

GE006 - Costafigara- Rezzoaglio (GE)

1. Inquadramento del sito

Il movimento gravitativo che interessa l'abitato di Costafigara, nel comune di Rezzoaglio (Città Metropolitana di Genova), è localizzato in un'area in cui affiorano, in contatto, l'Unità Ottone e il Complesso di Casanova (Fig.1). Il pendio mostra una morfologia complessa che identifica la presenza di scorrimenti attivi all'interno di un più ampio sistema geomorfologico, perimetrato da IFFI come potenziale deformazione gravitativa profonda di versante (DGPV). Il monitoraggio ricade parzialmente all'interno di un corpo di frana che rappresenta la parte terminale di un colamento attivo con presenza locale di olistoliti eterogenici e eterometrici della sequenza flyschoidale (*"Atlante dei Centri Abitati Instabili della Liguria"* – CNR-Provincia di GE, 2004).

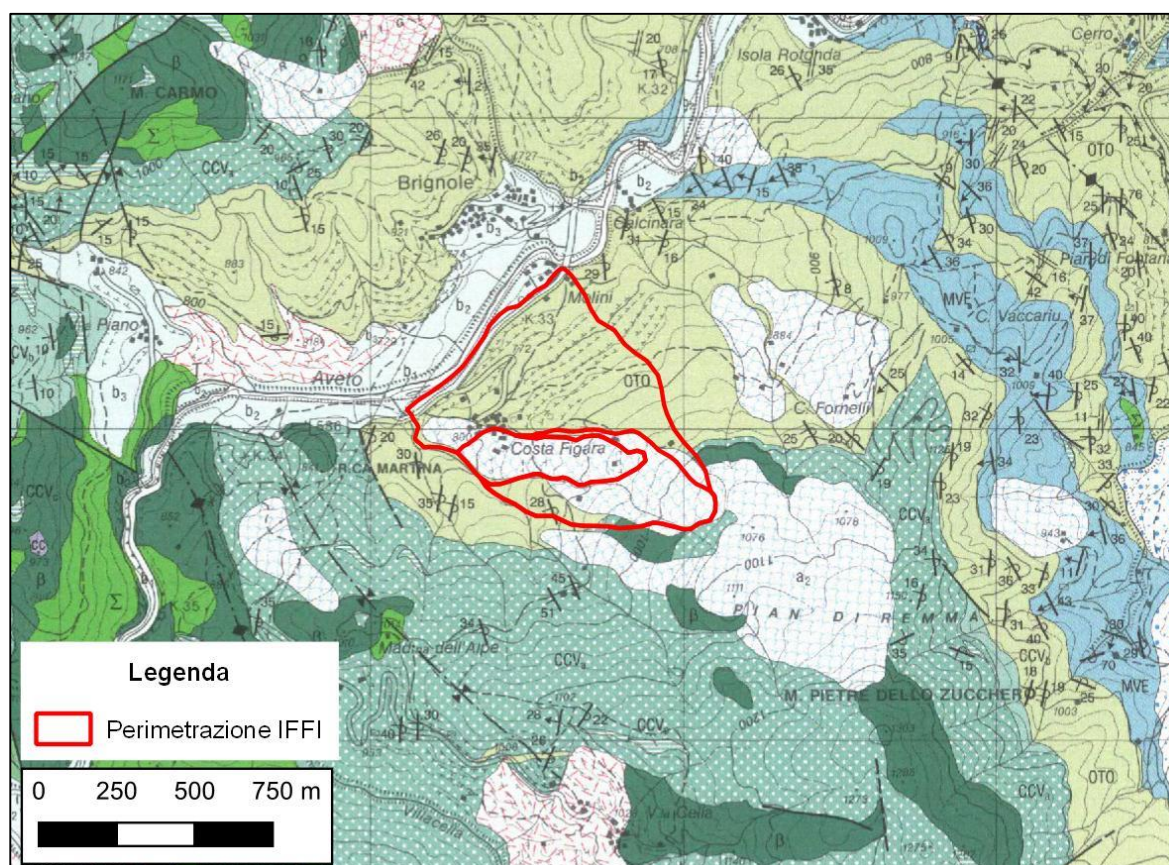


Fig. 1 - Stralcio della Carta Geologica d'Italia (progetto CARG) (scala originale 1:10.000). Aree con simboli circolari rossi: frane in evoluzione. a2: frane quiescenti. Aree con tratteggio rosso: detriti di versante. b1: depositi alluvionali attuali. b2-4; depositi alluvionali terrazzati. Aree con punti blu: depositi glaciali. OTO: flysch di Ottone. MVE: complesso di Monte Veri. CCV_a: arenarie ofiolitiche (Complesso di Casanova). CCV_b: brecce mono e poligeniche a matrice pelitica (Complesso di Casanova). CCV_c: brecce poligeniche a matrice arenitica (Complesso di Casanova). Σ: olistoliti di ultramafiti della successione delle Unità Ottone e Monte delle Tane. β: olistoliti di basalti della successione delle Unità Ottone e Monte delle Tane.

2. Indagini conoscitive

Il monitoraggio è iniziato nel giugno 2009 sugli inclinometri S3 e S4 (l'inclinometro S1 risulta inutilizzabile e S2 si considera non rappresentativo) e sui piezometri S5, S7 e S8. La strumentazione, installata nel 2002 nell'ambito della *"Bonifica e stabilizzazione del corpo di frana in loc. Costafigara nel Comune di Rezzoaglio"* (Canepa, Faccini e Robbiano, 2002), ha delineato alcune situazioni presenti nell'area. Così come la perimetrazione IFFI identifica un limite tra due tipi di movimento di versante passante all'interno del paese, così i dati inclinometrici elaborati hanno rilevato la presenza di due zone a differente cinematisimo.

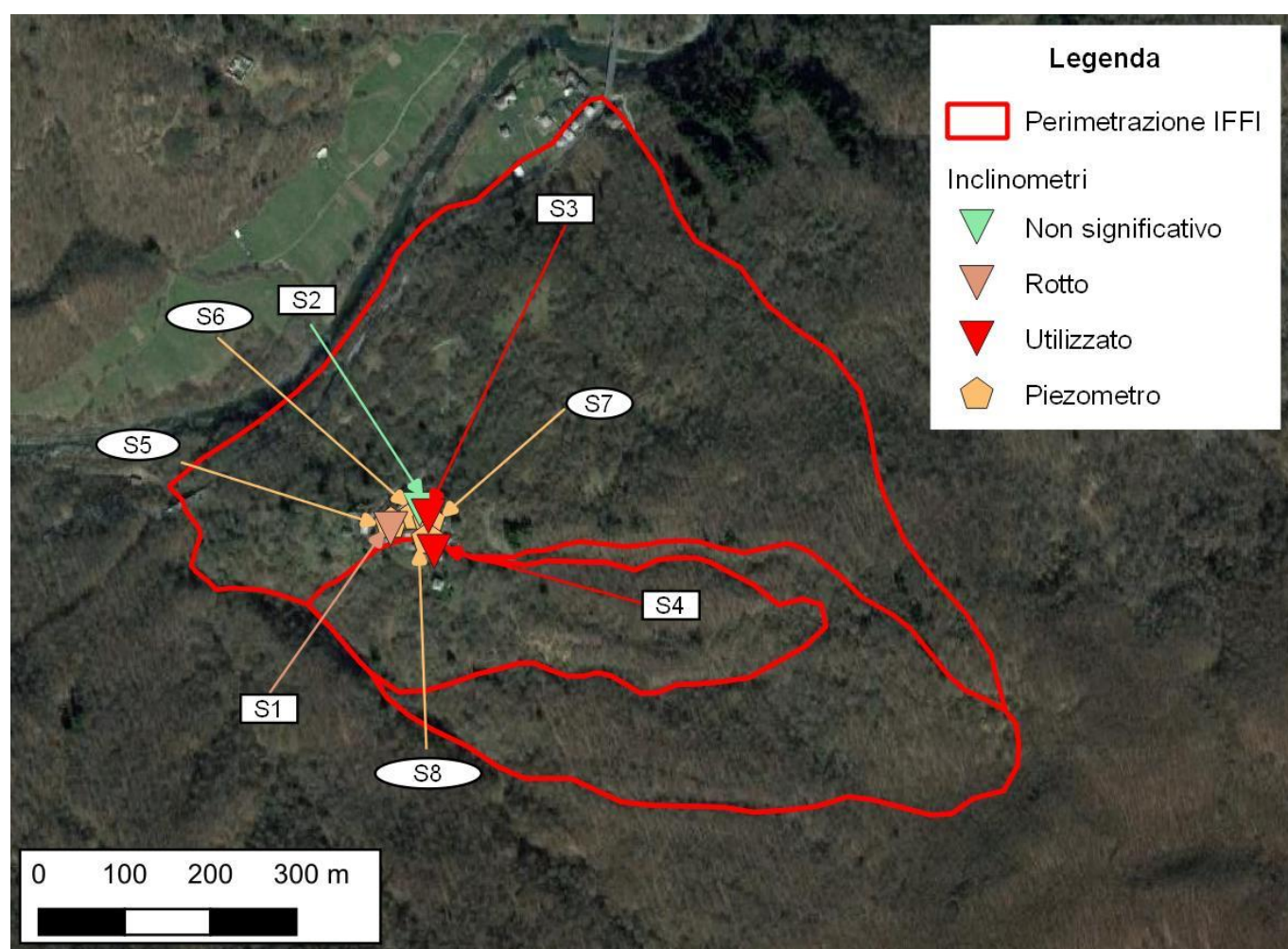


Fig. 2. Posizione degli inclinometri S1, S2, S3, S4 e piezometri S5, S6, S7, S8 all'interno dei corpi di frana perimetrati (linea rossa).

REMOVER 2008-2024

Gli inclinometri ricadono all'interno del corpo di frana descritto di seguito, così come censito nell'Inventario dei fenomeni franosi (Progetto IFFI – Piattaforma IdroGEO):

Inclinometri: S1 (ex), S2 (ex), S3 e S4

Tipo	Colamento lento
Stato	Attivo/riattivato/sospeso
Identificativo	0100060903
Area [mq]	73144

A monte dell'abitato insiste invece il seguente corpo instabile (Progetto IFFI – Piattaforma IdroGEO):

Tipo	DGPV
Stato	n.d.
Identificativo	0100060901
Area [mq]	468361

Come descritto nei paragrafi successivi, gli inclinometri S1 e S4, allineati lungo la direzione di massima pendenza e disposti più a sud rispetto agli altri, hanno permesso di registrare una deformazione attiva a profondità elevate tra 18 e 22 m, mentre nei livelli superficiali non si registrano movimenti. La zona nord dell'abitato, invece, monitorata attraverso gli inclinometri S2 e S3, non ha fatto registrare la presenza di superfici di scorrimento profonde, bensì movimenti superficiali inferiori a 5 m di profondità. Rimane il dubbio se il mancato rilievo di un piano di scorrimento profondo nella zona a nord sia dovuto effettivamente all'assenza di movimento o se il piano stesso, per motivi giaciturali, si sviluppi a profondità superiori alla lunghezza degli inclinometri (Figg.3 e 4).

REMOVER 2008-2024

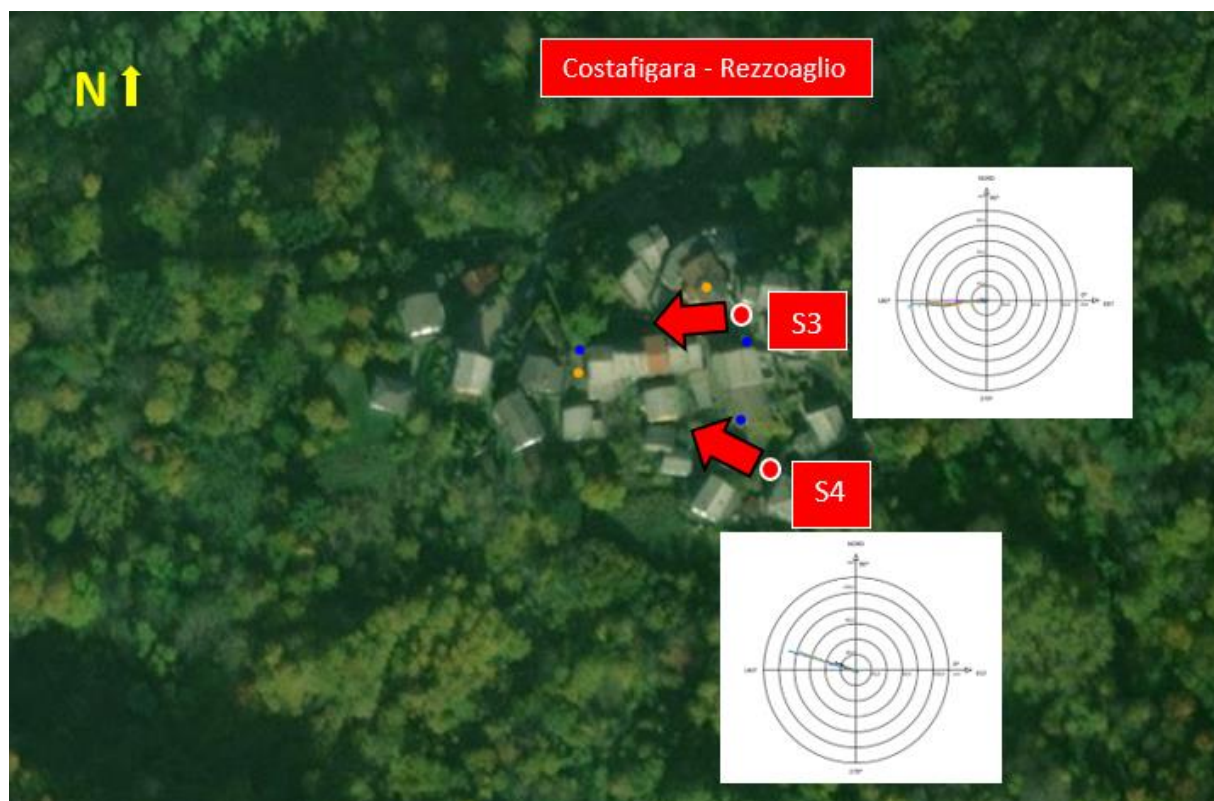


Fig.3 - Direzione del movimento (a profondità differenti) nei due inclinometri situati all'interno dell'abitato di Costafigara. I pallini arancioni indicano gli inclinometri non più utilizzati, mentre i pallini blu i piezometri.

Da un esame delle colonne stratigrafiche si è potuto constatare, alla profondità ove si osserva la deformazione principale (tra 18-22 m), la presenza di un livello nella sequenza sedimentaria del substrato roccioso, caratterizzata da marne e arenarie in alternanza a sottili livelli argilloscistosi, che risulta fortemente disturbato con presenza di brecce e materiale incoerente. Il movimento superficiale che sembra interessare uno spessore di circa 5 m invece interessa una coltre superficiale grossolana. Complessivamente il basamento flyschoidale, caratterizzato da una fitta alternanza di marne e arenarie, da un'osservazione di massima evidenza qualità geomeccaniche non ottimali, tanto da giustificare un incremento sostanziale dello scorrimento profondo (Fig.4).

REMOVER 2008-2024

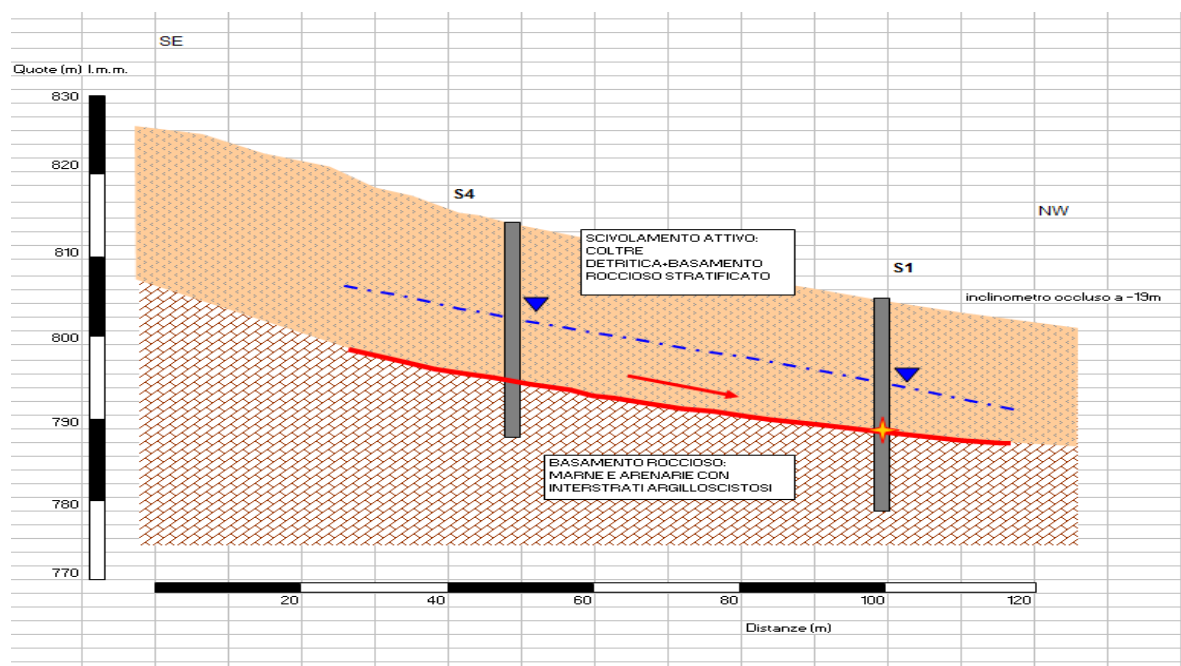


Fig.4 – sezione geologica interpretativa che interessa la zona SW dell'abitato di Costafigara.

3. Cinematismo delle aree monitorate

I dati inclinometrici analizzati, come descritto nello specifico nei paragrafi successivi, hanno evidenziato una direzione azimutale di spostamento verso W in entrambe le zone monitorate, in accordo con la giacitura del versante.

L'attività della frana evidenzia una sequenza di accelerazioni più o meno accentuate nei periodi invernali e pause generalmente nel periodo estivo: la grande accelerazione registrata nel 2010 è stata seguita negli anni successivi da incrementi minori nei movimenti, fino a circa la fine del 2012; gli spostamenti sono poi ripresi, con valori elevati fino a fine 2014, per poi seguire un trend di movimento poco accentuato (quasi nullo nel periodo 2015-2017), ma graduale fino all'agosto 2023, anno in cui si verifica un brusca accelerazione; il 2024 vede il ritorno a valori di movimento contenuti (Fig.5).

Gli incrementi mostrano differenze sostanziali nei valori degli spostamenti nelle due zone fino al 2014: l'analisi dei movimenti consente di osservare una velocità media di circa 12 mm/anno per la deformazione profonda (sebbene non sia appropriato parlare di velocità media considerando la deformazione registrata nel 2010 con 30 mm/anno di spostamento), e circa 7 mm/anno per il movimento superficiale. Successivamente la fase di quiescenza o debole attività ha determinato un riallineamento del trend deformativo con valori globali simili nelle due zone e una generale

REMOVER 2008-2024

diminuzione degli spostamenti fino a 7 mm per la deformazione profonda e circa 4-5 mm per quella superficiale. Nel 2023 entrambi i tubi hanno mostrato spostamenti che in pochi mesi raggiungono quasi il 50% della risultante precedente. Tra il 2023 e il 2024 il trend si è invece riallineato a quello osservato fino ad agosto 2023.

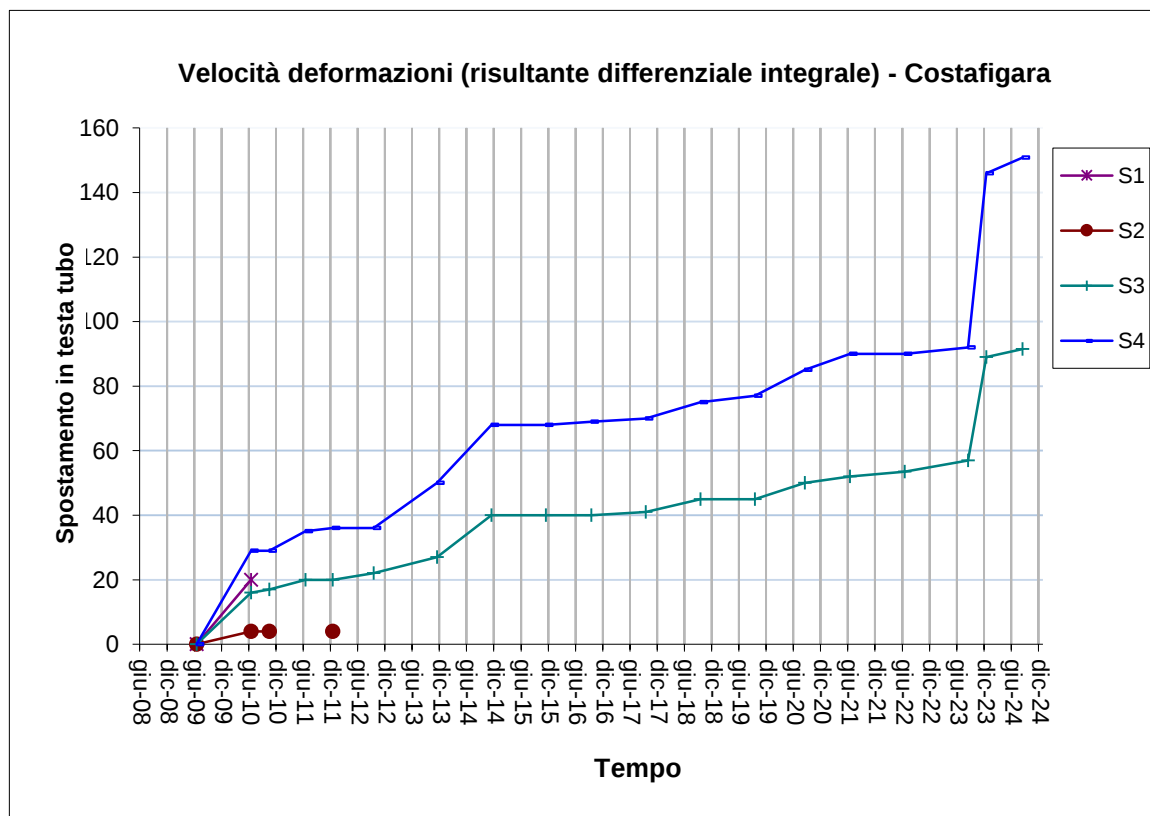


Fig. 5 - Velocità delle deformazioni nel periodo di monitoraggio 2009-2024 – linee di tendenza per S4 e S3.

4. Analisi dei dati inclinometrici 2009-2011

Inclinometro S1 (28 m) – centro abitato

Il monitoraggio dell'inclinometro è stato eseguito solamente con un'unica lettura oltre quella di riferimento poiché, in occasione del sopralluogo per effettuare la seconda lettura, si è potuta riscontrare la deformazione della tubazione tale da non consentire più la discesa della sonda pilota, rendendo la strumentazione non più utilizzabile. La strozzatura del tubo è localizzata a -19 m da p.c., in prossimità della superficie di scorrimento già rilevata nella lettura di giugno 2010 (Figg.6 e 7). L'unica lettura relativa a giugno 2010 ha mostrato un incremento dei valori in un anno pari a 20 mm in testa tubo in direzione W, coerentemente con l'orientazione del versante. L'elaborazione locale evidenzia la superficie di scorrimento a 18 m di profondità con uno spostamento localizzato di 20 mm; tutta la deformazione risulta concentrata a tale profondità, non interessando i livelli più superficiali.

REMOVER 2008-2024

Sito: COSTAFIGAR Tubo: S1

Elaborazione differenziale integrale dal basso

Riferimento 000:16/06/2009

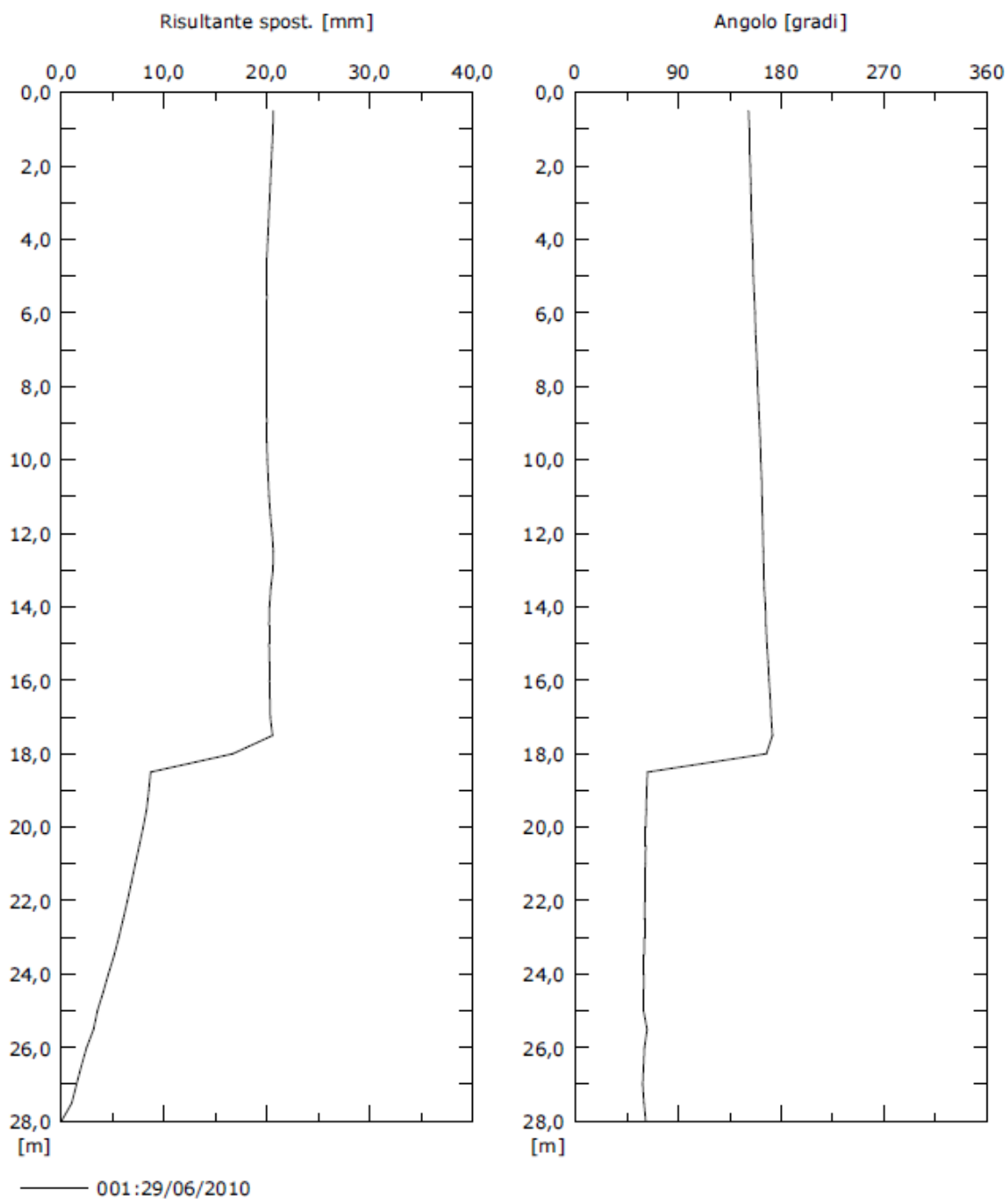


Fig. 6a - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) dell'inclinometro S1.

REMOVER 2008-2024

Sito: COSTAFIGAR Tubo: S1

Elaborazione differenziale locale dal basso

Riferimento 000:16/06/2009

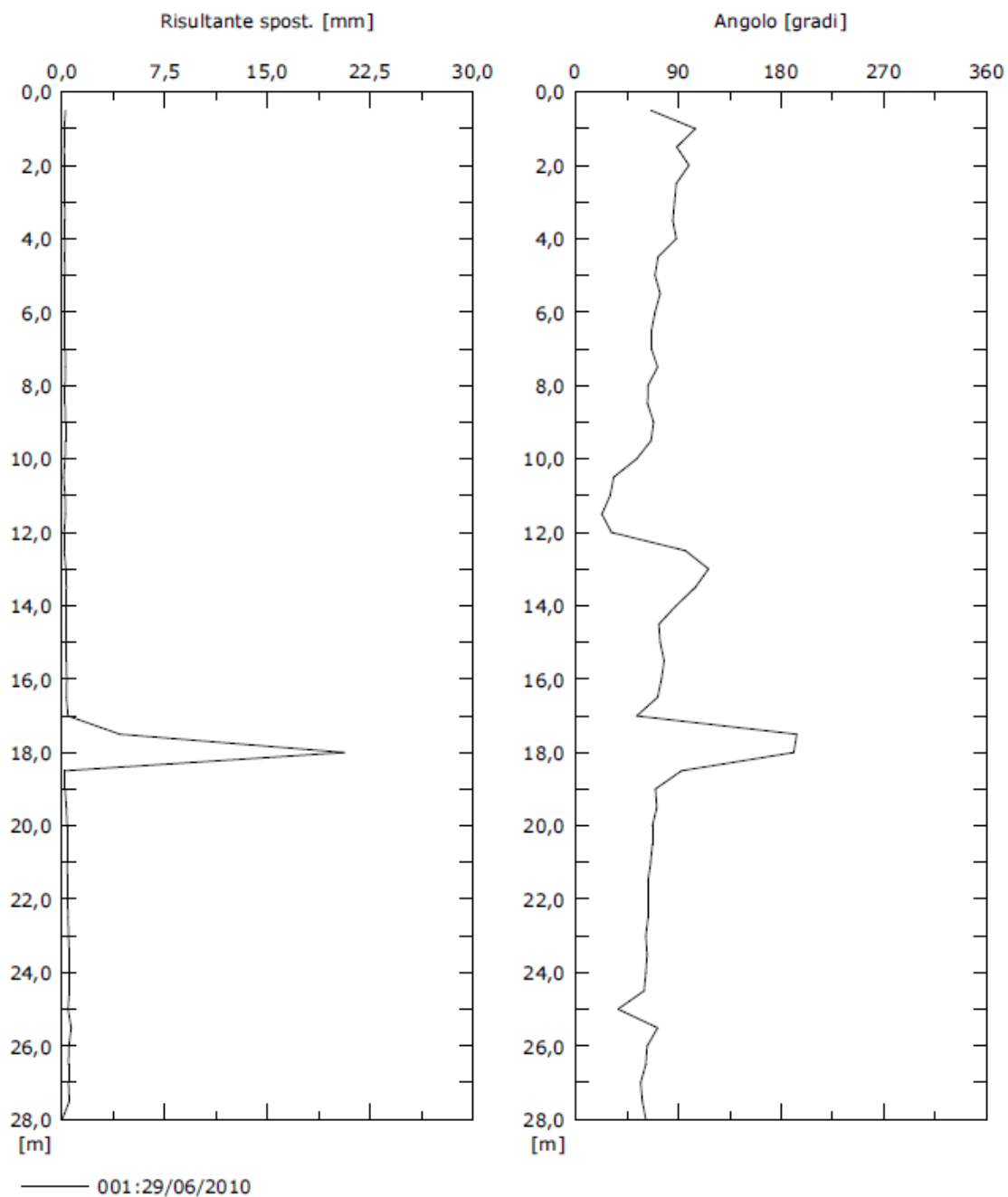


Fig. 6b - Grafici relativi all'elaborazione locale (spostamenti locali), dell'inclinometro S1.

REMOVED 2008-2024

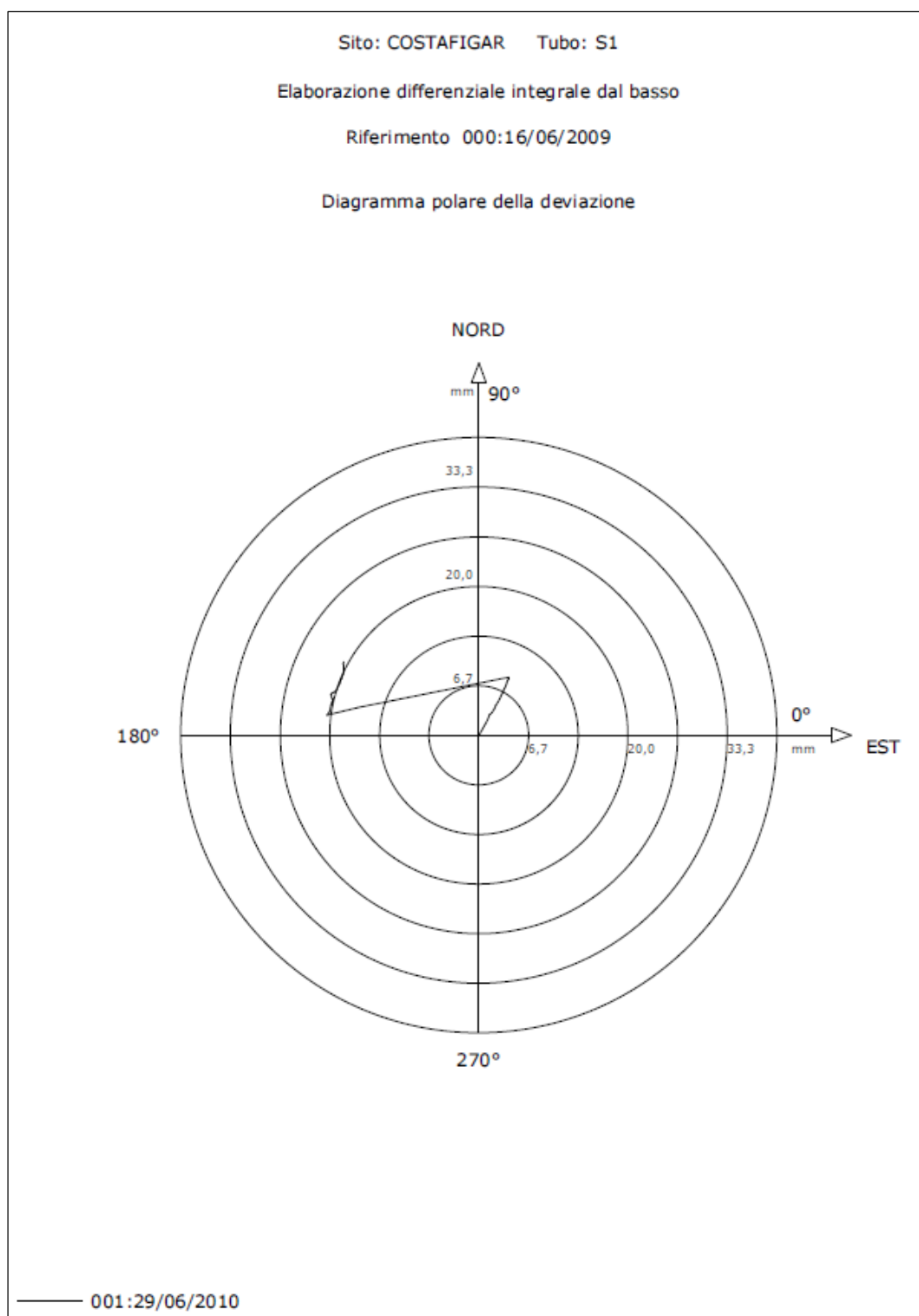


Fig. 7 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro S1.

REMOVER 2008-2024

Inclinometro S2 (23 m) – centro abitato

L'elaborazione integrale non ha fatto rilevare sostanziali spostamenti, ma un'oscillazione strumentale dei valori che sono risultati ampiamente al di sotto dei 5 mm. L'elaborazione differenziale locale ha sostanzialmente confermato questa situazione, anche se è necessario segnalare un innalzamento dei valori acquisiti sul terreno ed evidenziati nel grafico di elaborazione locale a partire dalla profondità di 3 m fino al piano campagna. In valore assoluto l'entità dello spostamento sembra trascurabile e al di sotto dell'incertezza strumentale (Fig.8).

REMOVER 2008-2024

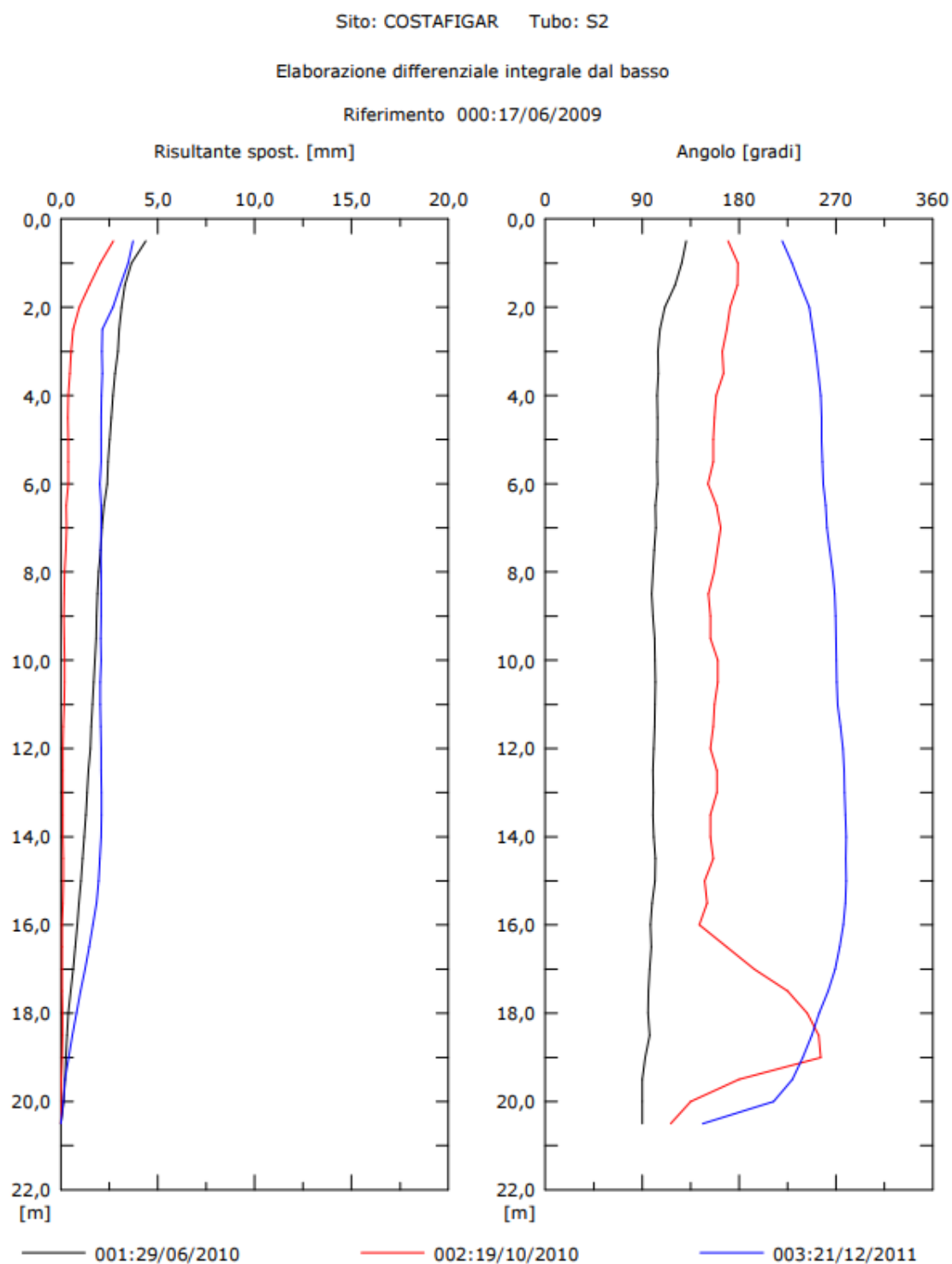


Fig. 8a - Grafici relativo all'elaborazione assoluta (risultante degli spostamenti) dell'inclinometro S2.

REMOVER 2008-2024

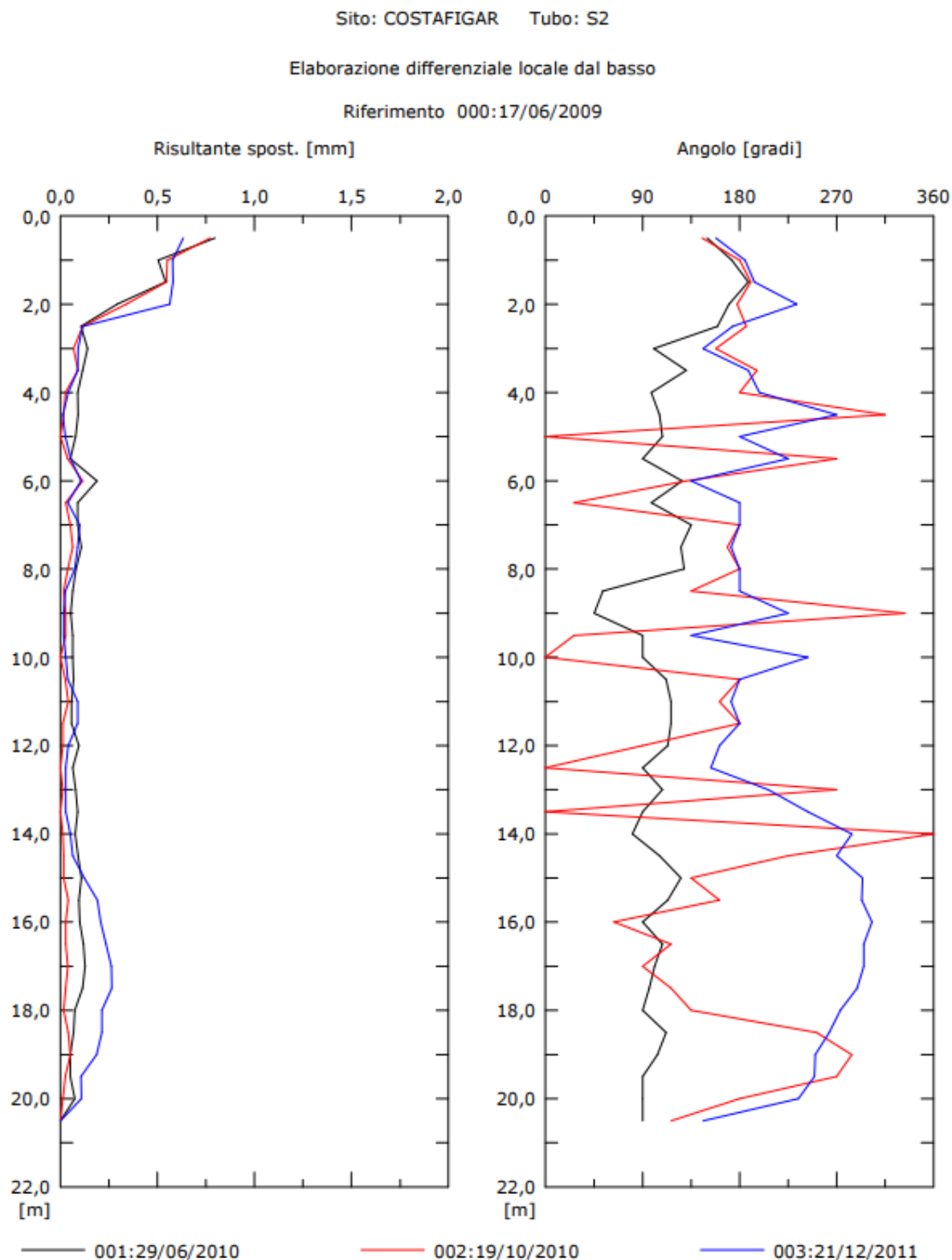


Fig. 8b - Grafici relativo all'elaborazione assoluta (risultante degli spostamenti) dell'inclinometro S2.

5. Analisi dei dati inclinometrici 2010-2024 (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 S3, S4	Sonda servoaccelerometrica biax. S222643

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

Inclinometro S3 (25.5 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 relativa al differenziale integrale evidenzia nell'agosto 2024 uno spostamento cumulato a testa tubo di circa 91.5 mm, con un incremento di quasi 2 mm rispetto alla lettura di dicembre 2023. Il differenziale locale si attesta su valori prossimi alla lettura del 2023, ricalcando i due picchi superficiali tra 2 m e 6 m di profondità da p.c., con spostamenti massimi pari a circa 24 mm. Il diagramma polare è coerente con quanto espresso dalle precedenti elaborazioni (azimut=270°) (Figg.9 e 10).

REMOVER 2008-2024

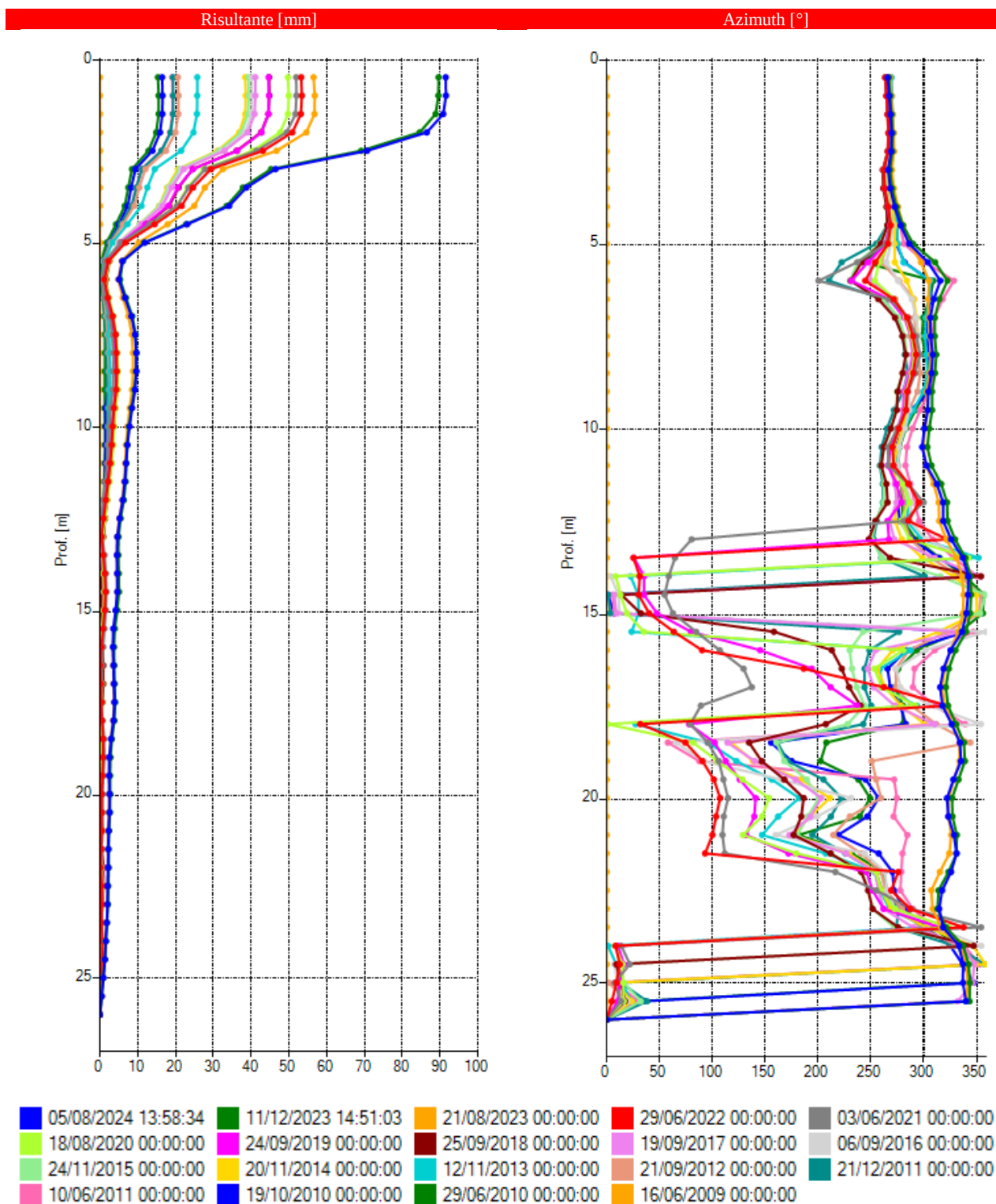


Fig. 9a - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) dell'inclinometro S3.

REMOVER 2008-2024

Variazione locale inclinazione [mm]

Azimuth [°]

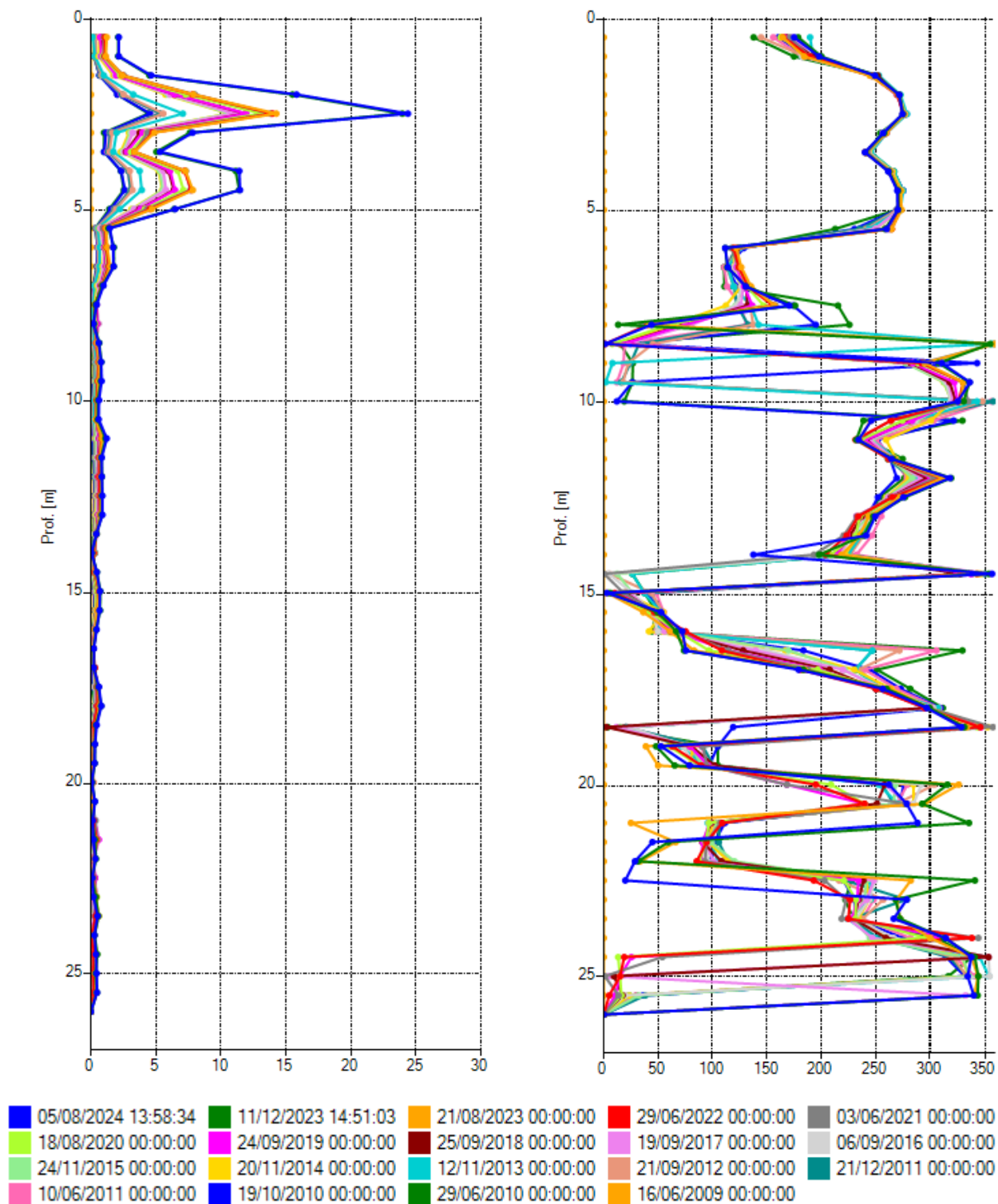


Fig. 9b - Grafici relativi all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro S3.

REMOVER 2008-2024

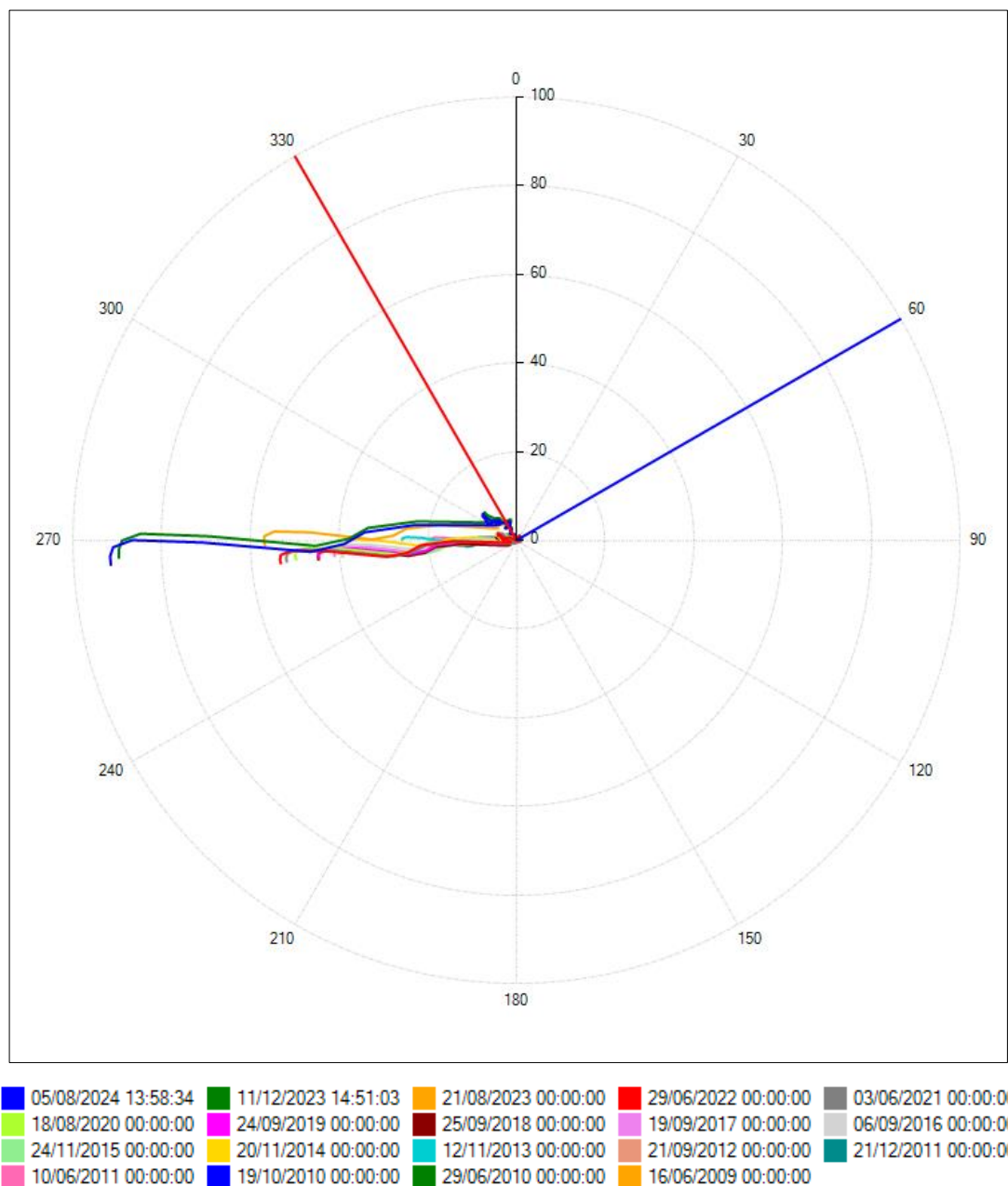


Fig. 10 – Diagramma polare relativo all'elaborazione differenziale integrale dell'inclinometro S3.

REMOVER 2008-2024

Inclinometro S4 (28 m) –centro abitato

La verifica dei dataset nell'anno 2024 attraverso i “checksum” e la “deviazione standard” non ha evidenziato anomalie strumentali nei cicli di letture effettuate. La curva relativa al differenziale integrale evidenzia uno spostamento cumulato pari a circa 151 mm, con un incremento di circa 3 mm rispetto alla lettura del dicembre 2023. Il differenziale locale mostra la superficie di scivolamento principale alla quota di circa 22 m da p.c. con uno spostamento di 40.6 mm, senza variazioni di rilievo rispetto alla lettura precedente del 2023. Il diagramma polare è coerente con quanto espresso dalle precedenti elaborazioni e indica una direzione di movimento con azimuth pari a 285° (Figg.11 e 12).

Lo spostamento avviene con un'alternanza di riattivazioni e stasi: si ricorda che la maggiore accelerazione si è verificata nel periodo giugno 2009-giugno 2010 con quasi 30 mm di spostamento, seguita negli anni successivi da altre riattivazioni di minore entità. Le letture 2015-2017 hanno consentito di osservare una fase di quiescenza, mentre a partire dal 2018 si è verificata la ripresa del movimento, acuitasi tra l'agosto e il dicembre 2023.

REMOVER 2008-2024

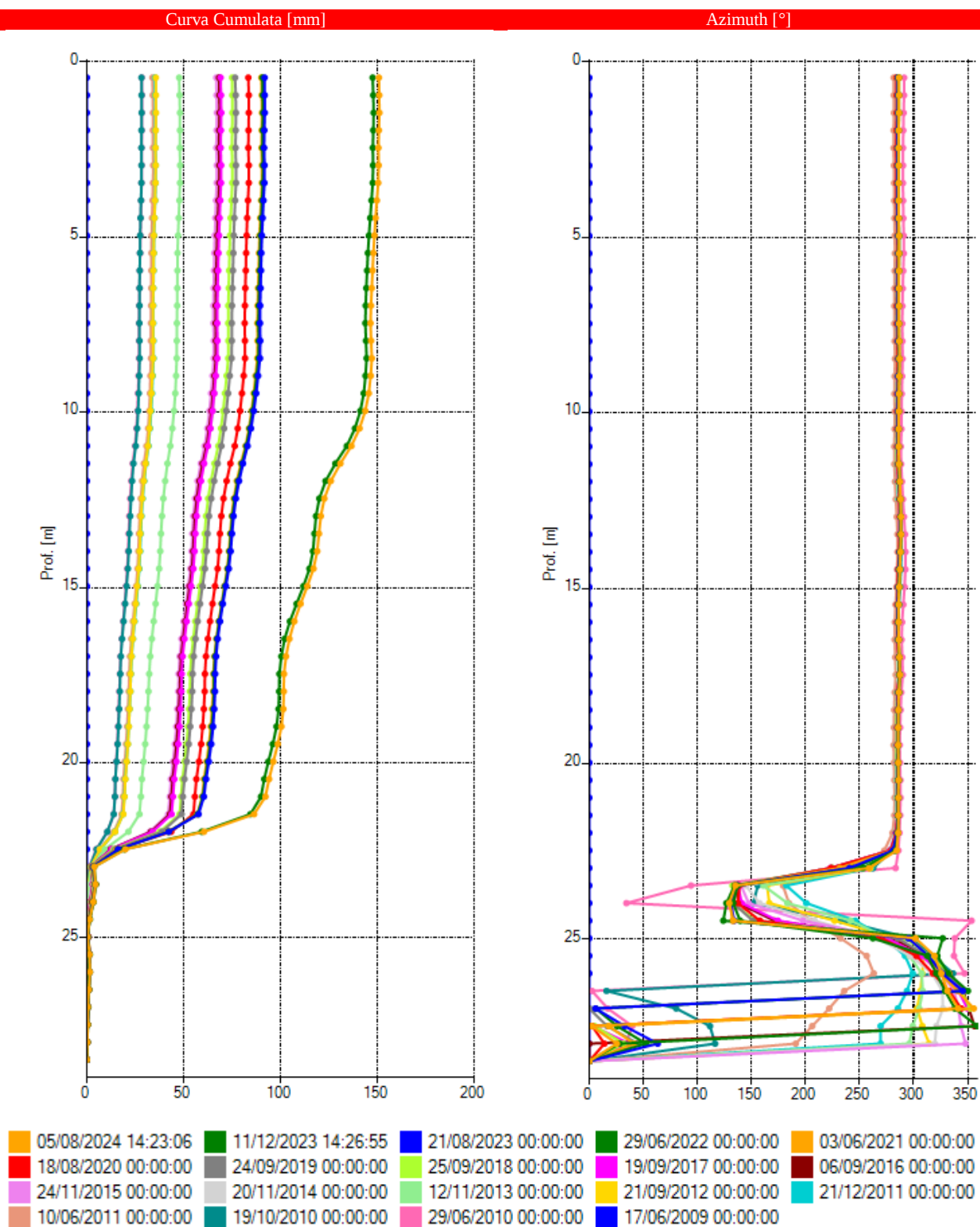


Fig. 11a - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) dell'inclinometro S4.

REMOVED 2008-2024

Variazione locale inclinazione [mm]

Azimuth [°]

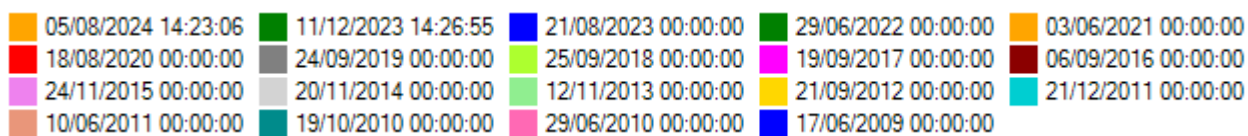
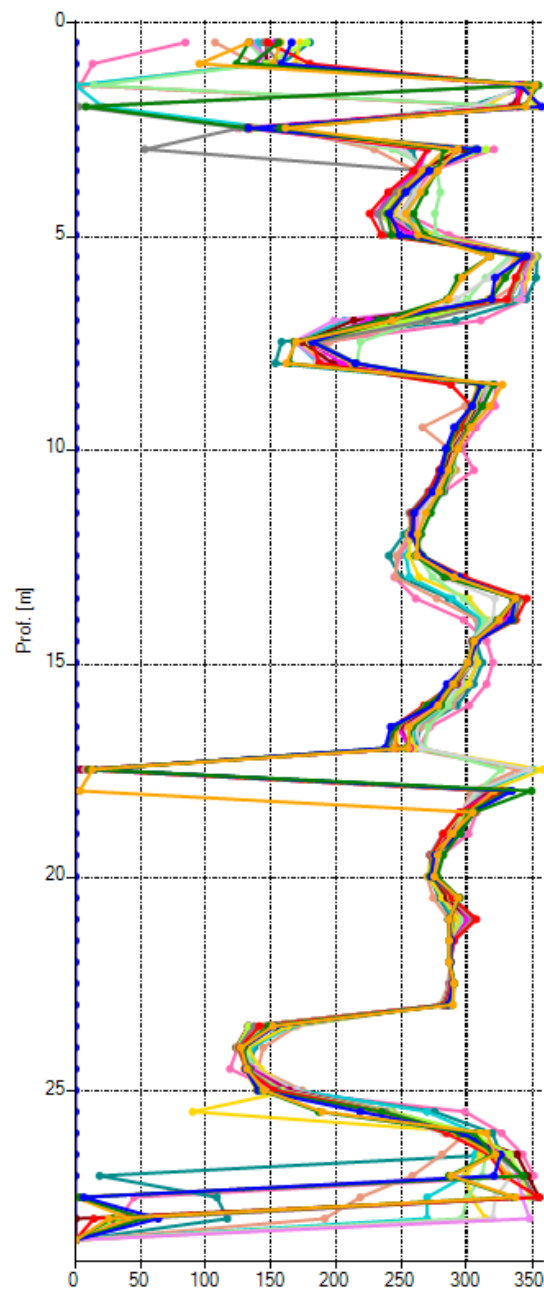
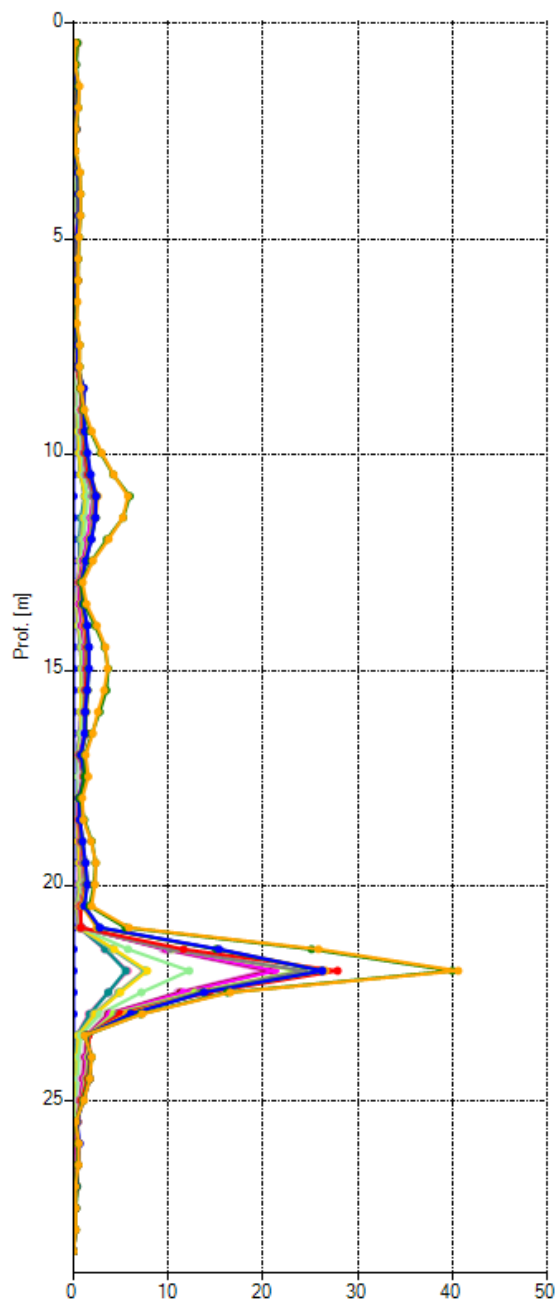


Fig. 11b - Grafici relativi all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro S4.

REMOVER 2008-2024

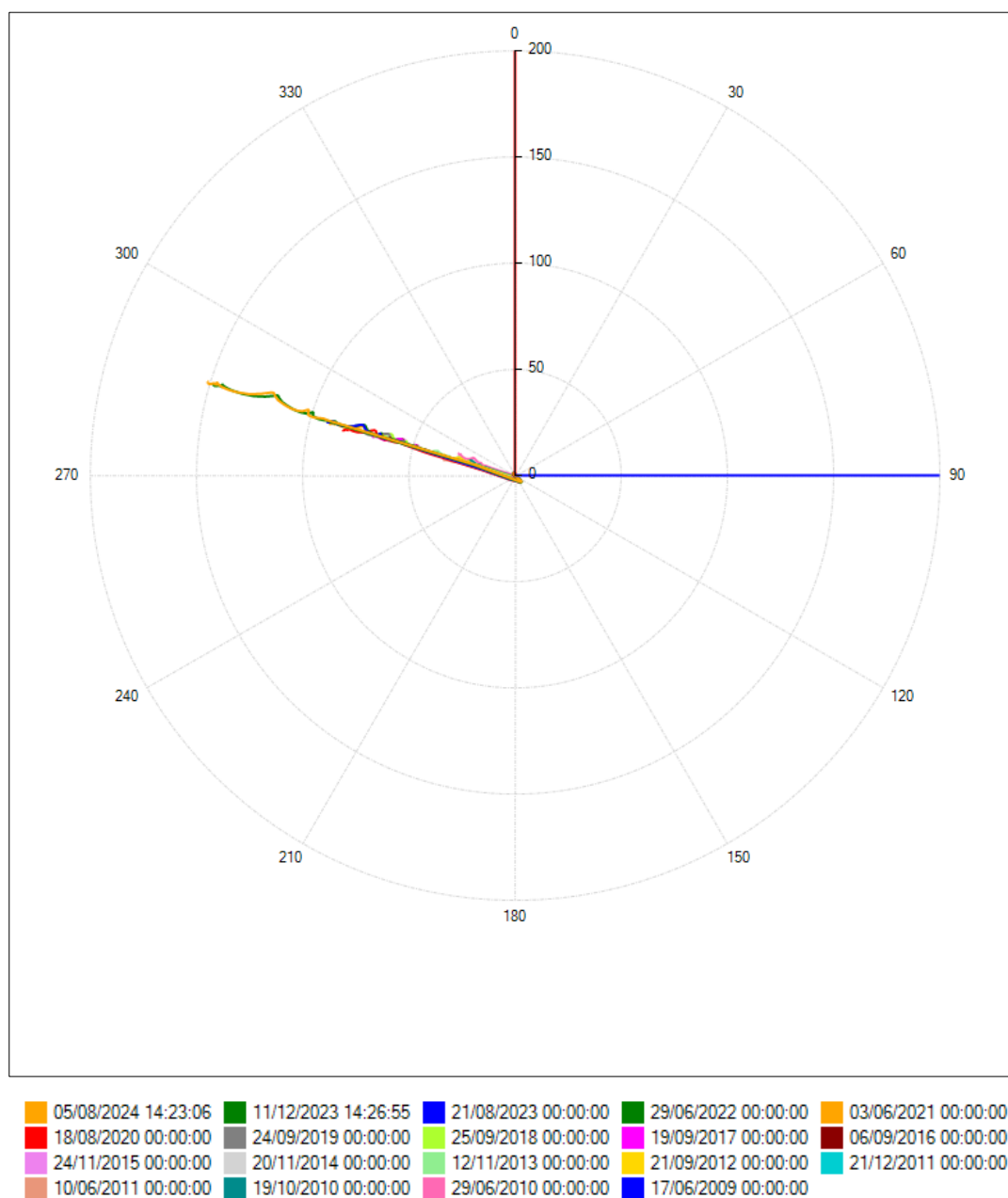


Fig. 12 - Diagramma polare relativo all'elaborazione differenziale integrale dell'inclinometro S4.

6. Conclusioni

Il monitoraggio piezometrico ha confermato la presenza di una falda di versante a profondità comprese tra -10 m e -15 m con un'escursione di 1-3 m, ad eccezione di quanto registrato durante le letture di giugno 2011, novembre 2013 e agosto 2024 con escursioni massime pari a 14 m su S8 e di 8 m su S7 (Fig.13). L'innalzamento del livello di falda si è verificato a seguito di precipitazioni intense e/o prolungate che hanno determinato presumibilmente l'immediata e conseguente deformazione del versante. Durante le letture del 2015 e del 2016, la circolazione idrica sotterranea sembra essere tornata ai livelli normali intorno a -14 m di profondità, con una discesa dei valori in concomitanza del periodo di quiescenza del versante. Durante la lettura fatta a fine settembre 2018, il piezometro S8 è risultato asciutto, mentre nel piezometro S7 la falda si attestava a una profondità di 12,17 m.

Dalla lettura del 2021, in S8 si evince una risalita della falda che si attesta intorno ai -10 m, mentre in S7 rimane pressoché costante intorno ai -12 m.

Dalla lettura eseguita nel 2023, il piezometro S7 si attesta alle misure dell'anno precedente, mentre S8 risulta asciutto. Nel 2024 la falda si attesta su livelli più superficiali, rispettivamente a -6.86 m e -5.02 m.

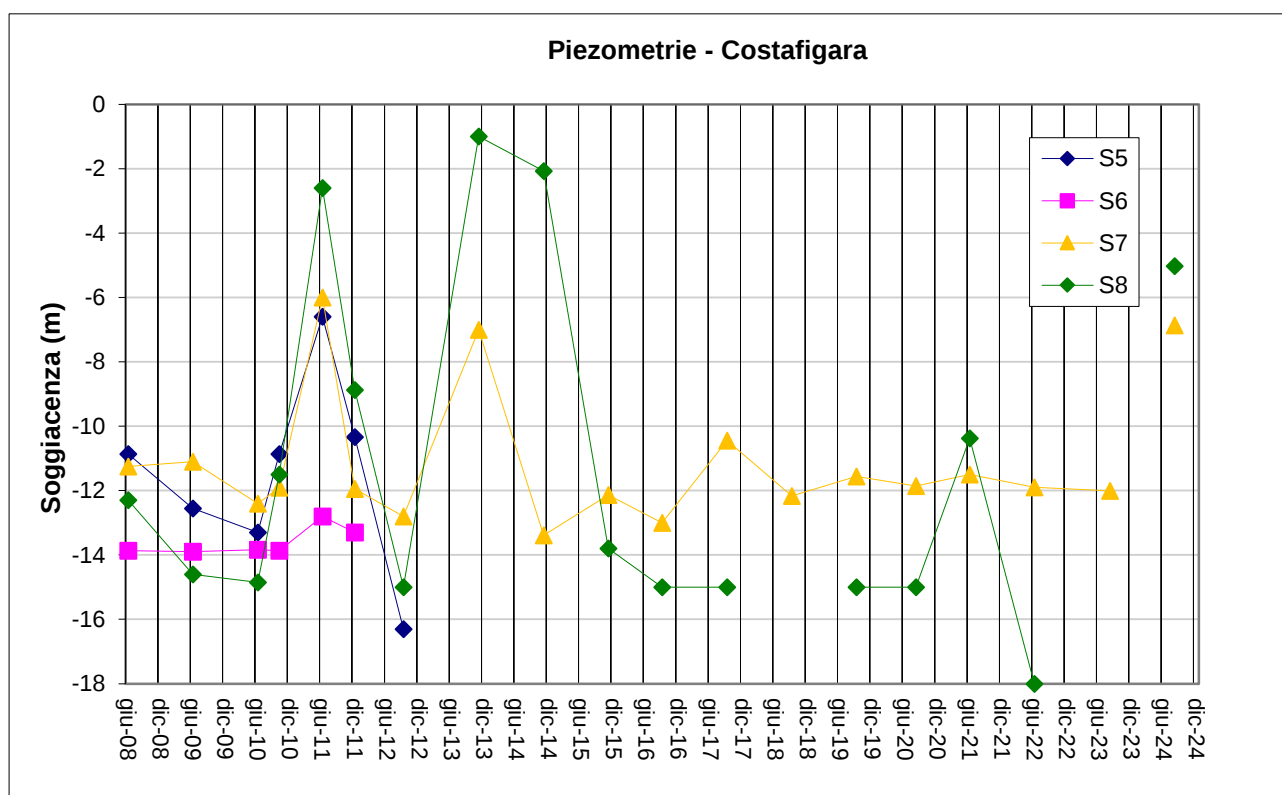


Fig. 13 - Soggiacenza della falda nel periodo di monitoraggio 2008-2024.

REMOVER 2008-2024

Considerando che il monitoraggio dal 2012 prevede una lettura annuale e quindi il lasso di tempo che trascorre da una lettura ad un'altra può comprendere periodo molto piovosi, si può osservare quanto segue: dopo un primo spostamento di una certa entità registrato nel giugno 2010 sia in profondità (S4) che in superficie (S3), verosimilmente da imputare alle precipitazioni cadute nei mesi di novembre e dicembre 2009, il versante ha attraversato una fase di quiescenza di circa 2 anni e mezzo in un regime pluviometrico, sia come intensità che come durata, nella norma. La riattivazione registrata a partire dal novembre 2013, continuata nel novembre 2014, potrebbe essere l'effetto verosimile di periodi piovosi con cumulate mensili prolungate nel tempo (periodo ottobre 2013-febbraio 2014), che culminano con il massimo raggiunto nel novembre 2014 con 561 mm.

Nel 2015 si sono verificati modesti apporti precipitativi che coincidono con la quiescenza del fenomeno gravitativo. Si segnala l'evento alluvionale verificatosi il 13 settembre 2015 con una precipitazione di circa 170 mm in due ore, cui però non sembra collegarsi alcuna risposta significativa in termini di movimento. Il 2016 vede un regime precipitativo di maggiore importanza rispetto al 2015 considerando le cumulate di febbraio (di oltre 300 mm) e novembre: nonostante ciò la lettura eseguita in settembre dimostra come il periodo di quiescenza continui. Per quanto riguarda il 2017 non si sono verificate grandi precipitazioni fino al periodo autunnale, in cui si sono registrate, nei mesi di novembre e dicembre, cumulate mensili rispettivamente di 246 mm e 282 mm (di cui quest'ultima 216/3gg). Gli anni successivi (2018, 2019 e 2020) vedono un regime pluviometrico nella norma (eccezion fatta per la grande anomalia meteo nel mese di novembre 2019) con spostamenti assenti o limitati. A seguito dell'evento meteo di novembre 2019 in cui si è riscontrata una cumulata mensile pari a 684 mm nel mese di novembre, si è riscontrato un incremento nei valori di spostamento. Negli anni 2021 e 2022 le piogge sono state esigue, con valori massimi di cumulata che non superano i 100 mm giornalieri, senza spostamenti importanti. Nel 2023 l'elaborazione delle due letture ha mostrato una chiara e consistente accelerazione del movimento in concomitanza con un periodo particolarmente piovoso registrato da settembre a dicembre: dopo questa sequenza di mesi caratterizzati da diversi eventi con piogge cumulate maggiori di 50 mm in meno di 5 gg, con punte di 268 mm ad ottobre e 291 mm a novembre, entrambi i tubi hanno mostrato spostamenti che in pochi mesi raggiungono quasi il 50% della risultante precedente. I primi mesi del 2024, in particolare febbraio e marzo, sono stati caratterizzati da importanti quantitativi di pioggia (rispettivamente 289 e 333 mm), a cui non sono corrisposti movimenti significativi del versante. Stessa cosa può dirsi per il mese di ottobre, durante il quale sono caduti 633 mm di pioggia, che non hanno influenzato significativamente la dinamica del versante (Figg. 13-14).

REMOVED 2008-2024

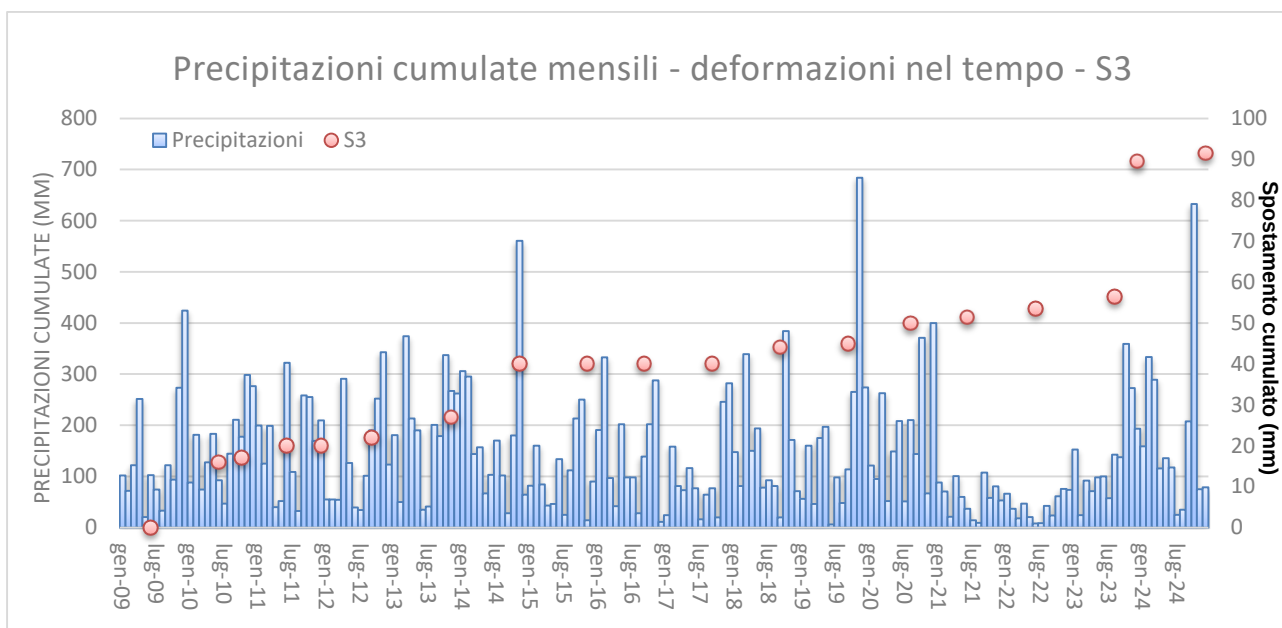


Fig. 14 – Andamento pluviometrico mensile (stazione LGIAC), letture inclinometriche S3 (periodo 2009-2024).

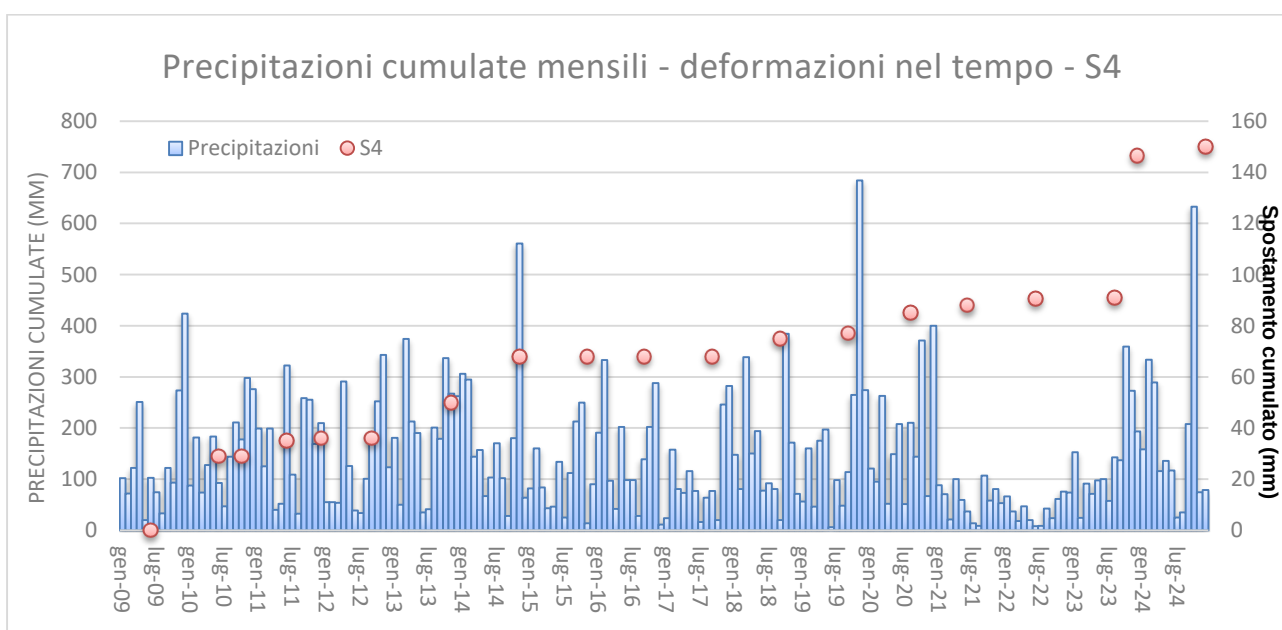


Fig. 15 – Andamento pluviometrico mensile (stazione LGIAC), letture inclinometriche S4 (periodo 2009-2024).