

GE003 - Campegli-Castiglione Chiavarese (GE)

1. Inquadramento del sito

Il nucleo abitativo di Campegli, nel comune di Castiglione Chiavarese (Città Metropolitana di Genova), sorge in un'area a debole pendenza, ove affiorano metagabbri e metabasalti in contatto con le serpentiniti dell'Unità Bracco-Graveglia (Fig.1), che costituisce la testata di una frana relitta originata con meccanismi di scorrimento roto-traslativo, così come la parte minore dell'abitato in destra del Rio Campegli. All'interno di questi corpi maggiori, sono state identificate frane minori recenti o attuali a prevalente tipologia di scorrimento traslativo soggette a periodiche attivazioni (*"Atlante dei Centri Abitati Instabili della Liguria"* – CNR- Prov. di Genova, 2004).

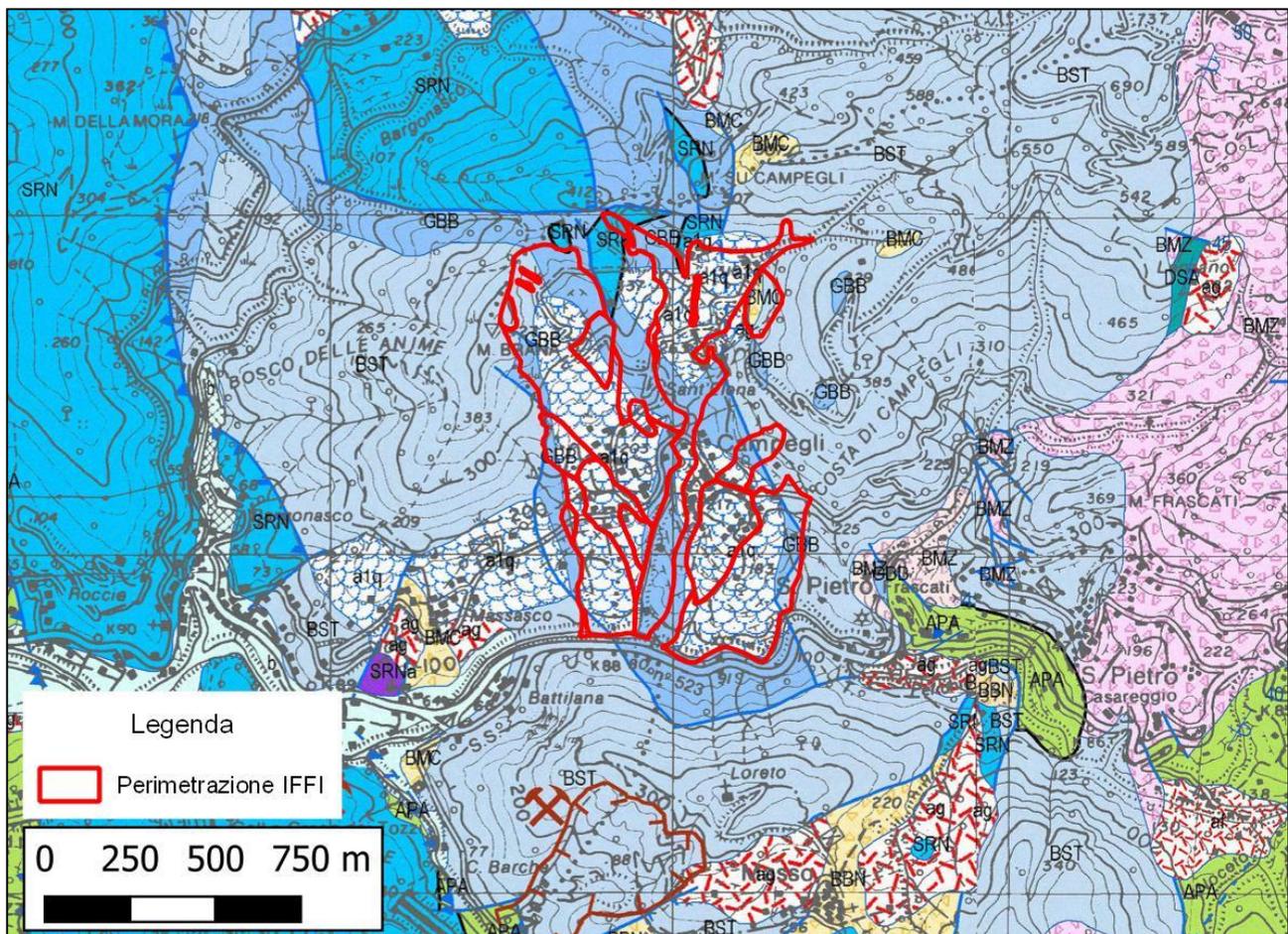


Fig. 1 - Stralcio della Carta Geologica d'Italia (progetto CARG) – Foglio "Sestri Levante" (scala originale 1:25.000).
a1q: depositi di frana antica. ag: depositi di versante costituiti da clasti grossolani spigolosi con matrice sabbiosa. af: depositi di versante costituiti da argille e limi argillosi con inclusi eterometrici di calcari, arenarie e argilliti. b: deposito alluvionale attuale. APA: argille a Palombini. DSA: diaspri del Monte Alpe. BMZ: brecce di Monte Zenone. BMC: brecce di Monte Capra. BBN: brecce di Casa Boeno. GBB: gabbri. SRN: serpentiniti. SRNa: serpentiniti brecciate con abbondanti vene di calcite. Per la legenda dei simboli e dei litotipi non riportati nel presente documento, far riferimento alla legenda della carta originale. Le aree interessate da instabilità ricadono all'interno del perimetro IFFI (linea rossa).

2. Campagne di indagine 2009-2018

Le seguenti installazioni (Fig. 2) ricadono all'interno dei corpi di frana, censiti nell'Inventario dei fenomeni franosi (Progetto IFFI – Piattaforma IdroGEO), come di seguito descritto:

Inclinometri: S9I, S7I (ex)

Tipo	Complesso
Stato	Quiescente generico
Identificativo	0100172101
Area [mq]	166150

Inclinometri: S4I (ex), S6

Tipo	Complesso
Stato	Attivo/riattivato/sospeso
Identificativo	0100172108
Area [mq]	29481

Inclinometri: SNAM4

Tipo	n.d.
Stato	Quiescente generico
Identificativo	0100172110
Area [mq]	9157

Inclinometri: S6I (ex)

Tipo	Scivolamento rotazionale/traslato
Stato	Quiescente generico
Identificativo	0100171902
Area [mq]	45453

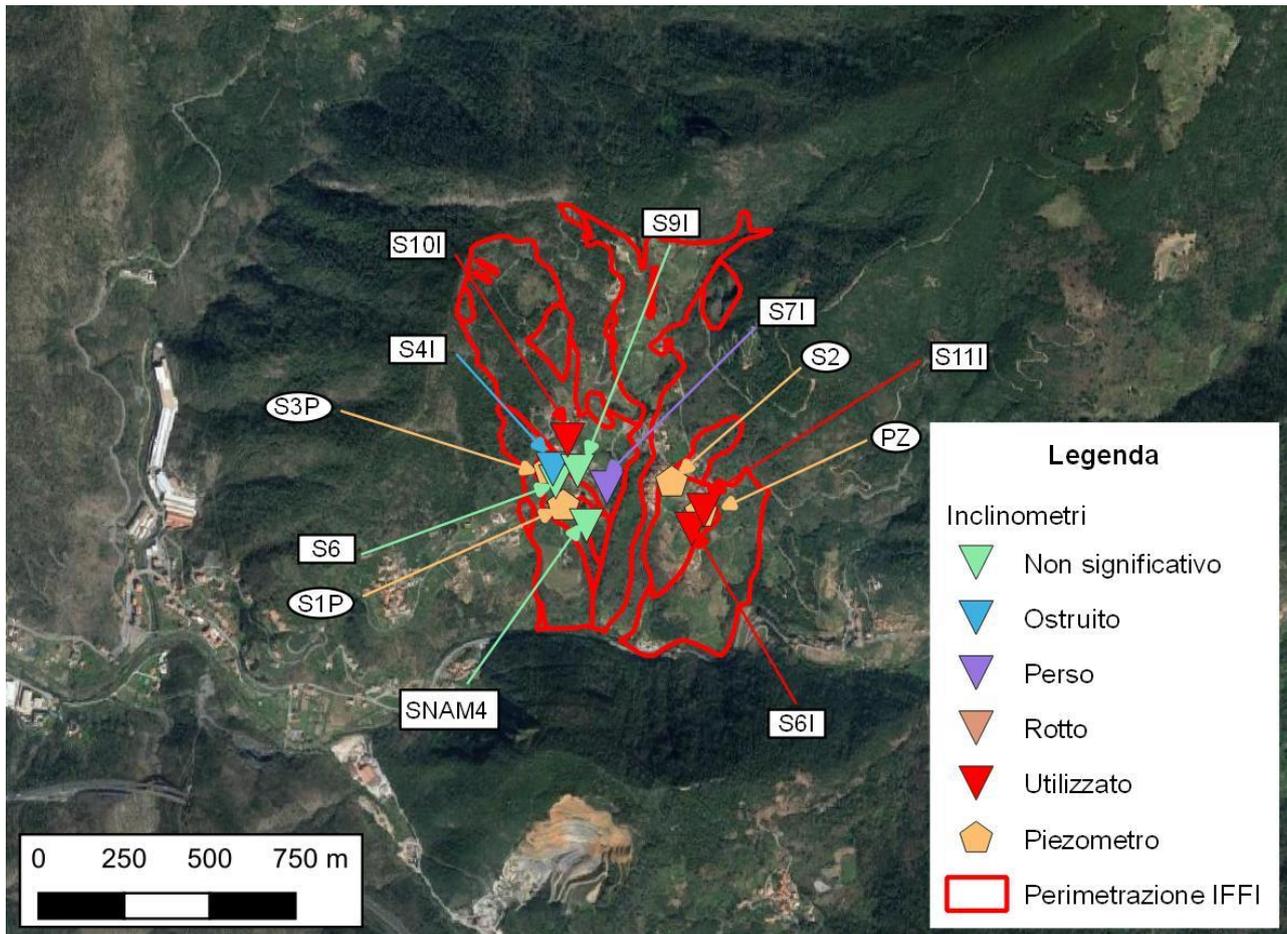


Fig.2 - Posizione della strumentazione installata nel corso degli anni, con particolare riferimento agli ultimi inclinometri letti (S10I, S11I).

A partire dall'anno 2009, sono stati monitorati diversi tubi inclinometrici posizionati all'interno del perimetro dei corpi considerati instabili. Nello specifico, la zona denominata "Lago" ad oggi risulta sprovvista di punti di misura rappresentativi, poiché gli inclinometri presenti non intercettano la superficie di scorrimento principale della frana (S6, S9I e SNAM4). L'unico tubo inclinometrico (S4I) che raggiungeva la superficie di scivolamento è stato reso inutilizzabile nel 2011. L'inclinometro S7I e il piezometro S1P risultano allo stato attuale non misurabili per la copertura del pozzetto in seguito al rifacimento della sede stradale.

Per migliorare la conoscenza della zona Lago, nel dicembre 2011 è stata eseguita una indagine geofisica con la metodologia MASW sul pendio ove risulta installato S4I. Dalla prova eseguita la stratigrafia sembra delineare tre strati sismici: da 0 a 7 metri di profondità si sviluppa uno strato a bassa velocità a cui si può attribuire la presenza di un accumulo detritico (coltre instabile), tra 7 e 23 m sembra delinearsi un bedrock sismico e da 23 a 35 m di profondità la velocità assume caratteri tipici di un basamento roccioso con buone caratteristiche geomeccaniche (Fig.3).

I due orizzonti ad elevata velocità sismica sono separati da un livello a bassa velocità, interpretabile come orizzonte roccioso a bassa qualità litotecnica.

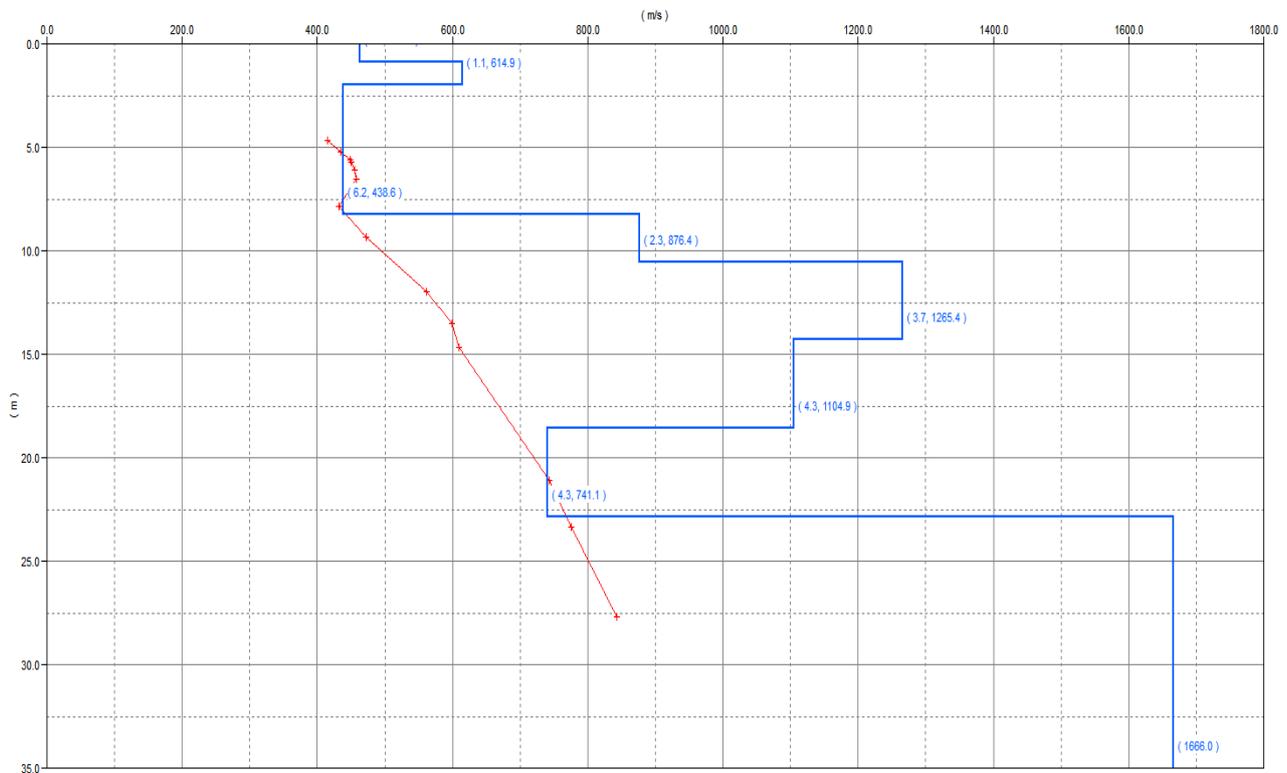


Fig.3 - Prova MASW eseguita lungo il pendio in frana: l'andamento delle velocità sismiche permette di ricavare la profondità della coltre detritica, del basamento ofiolitico disgregato (strato intermedio) e del substrato roccioso profondo interessato dalla discontinuità principale a - 35m da p.c.

Entrando nello specifico dei dati desunti dal monitoraggio nel periodo 2009-2011, si è osservata una deformazione non omogenea del versante della zona Lago: la zona più occidentale è stata caratterizzata da un movimento del versante che ha provocato la rottura di S4I a 35 m di profondità (avvenuta nel 2011), mentre nella zona immediatamente adiacente non sono stati registrati spostamenti particolari.

A questo proposito l'inclinometro S9I non ha rilevato alcun movimento, mentre più a valle le letture di S7I hanno individuato superfici di scorrimento più superficiali a profondità di circa 12-14 m in direzione S-SE, quindi non direttamente attribuibili al piano di scorrimento profondo. Tale quadro deformativo potrebbe indicare la presenza di due corpi geomorfologici distinti, già identificati da IFFI come indipendenti, separati in senso circa NW-SE e caratterizzati da una velocità e profondità di scorrimento differenti.

Per quanto riguarda l'area in cui è installato l'inclinometro S4I, integrando i dati inclinometrici con le risultanze dell'indagine MASW, si può ipotizzare che la massa in movimento coinvolga la coltre detritica, un livello superficiale del substrato, caratterizzato da un'intensa cataclasi, e un livello profondo del substrato: la superficie di scorrimento, rilevata a 35 m, si svilupperebbe quindi all'interno dell'ammasso ofiolitico tettonizzato smembrato da discontinuità regionali.

Nel 2018 il monitoraggio dell'abitato di Campegli ha visto la rottura definitiva dell'inclinometro "storico" S6I, evidenziando quindi un movimento continuo nel tempo: in particolare, la deformazione di tale settore è sempre stata caratterizzata da movimenti e pause con uno spostamento massimo pari a 33 mm (rilevato nel 2017) e da un gradino autunnale (2013) - primaverile (2014) durante il quale l'andamento della deformata ha evidenziato una velocità superiore all'andamento medio.

Di seguito vengono descritte nello specifico le risultanze dei monitoraggi ad oggi non più attivi.

3. Analisi dei dati inclinometrici (monitoraggio non attivo)

Inclinometro S4I (37.5 m) – centro abitato località Lago

Il monitoraggio è stato eseguito dal 2009 al 2011; durante il sopralluogo del 24 marzo 2011 è stata evidenziata la definitiva strozzatura dell'inclinometro alla profondità di -35 m da p.c., non rendendo pertanto possibile la prosecuzione delle letture. La deformazione della tubazione ed il peggioramento delle condizioni rispetto alla lettura di ottobre 2010 sono stati determinati da un incremento nello spostamento dell'ordine almeno del centimetro, tanto da non consentire più il passaggio della sonda inclinometrica; la conferma dell'ostruzione della tubazione è stata fornita dalle immagini della telecamera da foro (Fig.4). L'elaborazione differenziale integrale aveva evidenziato, nell'ultima lettura del 22/10/2010, uno spostamento massimo di circa 21 mm in testa tubo (11 mesi di monitoraggio) e una direzione azimutale S-SE (Figg.5 e 6). Tale situazione era stata confermata dall'elaborazione locale in cui si registrava la presenza di un massimo di spostamento a 35 m di profondità e un valore di deformazione di 11.3 mm.

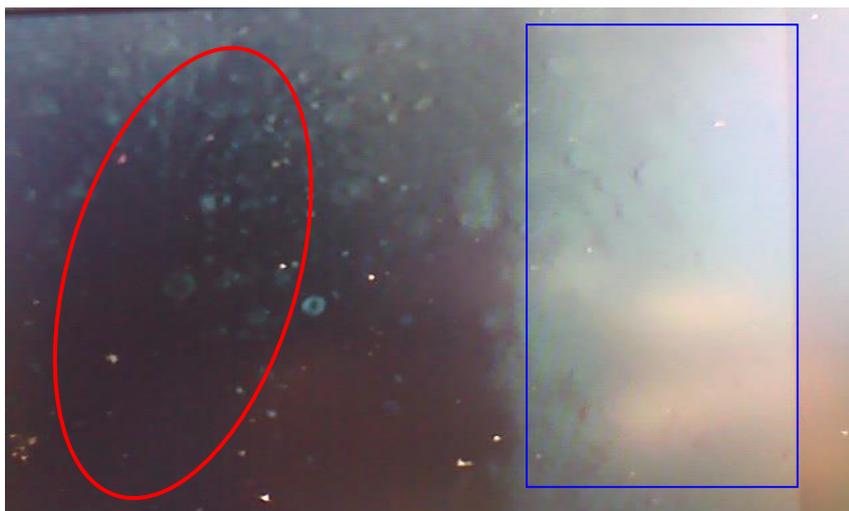
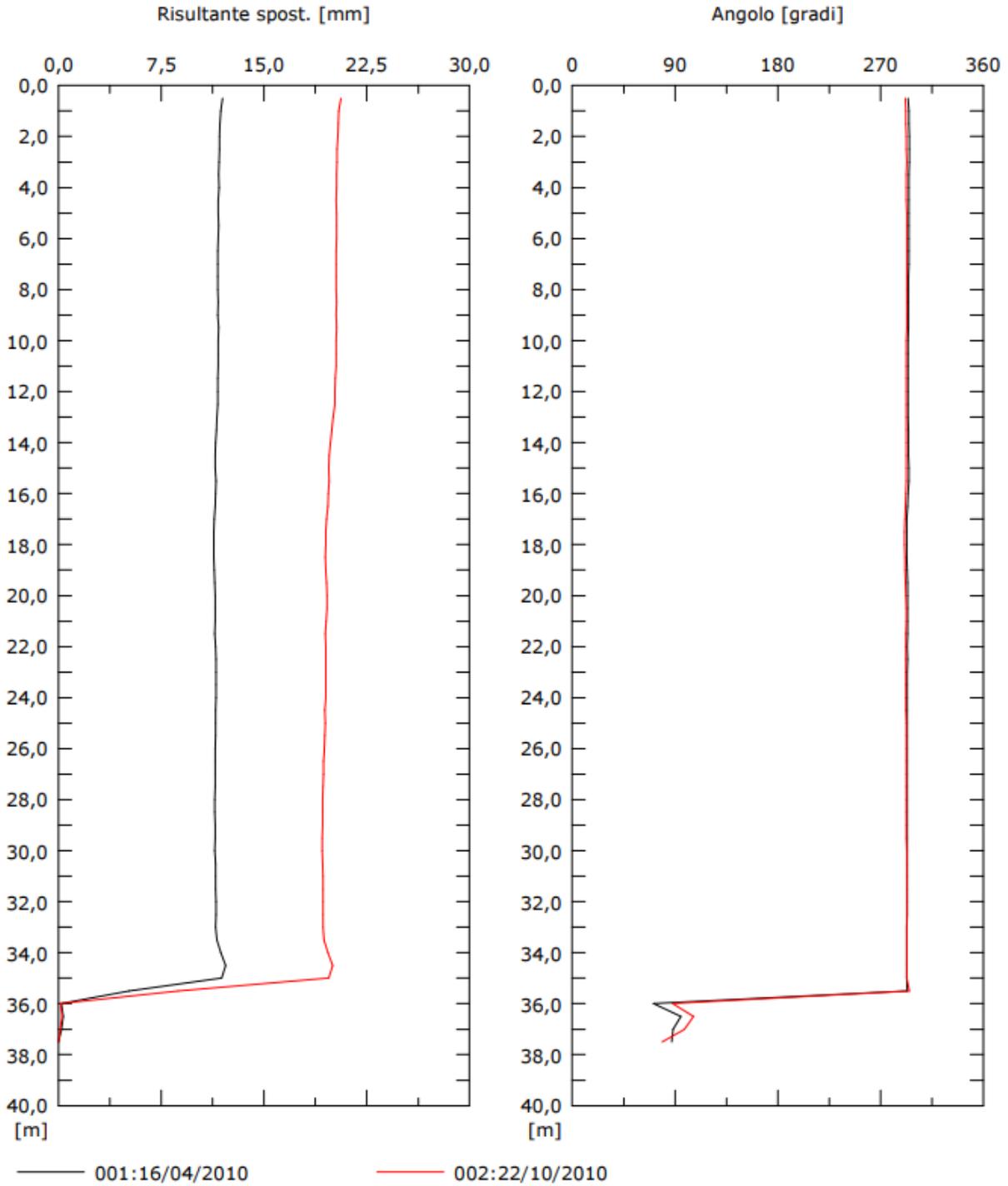


Fig.4 - Immagine rilevata dalla telecamera da foro a -35 m da p.c.: non si individua più la superficie circolare libera della tubazione ma un restringimento (la zona a sinistra della foto, evidenziata dal cerchio rosso), che rappresenta lo spazio ancora disponibile nella tubazione, non sufficiente a fare discendere una sonda inclinometrica; la zona chiara a destra della foto (rettangolo blu) rappresenta la parete della tubazione compressa dalla spinta del terreno

Sito: CAMPEGLI Tubo: S4I

Elaborazione differenziale integrale dal basso

Riferimento 000:19/11/2009



Sito: CAMPEGLI Tubo: S4I

Elaborazione differenziale locale dal basso

Riferimento 000:19/11/2009

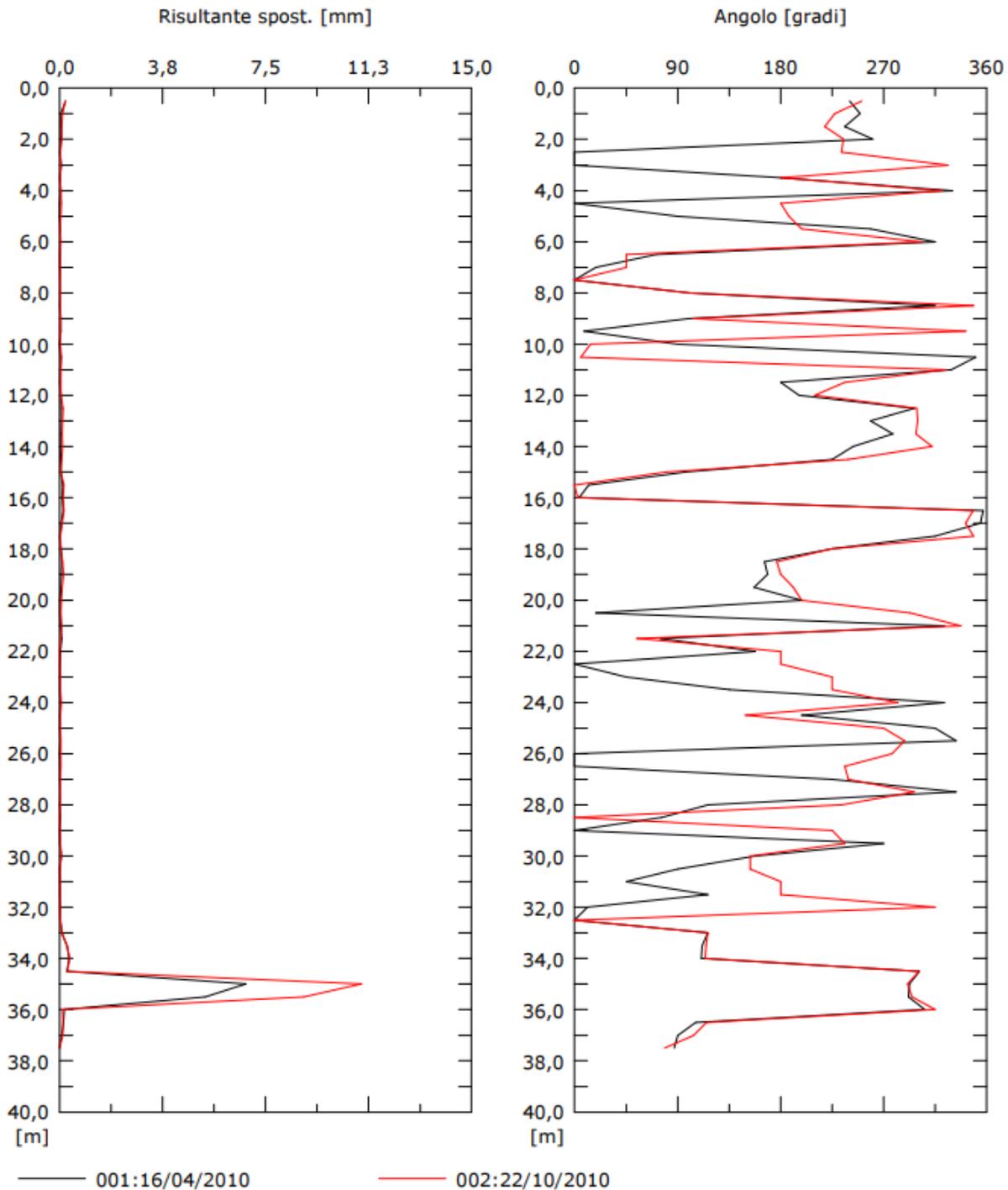


Fig. 5 - Grafici relativi (i) all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) (pagina precedente) e (ii) all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) (questa pagina), dell'inclinometro S4I.

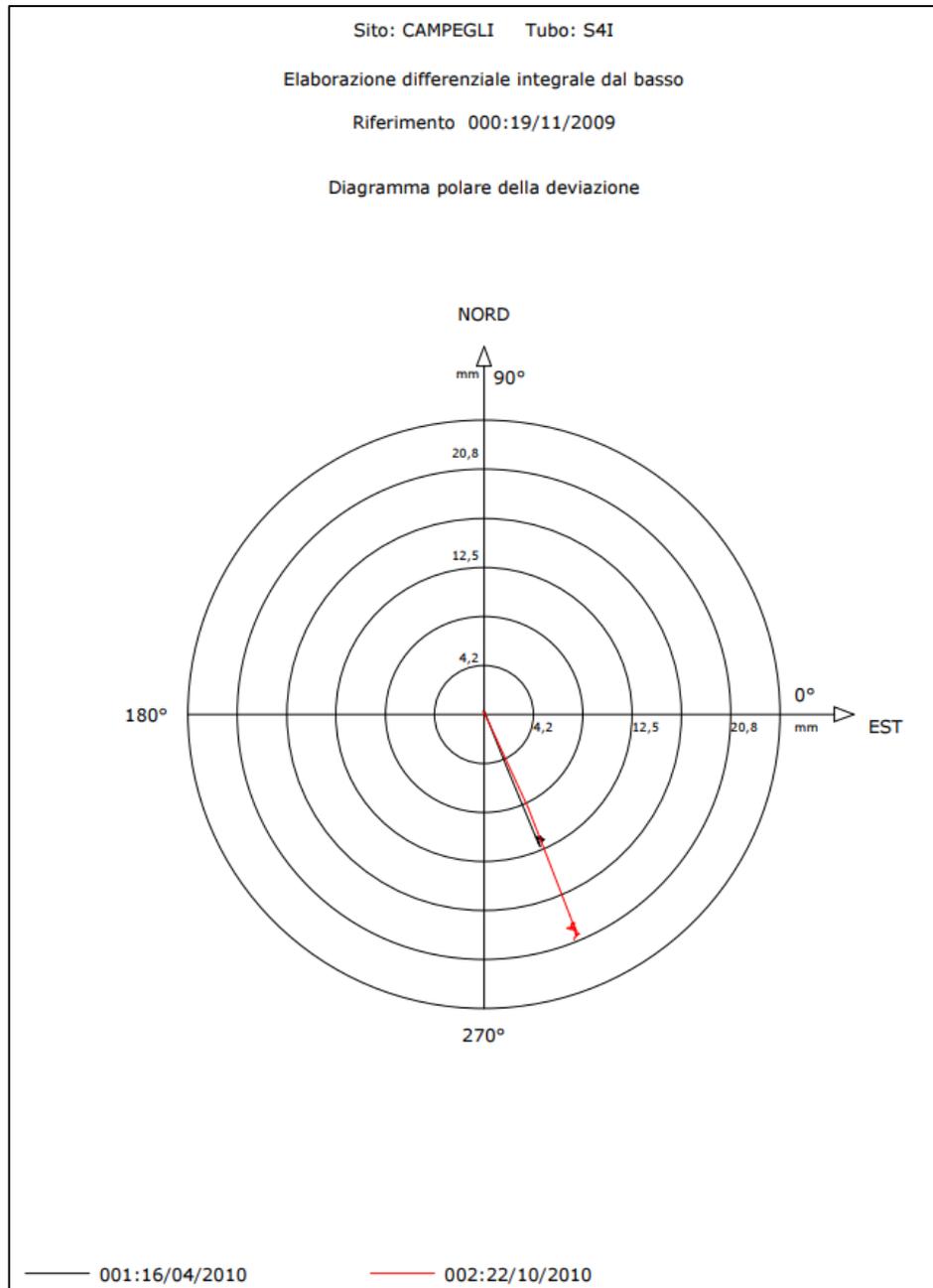


Fig.6 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro S4I

Inclinometro S6 (26.5 m) – centro abitato località Lago

Il monitoraggio, esteso dal 2009 al 2011, ha consentito di verificare, attraverso l'elaborazione differenziale integrale dal basso, l'assenza di spostamenti: complessivamente i dati elaborati hanno valori inferiori a 8 mm con assenza di zone di deformazione (Fig.7), così come rilevato anche dall'elaborazione differenziale locale. Si deve puntualizzare che la lunghezza limitata della tubazione potrebbe non identificare eventuali movimenti profondi, registrati più a monte da S4I, e conseguentemente potrebbe essere coinvolta in movimenti di traslazione.

Si concorda con Regione Liguria la sospensione delle letture a partire dal 2012.

Nel 2016 è stata eseguita una lettura di controllo per verificare eventuali nuove deformazioni: come si può osservare dall'elaborazione integrale e locale non si sono verificate deformazioni ragguardevoli, se non un leggero aumento dei valori lungo tutta la colonna inclinometrica.

Nel 2020 è stata effettuata un'ispezione con videocamera da foro durante la quale è stata riscontrata una deformazione dell'inclinometro a partire da -25 m fino a -27,50 m da p.c. evidenziata dalla presenza di un gradino lungo la parete del tubo inclinometrico (Fig.8).

Sito: CAMPEGLI Tubo: S6

Elaborazione differenziale integrale dal basso

Riferimento 000:17/11/2009

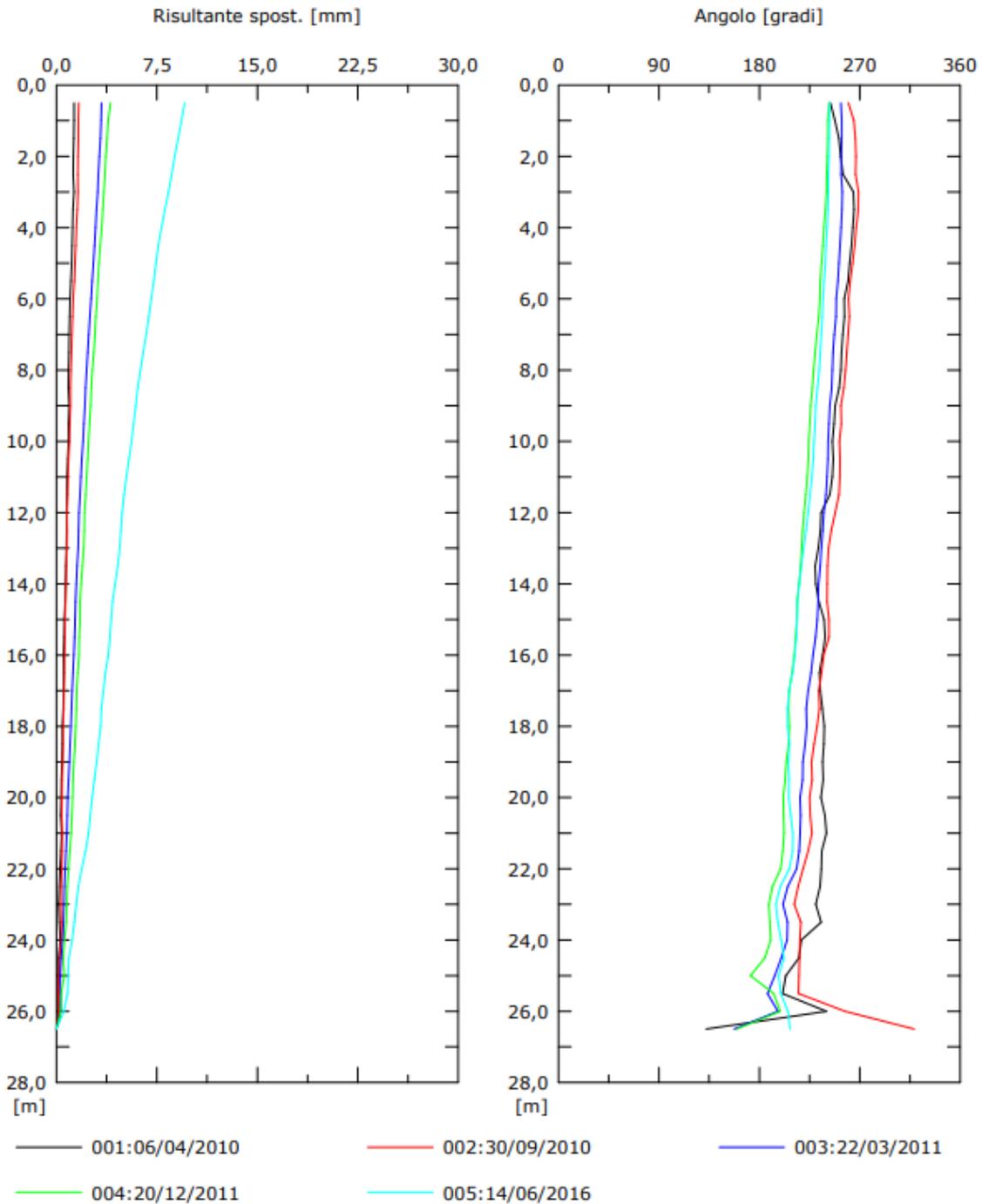


Fig. 7a - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) dell'inclinometro S6.

Sito: CAMPEGLI Tubo: S6

Elaborazione differenziale locale dal basso

Riferimento 000:17/11/2009

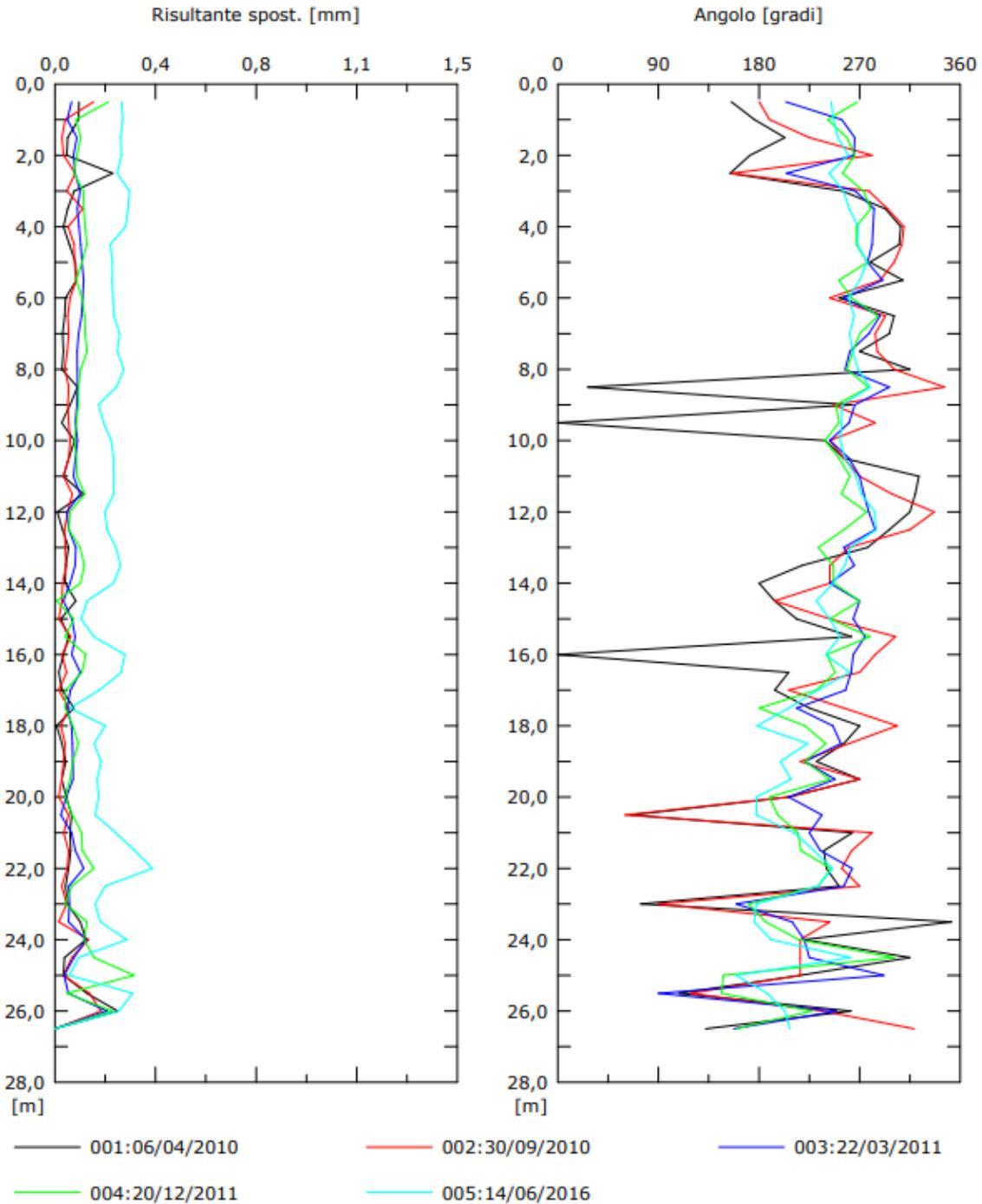


Fig. 7b - Grafici relativi all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) (questa pagina), dell'inclinometro S6.



Fig.8: deformazione con gradino a -27,50 m da p.c. in S6.

Inclinometro S7I (19 m) – centro abitato località Lago

Il monitoraggio esteso dal 2009 al 2011 ha consentito di verificare, attraverso l'elaborazione differenziale integrale dal basso, l'assenza di spostamenti rilevanti: tale elaborazione ha infatti evidenziato uno spostamento massimo di circa 8 mm in testa tubo e una direzione azimutale verso S, in accordo con la morfologia del versante. Sebbene i valori registrati non siano elevati, le deformate hanno evidenziato una zona di deformazione a partire da 12 m fino a circa 15 m di profondità, mentre i livelli superiori risultano allo stato attuale esenti da deformazioni (Figg.9 e 10). Le deformate locali hanno confermato la presenza della deformazione principale con un picco in evoluzione a 14.5 m di profondità. Si sono segnalate deformazioni diffuse lungo tutto l'asse della tubazione inclinometrica rilevate con la sonda pilota. L'installazione non è risultata più rintracciabile a causa del rifacimento del manto della sede stradale e il monitoraggio è stato quindi sospeso. La rappresentatività dello strumento era già stata in ogni caso messa in dubbio nel periodo del monitoraggio.

Sito: CAMPEGLI Tubo: S7I

Elaborazione differenziale integrale dal basso

Riferimento 000:17/11/2009

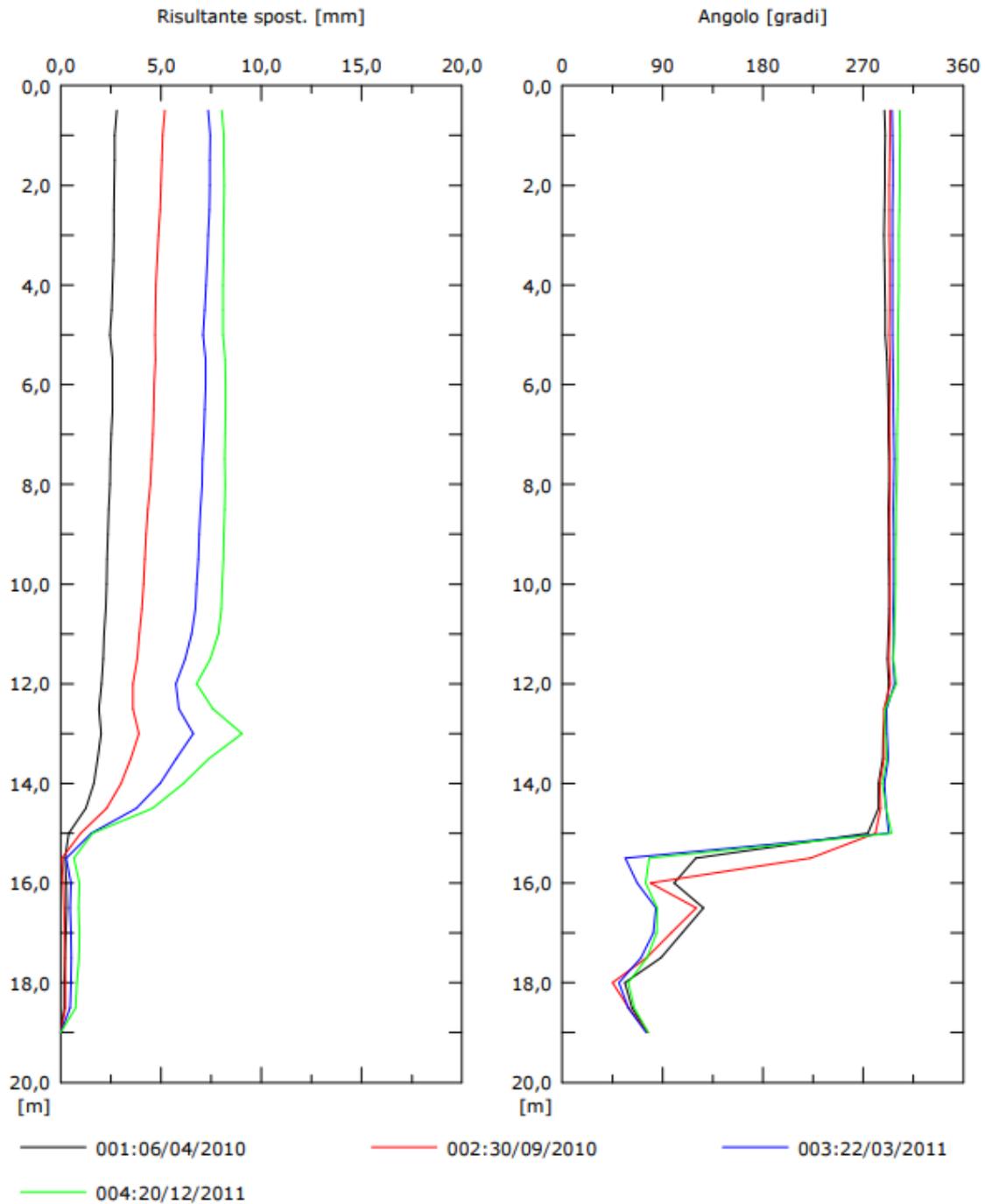


Fig.9a - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) dell'inclinometro S7I.

Sito: CAMPEGLI Tubo: S71

Elaborazione differenziale locale dal basso

Riferimento 000:17/11/2009

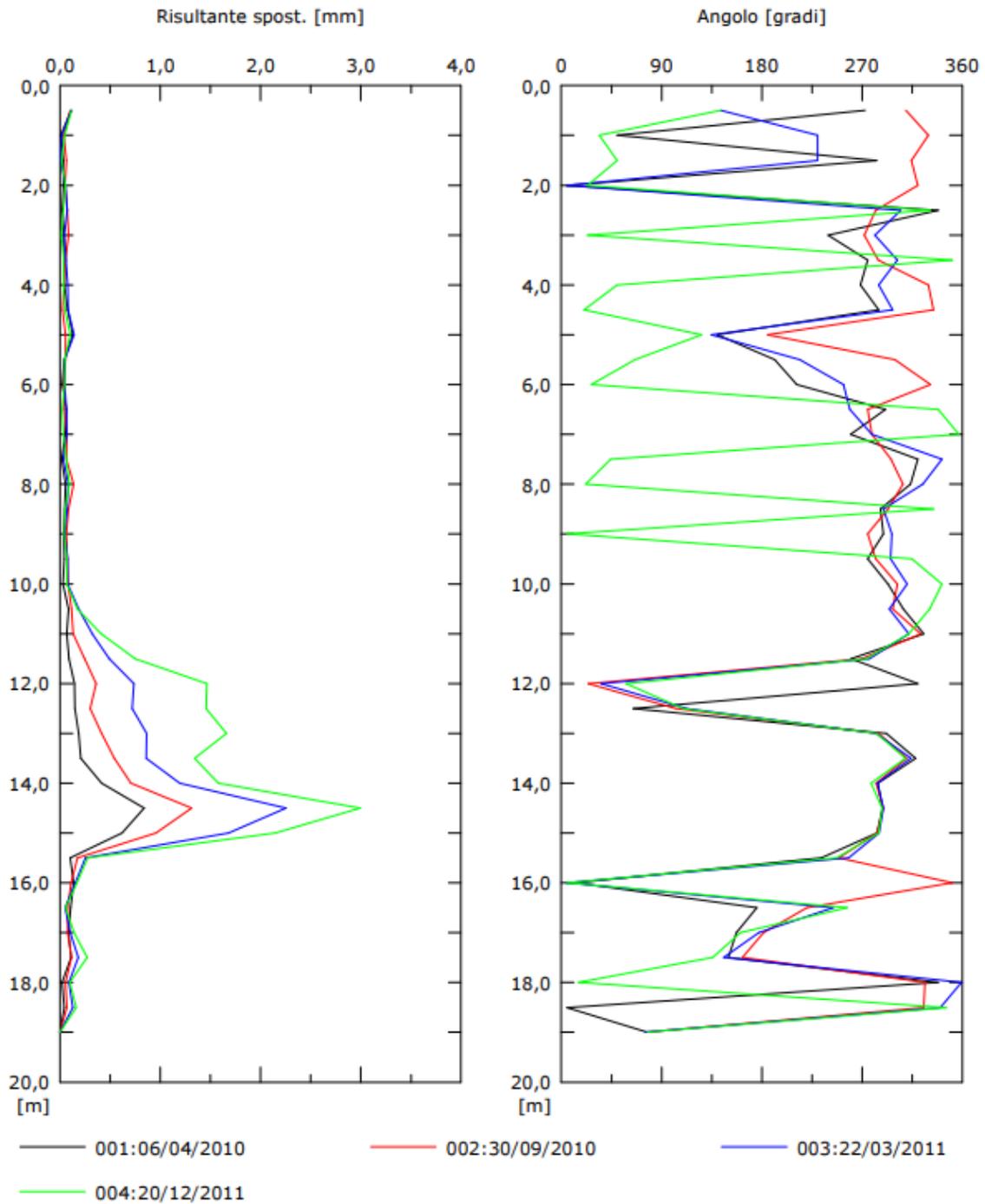


Fig.9b - Grafici relativi all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro S71.

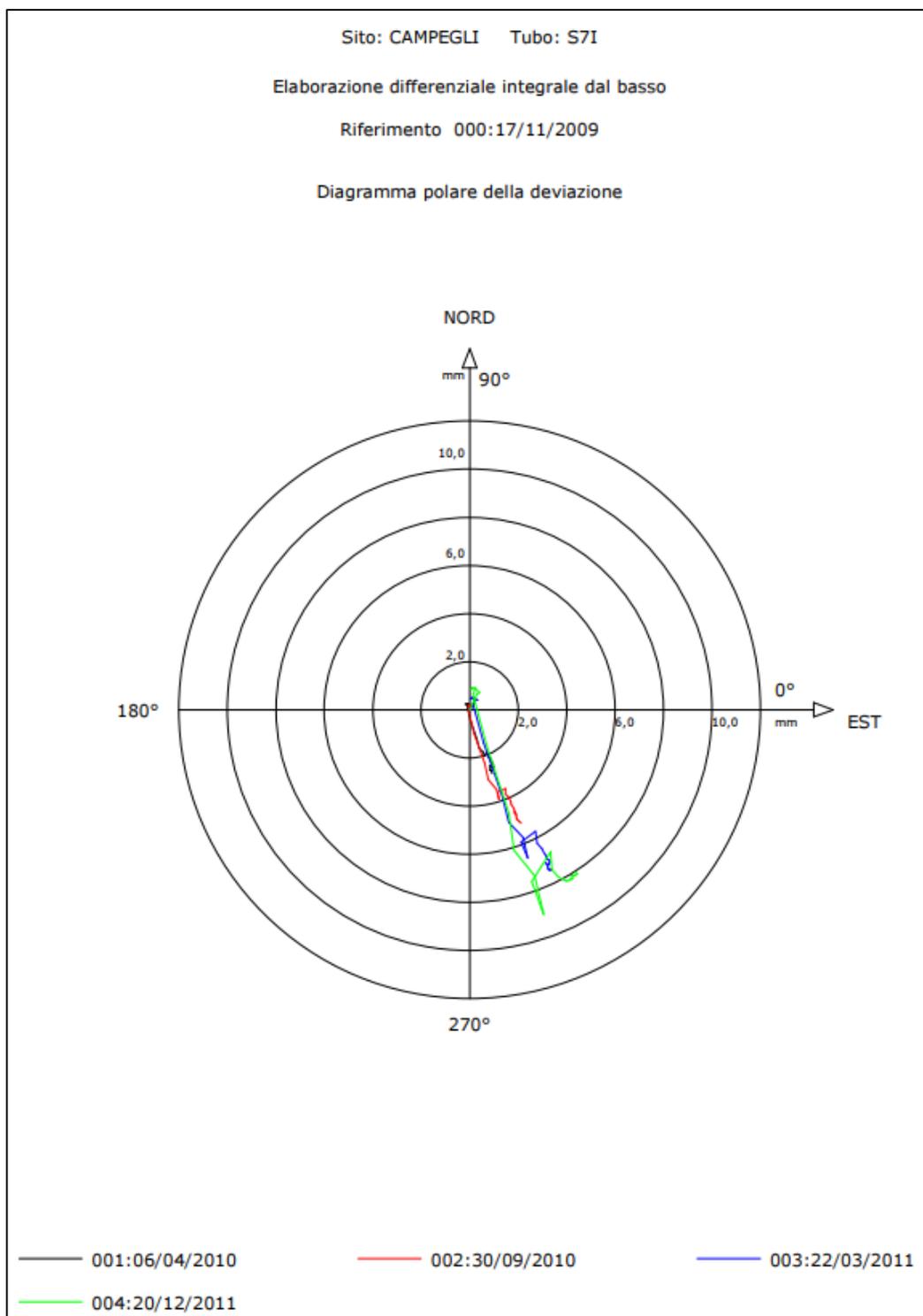


Fig.10 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro S7I

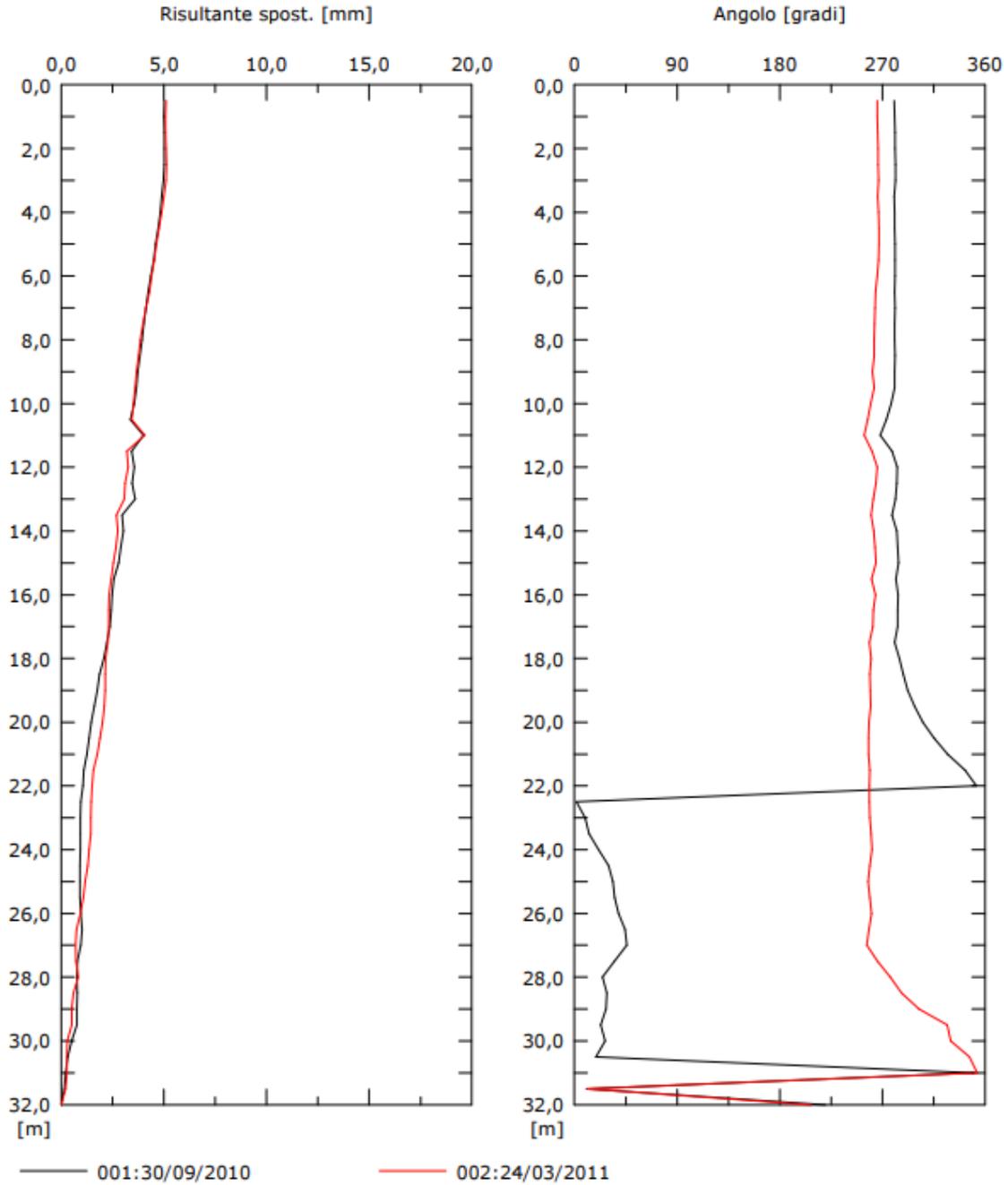
Inclinometro S9I (32 m) – centro abitato località Lago

Il monitoraggio eseguito negli anni 2009-2011 non ha fornito indicazioni particolari: l'elaborazione differenziale integrale dal basso ha infatti evidenziato uno spostamento massimo di circa 5 mm in testa tubo e i valori risultano contenuti entro l'incertezza strumentale. Dall'elaborazione locale non si evince quindi alcun elemento circa un eventuale movimento dell'areale (Fig.11). Poiché la lunghezza dello strumento non sembra essere rappresentativa, si è concordato con Regione Liguria la sospensione del monitoraggio e la sostituzione con il nuovo inclinometro S10I.

Sito: CAMPEGLI Tubo: S9I

Elaborazione differenziale integrale dal basso

Riferimento 000:24/11/2009



Sito: CAMPEGLI Tubo: S91

Elaborazione differenziale locale dal basso

Riferimento 000:24/11/2009

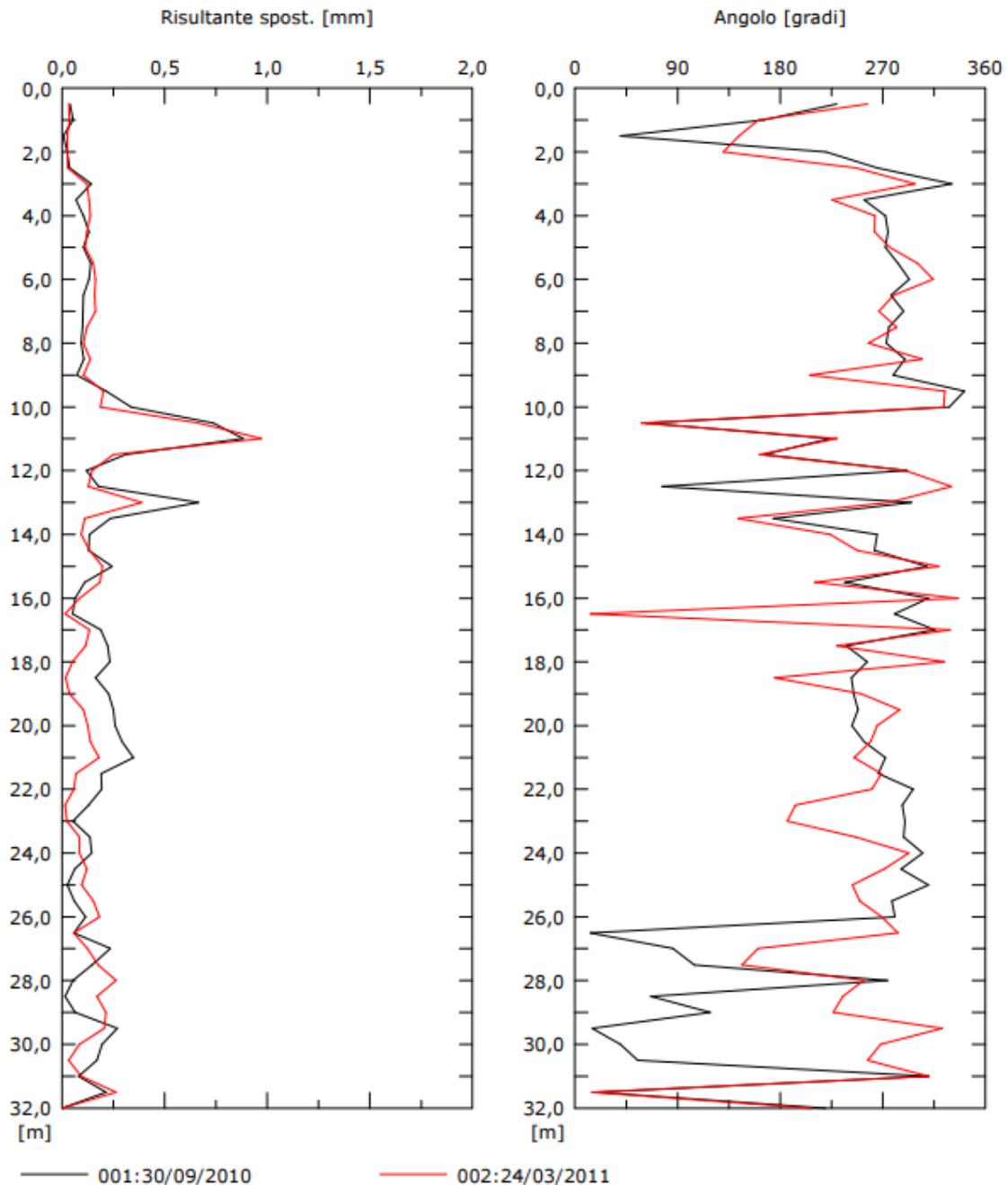


Fig.11 - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) (pagina precedente) e all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) (questa pagina), dell'inclinometro S91.

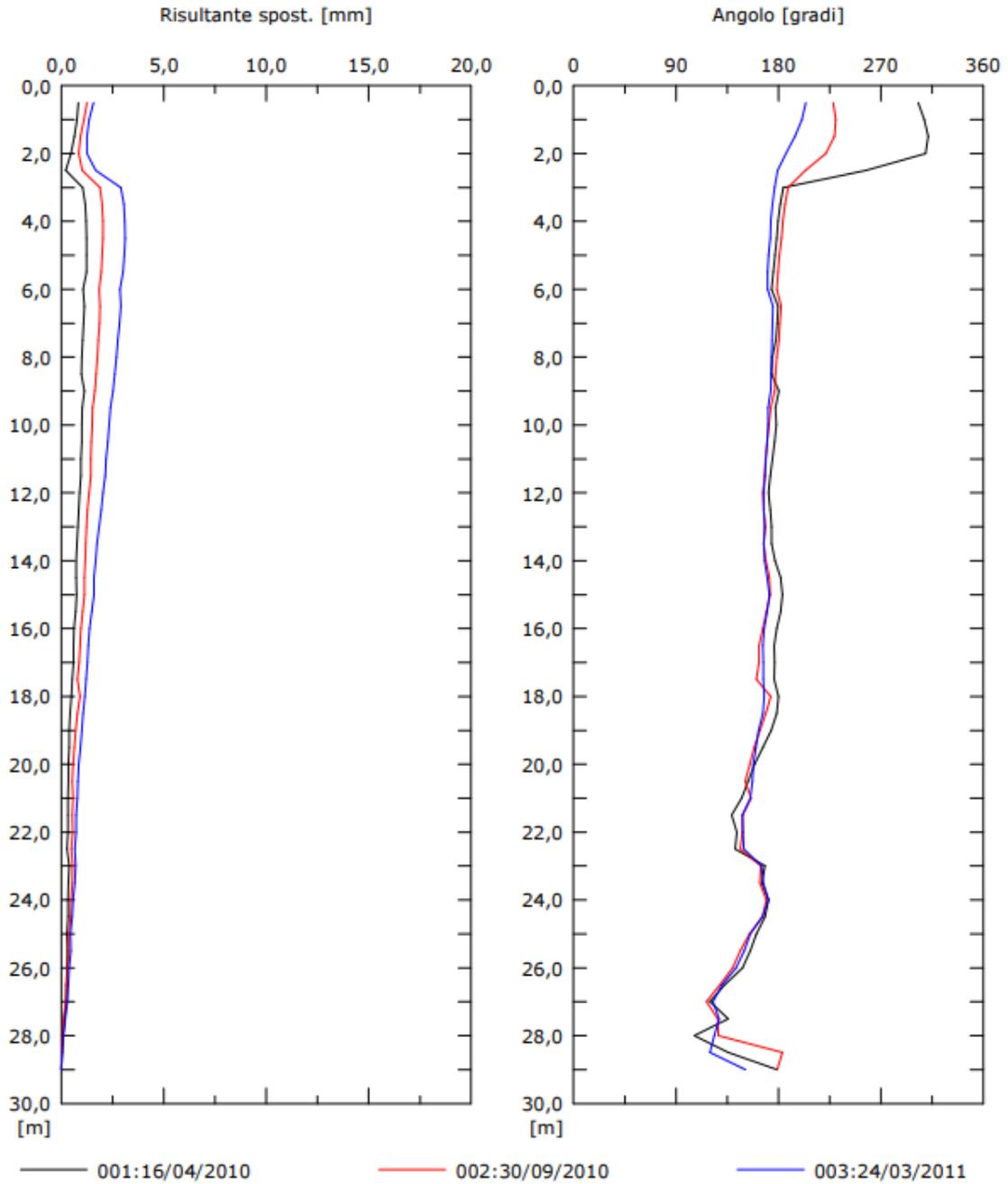
Inclinometro SNAM 4 (29 m) – valle del centro abitato località Lago

Il monitoraggio eseguito negli anni 2009-2011 non ha fornito indicazioni particolari: l'elaborazione differenziale integrale dal basso ha infatti evidenziato uno spostamento massimo di circa 5 mm in testa tubo. Dall'elaborazione locale non si evince peraltro alcun elemento circa un eventuale movimento del terreno a profondità rilevanti e i valori registrati rientrano nell'incertezza strumentale (Fig.12). Anche in questo caso, così come per l'inclinometro S6, si deve osservare che la lunghezza della tubazione potrebbe non identificare eventuali movimenti profondi, registrati più a monte da S4I, e conseguentemente potrebbe essere coinvolto in movimenti di traslazione non identificabili dalla sonda inclinometrica. Dal 2012 si concorda con Regione Liguria la sospensione delle letture inclinometriche.

Sito: CAMPEGLI Tubo: SNAM4

Elaborazione differenziale integrale dal basso

Riferimento 000:24/11/2009



Sito: CAMPEGLI Tubo: SNAM4

Elaborazione differenziale locale dal basso

Riferimento 000:24/11/2009

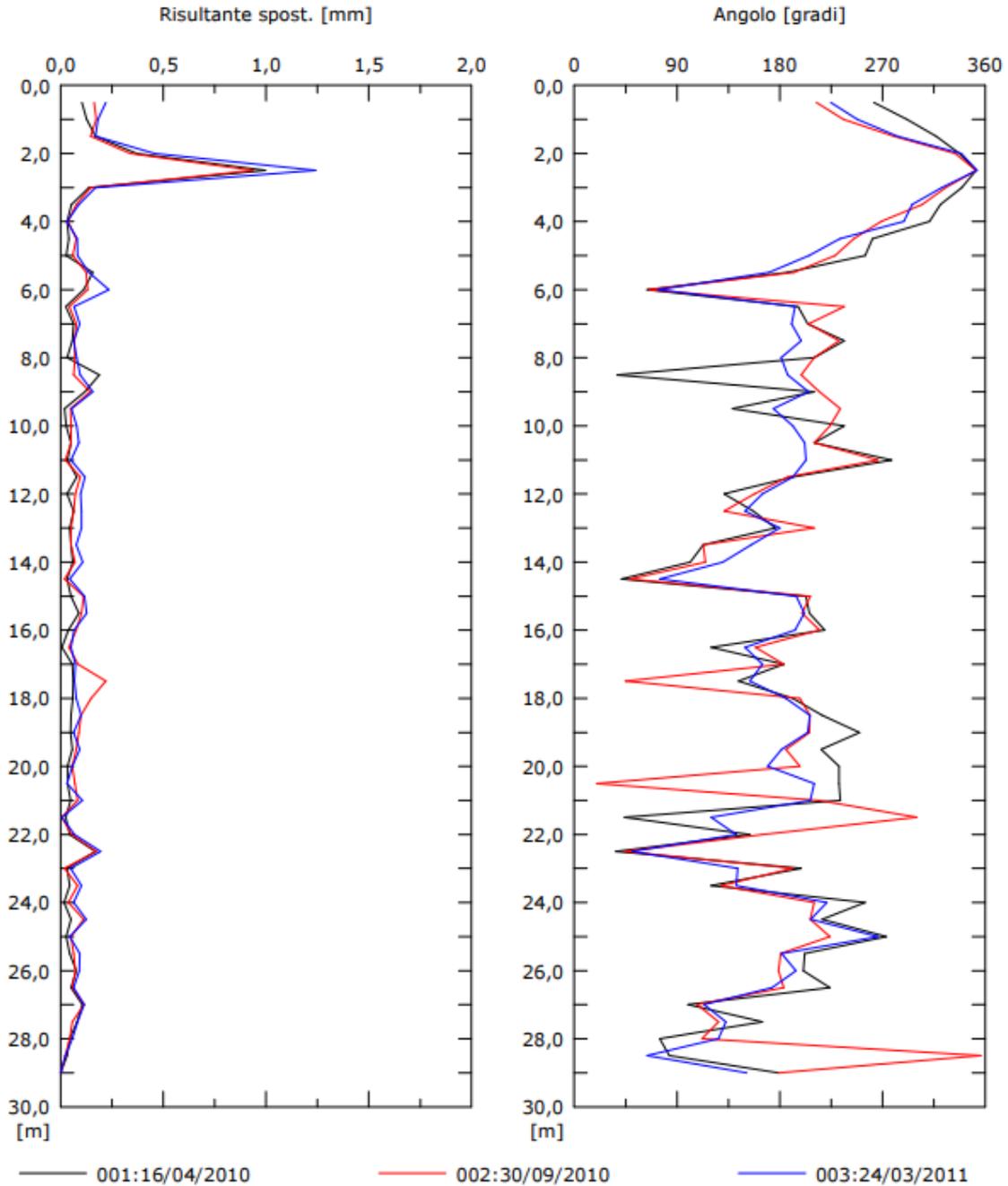


Fig.12 - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) (pagina precedente) e all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) (questa pagina) dell'inclinometro SNAM4

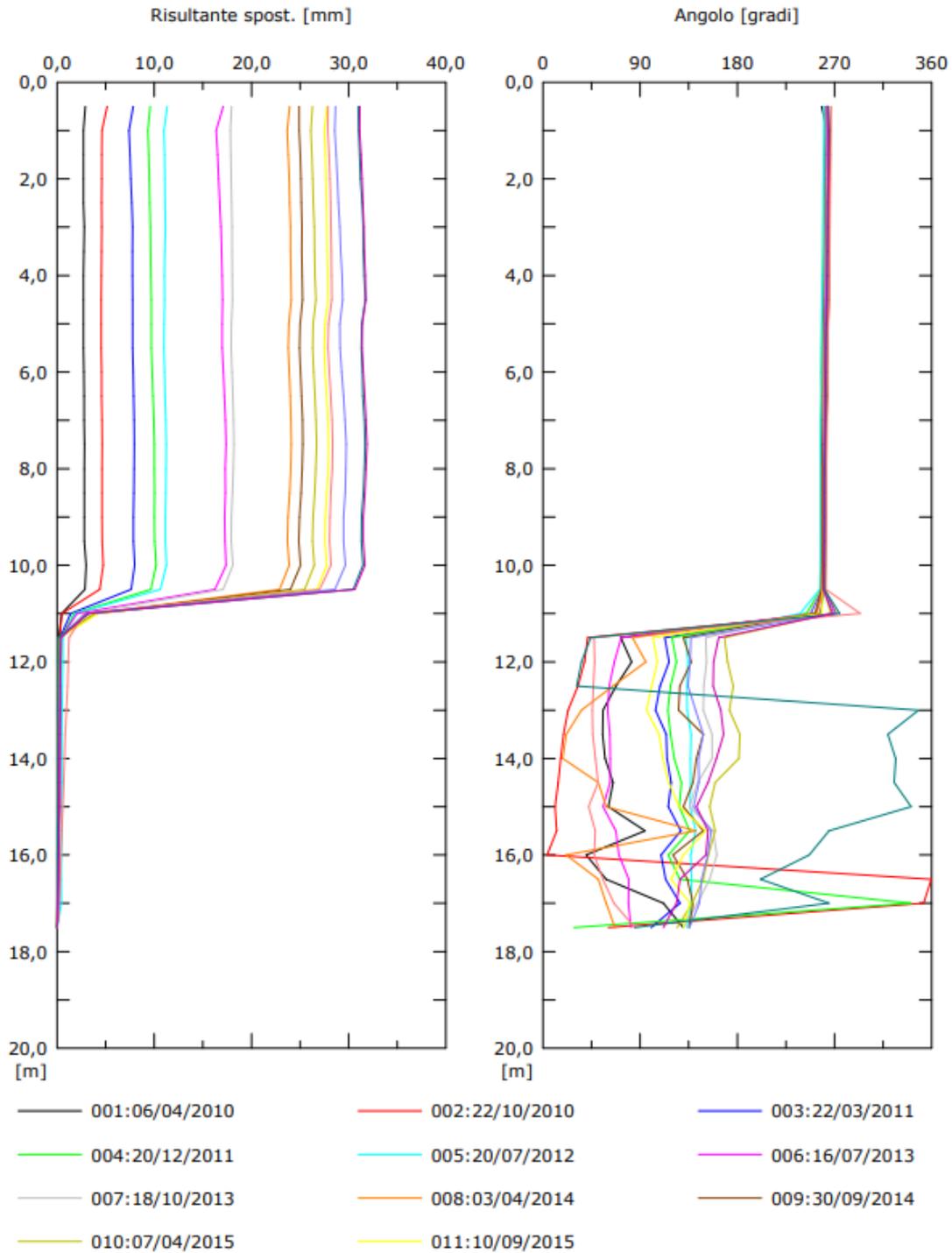
Inclinometro S6I (17.5 m) – centro abitato

In data 27/07/2018 è stato constatato il taglio della tubazione, a causa dell'incremento della deformazione lungo il piano di taglio a -10.5 m da p.c. L'elaborazione differenziale integrale aveva evidenziato, nel corso degli anni, spostamenti costanti lungo il piano di taglio, anche se non particolarmente rilevanti, eccezion fatta per il periodo ottobre 2013 - aprile 2014 in cui si è registrato un incremento di 6 mm/6 mesi. Lo spostamento totale dal 2009 è di 33 mm con una direzione azimutale verso S, in accordo con la morfologia del versante, e una superficie di taglio individuata tra 10 e 11 m di profondità. Le deformate locali confermano la presenza della deformazione principale con un picco in evoluzione a 10.5 m di profondità e uno spostamento massimo di 27 mm (Figg.13 e 14).

Sito: CAMPEGLI Tubo: S6I

Elaborazione differenziale integrale dal basso

Riferimento 000:17/11/2009



Sito: CAMPEGLI Tubo: S6I

Elaborazione differenziale locale dal basso

Riferimento 000:17/11/2009

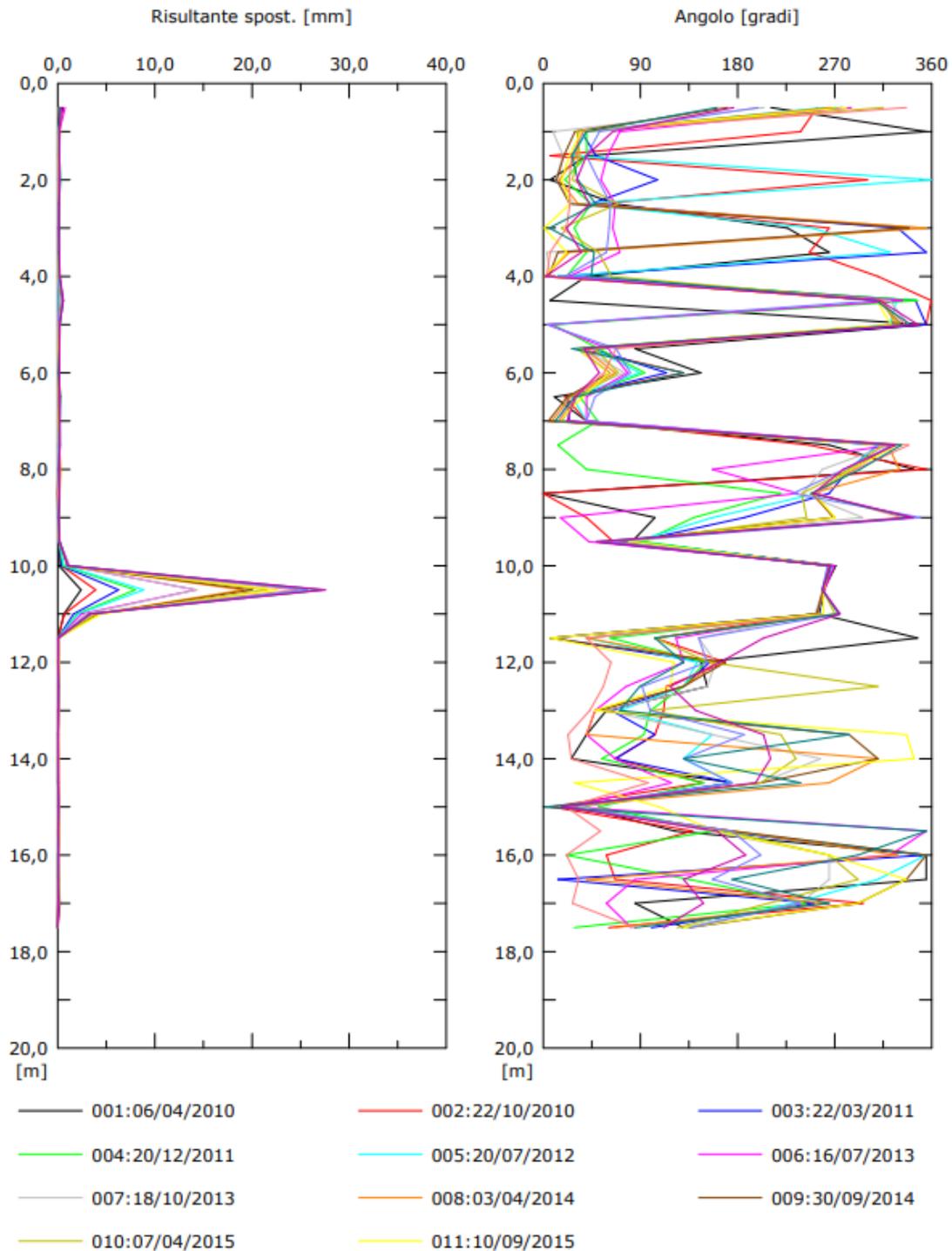


Fig.13 - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) (pagina precedente) e all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) (questa pagina), dell'inclinometro S6I.

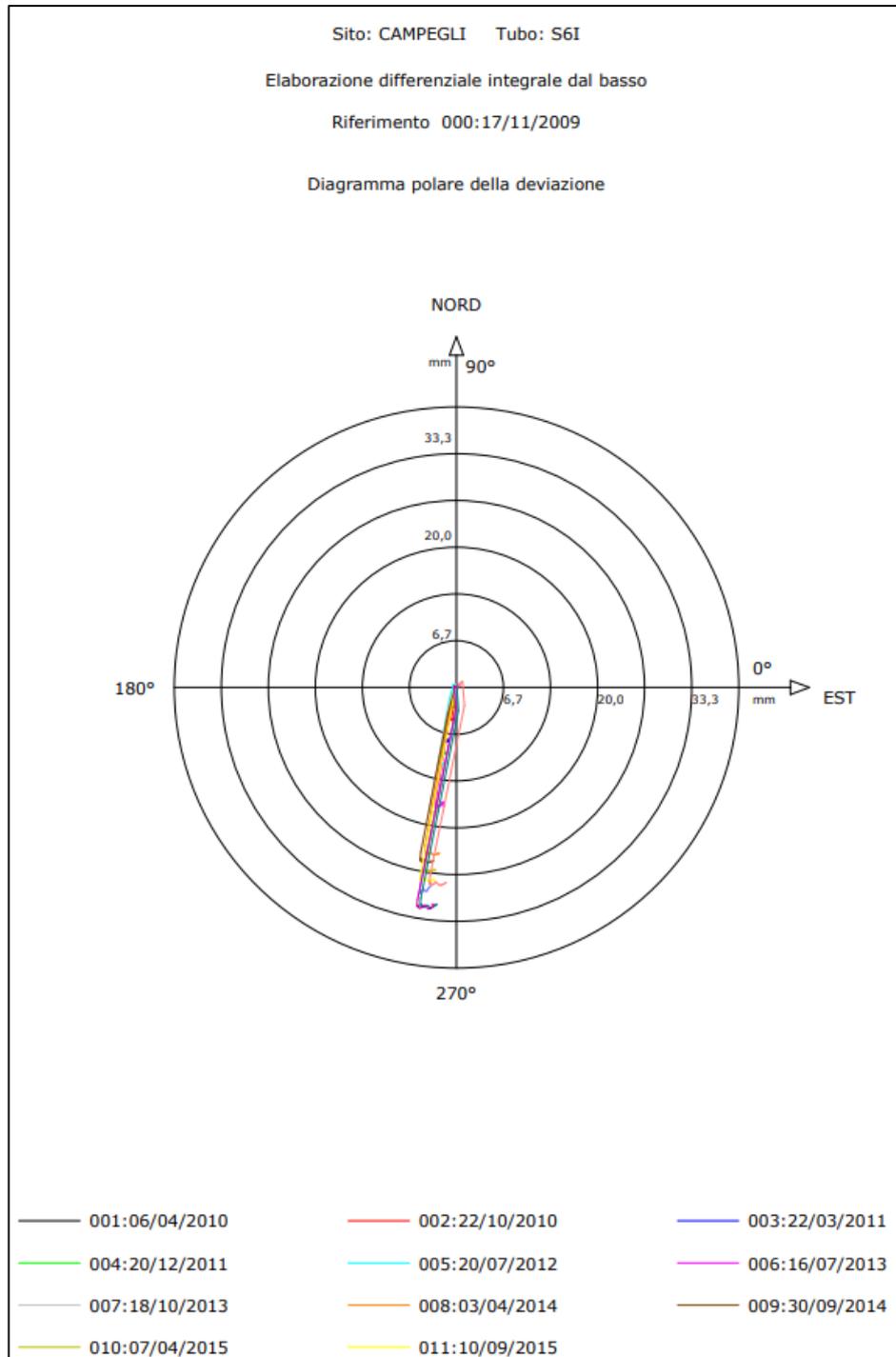


Fig.14 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro S6I.

In data 07/07/2020 è stata effettuata un'ispezione con videocamera da foro durante la quale è stata rilevata una deformazione dell'inclinometro a -10.40 m da p.c. (Fig.15).



Fig.15: deformazione con gradino a -10,40 da p.c., in S6I.

5. Campagne di indagine 2013-2024

Al fine di verificare se il pendio sia caratterizzato da un cinematismo unico oppure se effettivamente esistano due sottozone a doppia velocità, nel 2013 è stato eseguito in zona Lago un sondaggio a distruzione di nucleo, con un'ultima parte prevista a carotaggio continuo, necessario per l'installazione dell'inclinometro S10I (profondità sondaggio 43.5 m e lunghezza utile inclinometro 40.5 m).

Dall'esame dei cuttings risaliti in superficie e dall'osservazione delle carote prelevate negli ultimi metri si è osservato quanto segue: fino a 15 m di profondità si incontrano in alternanza blocchi lapidei e livelli incoerenti attribuibili alla coltre franosa, tra 15 e 21 m iniziano a comparire livelli attribuibili a una basamento roccioso molto tettonizzato (metagabbri), la cui qualità litotecnica rimane bassa fino a 43 m. Nella foto seguente (Fig.16) si evidenzia l'intervallo del basamento roccioso 41-43.5 m con spezzoni di carota non superiore a 20 cm e costituiti da metagabbri cataclastici a grana medio-grossa che talvolta passano a un materiale detritico sabbioso.

L'intensa cataclasi dei metagabbri è confermata anche da affioramenti presenti lungo la strada che risale il versante in frana: in rari punti affiorano infatti metagabbri con una struttura ben conservata, talvolta in forma di brecce associati a blocchi di serpentinite. La foto sottostante (Fig.17) denota come la struttura originaria del gabbro sia stata deformata plasticamente, come evidente dalla presenza di pieghe isoclinali e sviluppo di una foliazione metamorfica, mentre la litologia originaria della roccia è quasi completamente trasformata da un intenso sviluppo pedogenetico.



Fig.16 - Sondaggio S10I in zona Lago: intervallo del basamento roccioso 41-43.5 m con carote di metagabbri ad elevato grado di tettonizzazione. Il materiale appare fortemente disgregato con una colorazione verde-ocra e una granulometria grossolana. La cataclasite assume quindi i caratteri di una roccia "macinata", nel caso specifico di un gabbro cataclastico.



Fig.17 - Affioramento di metagabbri a monte di S10I in zona Lago: la roccia appare fortemente alterata e il processo di trasformazione in suolo in atto ha modificato le caratteristiche litologiche del gabbro ma non quelle strutturali.

Per quanto riguarda invece la zona del centro abitato di Campegli, il corpo morfologico risulta separato e indipendente evidenziando spostamenti contenuti e un piano di taglio localizzato intorno a 10 m di profondità con direzione azimutale S- SW.

Un secondo sondaggio nel 2013 (profondità raggiunta 28.5 m e installazione inclinometro con lunghezza utile 26.5 m), anch'esso a carotaggio continuo solo negli ultimi metri e codificato S11I, è

stato eseguito nel centro abitato di Campegli per confermare eventualmente anche più a monte gli spostamenti rilevati dal 2009 con le letture di S61.

Dall'esame dei cuttings risaliti in superficie e dall'osservazione delle carote prelevate negli ultimi metri, la stratigrafia dei vari orizzonti può essere descritta come segue: fino a 15 m di profondità si incontrano in alternanza a rari blocchi lapidei e livelli incoerenti attribuibili alla potenza della coltre franosa, tra 15 m e 28 m si osserva la presenza del basamento roccioso (metagabbri) e nell'intervallo 28-30 m sembra essere presente un cambio della litologia verso un litotipo basaltico, con un aspetto marcatamente cataclastico.

Il materiale attraversato, fortemente disgregato dall'azione dell'avanzamento del sondaggio a distruzione di nucleo, mostra una colorazione verde-ocra passante a grigio verde con l'aumento della profondità e livelli completamente arenitizzati con una granulometria francamente sabbiosa, intervallata da livelli litoidi sempre molto cataclasati (Figg.18 e 19).



Fig.18 - Sondaggio S111 nel centro abitato: l'avanzamento a distruzione di nucleo ha trasformato il metagabbro, già fortemente cataclasato e completamente destrutturato, in un materiale sciolto a granulometria sabbiosa.



Fig.19 - Sondaggio S11 nel centro abitato: l'ultima parte seguita a carotaggio continuo ha permesso di osservare la qualità geomeccanica della roccia. Il metagabbro assume i caratteri di una breccia di faglia, nel caso una cataclasite, e tra 28-30m il litotipo predominante sembra assumere i caratteri di un basalto.

L'attività di monitoraggio è svolta attualmente con la misurazione dei due inclinometri S10I e S11I, installati nel luglio 2013 rispettivamente in zona *Lago* e nel centro abitato di Campegli (Fig.2).

Le installazioni presenti, ricadono all'interno dei seguenti corpi di frana censiti nell'Inventario dei fenomeni franosi (Progetto IFFI - IdroGEO) come di seguito descritto:

Inclinometri: S10I

Tipo	Complesso
Stato	Quiescente generico
Identificativo	0100172101
Area [mq]	166150

Inclinometri: S11I, S6I

Tipo	Scivolamento rotazionale/traslatoivo
Stato	Quiescente generico
Identificativo	0100171902
Area [mq]	45453

Il nuovo inclinometro S111, installato nel centro dell'abitato di Campegli, non ha dato in generale particolari indicazioni se non un movimento della coltre superficiale, localizzato intorno a 2 m di profondità. Analizzando l'entità degli spostamenti si evince come i movimenti nell'area non siano perfettamente concordi, sebbene mostrino la stessa direzione azimutale S-SW.

Fino all'inizio dell'anno 2020 risultava difficile stabilire se il movimento superficiale fosse localizzato e indipendente dal movimento rilevato più a valle, oppure se fosse invece collegato alla struttura geomorfologica principale con sub-affioramento del piano di scorrimento, da una profondità di -10 m a valle a -2 m (zona di monte). Nel mese di febbraio 2020, nel corso di un sopralluogo per il prelievo di acque sotterranee e poi durante le misure effettuate in data 07/07/2020, si è potuto accertare, mediante telecamera da foro, una forte deformazione con curvatura e schiacciamento del piezometro PZ (Fig.20), ubicato nelle vicinanze dell'inclinometro S111 alla profondità di circa 12 m, corrispondente a quella che ha visto la rottura dell'inclinometro S6I.

Tale situazione avrebbe risolto quindi il dubbio sulla presenza o meno nella zona a monte di S6I del piano di scorrimento identificato a valle alla profondità di -10 m e non ancora identificato da S111. Si osserva quindi che le deformazioni presenti in PZ sono antecedenti l'installazione di S111, che il piano di taglio è presente a -10 m e che dal 2013 non ci sono stati movimenti tali da essere rilevati dall'inclinometro, in cui sono presenti solo spostamenti superficiali.



Fig.20: deformazione del piezometro a -12 m.

6. Analisi dei dati inclinometrici (monitoraggio attivo)

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

Data	Attività	Strumentazione	Sistema di misura
03/06/2024	lettura di esercizio sulle guide A1/A3	Inclinometri S10I e S11I	Sonda servoaccelerometrica biax. S222643

Tab. 1 – Misure effettuate nel 2024 nel sito di Campegli.

Inclinometro S11I (26.5 m) – centro abitato di Campegli

La verifica dei *dataset* attraverso il “*checksum*” non ha evidenziato anomalie strumentali nella lettura di esercizio. Le letture ad oggi non hanno dato particolari indicazioni circa la presenza in profondità di un piano di scorrimento: infatti sia dall'elaborazione differenziale integrale che dall'elaborazione differenziale locale non si registrano zone di deformazione di una certa entità a profondità significative.

Si evidenzia invece a circa 2 m dal piano campagna un innalzamento dei valori strumentali (differenziali locali) imputabili a un debole movimento della coltre, con un picco massimo di 7 mm circa senza incrementi apprezzabili rispetto alla precedente lettura (2023); nel 2024 i dati del monitoraggio mostrano 26 mm circa di spostamento totale, con un incremento di circa 4 mm rispetto alla lettura del 2023 (Figg.21 e 22). Viene inoltre confermata la direzione dello spostamento (SSW) rilevata nelle precedenti letture. Il movimento superficiale potrebbe essere indipendente dal movimento rilevato più a valle oppure essere invece collegato alla struttura geomorfologica principale con sub-affioramento del piano di scorrimento.

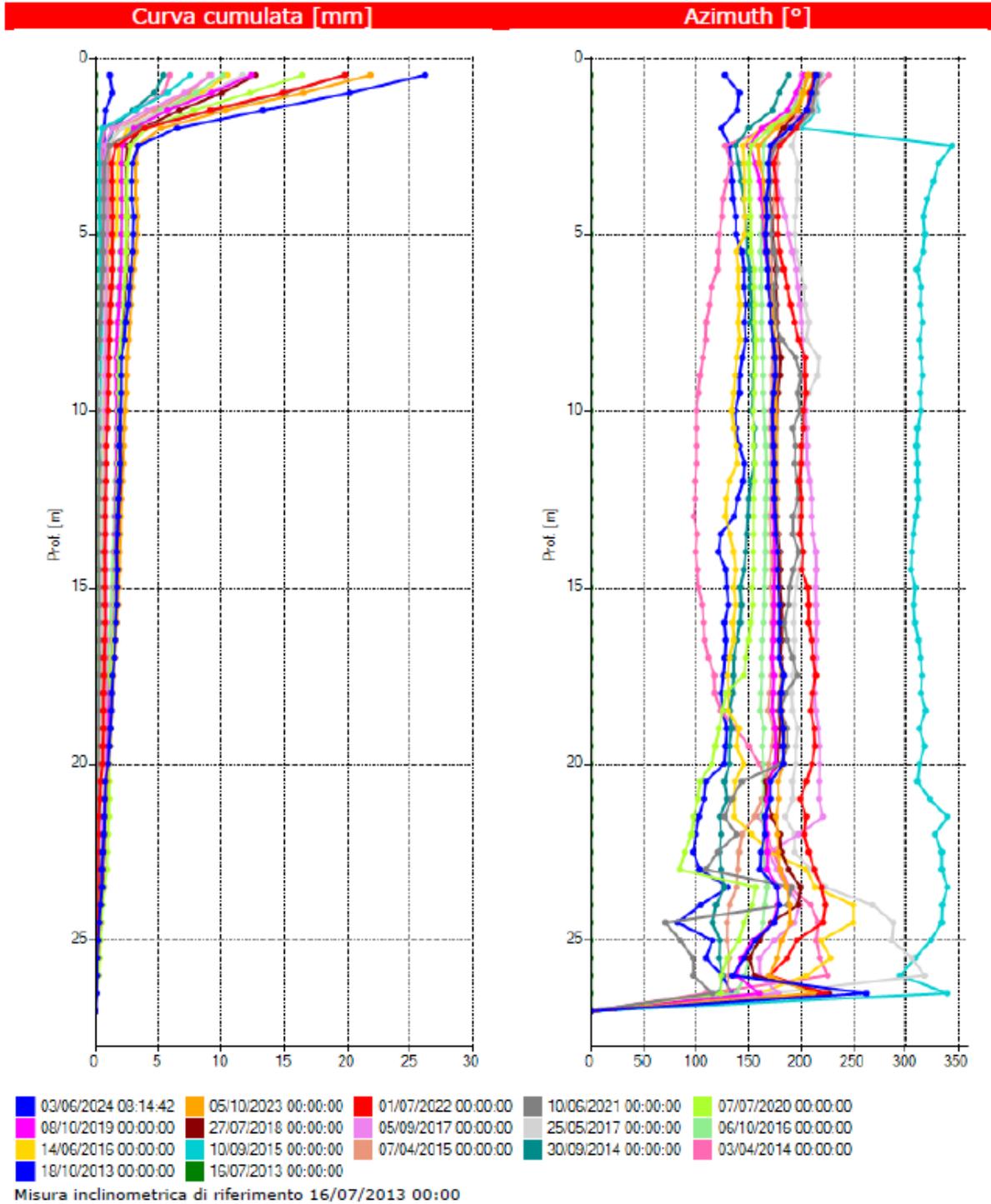


Fig.21 a- Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) dell'inclinometro S111.

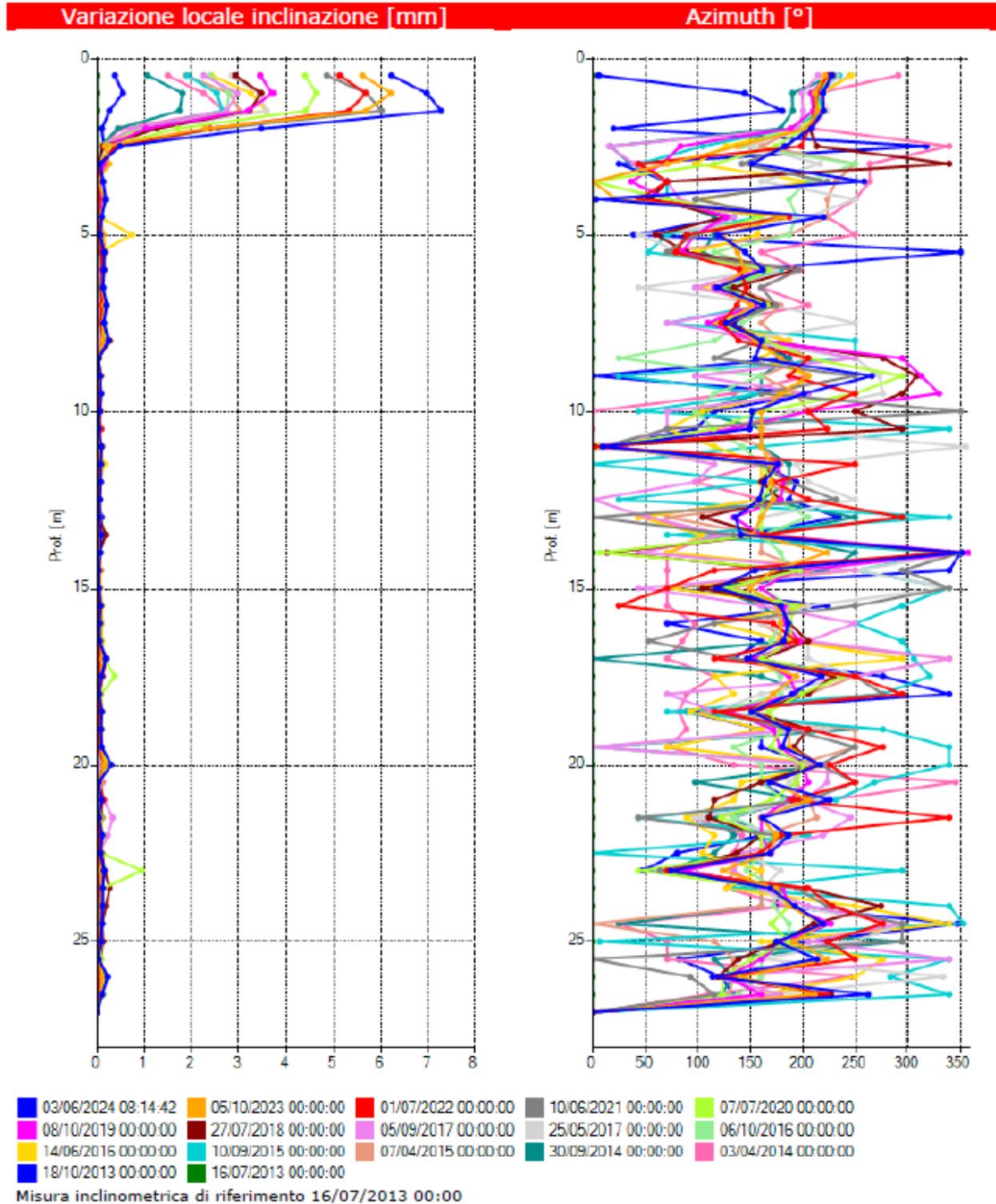


Fig.21b - Grafici relativi all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) (questa pagina), dell'inclinometro S11.

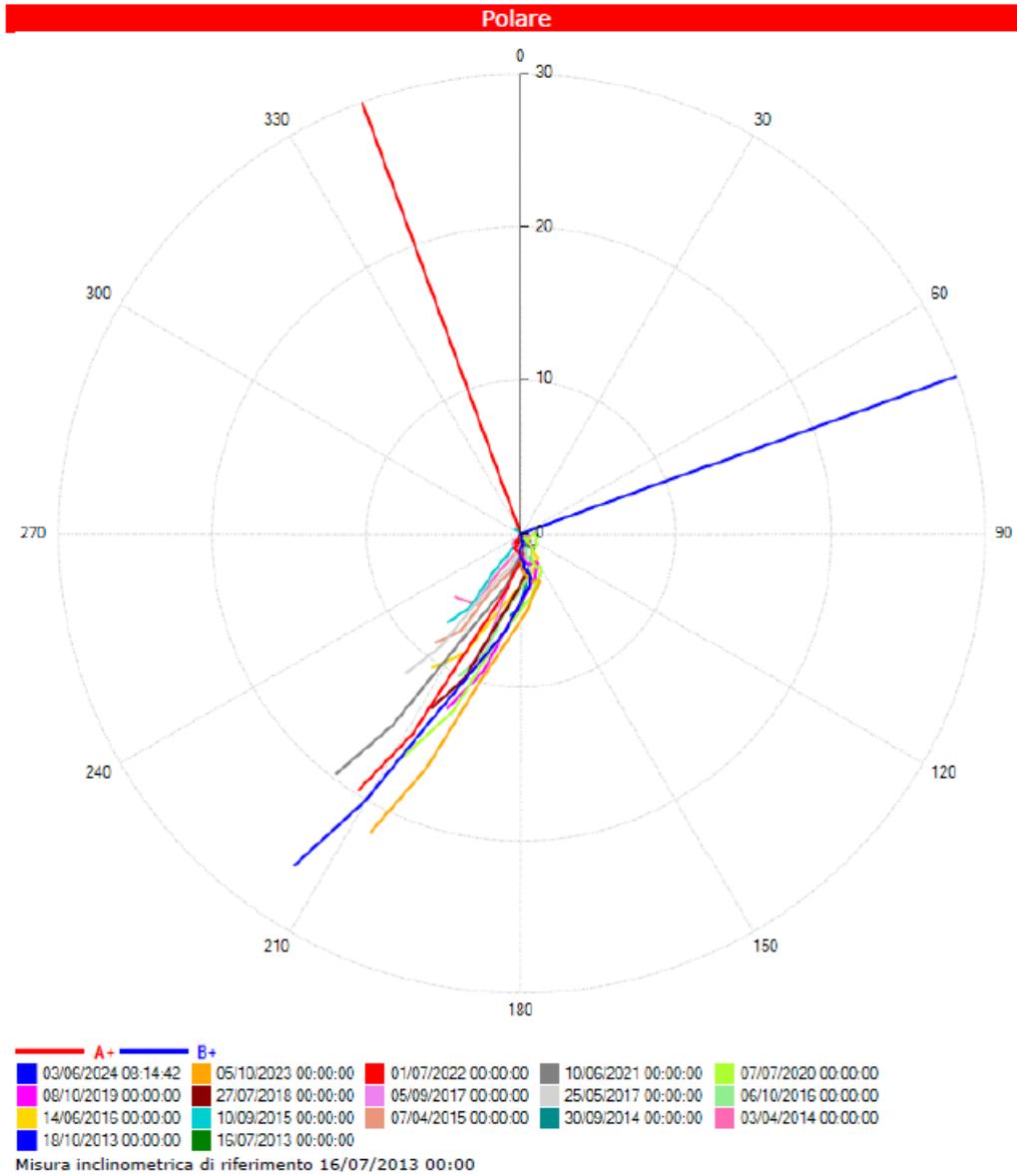


Fig.22 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro S11

Inclinometro S10I (40.5 m) – zona Lago

La verifica dei dataset attraverso il “checksum” non ha evidenziato anomalie strumentali nella lettura di esercizio. La lettura ha sostanzialmente confermato quello che già era emerso in precedenza: la curva relativa al differenziale integrale evidenzia uno spostamento cumulato pari a circa 26 mm con incremento di circa 1,5 mm rispetto alla lettura 2023. Il differenziale locale mostra la superficie di scivolamento principale alla quota di circa 28 m da p.c. con spostamento massimo pari a circa 2,7 mm, la quale ha subito deformazioni minime dalla precedente lettura (2023). Il diagramma polare è coerente con quanto espresso dalle altre due elaborazioni (direzione di spostamento: SE) (Figg. 23 e 24).

Considerando il grafico azimutale/profondità si evince ancora un elemento che aumenta in questa fase l'incertezza sulla profondità del potenziale piano di scorrimento: osservando infatti l'andamento delle deformate si nota come una direzione univoca delle curve inclinometriche inizi a delinearsi già alla profondità di -39 m (sui 40,5 m totali dell'inclinometro). Ciò significa che al di sotto delle profondità sopracitate potrebbero svilupparsi uno o più piani di taglio.

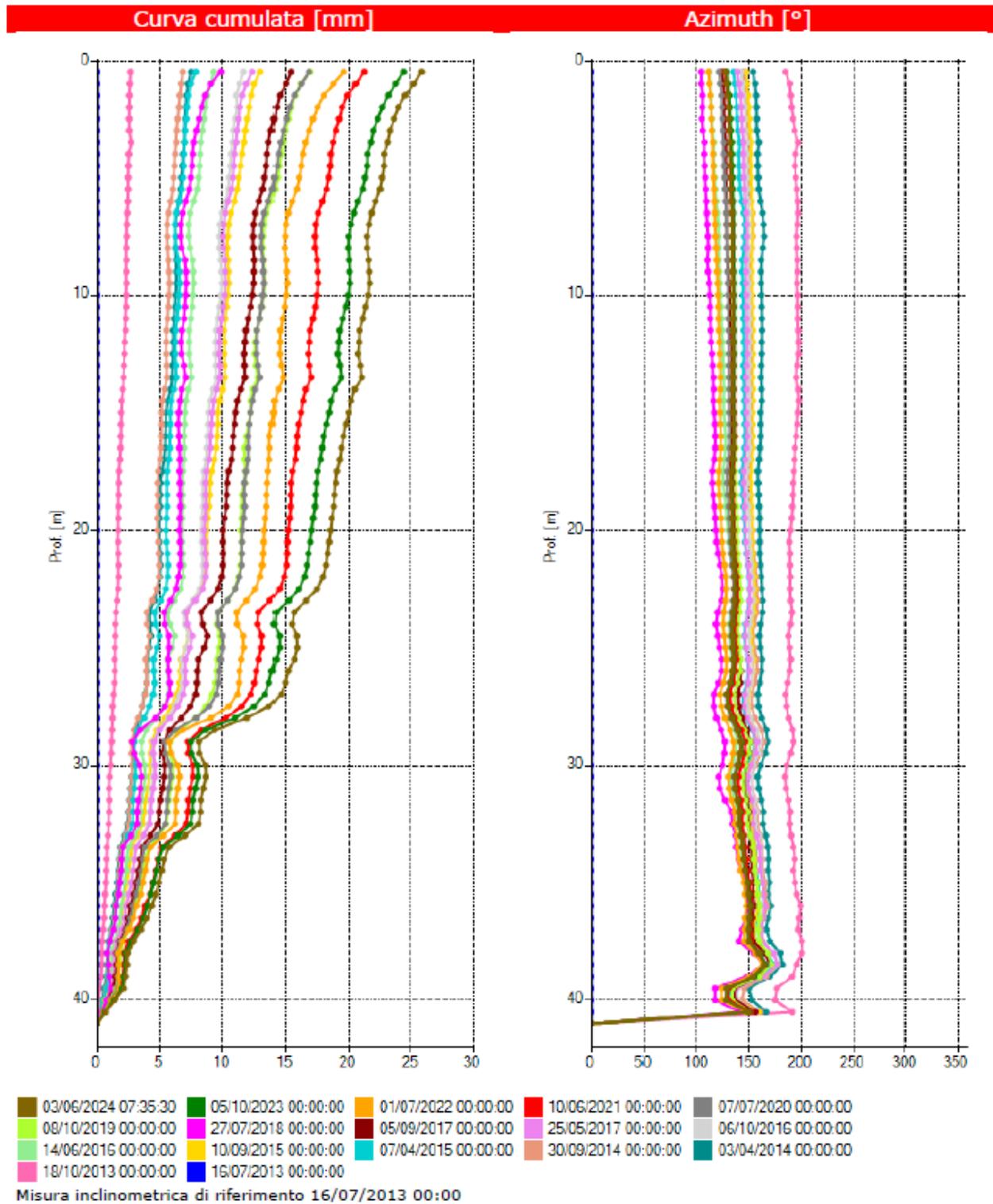


Fig.23a - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale dell'inclinometro S10I.

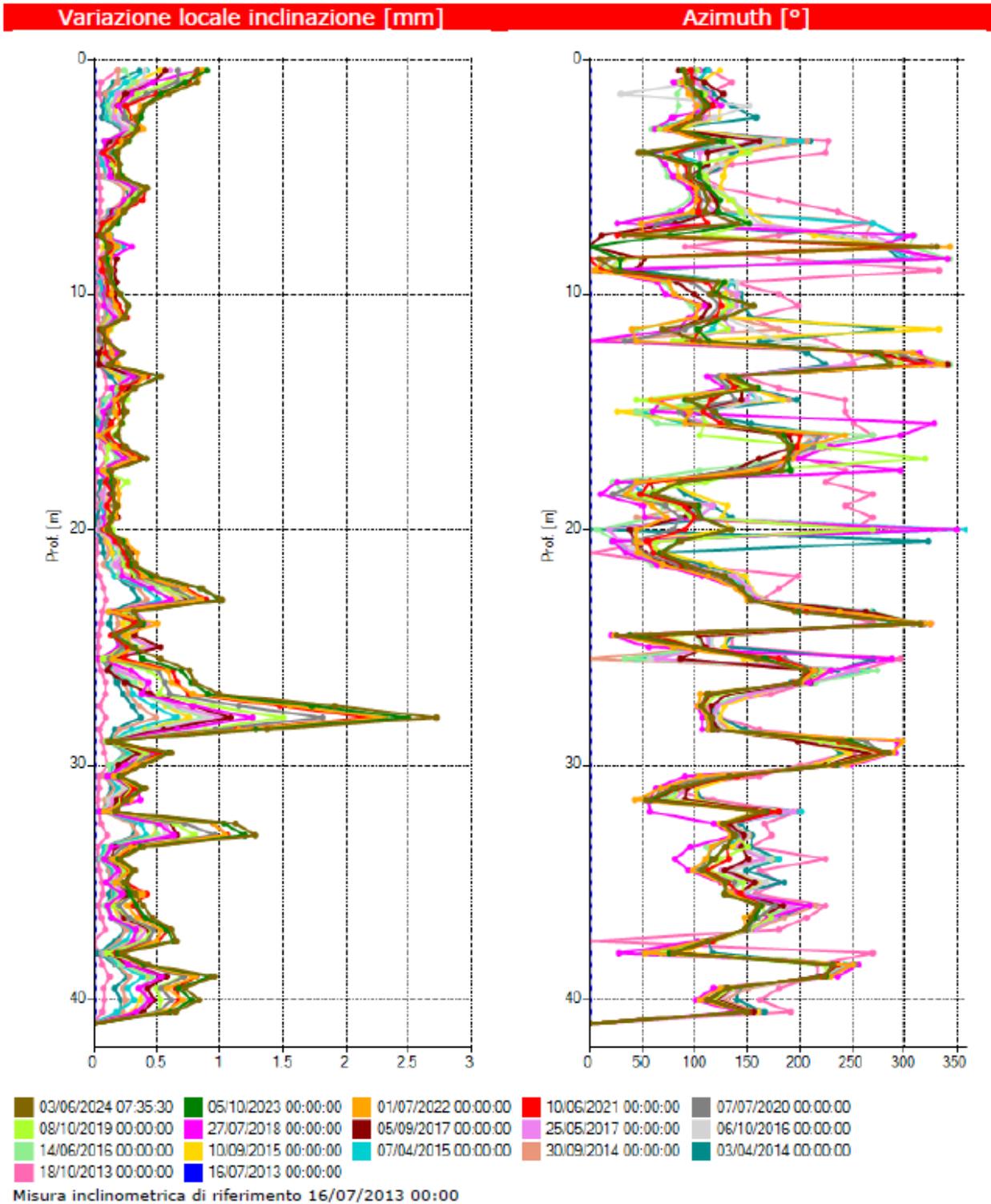


Fig.23b - Grafici relativi all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro S101.

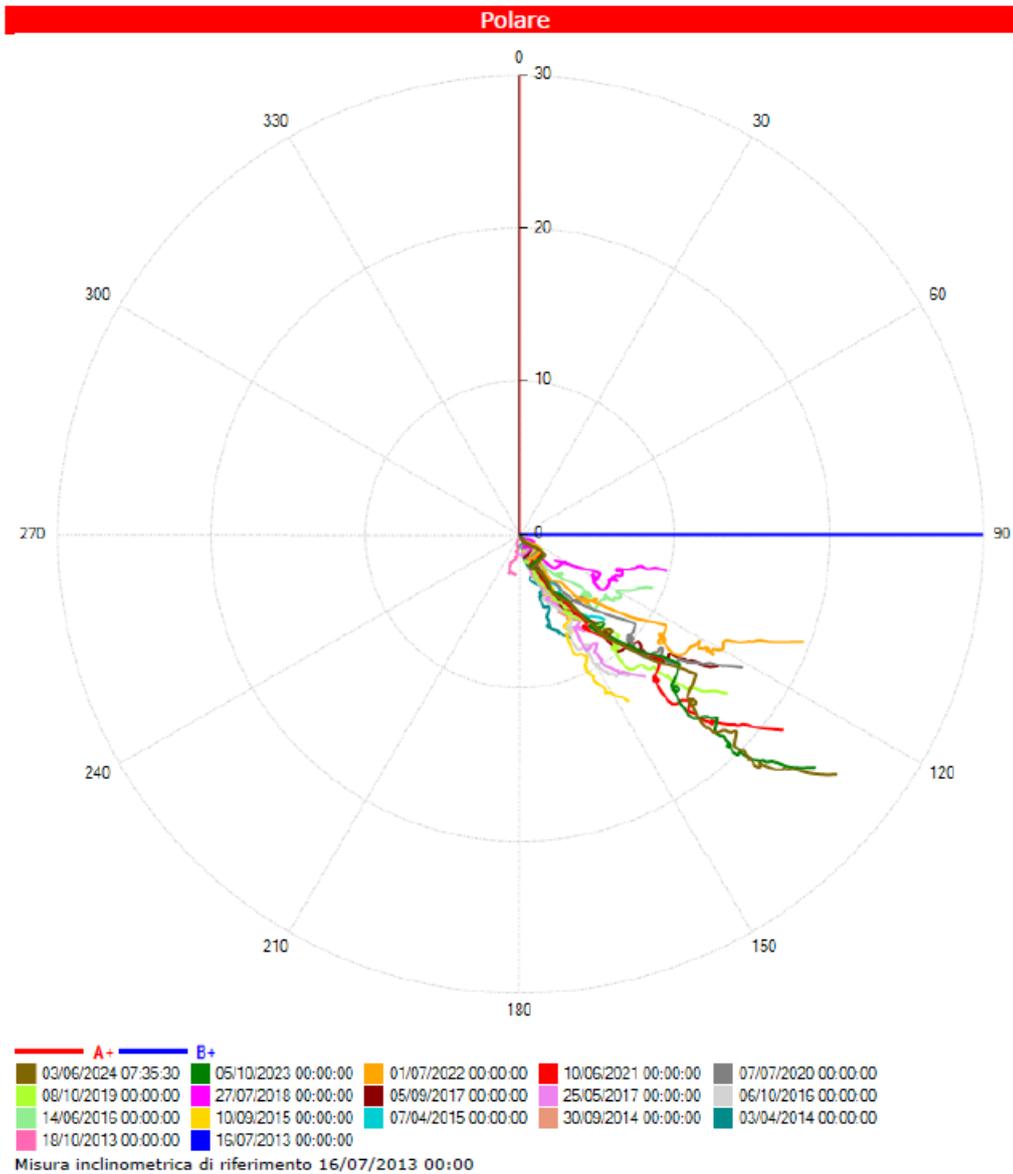


Fig.24 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro S10I.

7. Conclusioni

I risultati hanno confermato una sostanziale "attività" della zona e la presenza di corpi morfologici ascrivibili alla classe delle "frane complesse - scivolamenti", con tassi di spostamento variabili e determinati da cinematismi differenti. In particolare si sono registrati, nell'area localizzata nel centro abitato (S11I – Loc. Campegli), incrementi trascurabili rispetto al 2021, mentre nella zona più occidentale dell'abitato (S10I – Fraz. Lago) si sono verificati, specie nel 2010, spostamenti superficiali nell'ordine dei 5 mm circa.

La possibilità che sia presente realmente un pendio diviso a metà nella zona Lago potrebbe essere spiegata con la presenza di lineamenti strutturali che impongono cinematismi decisamente

differenti, in accordo con la struttura di un basamento roccioso smembrato da faglie NW-SE. Il substrato è rappresentato da masse di metagabbri che risultano separati da un contesto prettamente basaltico attraverso lo sviluppo di strutture fragili (CARG 1:50.000): questa “placca” gabbrica sembra quindi poggiare sui basalti sottostanti e in questo quadro geologico andrebbe inserita l’instabilità diffusa della zona che a luoghi mostra cinematismi differenti.

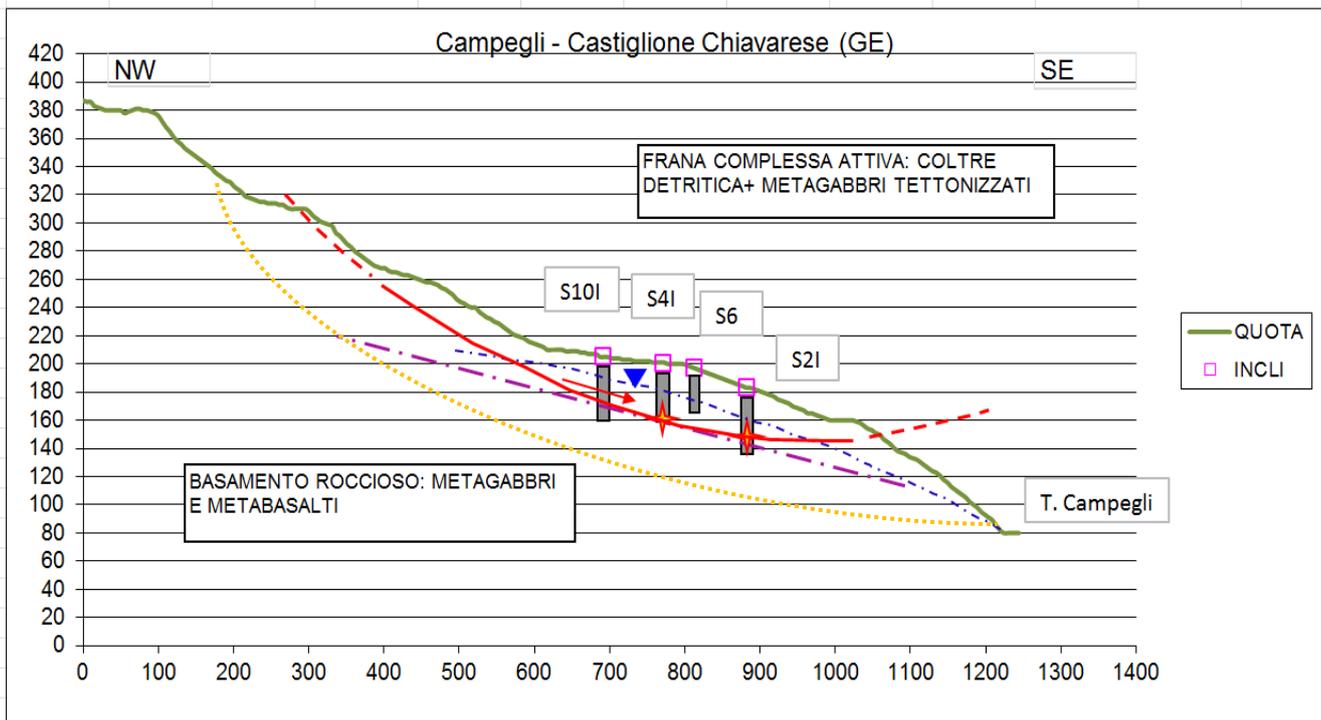


Fig.25 – Sezione geologica nell’area di Campegli: la zona occidentale (zona Lago) risulta in maggiore movimento rispetto al corpo adiacente e ad un altro indipendente su cui sorge l’abitato di Campegli. Si propongono due ipotetiche superfici di scorrimento profonde che hanno deformato gli inclinometri oltre 30m: la prima (tratto viola) potrebbe essere associata a lineamenti strutturali (faglie e sovrascorrimenti), la seconda (tratto rosso) identifica un tipico scorrimento roto-traslazionale. Non si può escludere la presenza di un piano di scorrimento ancora più profondo (tratto giallo).

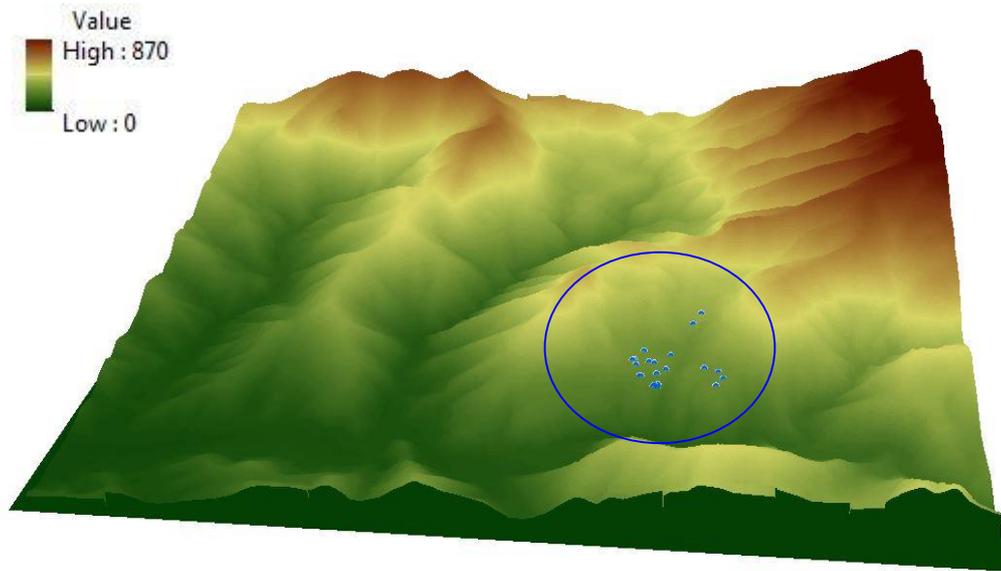


Fig.26 - DTM dell'orografia della zona di Campegli (nel cerchio blu): si noti l'energia del rilievo a monte della strumentazione installata e il contrasto planoaltimetrico con l'asta torrentizia a valle.

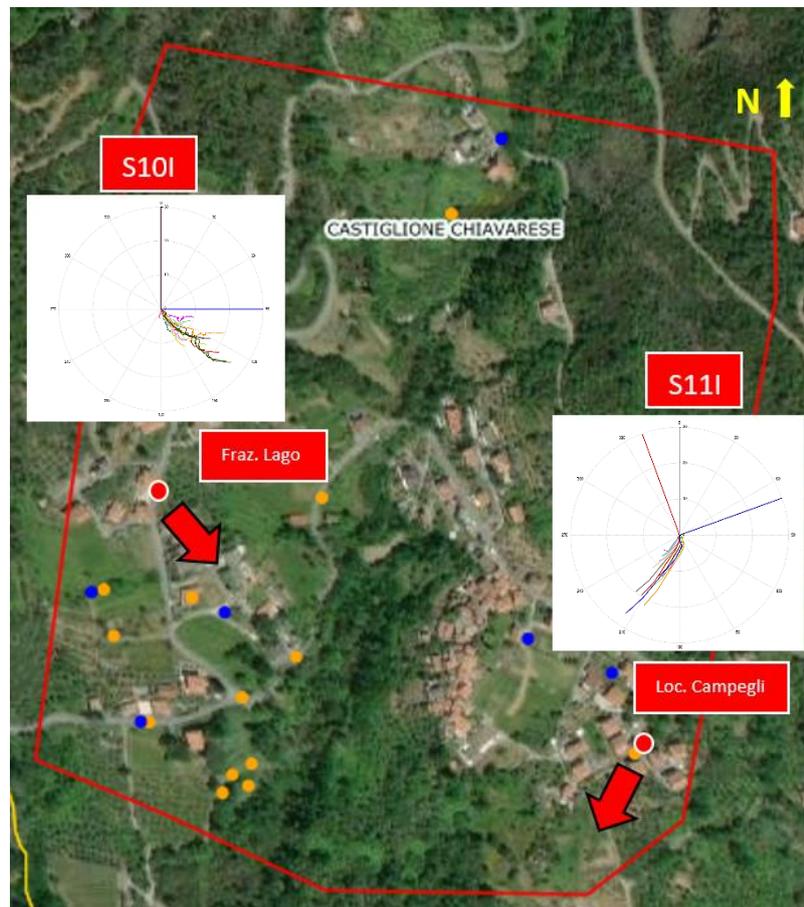


Fig.27- Direzione di movimento delle aree in frana che insistono nell'area di Campegli: la zona occidentale (zona Lago), caratterizzata da un cinematisma complesso e l'area più a est su cui sorge l'abitato di Campegli.

In zona Lago i dati relativi alla circolazione idrica sotterranea hanno confermato la presenza di una falda a profondità comprese tra -10 e -20 m da p.c. e pertanto la quota della piezometrica risulta superiore alla profondità alla quale si è registrato lo scorrimento profondo, che pertanto si trova in condizioni di costante saturazione. Nella zona del centro abitato la soggiacenza è localizzata intorno a -15 m da p.c. e conseguentemente, sempre considerando che i rilievi sono puntuali e possono nascondere risalite improvvise, il livello permane ad una profondità superiore al piano di taglio.

Il rapporto tra eventi meteorici e movimenti del versante dal 2009 al 2024 è descritto nei grafici seguenti (Figg.29, 30, 31, 32):

- anni 2009 e 2010: piogge distribuite come intensità e durata nel periodo invernale e autunnale (eventi estremi nel settembre 2010 con 146 mm/2 gg), ove frequentemente le cumulate mensili hanno superato i 200 mm. Si sono riscontrati movimenti importanti a “rottura” in zona Lago e spostamenti continui anche nel centro abitato senza stasi;
- anni 2011 e 2012: l'attività della frana nel centro abitato continua con spostamenti costanti a prescindere dal regime pluviometrico in atto. Particolarmente evidenti le due cumulate mensili dei mesi di settembre 2011 e ottobre 2012, rispettivamente pari a 261 mm e 392 mm, con eventi estremi di 250 mm/2gg e 187 mm/1g;

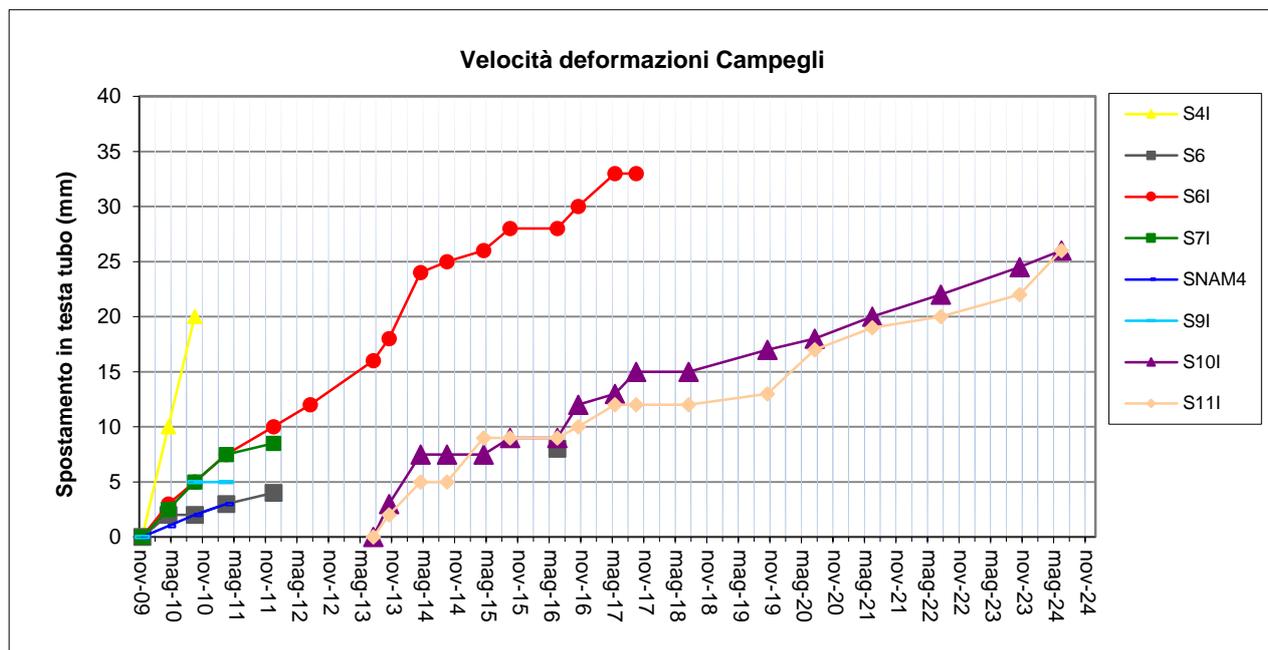


Fig. 28 – Velocità delle deformazioni nel periodo di monitoraggio 2009-2024.

- anni 2013 e 2014: le precipitazioni risultano distribuite meno uniformemente nell'arco dell'anno e talvolta concentrate in un solo mese. Risaltano le cumulate di marzo 2013 (342 mm), e nel 2014 i mesi di gennaio (351 mm), febbraio (293 mm) e novembre (392 mm), cui non si associano particolari eventi estremi. Per quanto riguarda il movimento della frana si può osservare come in generale sia mantenuto il trend di spostamento con il movimento a seguito

dell'inverno 2014, mentre a seguito della cumulata di novembre 2014 si è riscontrata una decelerazione/stasi;

- anni 2015-2017: si registra una decelerazione del movimento nel periodo, sostanzialmente modesto a livello di precipitazioni, e le due cumulate più importanti dei mesi di ottobre 2015 (338 mm di pioggia caduta ed eventi intensi con 196 mm/3gg) e di febbraio 2016 (335 mm di pioggia con un evento di 130 mm in un solo giorno) non hanno avuto alcuna influenza sulla ripresa del movimento. Per quanto riguarda la cumulata del mese di dicembre 2017 pari a 218 mm (con eventi pari a 180 mm/3gg) si rimanda alle prossime letture;
- anno 2018: pur essendo stato un anno più piovoso rispetto al 2017 (1112 mm anziché 681 mm nell'arco dell'anno) è stato registrato un unico evento meteorico importante con la caduta di 92 mm di pioggia nell'arco di una giornata (ottobre 2018);
- anno 2019: in un contesto di normalità del regime pluviometrico emerge la cumulata del mese di novembre con un valore pari a 522 mm di pioggia che dovrà essere valutato nel corso del 2020, mentre nel corso dell'anno si sono registrati valori di stasi o debole riattivazione.
- anno 2020: l'anno risulta mediamente piovoso con due forti anomalie nei mesi di ottobre (390 mm) e dicembre (355 mm), rispettivamente caratterizzati da pluviometrie giornaliere di oltre 282 mm in due giorni (evento estremo di 234 mm/g) e di 100 mm in due giorni.
- anno 2021: la stagione invernale è caratterizzata da eventi piovosi nell'ordine dei 350 mm/mese con singole precipitazioni (>50 mm da 1 a 5 giorni) aventi cumulate da 100 mm a 175 mm. Nel resto dell'anno le cumulate mensili sono comprese tra 50 mm e 150 mm.
- anno 2022: l'anno risulta poco piovoso anche nelle stagioni in cui negli anni precedenti si erano registrati eventi con cumulate elevate per più di 3 gg consecutivi; le cumulate massime mensili registrate si attestano al di sotto di 80 mm.
- anno 2023: le cumulate mensili evidenziano un massimo a gennaio (186 mm) che comprende anche la maggior cumulata giornaliera (124,4mm) registrata il giorno 8. Si sono registrati periodi con precipitazioni significative (>50 mm da 1 a 5 giorni) aventi cumulate comprese tra 89,2 mm a 205,5 mm. I mesi più piovosi sono risultati in ordine decrescente ottobre (201,2 mm), novembre (193 mm), gennaio e dicembre (131 mm) (Fig.31).
- anno 2024: i mesi di settembre e ottobre registrano le cumulate di pioggia maggiori dell'anno (rispettivamente 327 e 398 mm), seguiti dai mesi di marzo (321 mm) e febbraio (245 mm). I periodi meno piovosi si concentrano invece tra luglio (17 mm) e agosto (31 mm).

Per quanto riguarda la grande frana della zona Lago, ad eccezione degli spostamenti avvenuti nel 2010 a seguito di mesi piovosi che hanno portato alla rottura di S4I ad elevata profondità, si evidenziano segnali contraddittori osservando il grafico delle pluviometrie in relazione con S10I: il primo spostamento registrato nella primavera 2014 dopo un periodo piovoso che ha interessato alcuni mesi è stato seguito da una lunga fase di quiescenza anche in concomitanza di singoli mesi caratterizzati da intense precipitazioni. La successiva riattivazione del 2017 è avvenuta in un periodo

modesto di precipitazioni; dopo alcuni anni di stasi (2017-2019), le intense precipitazioni del novembre 2019 sembrano aver innescato un graduale, seppur talora trascurabile, lento movimento della massa instabile, che prosegue costantemente come evidenziato dalle ultime letture del 2024.

La bassa reattività della massa franosa sarebbe dimostrata in accordo soprattutto con le caratteristiche del corpo morfologico, che sviluppa deformazioni a profondità molto elevate: la massa in movimento, oggettivamente molto potente (>35 m), potrebbe quindi non risentire affatto delle piogge (“deformazione profonda da creep in roccia”), ed essere quindi dominata nella quasi totalità dalla gravità e dalle caratteristiche geomeccaniche.

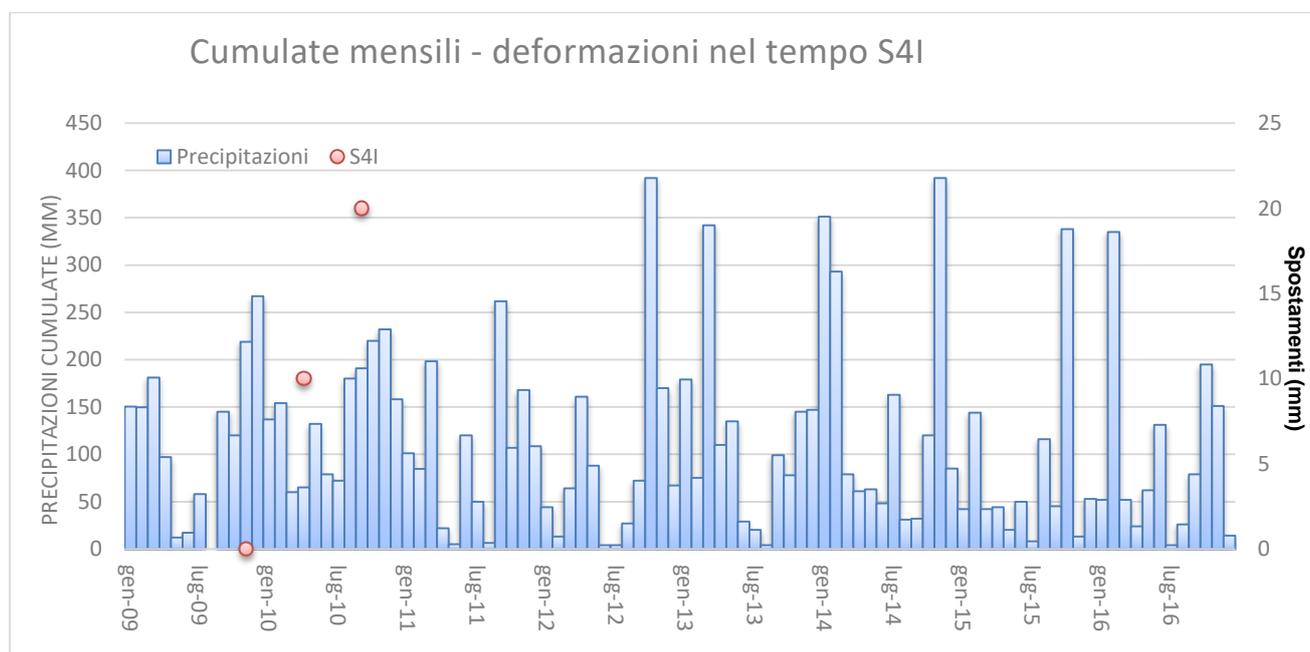


Fig. 29 – Andamento pluviometrico mensile (stazione SARA) per gli anni 2009-2016 in relazione con le letture inclinometriche S4I.

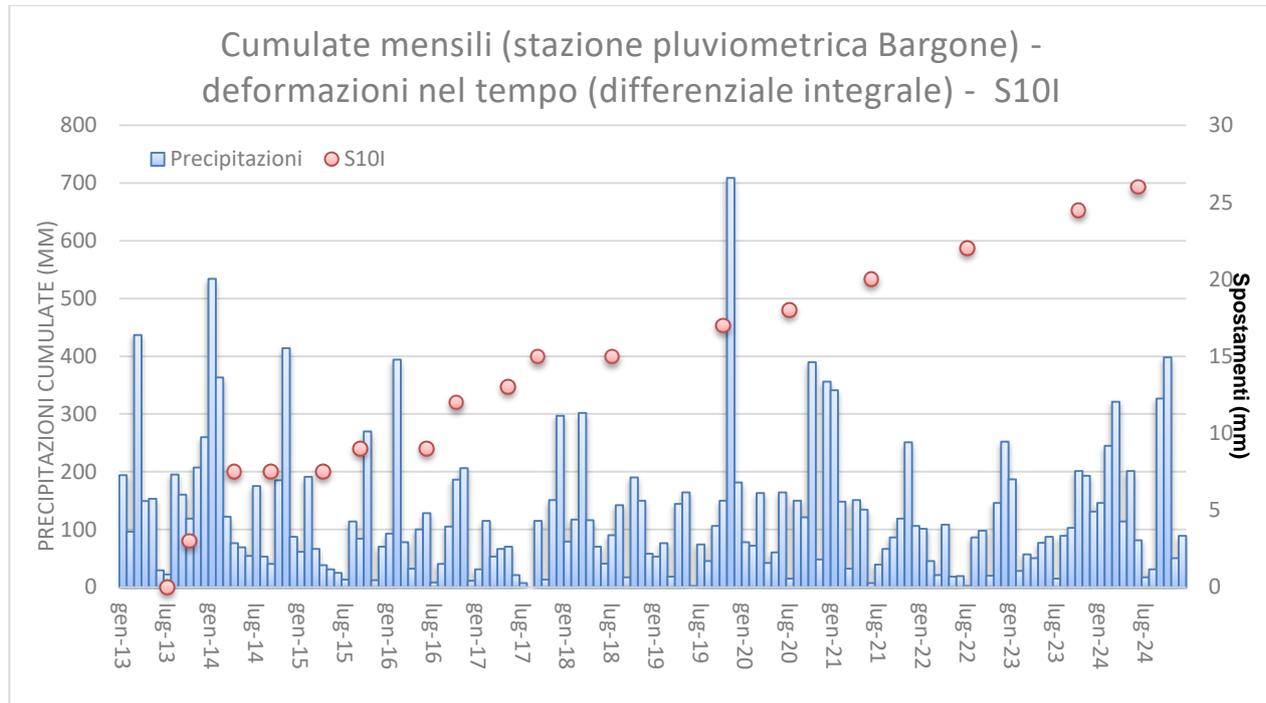


Fig. 30 – Andamento pluviometrico mensile (stazione Bargone) e letture inclinometriche S10I (anni 2013-2024).

Un discorso simile vale anche per la zona del centro abitato ove l'influenza degli eventi meteorici sembra essere contraddittoria: può accadere che non si verifichi alcun incremento a seguito di cumulate mensili importanti e che invece il movimento si ripresenti a distanza di mesi o anni in periodi modesti dal punto di vista precipitativo. Se si osservano i due grafici dal 2013 al 2017, periodo in cui risultavano attivi entrambi, si evince come l'incremento dello spostamento, concentrato nella parte superficiale di terreno, sia quasi comparabile, ancorchè non sia ancora visibile il piano di taglio in S11I.

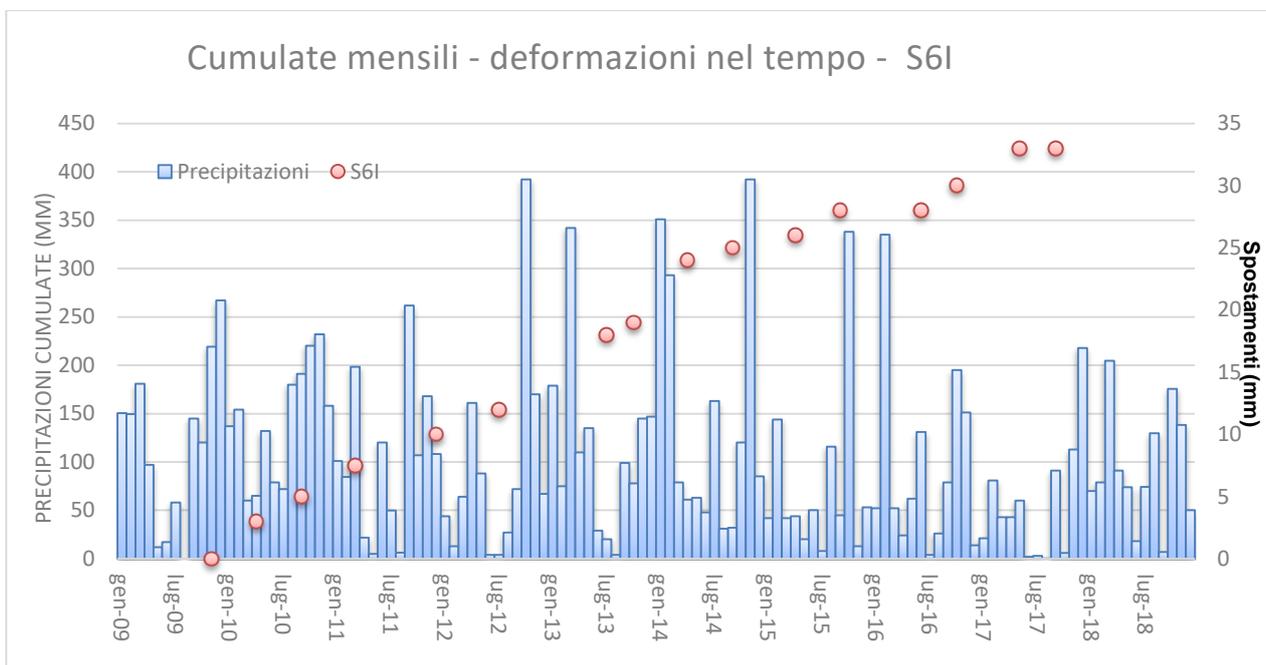


Fig. 31 – Andamento pluviometrico mensile (stazione SARA) e letture inclinometriche S6I - anni 2009-2017.

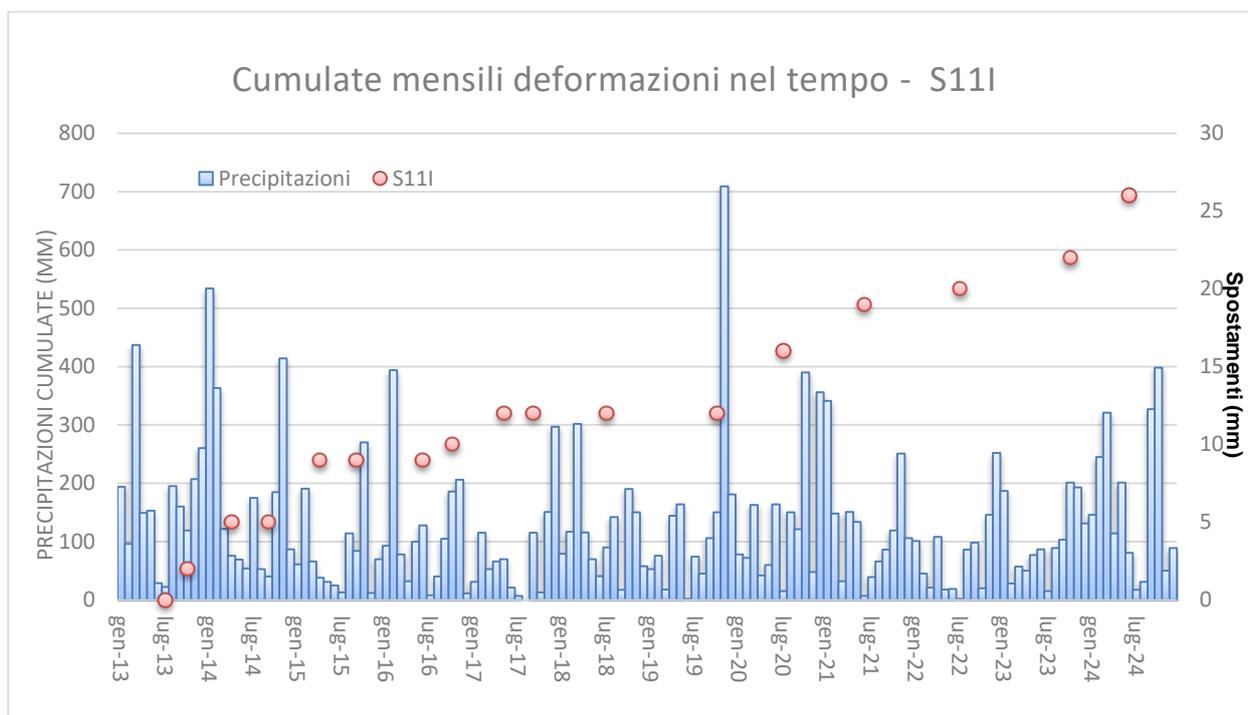


Fig. 32 – Andamento pluviometrico mensile (stazione Bargone) e letture inclinometriche S11I (anni 2013-2024).