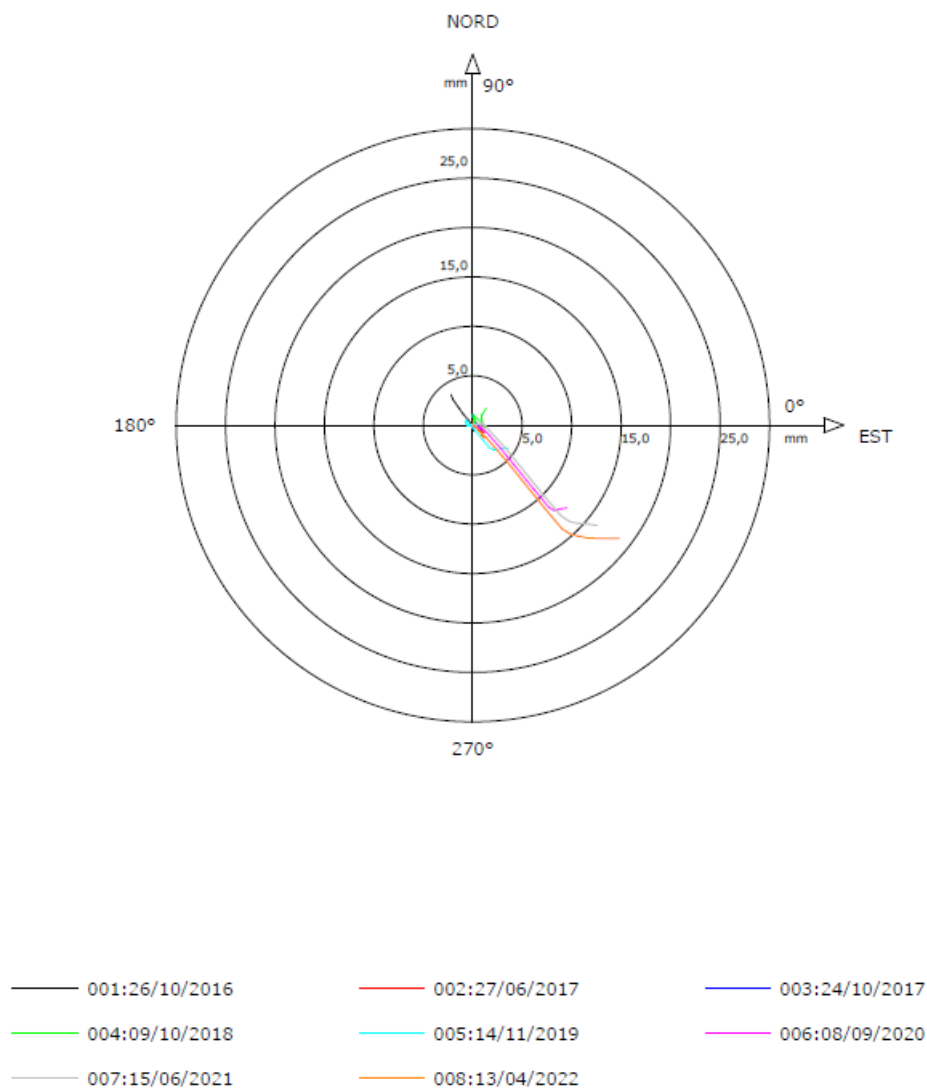
Fig. 7b - Grafici relativi all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro S1.

Sito: AQUILA Tubo: S1

Elaborazione differenziale integrale dal basso

Riferimento 000:14/04/2016

Diagramma polare della deviazione



ARPAL

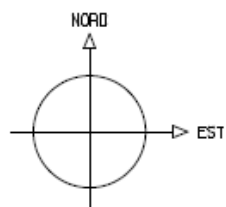
Fig. 8 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro S1

Inclinometro S2 (29 m) – parte alta del pendio

La verifica dei *dataset* attraverso il “*checksum*” non ha evidenziato anomalie strumentali nella lettura di zero e nella lettura di esercizio.

I dati rilevati sembrano essere in accordo con i dati pregressi, acquisiti tra marzo 2011 e febbraio 2014, grazie ai quali è stato possibile individuare un livello in deformazione preferenziale tra -26.5 e -28.5 m da p.c., con un picco a -27.5 m e valori massimi di scivolamento pari a 6 mm (Fig. 9 a,b). Dal 2016 ad oggi si osservano deboli movimenti dovuti al piano di scorrimento presente tra -26.5 e -29 m (elab. differenziale integrale) con un picco di deformazione confermato a -27.5 m (Figg. 11 a,b). Il diagramma polare della deviazione mostra una tendenza del movimento in direzione S-SW (Fig.12).

Nel 2024 i dati disponibili, ricavati dalla strumentazione integrata nella rete remover a partire dal 2016, evidenziano uno spostamento massimo registrato di circa 12,5 mm sul differenziale integrale (Fig. 11a) con un incremento di 2 mm circa rispetto alla lettura 2023. Il differenziale locale, alla profondità di -27.5 m circa, mostra un aumento delle deformazioni <1 mm dalla lettura precedente, con valore locale di 5 mm circa (Fig. 11b). La componente del movimento è concorde con le precedenti in direzione SSW (Fig. 12).



TERRA sr1 - 8 assi

ELABORAZIONE INCLINOMETRI

TUBO INCLINOMETRICO: 2

LOCALITA': Aquila d'Arroscia

SPOSTAMENTI DIFFERENZIALI INTEGRALI

ELABORAZIONE DAL BASSO

RISULTANTE SPOSTAMENTO

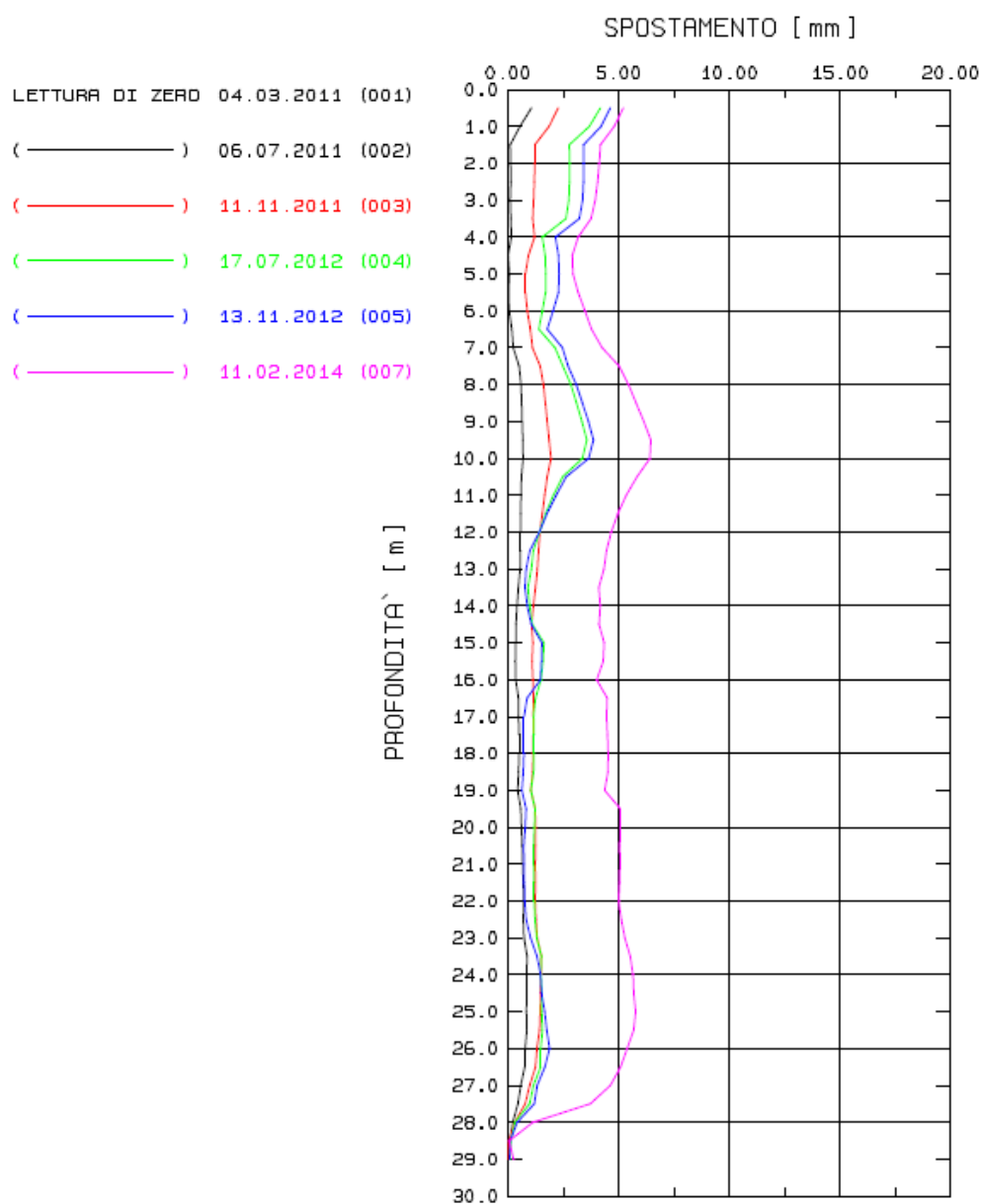
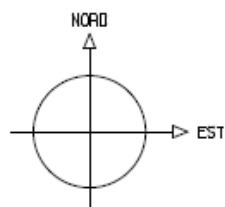


Fig. 9a - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) dell'inclinometro S2.



TERRA sr1 - 8 assi

ELABORAZIONE INCLINOMETRI

TUBO INCLINOMETRICO: 2

LOCALITA': Aquila d'Arroscia

SPOSTAMENTI DIFFERENZIALI LOCALI

RISULTANTE SPOSTAMENTO

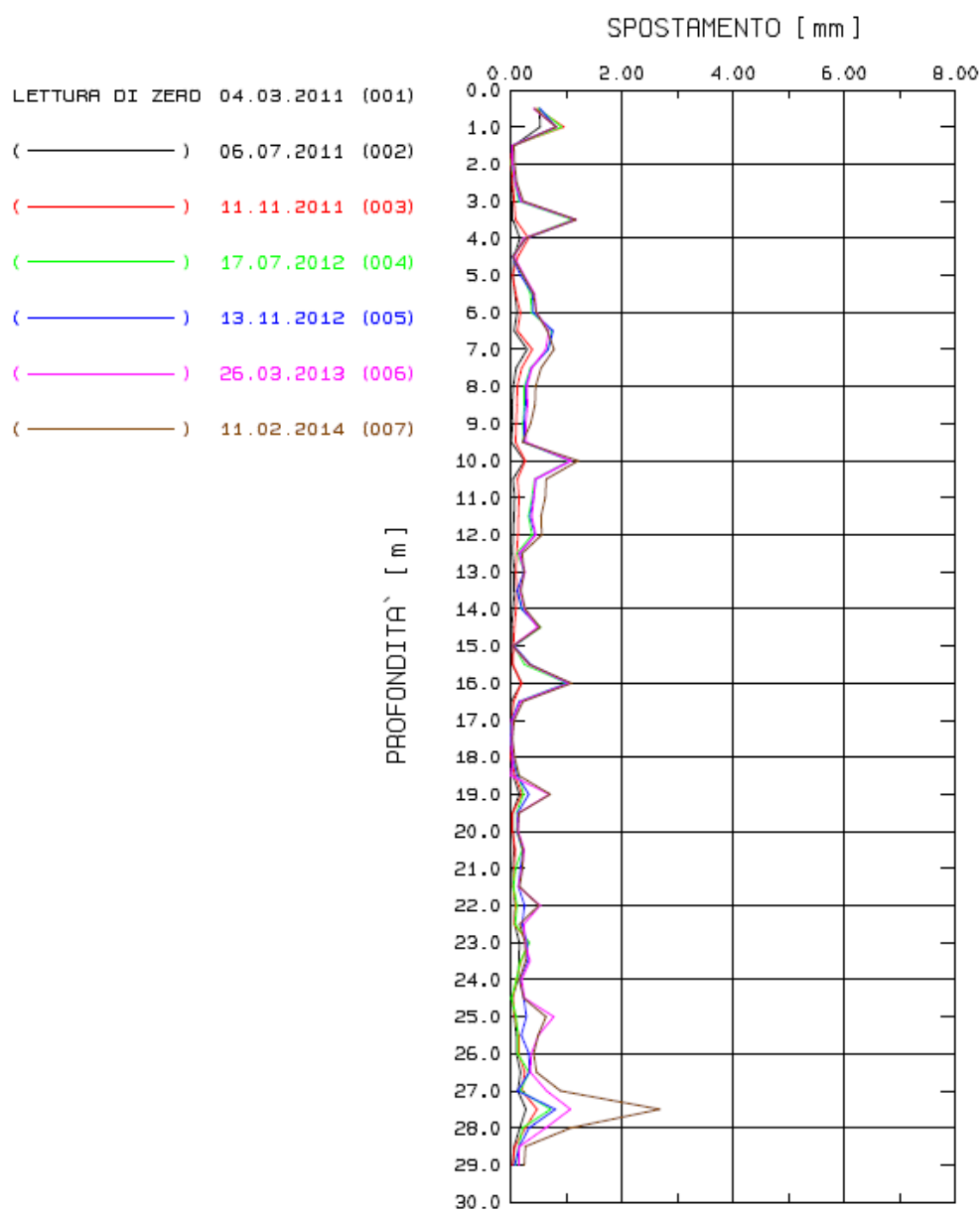
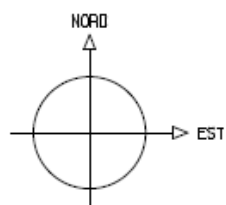


Fig. 9b - Grafici relativi all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro S2.



TERRA srl - 8 assi

ELABORAZIONE INCLINOMETRI

TUBO INCLINOMETRICO: 2

LOCALITA': Aquila d'Arroscia

SPOSTAMENTI DIFFERENZIALI INTEGRALI

ELABORAZIONE DAL BASSO

DIAGRAMMA POLARE DELLA DEVIAZIONE

LETTURA DI ZERO 04.03.2011 (001)

(—————) 06.07.2011 (002)

(—————) 11.11.2011 (003)

(—————) 17.07.2012 (004)

(—————) 13.11.2012 (005)

(—————) 11.02.2014 (007)

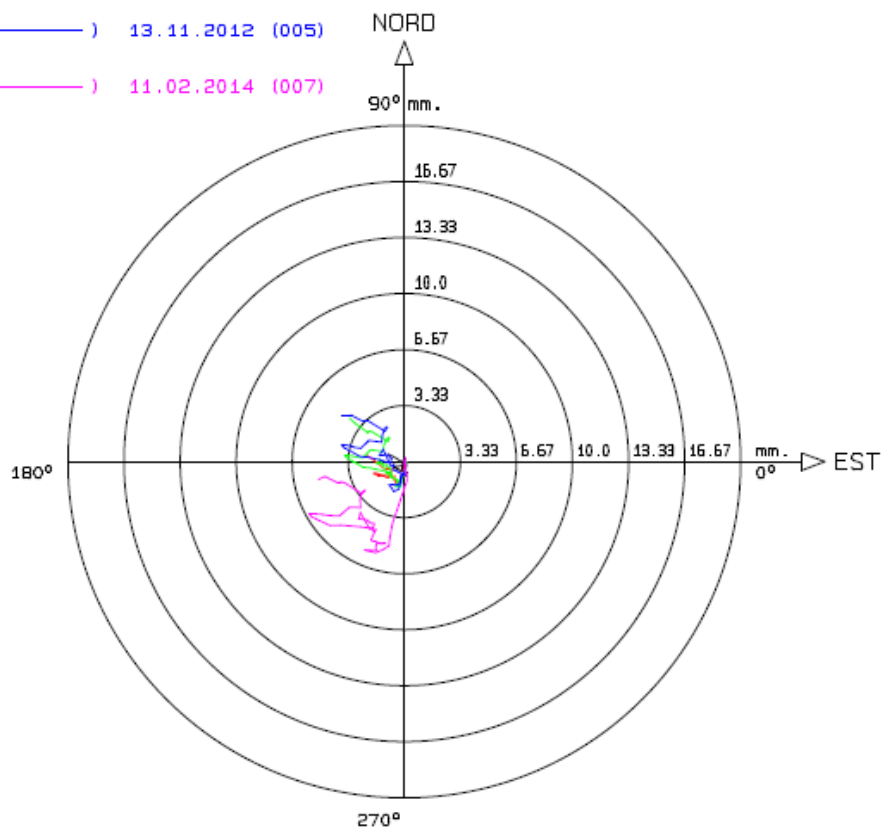


Fig. 10 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro S2

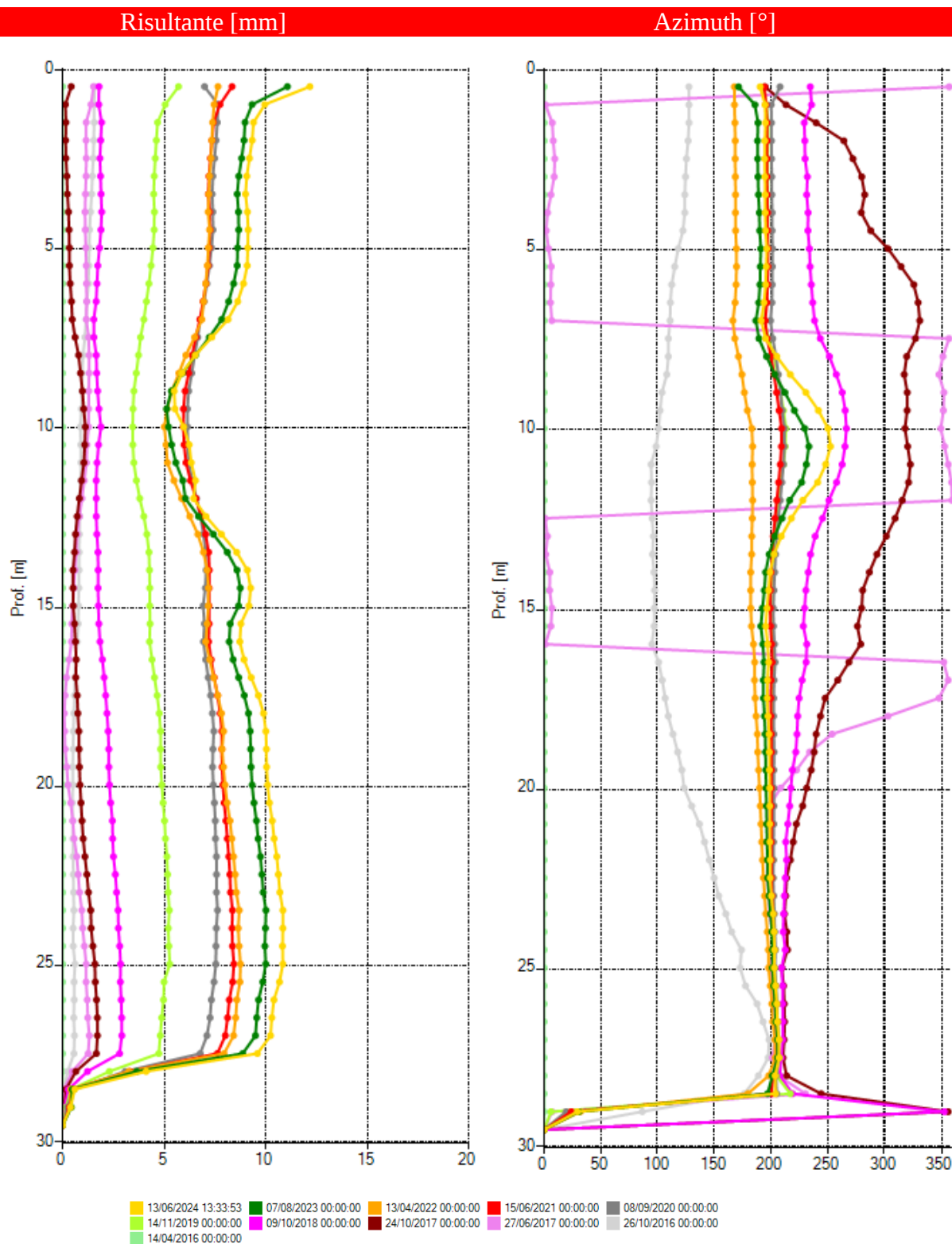


Fig. 11a - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) dell'inclinometro S2.

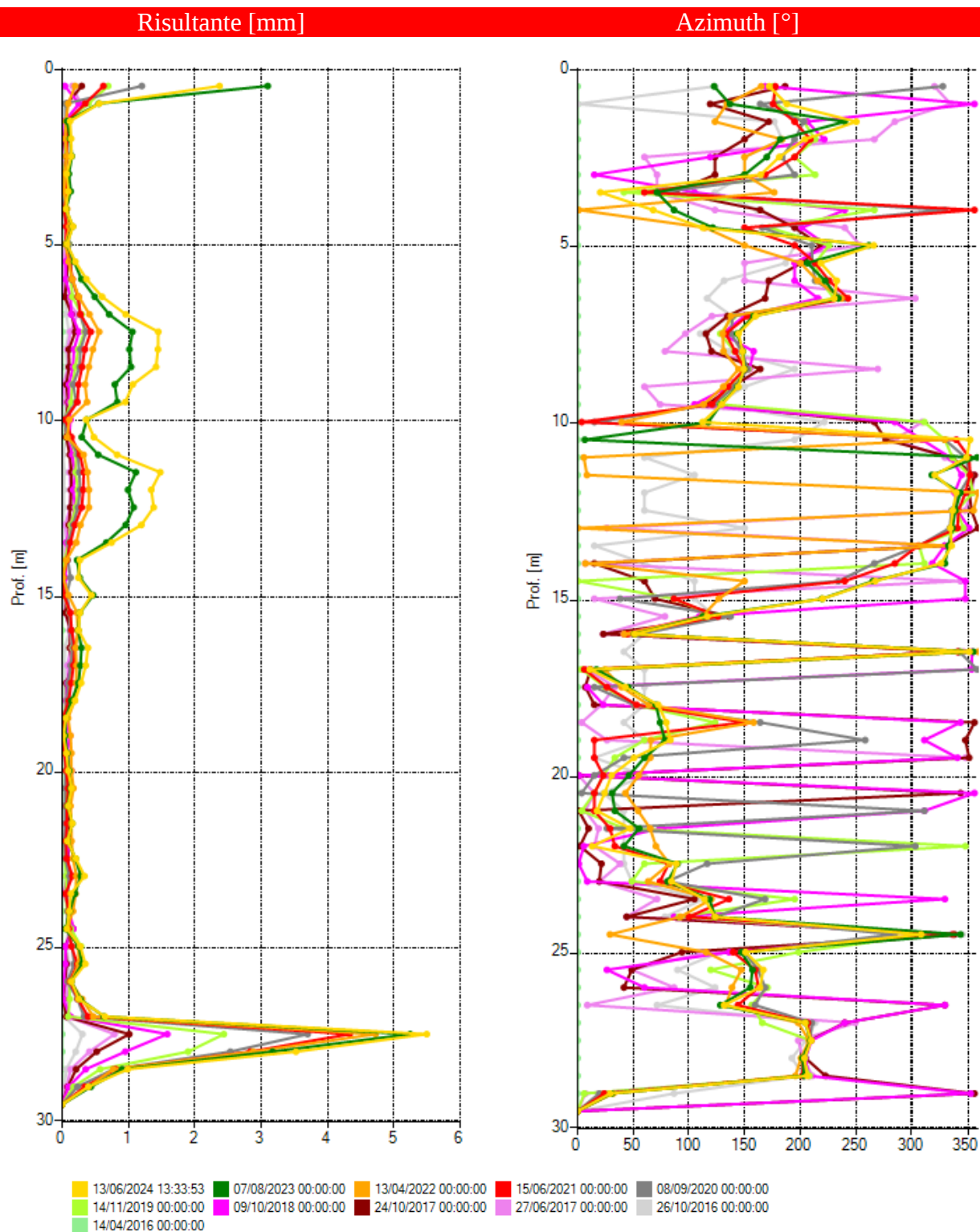


Fig. 11b - Grafici relativi all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro S2.

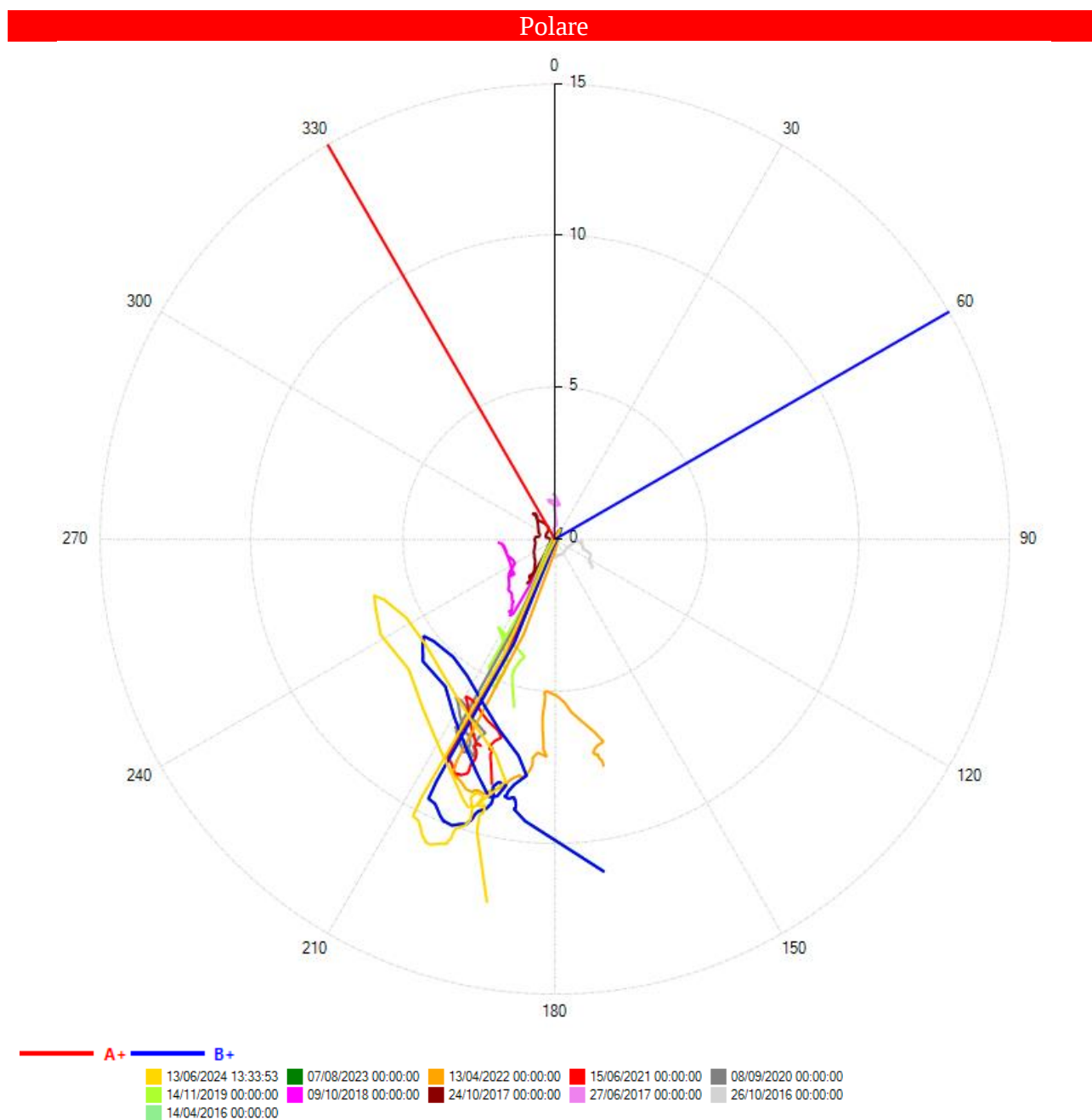


Fig. 12 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro S2

4. Conclusioni

L'abitato di Aquila d'Arroscia sorge a ridosso della rottura di pendenza del versante e l'area oggetto di indagine risulta ai limiti di un settore perimetrato all'interno del catalogo IFFI. Nel corso degli anni sono state eseguite diverse campagne per il monitoraggio di tale area, su cui sorgono edifici oggetto di intervento per il miglioramento della stabilità (es. edificio sede comunale).

A partire dal 2016, il sistema di monitoraggio installato nel 2011 (S1 e S2) è stato integrato nella Rete Remover. Tali tubi inclinometrici hanno le seguenti caratteristiche:

- S1 è localizzato nella zona di valle ed installato fino a 19 m di profondità;
- S2 si trova nella zona monte e raggiunge 29 m di profondità.

Con la presa in carico da parte di ARPAL, è proseguito il monitoraggio e ad oggi si confermano gli elementi sopra indicati: nella zona di valle è presente un movimento a -3 m, compatibile con quanto rilevato nel passato, e nella zona di monte è stata rilevata una deformazione a -27,5 m circa che si attesta in adiacenza del fondo foro.

Dalle stratigrafie e dalle recenti letture inclinometriche, peraltro in accordo con le letture pregresse, si confermano quindi due zone di deformazione, una superficiale in S1 in prossimità del contatto coltre-roccia ed una profonda in S2 al passaggio da un basamento molto alterato e fratturato ad uno con qualità litotecniche migliori. Nella figura seguente (Fig. 13) si riportano due ipotesi sulla possibile posizione della superficie di scorrimento: la prima mette in relazione le deformazioni rilevate negli inclinometri (linea rossa) con caratteristiche roto-traslative, mentre la seconda (linea gialla) rappresenta una superficie traslativa (linea gialla) che deforma S2 e a valle non viene intercettata da S1.

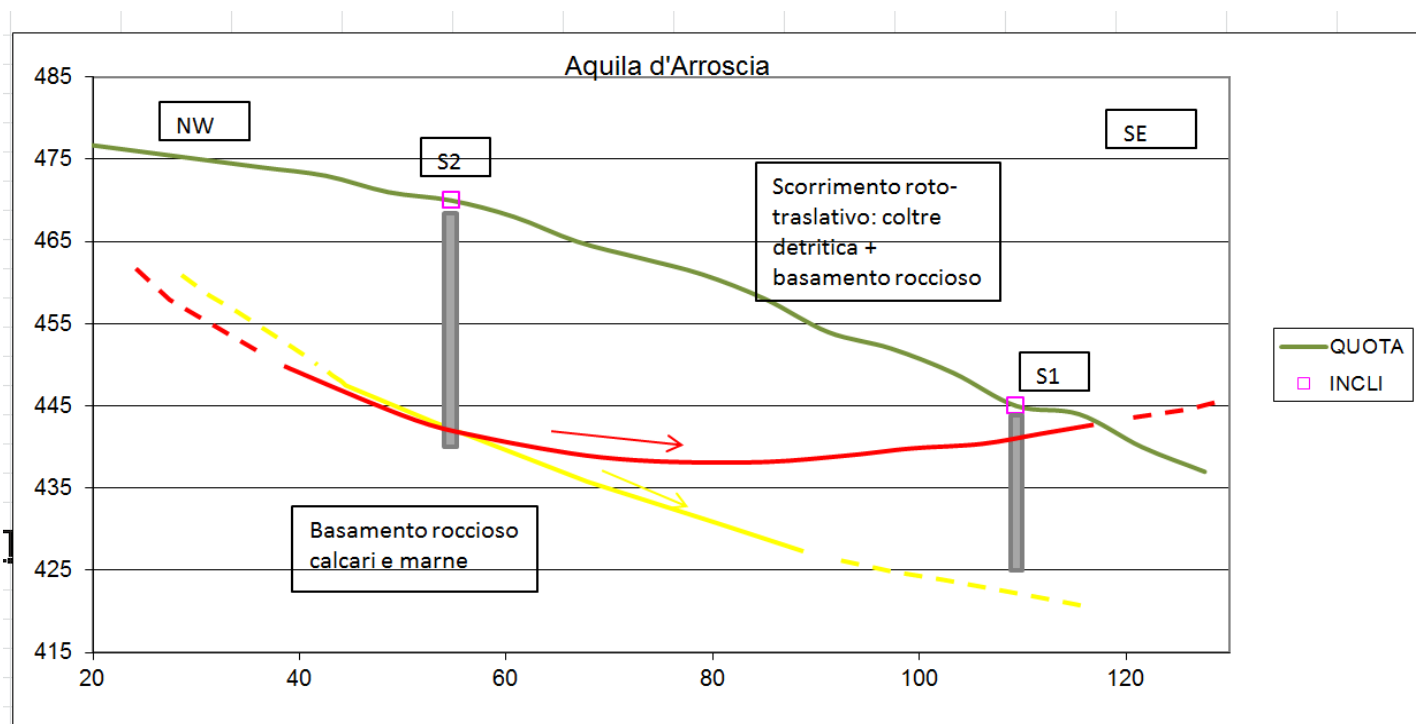


Fig. 13 - Sezione del versante di Aquila d'Arroscia

La figura successiva (Fig.14) mostra il trend del movimento nei due inclinometri, evidenziando un pressochè identico comportamento almeno fino a dicembre 2019; a partire da settembre 2020, S1 registra invece velocità maggiori di spostamento rispetto a quanto accade in S2.

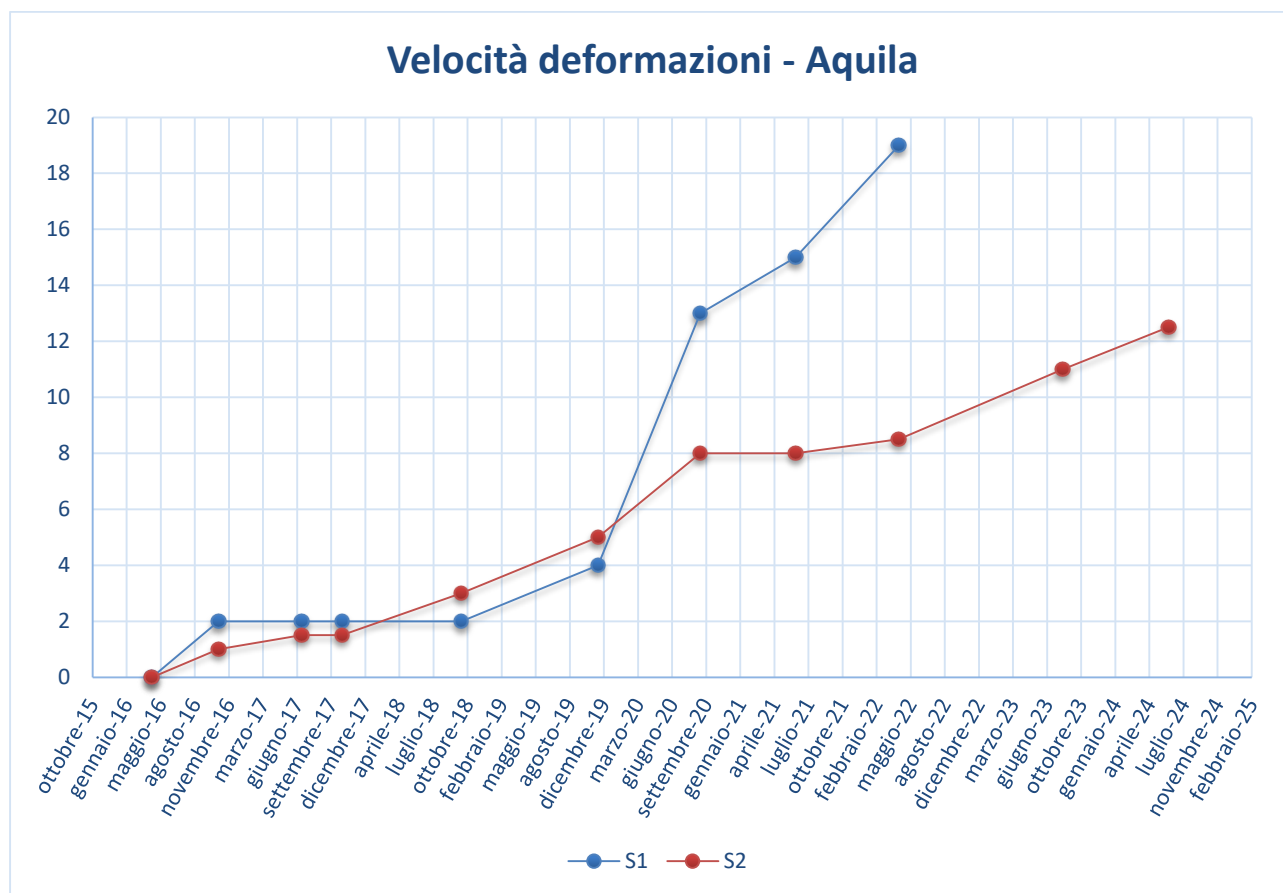


Fig.14 - Velocità delle deformazioni (in ordinate spostamenti in mm) della frana di Aquila d'Arroschia registrate in superficie (differenziale integrale).

Per quanto riguarda il regime pluviometrico nell'area in esame, ad oggi è stato possibile osservare come, generalmente, i pluviometri mostrino cumulate mensili più elevate durante la stagione autunnale e primaverile, con valori massimi compresi tra 400 e 500 mm; nel resto dell'anno le curve di pioggia superano raramente i 200 mm (Fig. 15). Fanno eccezione gli anni dal 2021 a tutto il 2023 durante i quali sono state registrate cumulate di pioggia mensili nettamente inferiori a 200 mm durante tutto il corso dell'anno.

Incrociando le informazioni relative ai pluviometri con i movimenti registrati dagli inclinometri, si può notare come l'andamento della deformazione mantenga il medesimo trend indipendentemente dal quantitativo di precipitazione. Nello specifico, ad oggi non sembra che il movimento profondo registrato da S2 possa risultare sensibile agli eventi meteorologici nella modalità con cui si sono presentati dal 2016 ad oggi, facendo osservare una lenta evoluzione nella progressione delle deformazioni a prescindere dalla quantità di pioggia caduta. Al contrario S1, nella

porzione di terreno corticale (4 m da p.c.) evidenzia movimenti di massa più marcati, senza suggerire però una spiccata corrispondenza tra piogge e deformazioni.

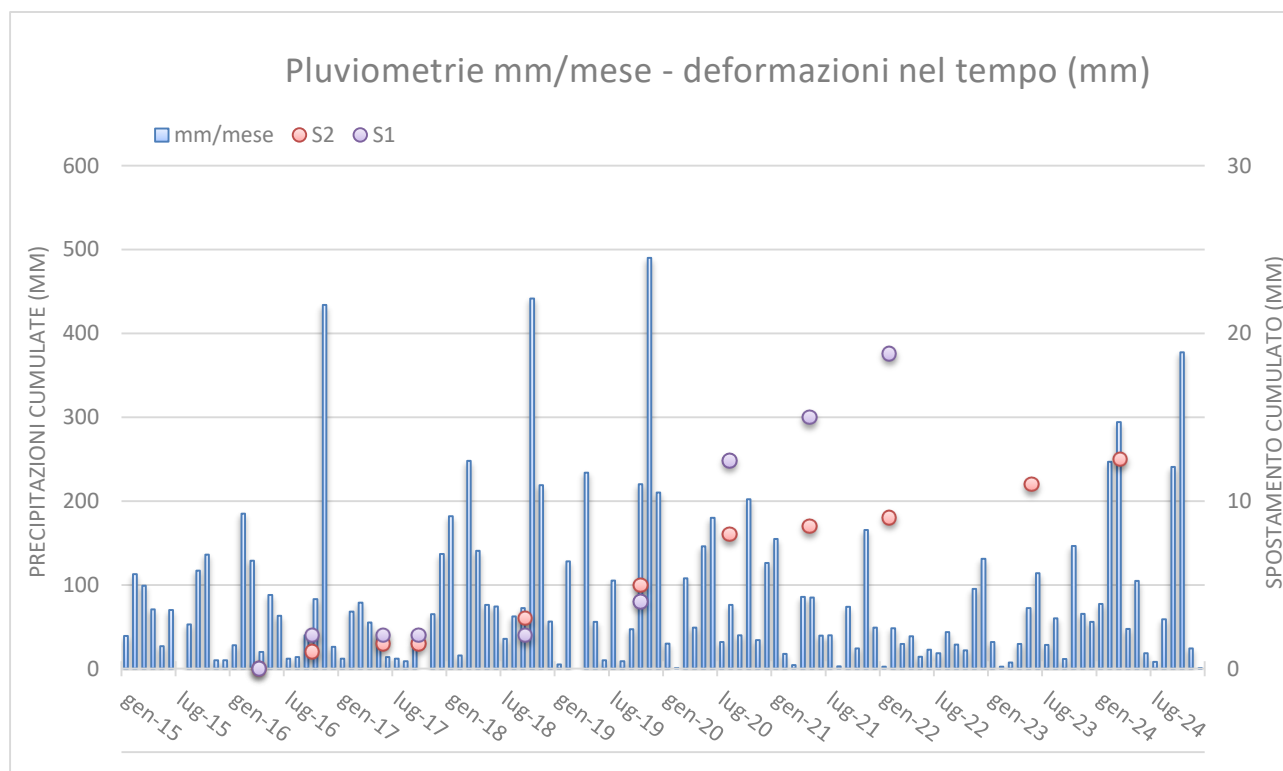


Fig. 15 – Andamento pluviometrico mensile (stazione RANZO) e letture inclinometriche S1 e S2 – periodo 2015-2024.