

SV001 - Carbuta - Calice Ligure (SV)

1. *Inquadramento del sito*

Il sito di Carbuta nel comune di Calice Ligure, localizzato in una zona dove vengono a contatto ammassi rocciosi ascrivibili ai Porfiroidi del Melogno ed agli Scisti di Gorra (Fig.2), è stato monitorato dal 2009 al 2013 sugli inclinometri S1, S2 e S4 (installati nel corso del 2001) e sui piezometri S5, S7, S8 e S9. Nel corso del monitoraggio eseguito il 31/07/2014 si è constatata la rottura di tali inclinometri e quindi l'impossibilità di eseguire il monitoraggio inclinometrico; pertanto è proseguito un monitoraggio semiquantitativo osservazionale mediante ispezioni con telecamera da foro per verificare l'evoluzione della deformazione.

A partire dal 2014 sono intercorsi incontri tra ARPAL, Comune di Calice Ligure, la Provincia di Savona e i tecnici professionisti in cui si è prodotto un programma di esecuzione di tre nuovi sondaggi da condizionare ad inclinometro (S12, S13 e S14) ed uno a piezometro (S15), realizzati nel 2015.

Il movimento franoso non presenta, all'analisi di campagna, delle evidenze morfologiche tali da poter con sicurezza definirne i contorni. Si hanno in sostanza solamente delle indicazioni di attività che per la loro distribuzione fanno pensare ad un fenomeno gravitativo unico e di vaste proporzioni che lambisce l'abitato di Carbuta (*"Atlante dei Centri Abitati Instabili della Liguria"* – CNR- Prov, Savona, 2005).

Dai dati provenienti da carotaggi eseguiti, è stato ipotizzato, data l'estrema tettonizzazione riscontrata all'interno del substrato, che la frana interessi significative porzioni di versante legandosi a movimenti tipici di una deformazione gravitativa profonda di versante (DGPV). Gli inclinometri ricadono all'interno di un corpo di frana, costituente parte di un più ampio movimento gravitativo censito nell'*Inventario dei fenomeni franosi* (Progetto IFFI) (Fig.2).

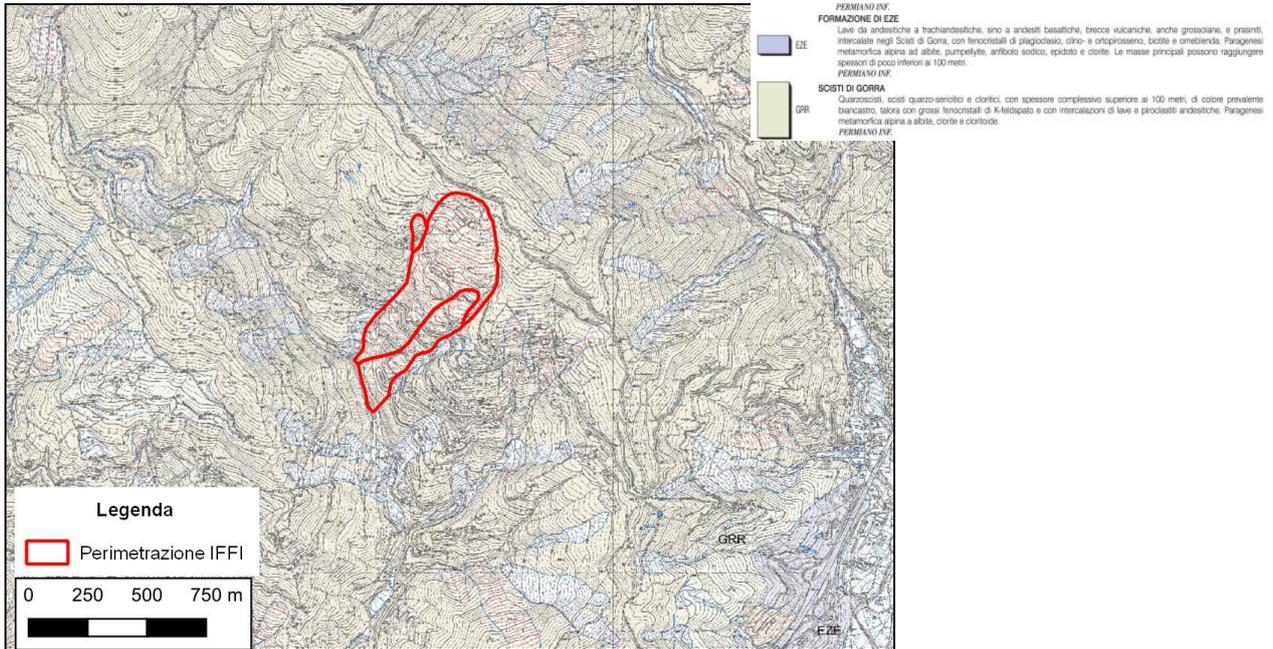


Fig. 1 - Stralcio Carta CARG – foglio 228 “Cairo Montenotte” (scala originale 1:10.000)

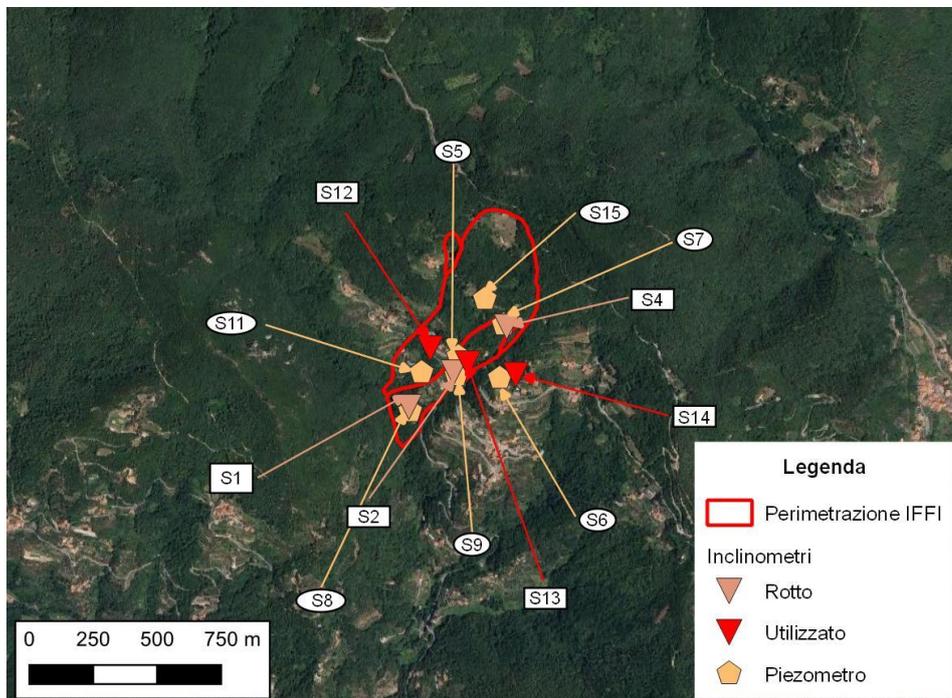


Fig. 2 - Posizione degli inclinometri S1, S2, e S4, S12, S13 e S14 e piezometri S5, S7, S8, S9, S15, S6, S11 ubicati sul versante oggetto del dissesto.

2. Campagne di indagine

Nel contesto degli studi propedeutici alla redazione del progetto di integrazione del monitoraggio (*“Resoconto sopralluogo in località Carbuta nel Comune di Calice Ligure” “Note illustrative alla carta geologico-strutturale ed alla carta geomorfologica”- Studio Associato di Geologia tecnica e ambientale, 2014*) è stata prodotta dallo Studio professionale un carta geologico-strutturale e geomorfologico che ha indicato come la tettonica abbia determinato il dissesto del versante di Carbuta: la sovrapposizione di fasi deformative con sviluppo di generazioni di scistosità e l’influenza della tettonica rigida hanno *“influenzato in maniera incisiva le dinamiche del versante ed in particolare del reticolo idrografico, risultando la causa predisponente della deviazione di alcuni corsi d’acqua e della formazione di alvei sepolti, sede di saturazione idrica nel corso degli eventi meteorici intensi”*.

Nel corso del 2015 si è avviata la campagna geognostica che ha dato le seguenti indicazioni litostratigrafiche:

- S12 (sondaggio eseguito a distruzione di nucleo, da 30 m a 40 m a carotaggio continuo) – da 0 a 20 m presenza di una coltre franosa, da 20 a 30 m alternanza di livelli roccia compatta e livelli di roccia intensamente fratturata fino a milonitizzata, segue un importante livello cataclastico fino a 38 m e infine fino a fondo foro (40 m) si ha una zona di roccia compatta (Figg. 3-4).



Fig.3 – Sondaggio S12, intervallo 30-35 m: i porfiroidi alternati agli scisti di Gorra assumono i caratteri di una breccia di faglia, nel caso una cataclasi.



Fig.4 – Sondaggio S12, intervallo 35-40 m: il livello cataclastico prosegue fino a 38m, ove si verifica il passaggio a un litotipo con buona qualità geomeccanica. I porfiroidi mostrano una giacitura inclinata dei piani di scistosità a circa 45° e lungo tali piani si verifica la fratturazione della roccia.

- S13 (sondaggio eseguito a distruzione di nucleo primi 10 m, da 10 a 40 m a carotaggio continuo)– da 0 a 7 m sottile coltre franosa, quindi metavulcaniti alterate e molto fratturate, talora con riempimento nelle fratture di materiale terroso alternate a compatte fino a 35 m, fino a 38 m livello alterato e cataclasato fino a milonitizzato, fino a 40 m scisti quarzo-sericitici alterati e fratturati (Figg. 5-6).



S13 - Casseta catalogatrice 30,0-35,0 m

Fig.5 – Sondaggio S13, intervallo 30-35 m: i porfiroidi con buona qualità geomeccanica mostrano una giacitura inclinata dei piani di scistosità a circa 45°; lungo tali piani si verifica la fratturazione della roccia. Si fa notare che le caratteristiche litotecniche della roccia sono tali già a partire dai livelli superficiali.



S13 - Cassetta catalogatrice 35.0-40.0 m

Fig.6 – Sondaggio S13, intervallo 35-40 m: cataclasi del materiale e i porfiroidi passano ad assumere i caratteri di una roccia di faglia con una intensa alterazione in prossimità del passaggio verso gli scisti quarzoso micacei.

- S14 (sondaggio eseguito a carotaggio continuo fino a 55 m) – da 0 a 22.80 m coltre franosa costituita da materiale sciolto e brandelli di basamento roccioso molto alterato, da 22.80 m alternanza di livelli di scisti quarzosi milonitizzati e talora argillificati, con livelli più compatti grigio chiari, talora milonitizzati e degradati fino a 50 m, quindi fino a 55 m metavulcaniti strutturate, con intercalati livelli più alterati e fratturati (Figg. 7-8-9).



S14 - Cassetta catalogatrice 15.0-20.0 m

Fig.7 – Sondaggio S14, intervallo 15-20 m: coltre franosa e brandelli di basamento roccioso.



S14 - Casseta catalogatrice 45.0-50.0 m

Fig.8 – Sondaggio S14, intervallo 45-50 m: intensa cataclasi del litotipo a partire da 22.80; la roccia appare completamente destrutturata con una intensa argillificazione da *fault breccia*.



S14 - Casseta catalogatrice 50.0-55.0 m

Fig.9 – Sondaggio S14, intervallo 50-55 m: comparsa del basamento roccioso con una discreta qualità geomeccanica e i porfiroidi risultano fratturati in prevalenza lungo i piani di scistosità.

- S15 (sondaggio eseguito a carotaggio continuo fino a 20 m) – comparsa del basamento roccioso da 10 m di profondità, alternanza di livelli di roccia alterata e fratturata con orizzonti completamente cataclasati e milonitizzati (Fig.10).



S15 - Casseta catalogatrice 15.0-20.0 m

Fig.10 – Sondaggio S15, intervallo 15-20 m: basamento roccioso alterato e fratturato con bassa qualità geomeccanica.

Nel corso del 2017 sono stati inseriti nel monitoraggio anche i piezometri S6 e S11 e sono stati avviati i lavori per installare le sonde automatiche negli inclinometri S12 e S13 e nei piezometri S7, S8, S9 e S15 (comunicazione di *Studio Associato di Geologia tecnica e ambientale* del novembre 2017). Nel 2018 si sono acquisiti i dati automatici degli inclinometri S12 e S13 e verso la fine dell'anno si è effettuata una lettura manuale lungo tutta la colonna inclinometrica per comparare i dati e per eseguire i lavori di bonifica del versante dissestato. Negli anni 2019 e 2020 si sono eseguite letture manuali e a fine 2020 sono state reinserite le sonde automatiche negli inclinometri S12 e S13.

Inclinometri: S12, S13 e S14, ex-(S1, S2 e S4)

Tipo	Complesso
Stato	Attivo/riattivato/sospeso
Identificativo	0090216702
Area [mq]	68407

Frana estesa a monte

Tipo	Complesso
Stato	Quiescente generico
Identificativo	0090216701
Area [mq]	190994

Di seguito si riassume l'ultima campagna, svolta nel 2023; il monitoraggio del sito è stato sospeso nel 2024. Si riportano aggiornati solo i dati delle sonde automatiche riferite agli inclinometri S12 ed S13.

Data	Attività	Strumentazione	Sistema di misura
31/12/2023	Scarico dati piezometri	S5,S6, S7, S8, S9, S11, S15	Sonde STS
20/04/2023	lettura di esercizio A1B1/A3B3	Inclinometro S14	Sonda servoaccelerometrica biax. S060314

Tab. 1 – Misure effettuate nel 2023 nel sito di Carbuta

3. Analisi dei dati inclinometrici

Inclinometro S1 (35.5 m) – zona inferiore della frana (valle del centro abitato)

In quattro anni di monitoraggio (2009-2013) si è rilevato uno spostamento totale di 45 mm in direzione W, coerentemente con la morfologia del versante, mentre nell'ultimo ciclo di letture effettuato, l'elaborazione differenziale integrale dal basso ha evidenziato un incremento di 22 mm in 10 mesi (luglio 2012 - maggio 2013). Il fascio delle curve inclinometriche ha individuato come unico

punto di deformazione, al di sopra di 35 m (livello di deformazione già rilevato a suo tempo), una zona localizzata a soli 2 m di profondità. A tale profondità si registra la progressione del movimento (spesso rilevato con riattivazioni e pause), confermato dall'elaborazione differenziale locale con un picco, il cui valore si aggira intorno a 25 mm (Figg.11-12).

Complessivamente ciò che emerge nei quattro anni di osservazioni mediante ispezione televisiva è una situazione pressoché immutata per quanto riguarda i punti di rottura della tubazione inclinometrica: gli scalini infatti appaiono con un'estensione comparabile o al più con un aumento della superficie, mentre una valutazione oggettiva sullo schiacciamento dovrà essere rimandata in attesa di maggiori deformazioni.

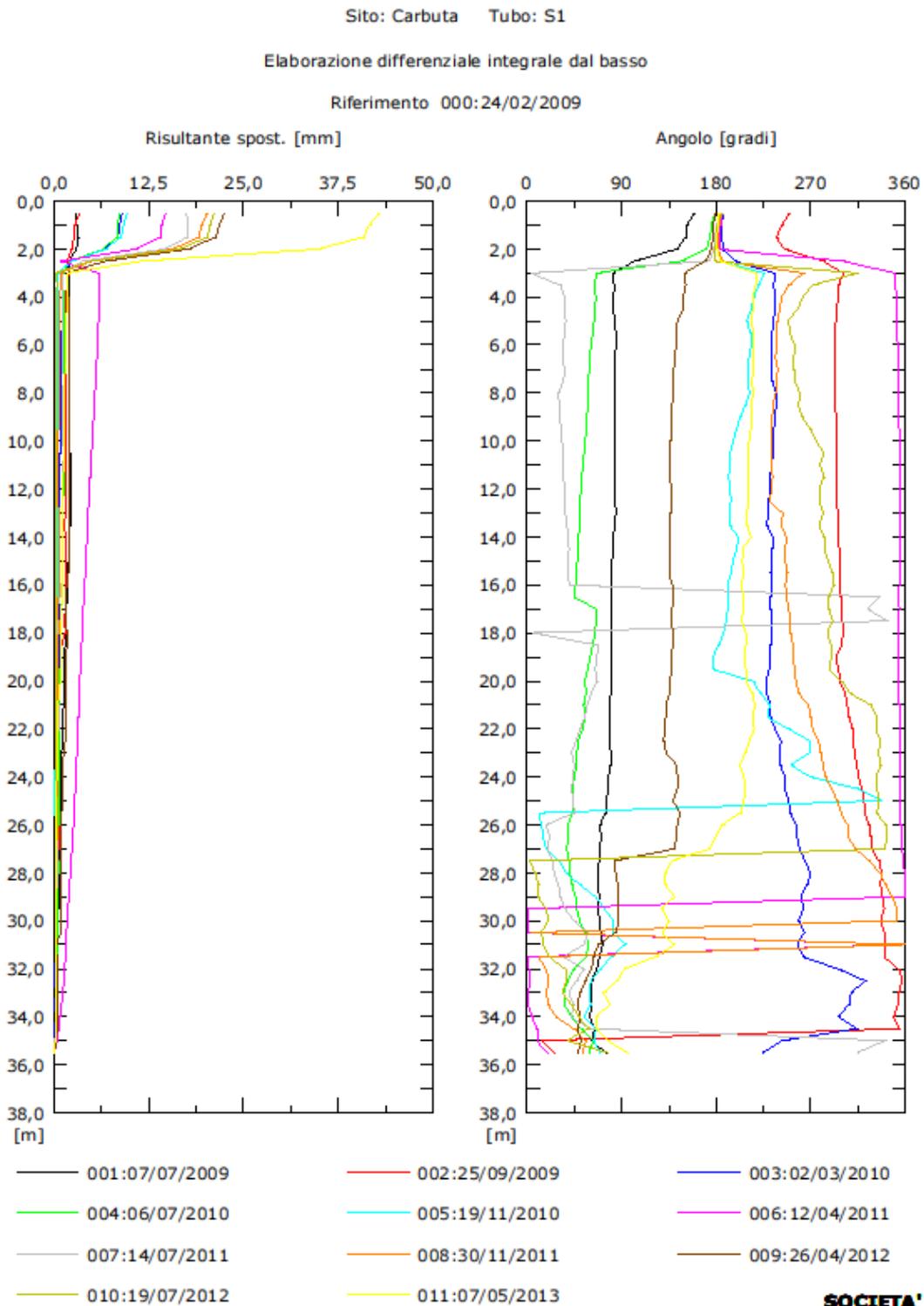


Fig. 11a - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) dell'inclinometro S1

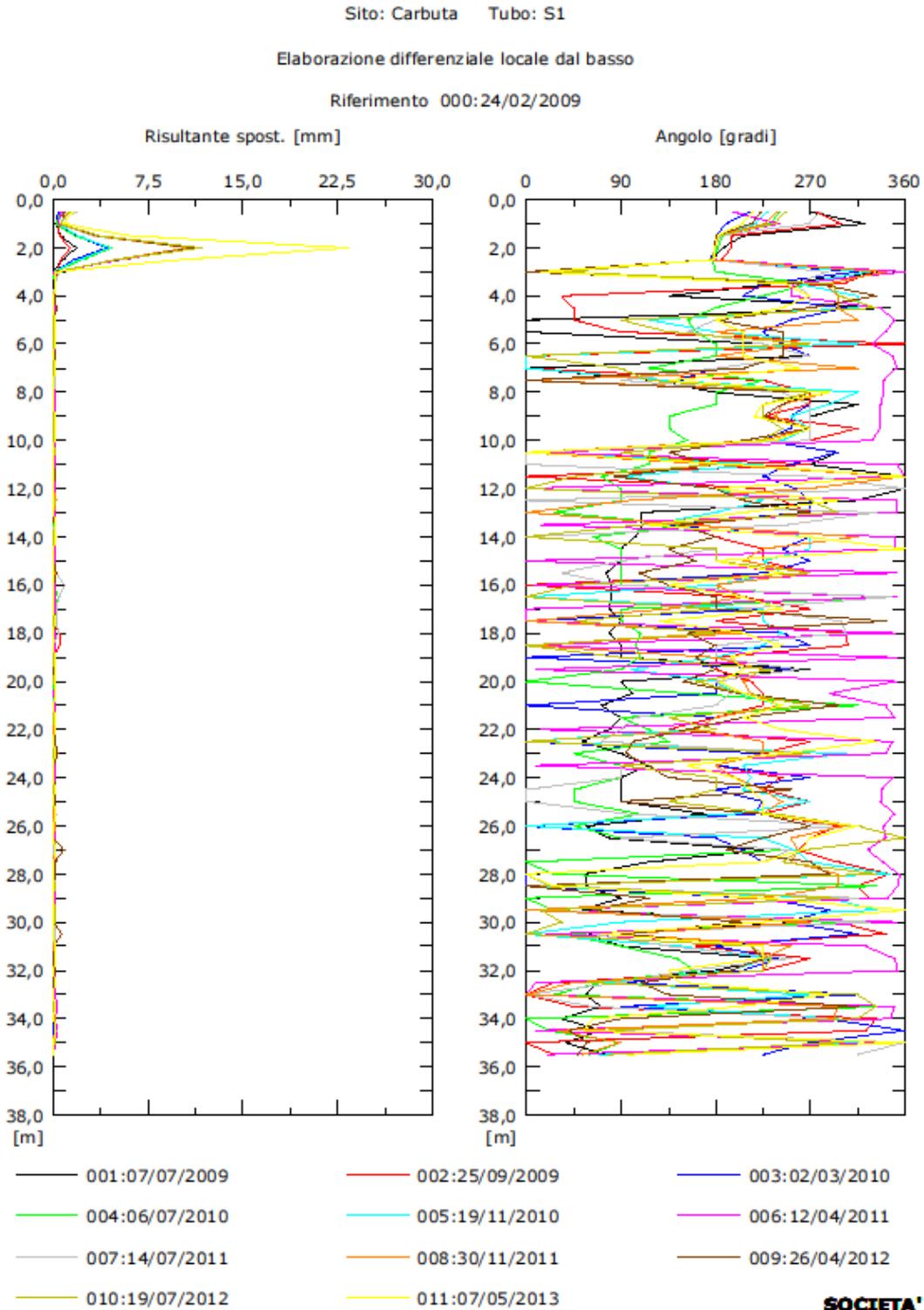


Fig. 11b - Grafico relativo all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro S1

Sito: Carbuta Tubo: S1
 Elaborazione differenziale integrale dal basso
 Riferimento 000:24/02/2009
 Diagramma polare della deviazione

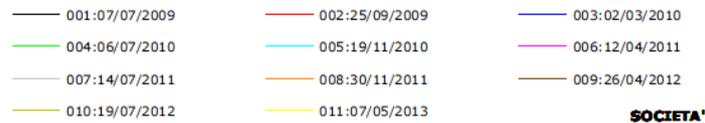
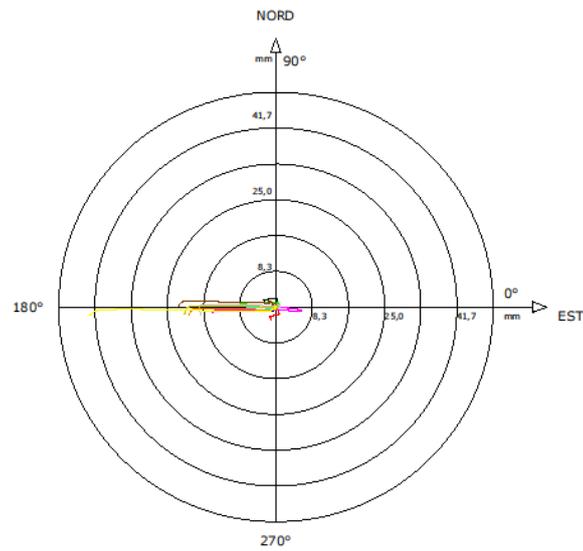


Fig. 12 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro S1

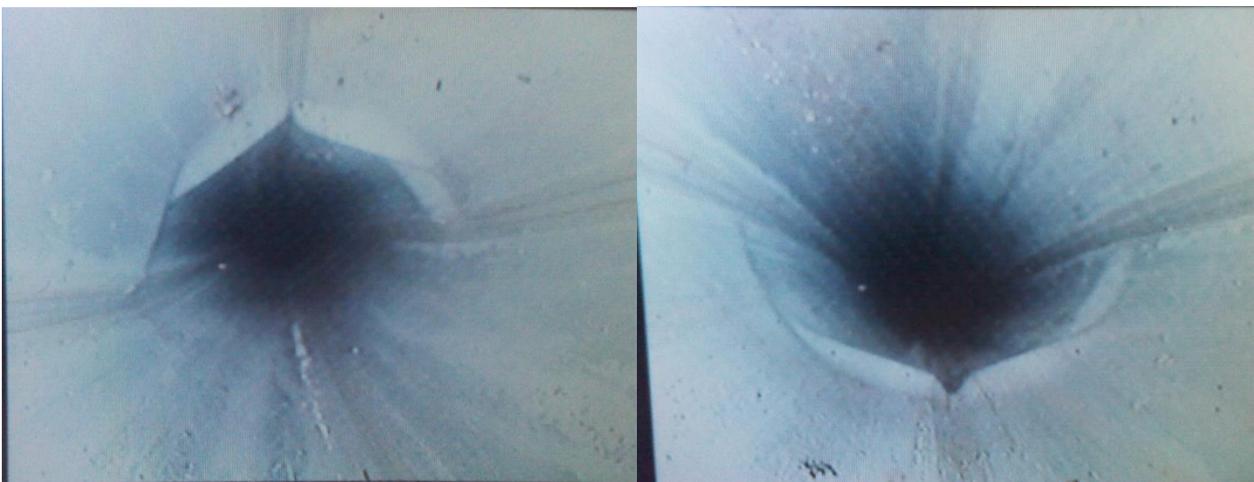


Fig. 13 - Rottura dell'inclinometro S1 a -1.8m (a sinistra) e a -2.4 m (a destra) – 31/07/2014



Fig. 14 - Rottura dell'inclinometro S1 a -1.8 m (a sinistra) e a -2.4 m (a destra) – 24/03/2015



Fig. 15 - Rottura dell'inclinometro S1 a -1.8 m (a sinistra) e a -2.4 m (a destra) – 7/12/2016



Fig. 16 - Rottura dell'inclinometro S1 a -1.8m (a sinistra) e a -2.4m (a destra) – 21/12/2017

Inclinometro S2 (44 m) – zona centrale della frana e dell'abitato

L'elaborazione differenziale integrale, dopo l'accelerazione di 26 mm misurata nel maggio 2013, ha evidenziato nell'ottobre 2013 una decelerazione pari a 4 mm, per uno spostamento totale di 65 mm ed una direzione generale di movimento verso S-SW. Gli incrementi sono determinati principalmente dallo scorrimento della massa franosa lungo il piano di taglio principale già individuato nel corso del 2009 e registrato dall'inclinometro a 17 m di profondità (Figg.17-18). Complessivamente dal febbraio 2009 l'inclinometro aveva evidenziato continui spostamenti senza rilevare particolari accelerazioni o pause, eccezione fatta per lo spostamento misurato nel maggio 2013, che risulta essere il maggior incremento.

Si sottolinea che l'inclinometro, già fortemente deformato alla profondità di 17 m, a seguito dell'ultima lettura di ottobre 2013 è stato considerato inutilizzabile poiché il recupero della sonda è avvenuto con molta difficoltà per disincagliarla lungo le guide A1 e A3.

Complessivamente ciò che emerge nei quattro anni di osservazioni mediante ispezione televisiva è una situazione pressoché immutata per quanto riguarda i punti di rottura della tubazione inclinometrica: gli scalini, infatti, appaiono con un'estensione simile o al più con un leggero aumento della superficie ma complessivamente il volume libero all'interno dell'inclinometro risulta invariato. Si osserva invece una variazione nella posizione del volume libero al di sotto dei gradini, indice di un'inclinazione del tratto di tubazione sottostante.

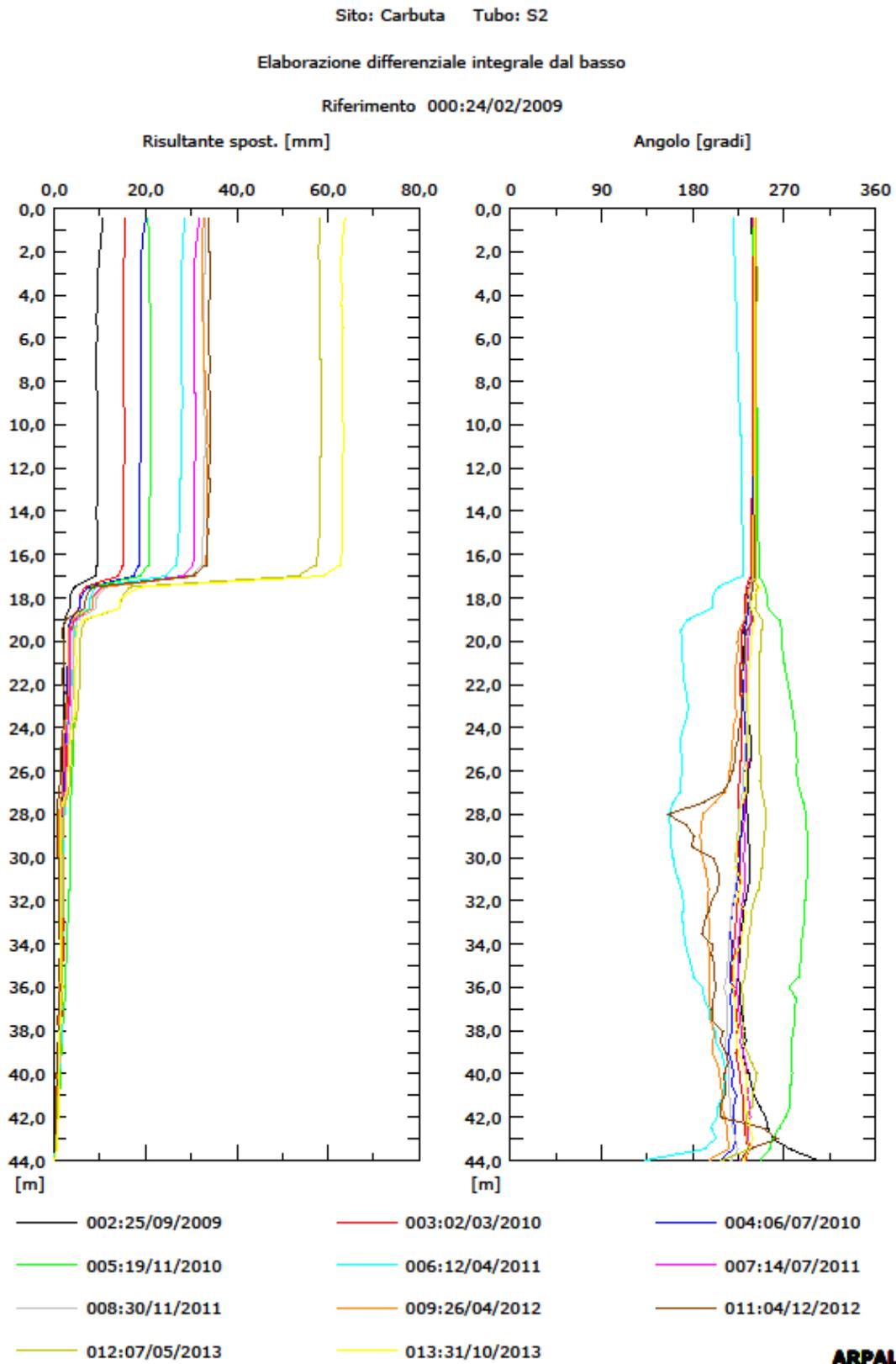


Fig. 17a - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) dell'inclinometro S2

Sito: Carbuta Tubo: S2

Elaborazione differenziale locale dal basso

Riferimento 000:24/02/2009

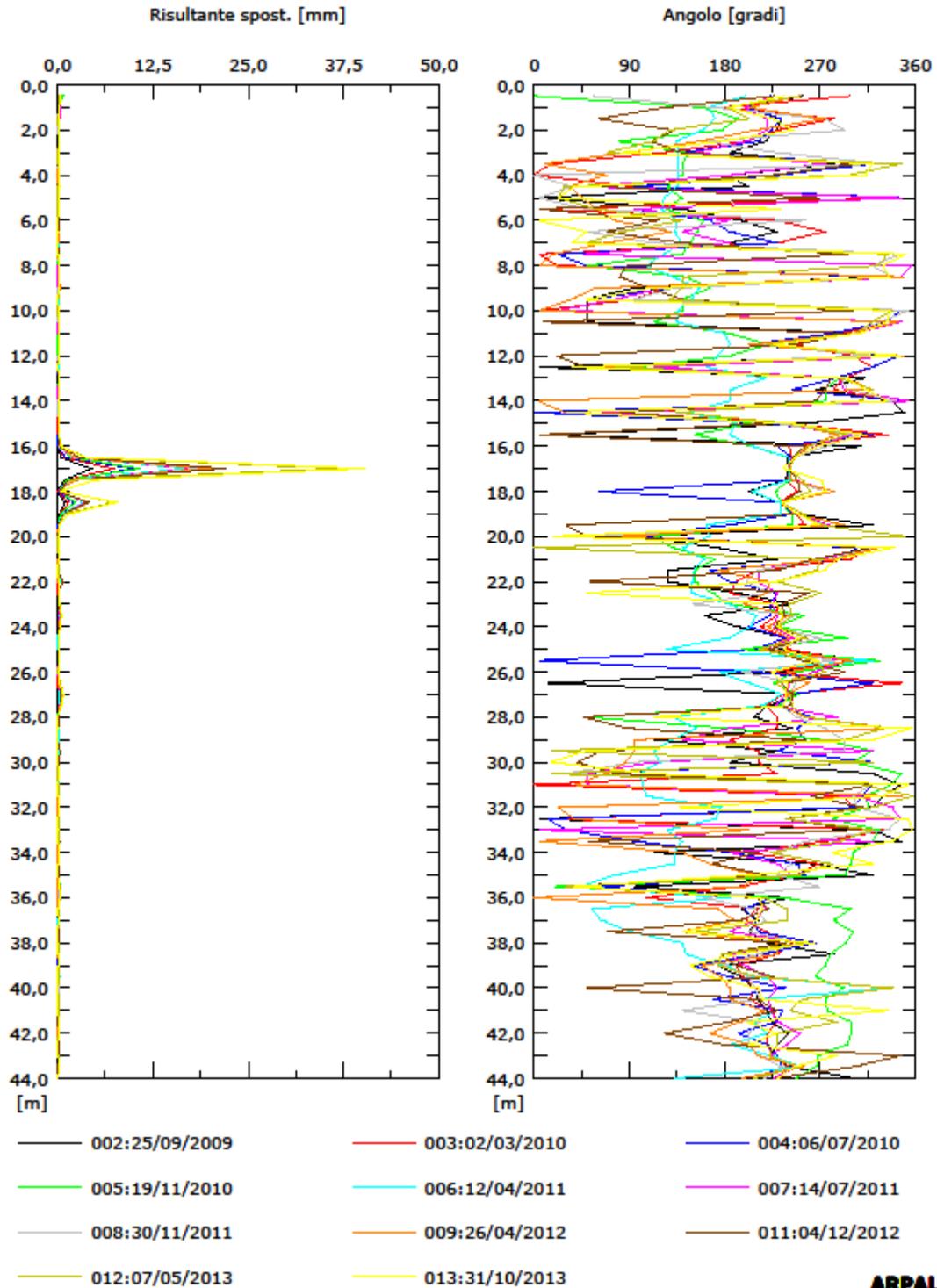
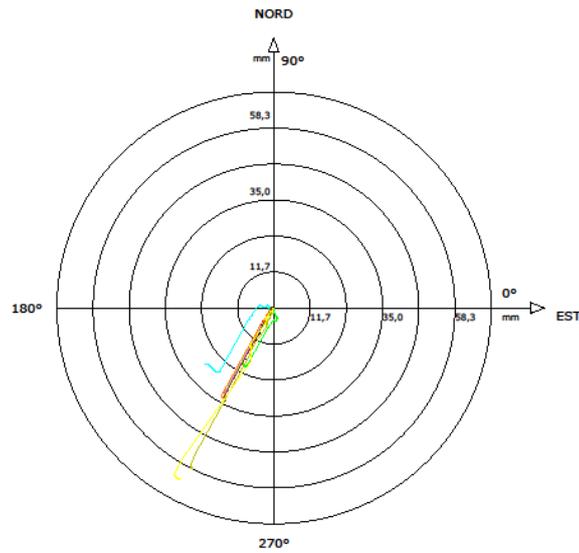


Fig. 17b - Grafico relativo all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro S2

Sito: Carbuta Tubo: S2
 Elaborazione differenziale integrale dal basso
 Riferimento 000:24/02/2009
 Diagramma polare della deviazione



- | | | |
|------------------|------------------|------------------|
| — 002:25/09/2009 | — 003:02/03/2010 | — 004:06/07/2010 |
| — 005:19/11/2010 | — 006:12/04/2011 | — 007:14/07/2011 |
| — 008:30/11/2011 | — 009:26/04/2012 | — 011:04/12/2012 |
| — 012:07/05/2013 | — 013:31/10/2013 | |
- ARPAL**

Fig. 18 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro S2



Fig. 19 - Rottura dell'inclinometro S2 a -16.8m (a sinistra) e a 17.10m (a destra) – 31/07/2014



Fig. 20 - Rottura dell'inclinometro S2 a -16.8m (a sinistra) e a 17.10m (a destra) – 24/03/2015



Fig. 21 - Rottura dell'inclinometro S2 a -16.8m (a sinistra) e a 17.10m (a destra) – 7/12/2016



Fig. 22 - Rottura dell'inclinometro S2 a -16.8m (a sinistra) e a 17.10m (a destra) – 21/12/2017

Inclinometro S4 (34.5 m) – zona superiore della frana e del centro abitato

L'elaborazione differenziale integrale ha evidenziato nel maggio 2013 il maggior incremento pari a 49 mm rispetto a dicembre 2012, a cui segue, con la lettura di ottobre, una decelerazione quantificata in 7 mm di spostamento; il movimento totale ammonta a 120 mm con una direzione generale di movimento verso S-SW. Gli incrementi sono determinati principalmente dallo scorrimento della massa franosa lungo il piano di taglio principale già individuato nel corso del 2009 e registrato dall'inclinometro a 20 m di profondità (Fig. 23-24). Complessivamente dopo due anni di alternanze tra movimenti e stasi di breve durata, si sono succedute le due maggiori accelerazioni, riferibili ai periodi novembre 2010 - aprile 2011 (30 mm di spostamento) e dicembre 2012 - maggio 2013 (49 mm di spostamento) intervallate dalla più lunga quiescenza, della durata di quasi due anni.

Complessivamente ciò che emerge nei primi tre anni di osservazioni mediante ispezione televisiva è una situazione pressoché immutata per quanto riguarda i punti di rottura della tubazione inclinometrica: gli scalini infatti appaiono con un'estensione simile o al più con un leggero aumento della superficie ma complessivamente il volume libero all'interno dell'inclinometro risulta variato. L'ultima osservazione (la quarta) infatti ha evidenziato uno schiacciamento e una chiusura progressiva della tubazione.

Sito: Carbuta Tubo: S4

Elaborazione differenziale integrale dal basso

Riferimento 000:24/02/2009

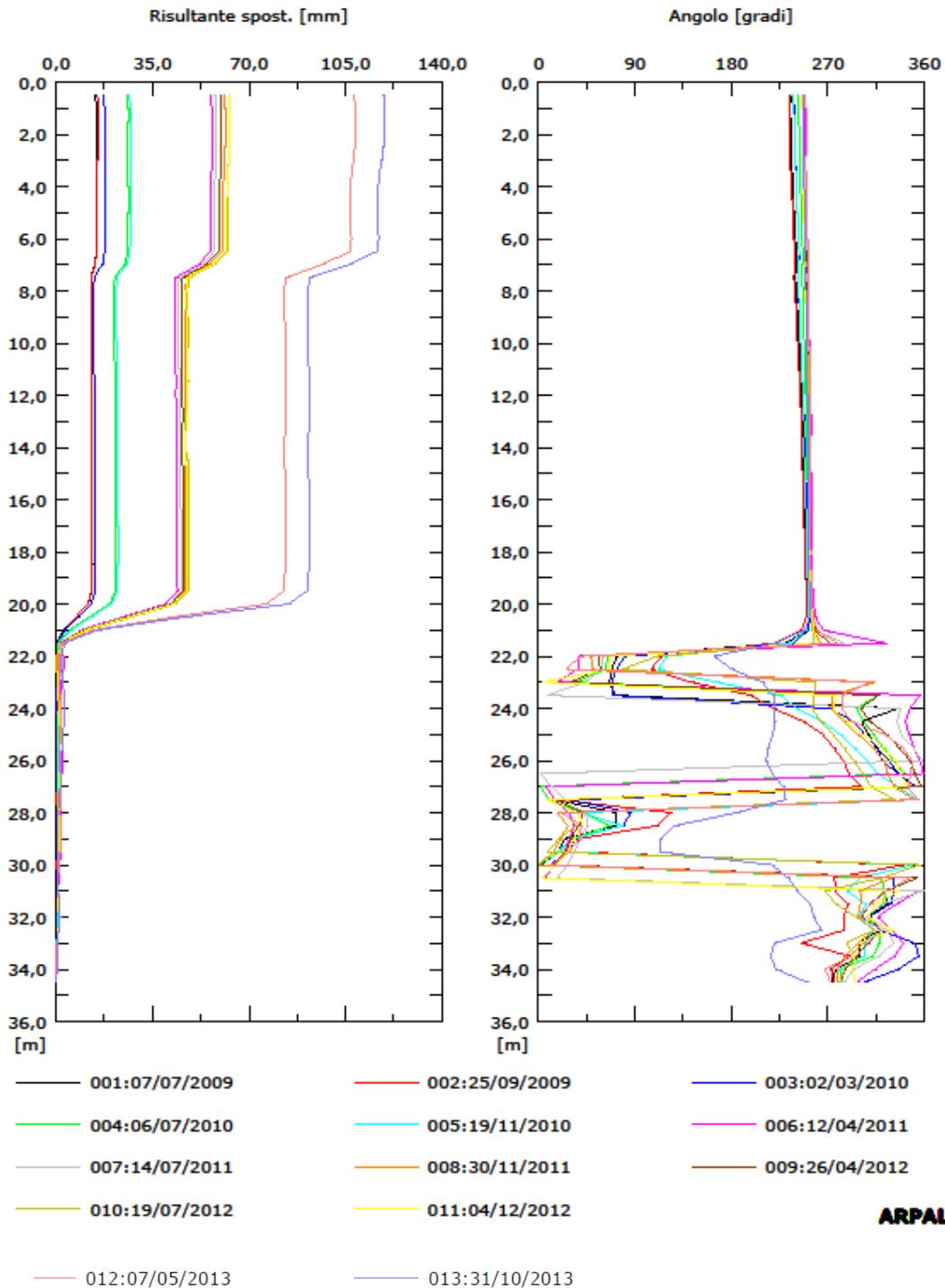


Fig.23a - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) dell'inclinometro S4

Sito: Carbuta Tubo: S4

Elaborazione differenziale locale dal basso

Riferimento 000:24/02/2009

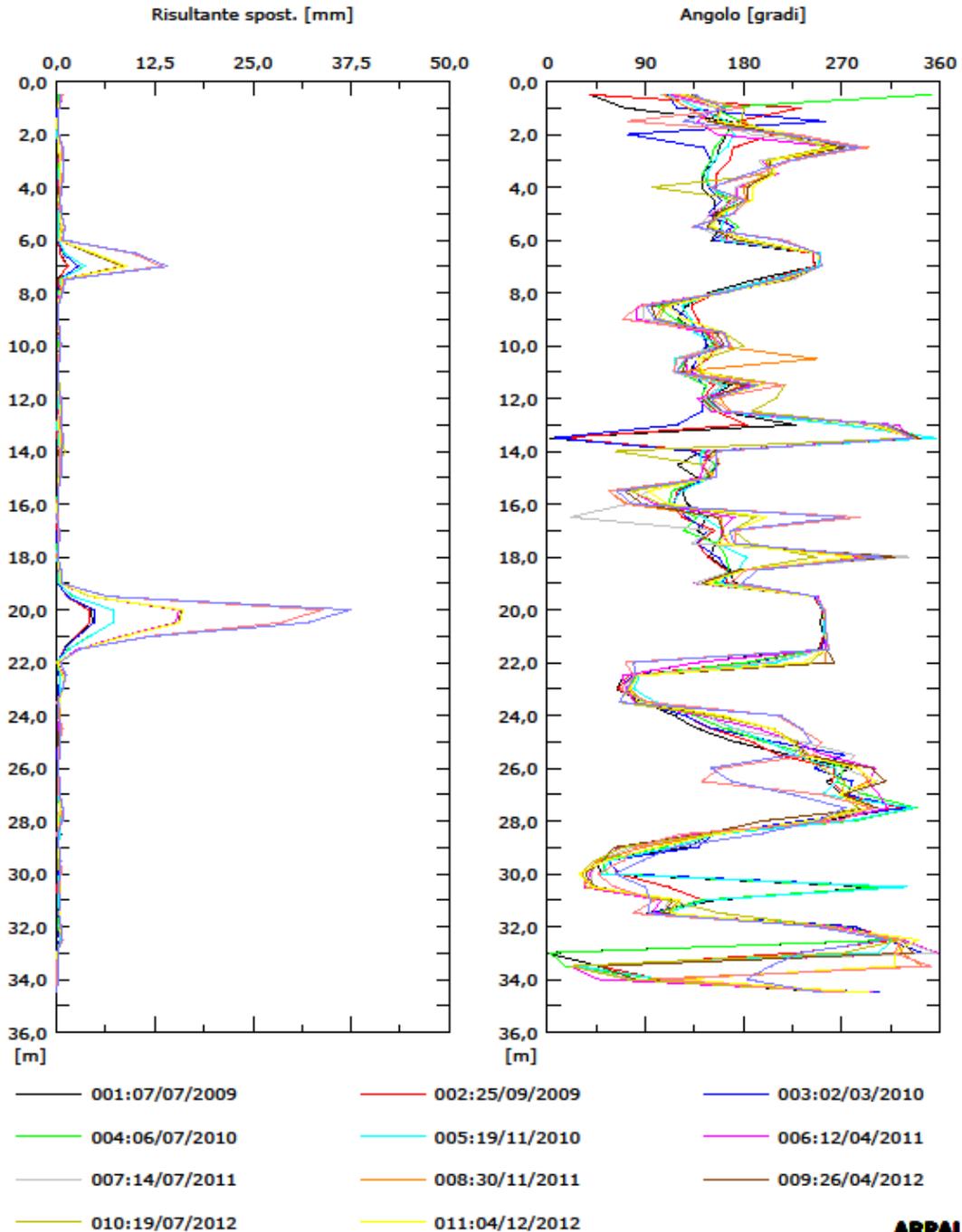


Fig.23b - Grafico relativo all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro S4

Sito: Carbuta Tubo: S4
 Elaborazione differenziale integrale dal basso
 Riferimento 000:24/02/2009
 Diagramma polare della deviazione

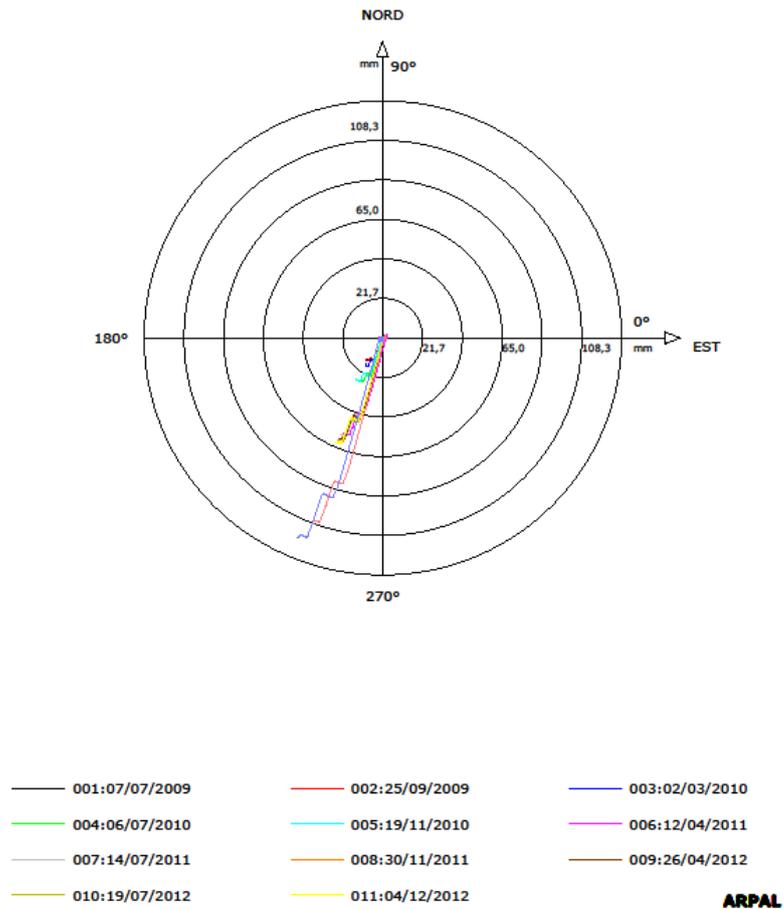


Fig. 24 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro S4



Fig. 25 - rottura dell'inclinometro S4 a -19.75 m – 31/07/2014



Fig. 26 - Rottura dell'inclinometro S4 a -19.75 m –
24/03/2015



Fig. 27 – Rottura dell'inclinometro S4 a -19.75 m (sinistra) e a – 20.70 m (destra) - 7/12/2016

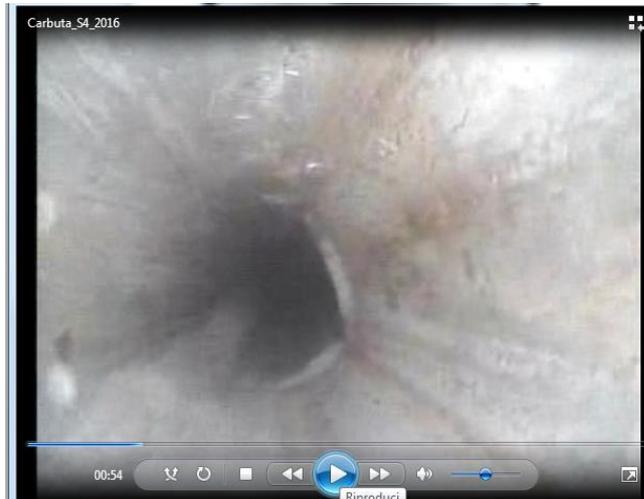


Fig. 28 - Piano di taglio dell'inclinometro S4 a -7.20 m (superficiale) - 7/12/2016

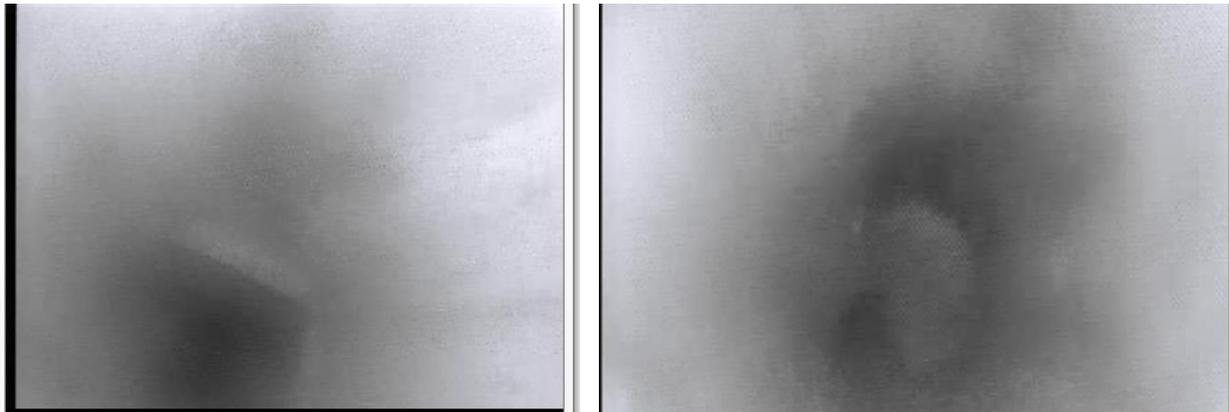


Fig. 29 - Piano di taglio dell'inclinometro S4 superficiale a -7 m (a sinistra) e ostruzione dell'inclinometro a -20.50 m (a destra), nella zona del piano di taglio principale. Si rileva inoltre una diminuzione del volume libero - 21/12/2017

Inclinometro S12 (39 m) – parte mediana del versante

Nel 2019 e 2020 erano state effettuate due letture manuali lungo tutta la colonna inclinometrica, a seguito dei lavori di sistemazione del versante: prima dell'avvio degli stessi la strumentazione fissa in foro, inserita nel 2017 e attiva per tutto il 2018, era stata prelevata per non subire potenziali danni e a lavori ultimati il Comune aveva richiesto ad ARPAL un ciclo di letture manuali sugli inclinometri presenti a Carbuta. Nel corso del 2021 erano stati scaricati i dati derivati dalla sonda automatica OTR.

I grafici (Fig. 30-31), relativi ai dati automatici, mostrano l'andamento della deformazione senza evidenziare particolari incrementi. A causa degli interventi la lettura ha iniziato la misurazione a fondo foro a 39,5 m per aggiunta di 0,5 m di tubo.

La verifica dei *dataset* manuali attraverso il "checksum" non ha evidenziato anomalie strumentali nelle letture di esercizio. Dall'elaborazione dei dati inclinometrici si

osserva un movimento totale degli spostamenti pari a circa 75 mm (che però comprende circa 20 mm in testa tubo a 0-2 m di profondità dovuti alla deformazione superficiale e all'assestamento dell'opera di sostegno che ha interessato anche l'inclinometro, ma complessivamente di circa 35 mm per lo spostamento del versante, con un incremento di 6 mm circa in un anno di tempo ed evoluzione a -28 m del piano di taglio principale associato ad uno secondario a -32 m sempre in direzione S-SW (coerente con la direzione degli spostamenti in S2) e ad una zona superficiale tra -4 m e -6 m a debole intensità.

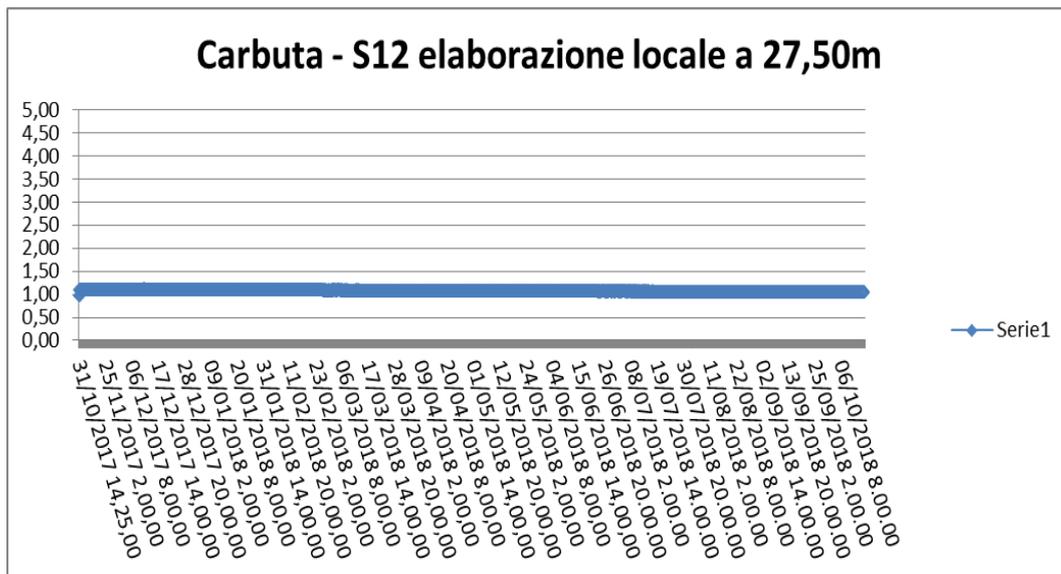


Fig. 30 - Grafico relativo all'elaborazione dei dati inclinometrici automatici dell'inclinometro S12 (dati OTR).

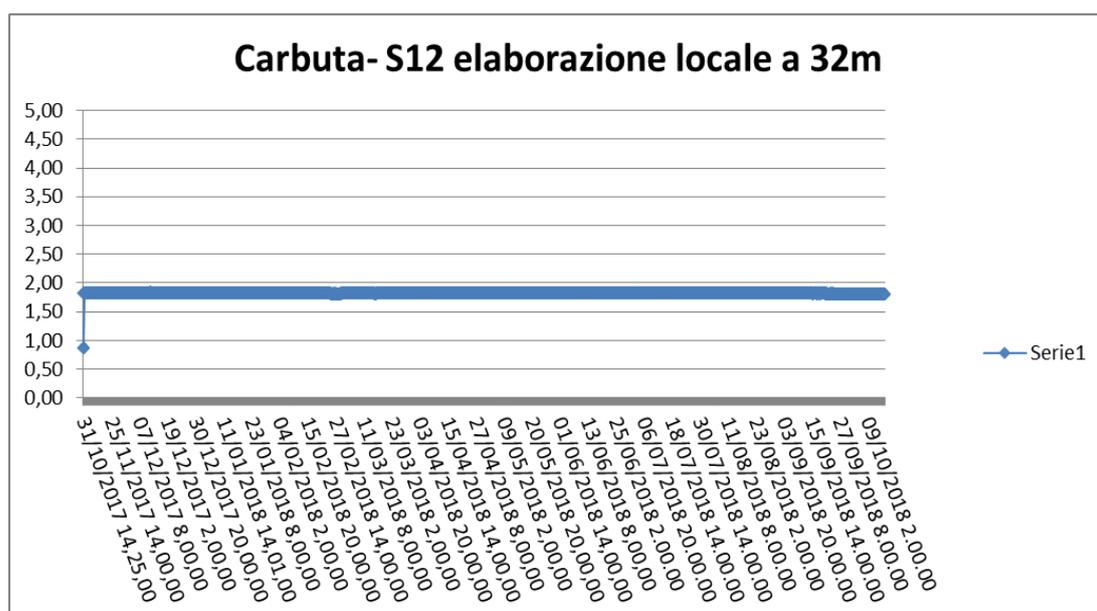
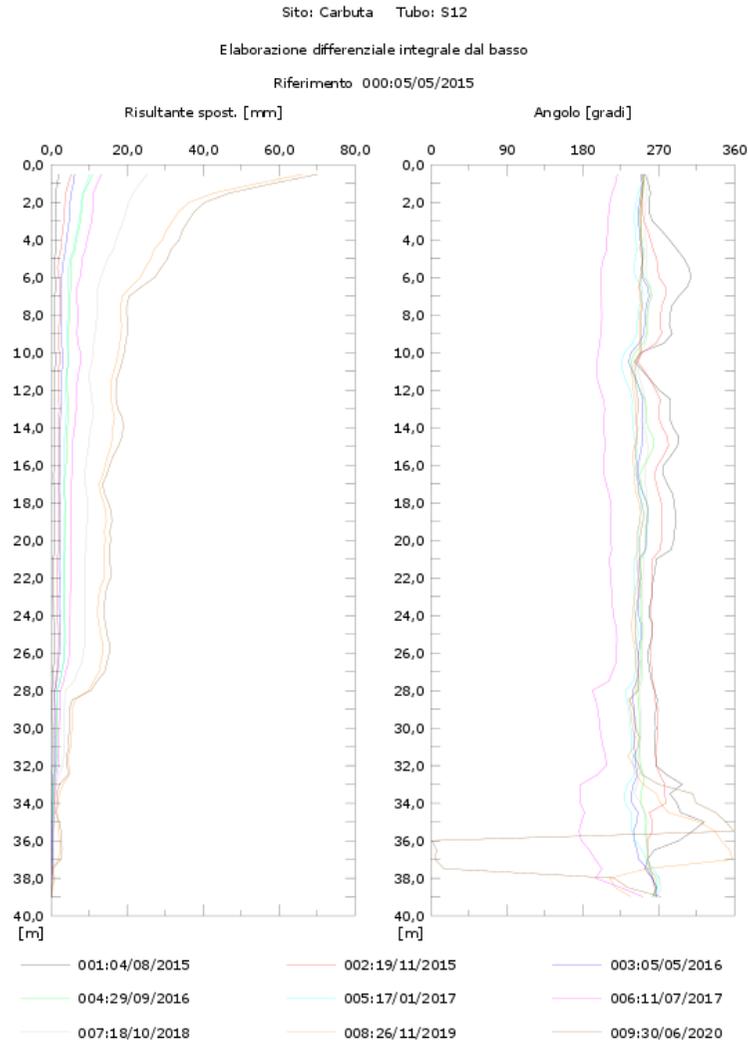
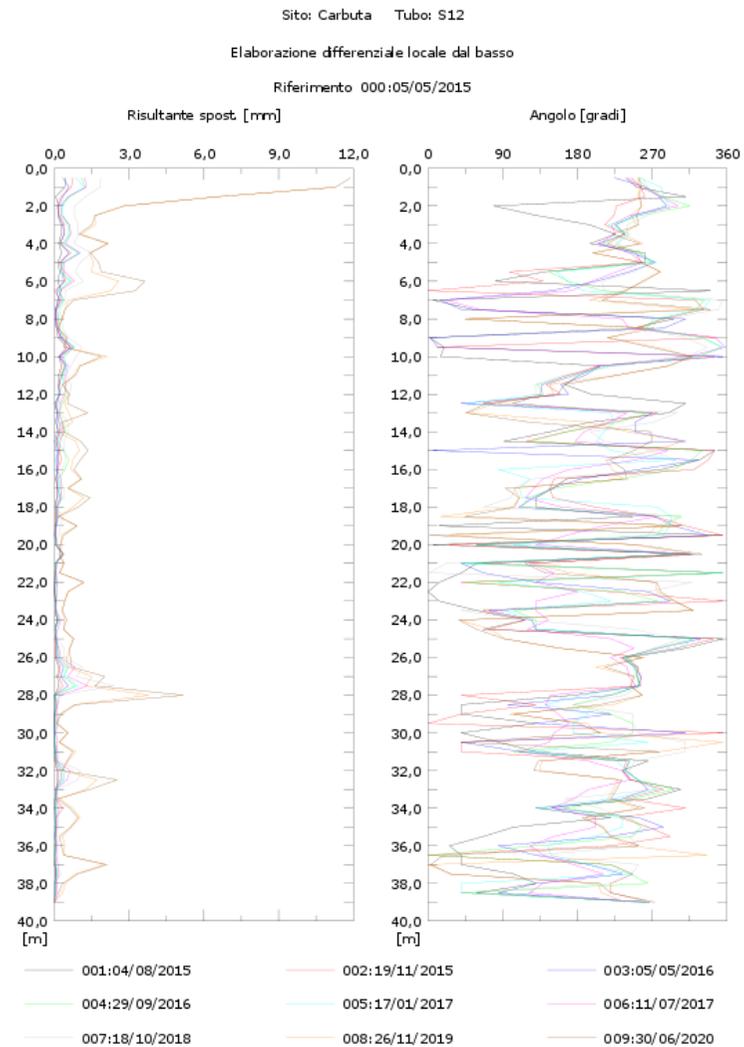


Fig. 31 - Grafico relativo all'elaborazione dei dati inclinometrici automatici dell'inclinometro S12 (dati OTR).

REMOVER 2008-2024



ARPAL



ARPAL

Fig.32 - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) e all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro S12

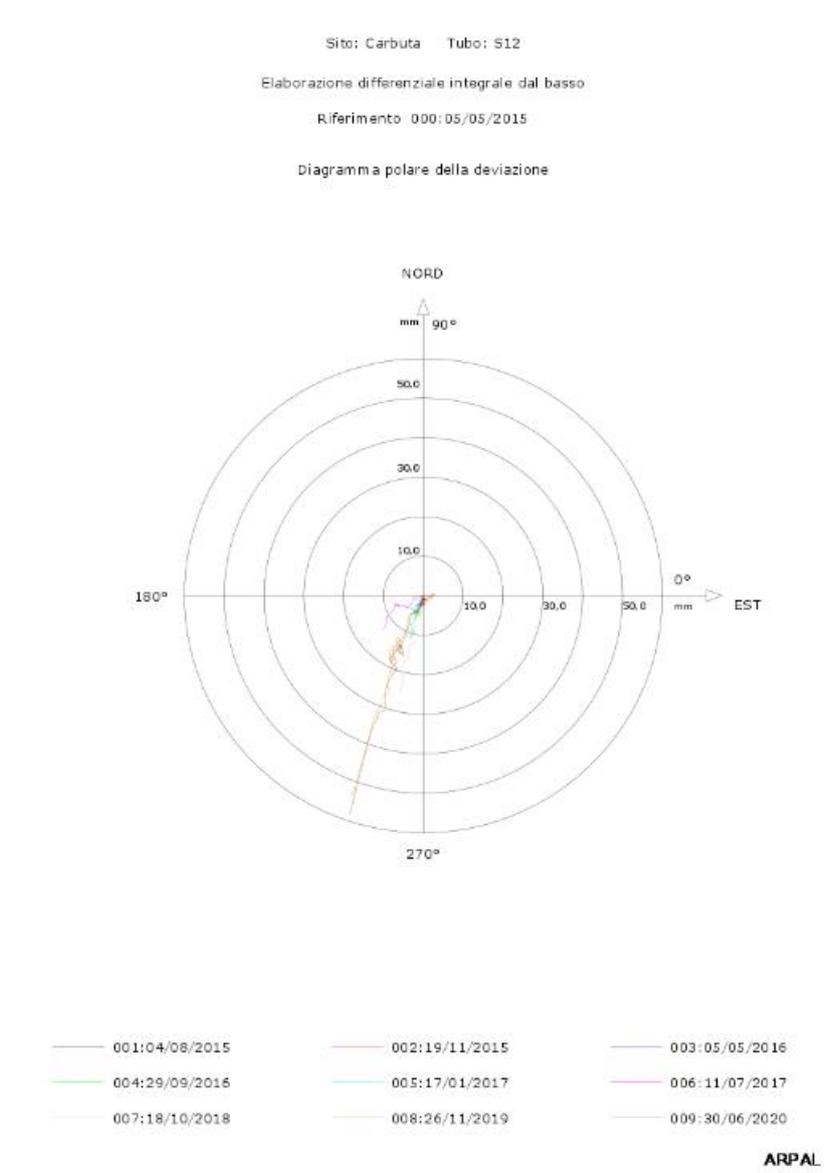


Fig. 33 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro S12

Nel luglio del 2020 sono state riposizionate le sonde automatiche a differenti profondità (Figg. 34-35-36-37) ed alla fine di dicembre 2024 la situazione era pressoché immutata, senza particolari evidenze di movimenti.

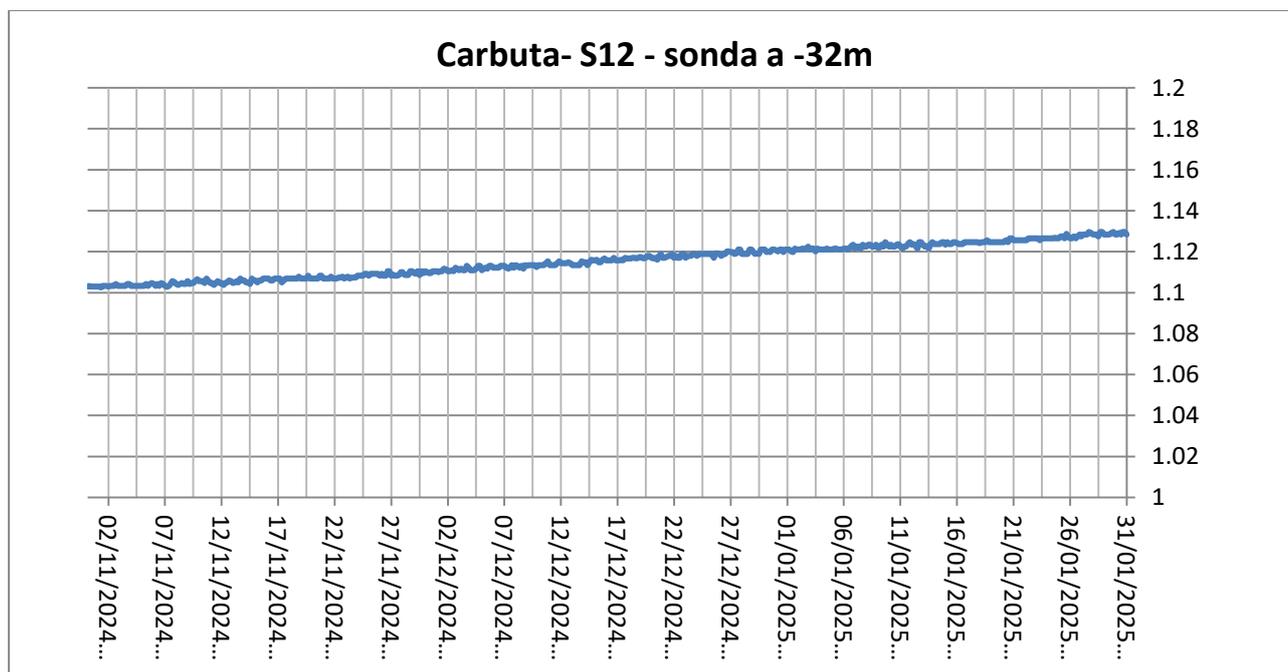


Fig. 34 - Grafico relativo all'elaborazione dei dati inclinometrici automatici dell'inclinometro S12 (dati OTR).

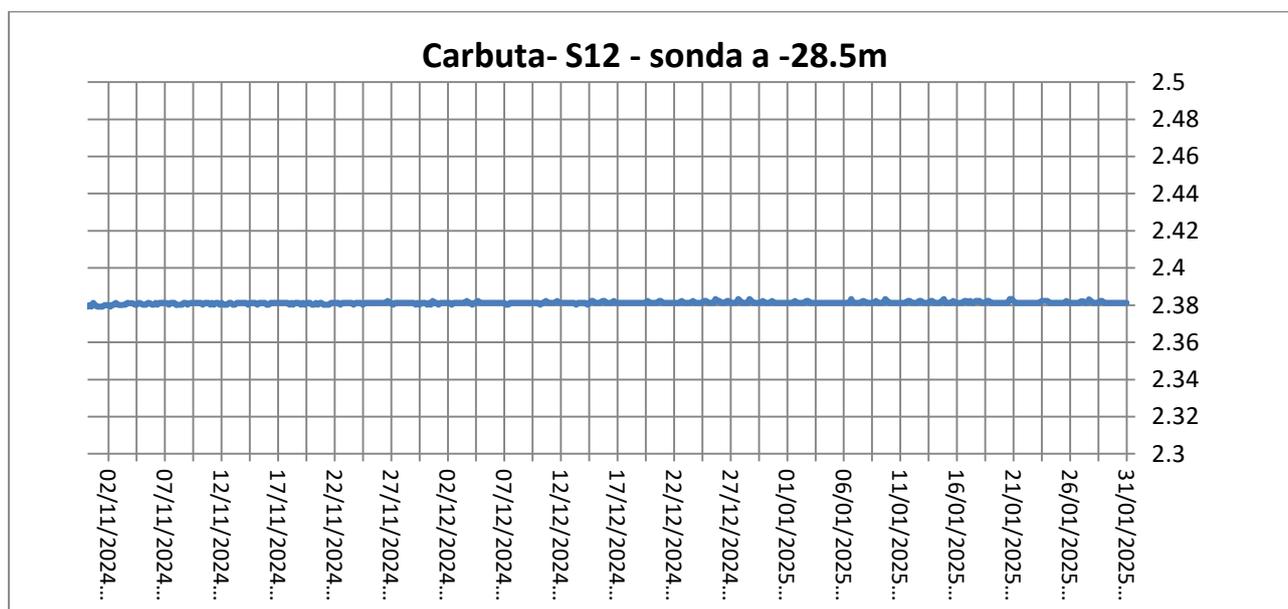


Fig. 35 - Grafico relativo all'elaborazione dei dati inclinometrici automatici dell'inclinometro S12 (dati OTR).

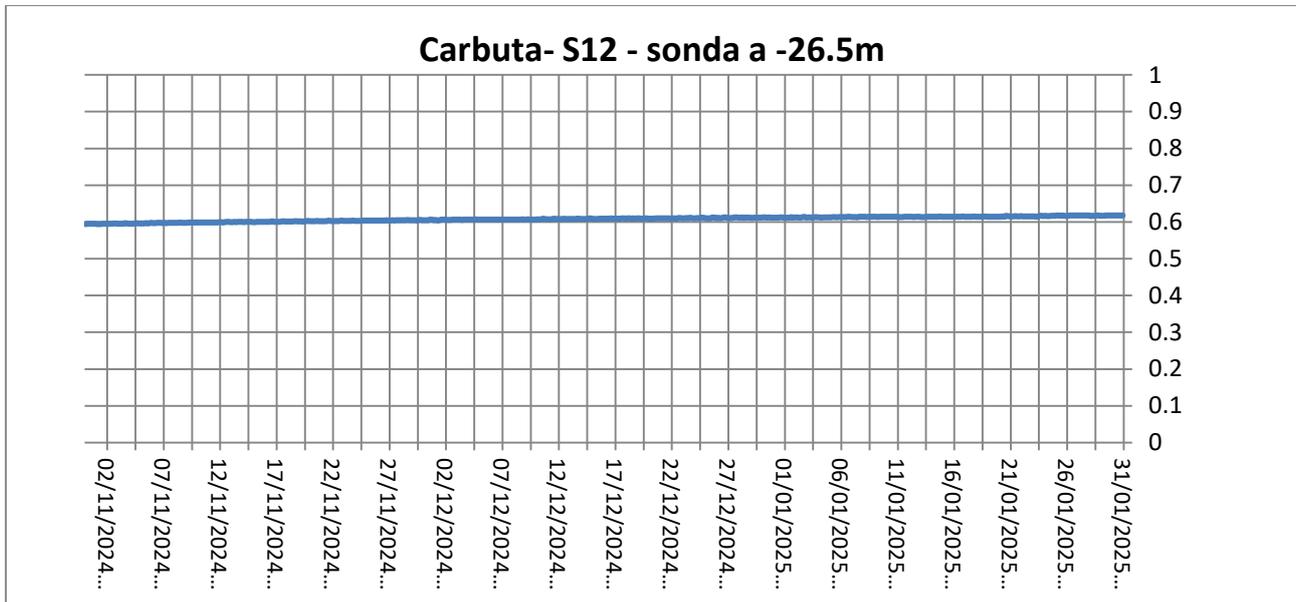


Fig. 36 - Grafico relativo all'elaborazione dei dati inclinometrici automatici dell'inclinometro S12 (dati OTR).

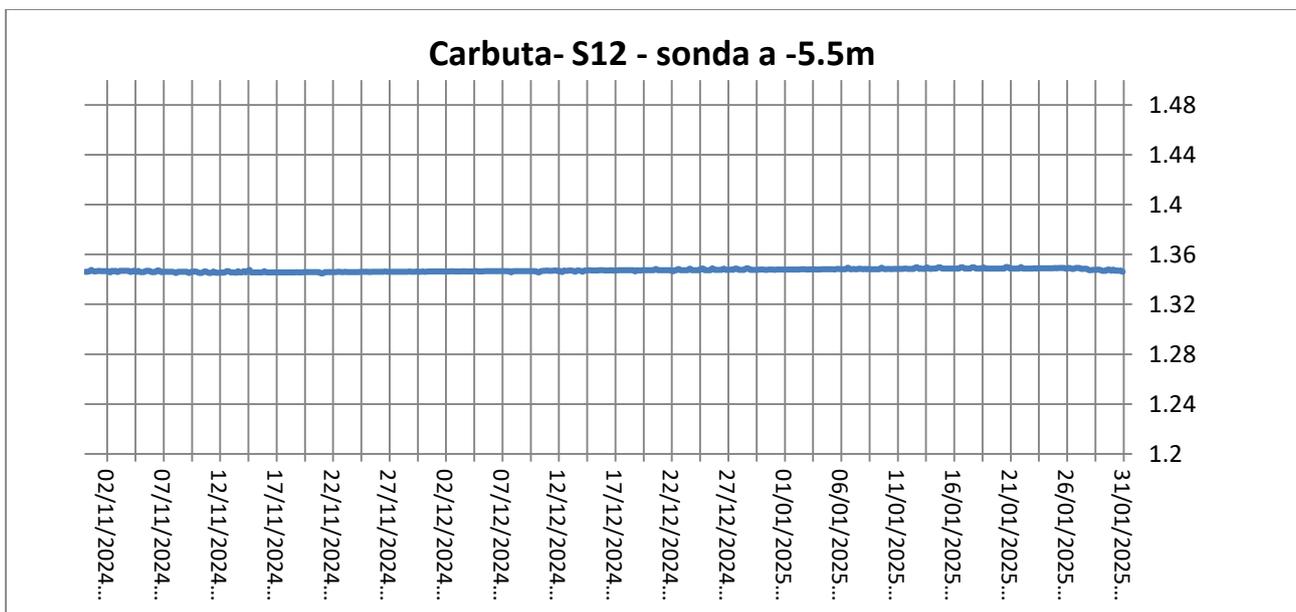


Fig. 37 - Grafico relativo all'elaborazione dei dati inclinometrici automatici dell'inclinometro S12 (dati OTR).

Inclinometro S13 (39 m) – parte mediana del versante

Nel 2019 e 2020 erano state effettuate due letture manuali lungo tutta la colonna inclinometrica, a seguito dei lavori di sistemazione del versante: prima dell'avvio degli stessi la strumentazione fissa in foro, inserita nel 2017 e attiva per tutto il 2018, era stata prelevata per non subire potenziali danni e a lavori ultimati il Comune aveva richiesto ad ARPAL un ciclo di letture manuali sugli inclinometri presenti a Carbuta.

Tale lettura avrebbe avuto anche il fine di comparare i dati automatici e con quelli manuali.

I grafici (Figg.38 e 39), relativi ai dati automatici, mostrano l'andamento della deformazione senza evidenziare particolari incrementi.

La verifica dei dataset manuali delle misure effettuate nel 2020 attraverso il "checksum" non ha evidenziato anomalie strumentali nelle letture di esercizio. Dall'elaborazione dei dati inclinometrici non si sono rilevate deformazioni sostanziali in profondità mentre sembra essere sempre in evoluzione una zona potente tra -2 m e -6 m cui si associa un valore di spostamento con un picco pari a 6 mm a -6 m di profondità. Anche in questo caso così come per S12 si assiste ad uno "stiramento della deformata inclinometrica" in superficie a -1 m verosimilmente dovuto alla deformazione superficiale e ai lavori dell'opera di sostegno. Il totale della deformazione in testa tubo si attesta a valori di 48 mm.

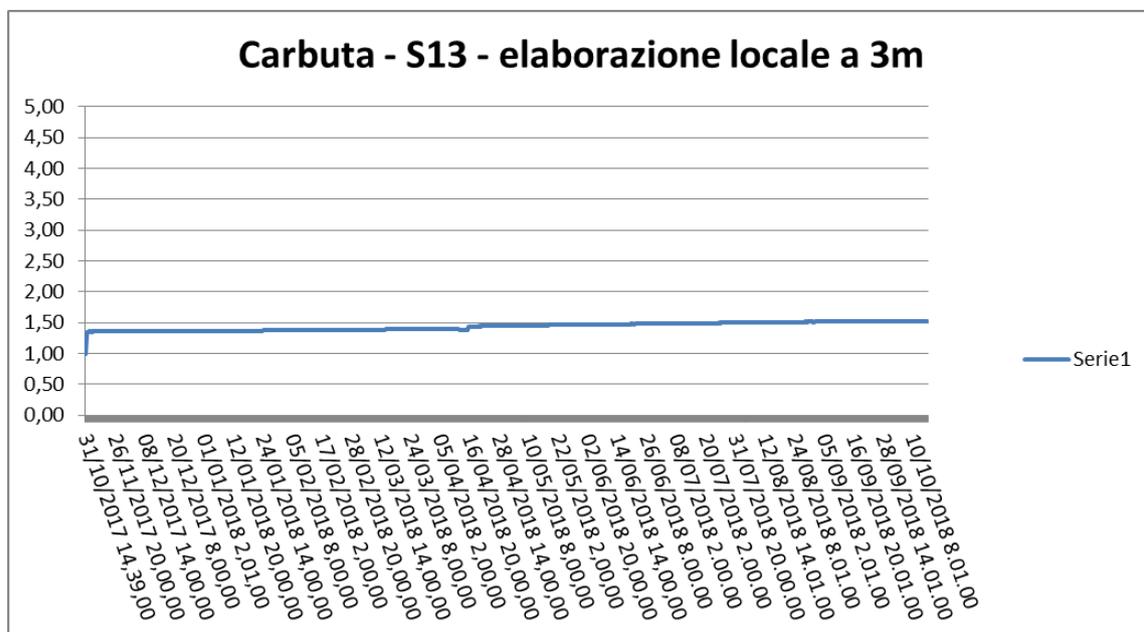


Fig. 38 - Grafico relativo all'elaborazione dei dati inclinometrici automatici dell'inclinometro S13 (dati OTR).

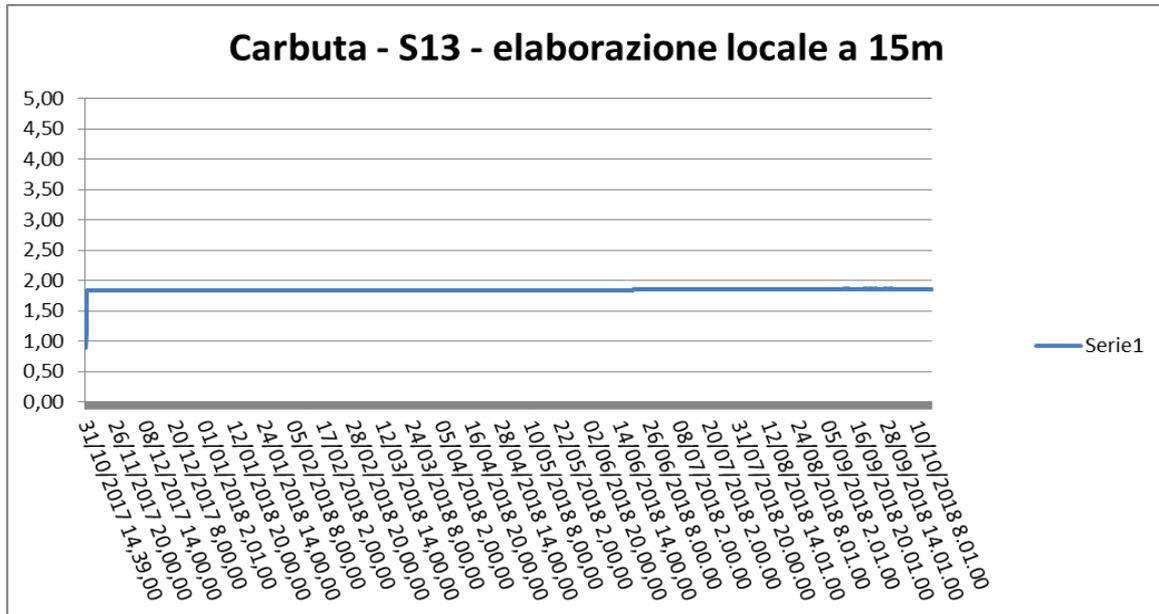


Fig. 39 - Grafico relativo all'elaborazione dei dati inclinometrici automatici dell'inclinometro S13 (dati OTR).

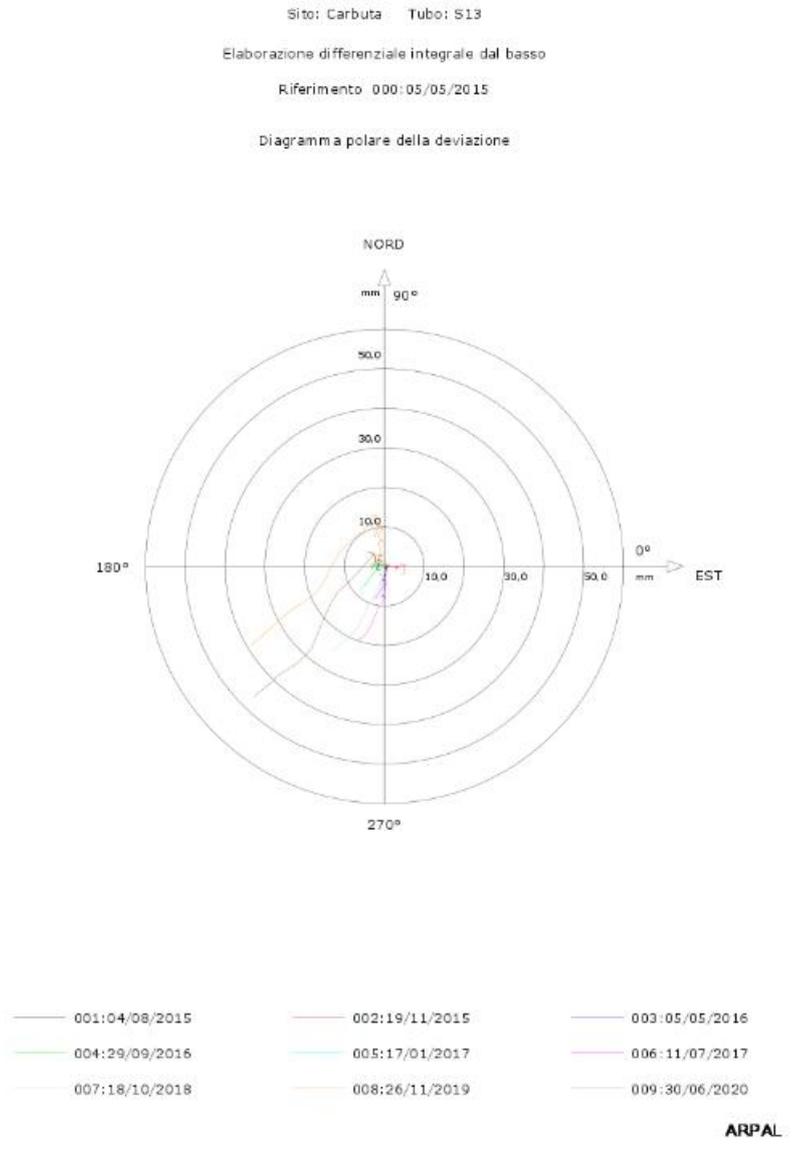


Fig. 41 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro S13

Nel luglio del 2020 sono state riposizionate le sonde automatiche a differenti profondità (Figg. 42-43-44-45) e alla fine del 2024 la situazione era pressoché immutata, senza particolari evidenze di movimenti. Va segnalata tra gennaio e marzo 2024 una temporanea anomalia nelle acquisizioni, particolarmente marcata sulla sonda a 6 metri, legata al deterioramento dei cavi di collegamento che è stata eliminata con un intervento di manutenzione correttiva attivato dal Comune ed eseguito dalla ditta fornitrice della strumentazione. I dati di spostamento precedenti e successivi a questo periodo sono comunque coerenti e non sono stati evidenziate significative variazioni nella deformazione.

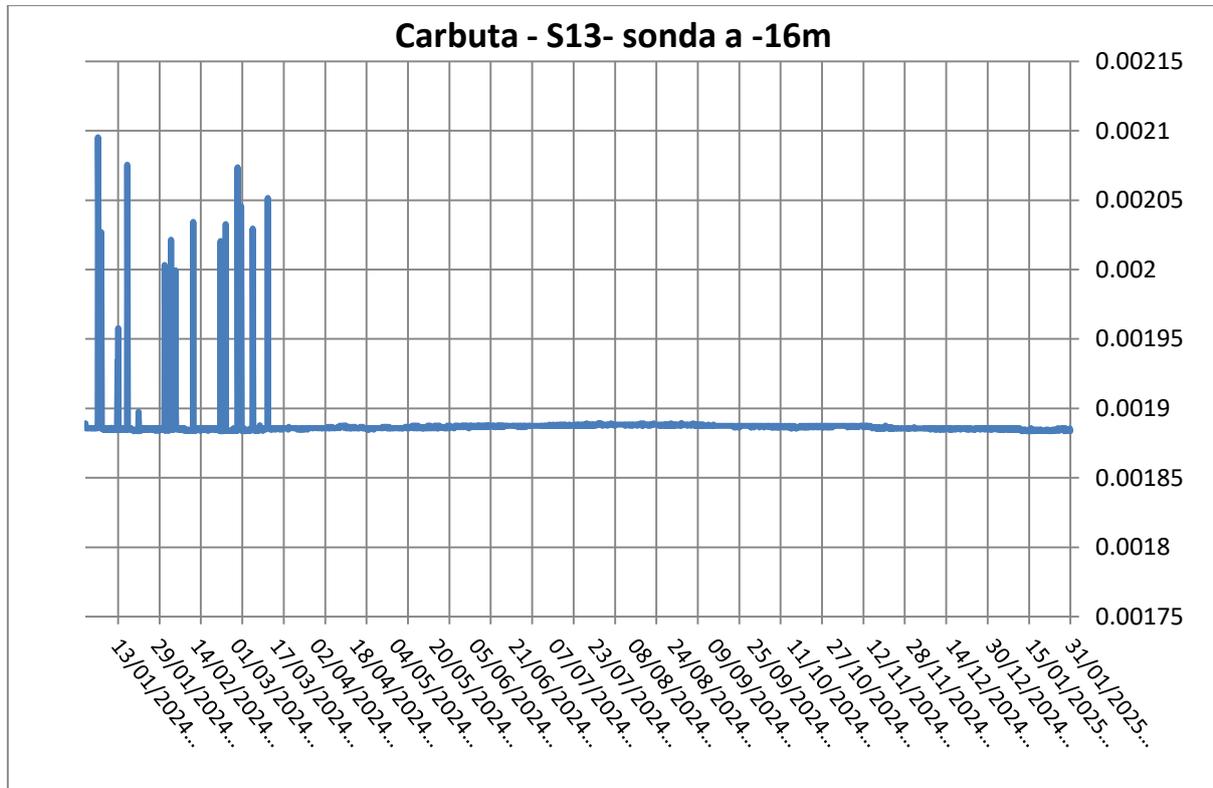


Fig. 42 - Grafico relativo all'elaborazione dei dati inclinometrici automatici dell'inclinometro S13 (dati OTR).

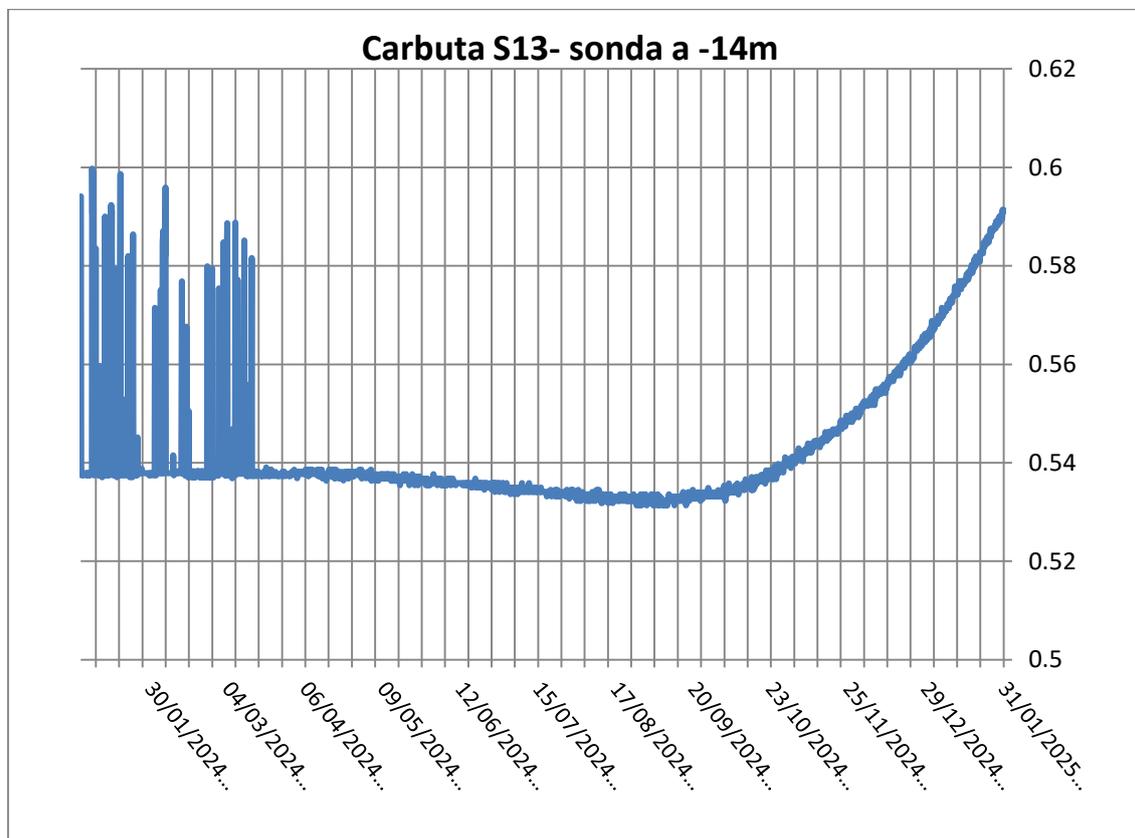


Fig. 43 - Grafico relativo all'elaborazione dei dati inclinometrici automatici dell'inclinometro S13 (dati OTR).

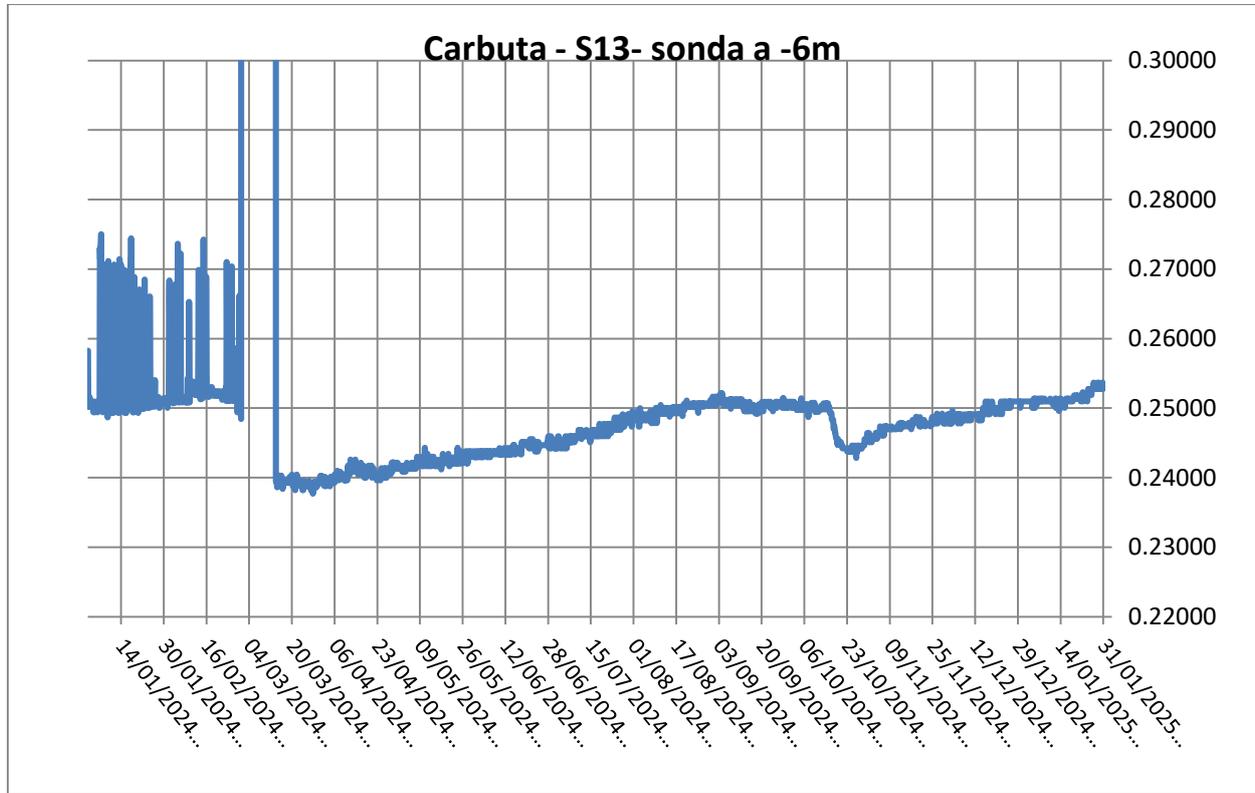


Fig. 44 - Grafico relativo all'elaborazione dei dati inclinometrici automatici dell'inclinometro S13 (dati OTR).

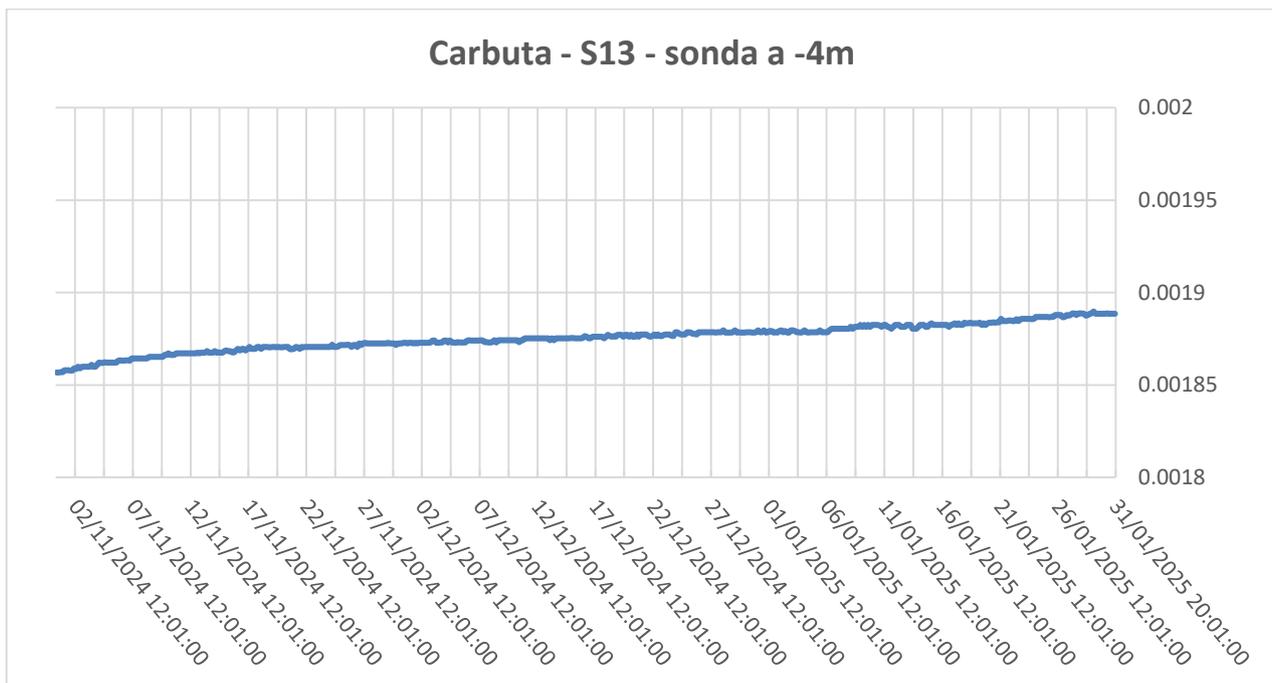


Fig. 45 - Grafico relativo all'elaborazione dei dati inclinometrici automatici dell'inclinometro S13 (dati OTR).

Inclinometro S14 (54 m) – parte mediana del versante

In accordo con Regione Liguria, il monitoraggio per l'anno 2024 è stato sospeso. Vengono di seguito riportati i valori e grafici risalenti all'ultimo anno di monitoraggio.

La verifica dei *dataset* attraverso il “*checksum*” non ha evidenziato anomalie nelle letture di esercizio 2023. Complessivamente dall'elaborazione dei dati inclinometrici si osservano valori minori di 9 mm, aventi una direzione di spostamento in via di definizione verso SW. Sia dall'elaborazione differenziale integrale sia da quella differenziale locale non si registrano zone di deformazione preferenziale lungo la tubazione inclinometrica (Figg. 46-47). Si rimanda alle prossime letture qualsiasi concreta valutazione circa la profondità dei piani di scorrimento, già individuati in aree limitrofe intorno a -22 m dal piano campagna.

Sito: Carbuta Tubo: S14

Elaborazione differenziale integrale dal basso

Riferimento 000:05/05/2015

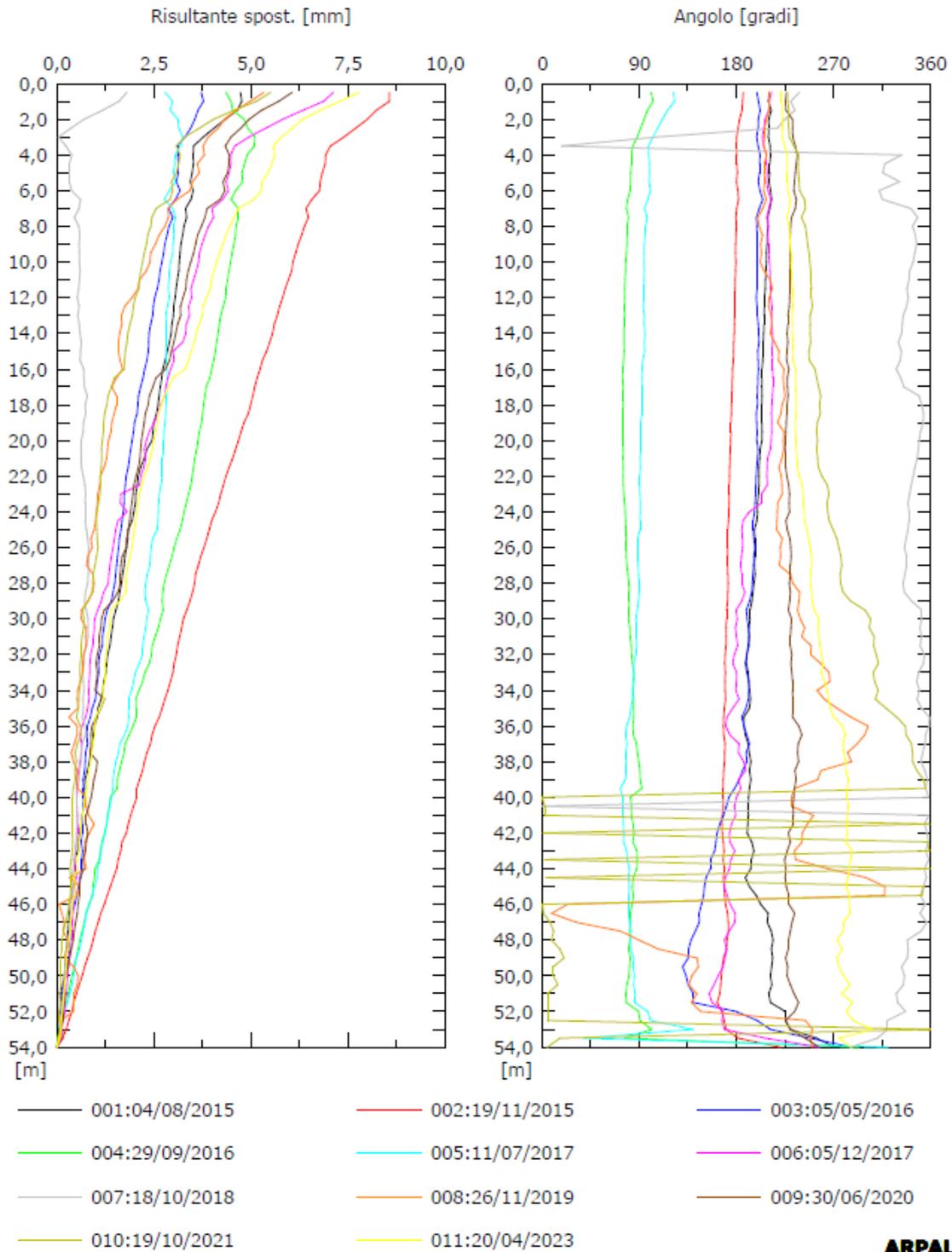


Fig. 46a - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) dell'inclinometro

Sito: Carbuta Tubo: S14

Elaborazione differenziale locale dal basso

Riferimento 000:05/05/2015

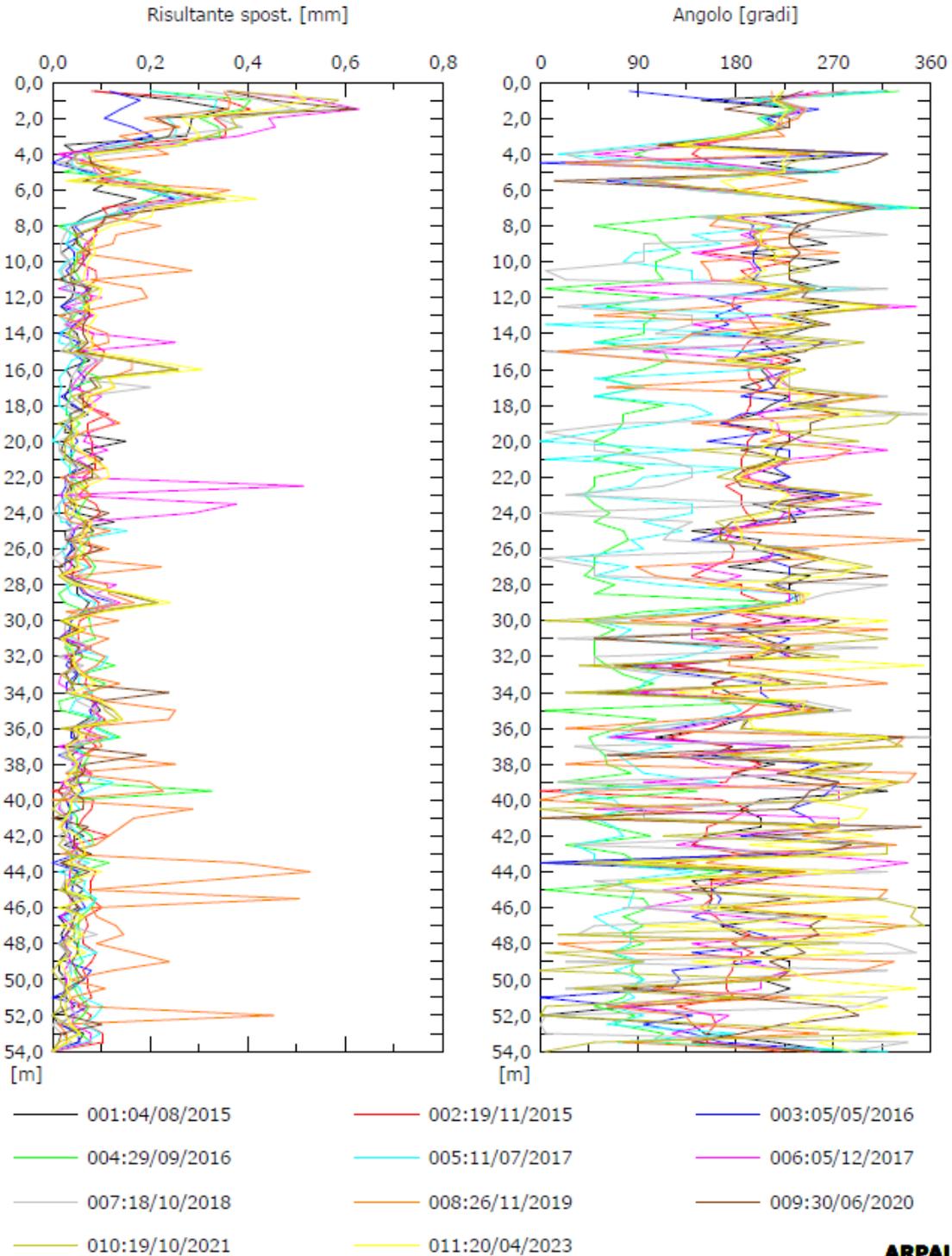


Fig. 46b - Grafico relativo all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro S14

Sito: Carbuta Tubo: S14

Elaborazione differenziale integrale dal basso

Riferimento 000:05/05/2015

Diagramma polare della deviazione

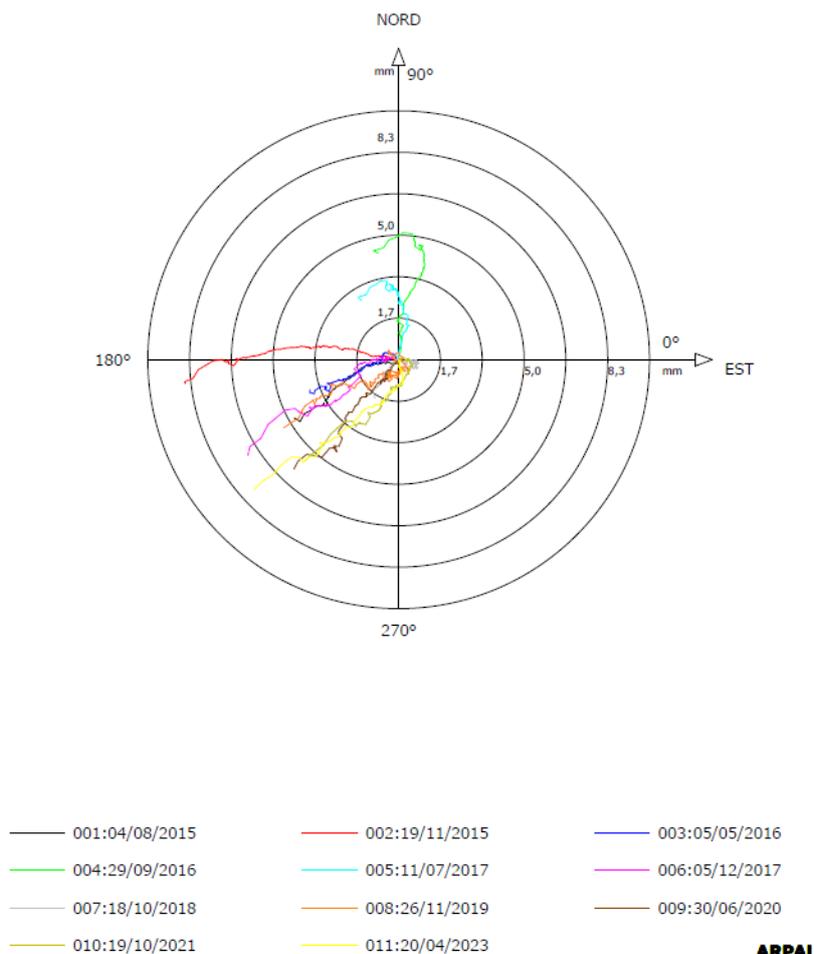


Fig. 47 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro S14

4. Conclusioni

Il monitoraggio degli inclinometri S1, S2, e S4 eseguito dal 2009 al 2013 aveva consentito di osservare l'andamento delle deformazioni nel tempo e la direzione di spostamento degli inclinometri installati nel versante di Carbuta. Mentre per l'entità del movimento si riscontrava un comportamento non continuo basato su riattivazioni intervallate da pause, per quanto riguarda la direzione si era potuto osservare come essa non si sviluppi lungo la linea di massima pendenza in direzione ovest (Figg.48-49), bensì risulta orientata verso sud-ovest. Essa risulta leggermente trasversale alla posizione della collina di Carbuta, come se a guidare il movimento gravitativo fossero piani strutturali inclinati verso sud. Poiché nella zona si segnala la presenza di importanti lineamenti strutturali (il

principale riguarda un sovrascorrimento avente direzione circa E-W) che coinvolgono i Porfiroidi del Melogno e gli Scisti di Gorra (vedi Carta Geologica d'Italia - foglio Albenga-Savona), sembra realistico osservare che la direzione anomala di scorrimento possa essere guidata dalla tettonica, proprio lungo piani di scivolamento determinati dai caratteri strutturali delle rocce (scistosità e piani di foliazione) e/o da lineamenti tettonici a scala regionale (Fig. 50-51). Allo stato attuale, sembra predominare un movimento lungo superfici di taglio ben definite che si manifesta come uno "scivolamento" (deformazione profonda da creep in roccia) in direzione SW.



Fig.48 - Direzione di movimento (a velocità diversificata tra monte e valle) dell'area in frana che insiste sull'abitato di Carbuta

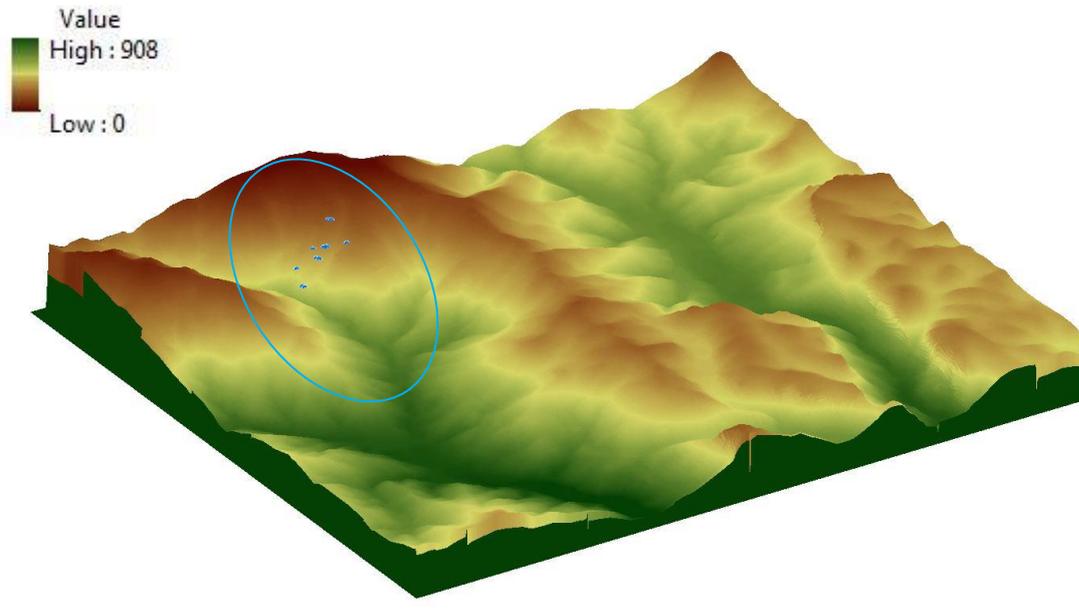


Fig.49 - DTM dell'orografia della zona di Carbuta: si noti l'energia del rilievo a monte della strumentazione installata e il contrasto planoaltimetrico con l'asta torrentizia a valle.

Fig. 50 - Affioramento di scisti quarzo-micacei della formazione degli scisti di Gorra (monte del versante – zona S4): in rilievo una della discontinuità (blu) che frammentano l'ammasso roccioso lungo i piani della foliazione metamorfica (rosso)





Fig. 51 - Particolare della foliazione metamorfica (rosso) che risulta molto fitta. Spesso si interrompe per la presenza di giunti trasversali (blu) che frammentano ulteriormente l'ammasso roccioso

Da una valutazione delle relazioni geologiche relative al monitoraggio inclinometrico 2001-2004 (*Studio Associato di Geologia tecnica e ambientale*), si sono potuti osservare spostamenti di una certa entità in tutti gli inclinometri. In particolare nel passato si era registrato un movimento complessivo di 20-30 mm in testa tubo con l'individuazione di una superficie di scorrimento principale tra 17-20 m (S2 e S4) e una secondaria a 7 m; inoltre sempre tra 2001-2004 si erano registrate deformazioni in S1 a circa 36 m.

Il monitoraggio durato dal 2009 al 2014, anno in cui si è registrata la rottura definitiva delle tubazioni inclinometriche, ha confermato il piano di scorrimento principale in roccia a 17-20 m di profondità, a cui si è associato, solo nella parte sommitale, anche un secondo piano di scorrimento più superficiale. Nella zona dove è localizzato S1 si è registrato anche un movimento superficiale intorno a -2 m in direzione ovest (valle morfologica) in continua evoluzione e confermato da cedimenti della sede stradale e rotture nelle strutture di sostegno; allo stato attuale l'inclinometro S1 non ha dato segni di deformazioni profonde.

A questa situazione si deve aggiungere che esiste un'area centrale particolarmente critica, ove già nel 2002 si era verificata la rottura di un inclinometro (S3) a -28 m e successivamente nel 2004 a -23 m (S3 e S3 new). Si conferma quindi il grado di attività dello scorrimento, già definito in IFFI come "attivo" (Fig.52).

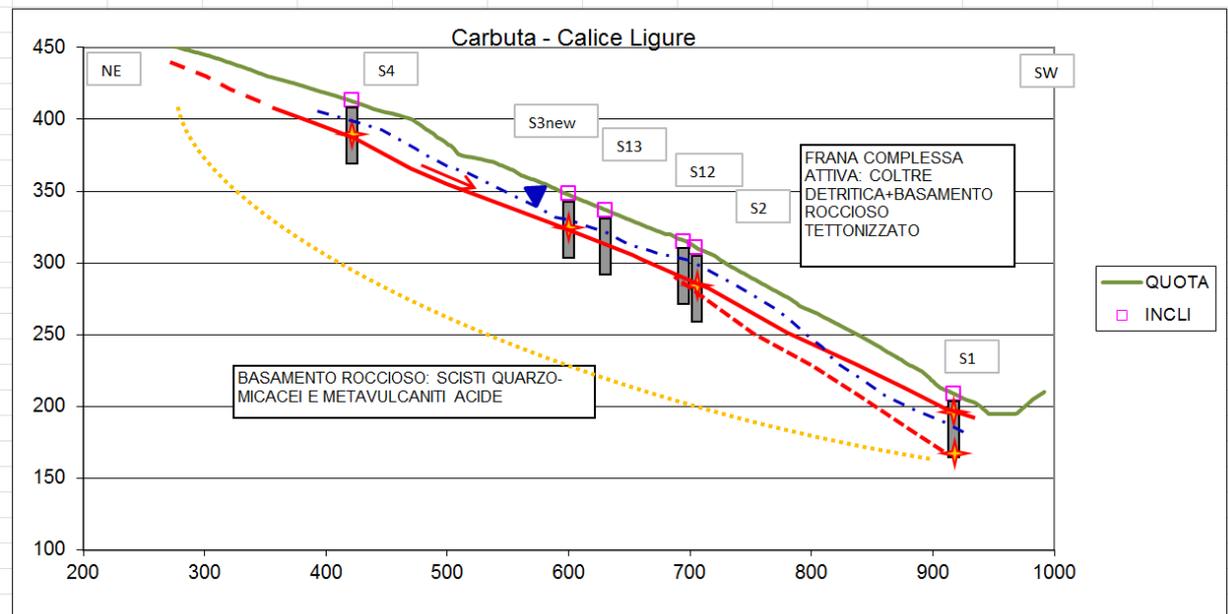


Fig.52 – sezione dell'area in frana che insiste sull'abitato di Carbuta. In giallo una ipotetica superficie di scorrimento profonda che prende in considerazione la DGPV.

Ciò che emerge dalla stratigrafia dei sondaggi rispecchia quanto osservato fino ad oggi, sia per quanto riguarda il cinematismo sia per le caratteristiche geostrutturali dell'ammasso roccioso del versante di Carbuta. Ad elevata profondità ed al di sotto di circa 20 m di coltre franosa, (profondità alla quale si sono misurati gli spostamenti degli inclinometri) compare un basamento roccioso dalle scadenti qualità geomeccaniche (specie in S12 e S14), molto tettonizzato e spesso con importanti livelli di cataclasiti: la potenza massima di questa roccia completamente destrutturata si ha in S14, ove circa 30 m (20-50 m) sormontano un livello di roccia di discrete qualità geomeccaniche. Data la potenza di tali livelli cataclastici si ritiene che possano essere rapportati direttamente con la presenza di lineamenti strutturali collegati al sovrascorrimento regionale. Allo stato attuale il movimento continua a svilupparsi lungo superfici di taglio ben definite in profondità.

La lettura di maggio 2013 nella zona di monte (S4) ha rappresentato il maggior incremento dal 2009 al 2014 con una accelerazione nel giro di pochi mesi di 49 mm, pari esattamente a metà dello spostamento totale registrato in più di 4 anni: il versante ha subito uno spostamento complessivo in direzione S-SW di 120 mm nella zona di monte e 65 mm nella zona centrale (Fig.53).

Gli spostamenti osservabili mediante ispezione televisiva nel periodo 2017 hanno evidenziato una stasi/debole progressione nelle deformazioni rispetto alle ispezioni televisive eseguite nel 2014, 2015 e 2016 che avevano evidenziato uno spostamento totale superiore a 120 mm per S4 e superiore a 65 mm per S2. Per quanto concerne S12, S13 e S14, siamo di fronte a velocità deformative in linea con quelle rilevate negli inclinometri "storici".

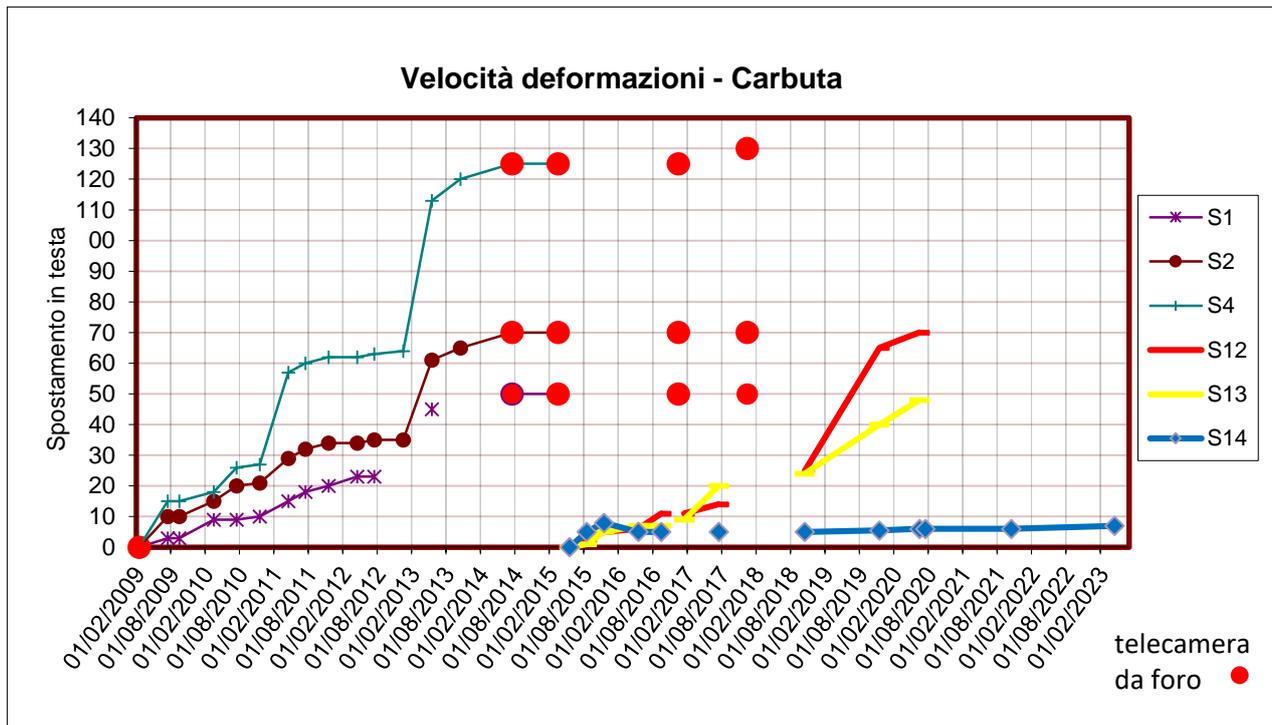


Fig. 53 - Velocità delle deformazioni registrate dagli inclinometri nel periodo 2009-2023. Dal 2020 gli inclinometri S12 e S13 sono stati strumentati con sonde fisse per cui non è possibile risalire all'elaborazione sul differenziale integrale così come proposto nel grafico per S14.

Nella zona di valle si sono rilevate ulteriori deformazioni superficiali sempre in direzione W e il piano di scorrimento potrebbe determinare una traslazione della zona inferiore, fatto che non verrebbe rilevato poiché la lunghezza attuale della tubazione inclinometrica risulta utilizzabile solo per la parte superiore alla deformazione localizzata a 36 m di profondità.

Si noti come il comportamento della frana a monte sia caratterizzato da periodi di quiescenza lunghi anche 2 anni e da brusche accelerazioni, le cui maggiori sono riferibili ai periodi novembre 2010 - aprile 2011 (30 mm di spostamento) e dicembre 2012-maggio 2013 (49 mm di spostamento), mentre la zona centrale si sposta con maggiore gradualità. Ad una scala temporale più ampia comunque lo scorrimento risulta "attivo", e complessivamente si può affermare che la velocità media sia di 30 mm/anno a monte e 15 mm nella zona centrale, tenendo conto che la zona di monte ha subito una deformazione nel 2013 di 50 mm/5 mesi.

I nuovi inclinometri installati nel 2015, dopo letture di esercizio di cui l'ultima eseguita nel 2020, hanno dato indicazioni per quanto riguarda l'entità degli spostamenti e l'eventuale piano di scorrimento profondo.

Il primo elemento riguarda l'evoluzione degli spostamenti, di entità ancora limitata: in particolare sono presenti inizi di deformazione per S13 ad una profondità di circa 15 m, profondità compatibile con quanto misurato nell'inclinometro tagliato S3, mentre più in superficie a 4 m (scivolamento della coltre) sembra evidente la presenza di spostamenti di una certa entità, mentre S14 non ha dato particolari segnali di spostamento. Per quanto riguarda S12 le deformazioni sembrano comparire a profondità elevate, circa 32 m e 26 m, quest'ultima compatibile con il piano di taglio principale, e più in superficie al di sopra dei 10 m, come deformazioni relative allo scivolamento della coltre.

Il secondo elemento riguarda la direzione del movimento che negli inclinometri S12 e S13, ubicati nel centro del versante, hanno mostrato una certa coerenza con quanto misurato con i "vecchi" inclinometri: infatti la direzione risulta localizzate nel quadrante S-SW per S12, concorde con la direzione rilevata in S2, mentre in S13 risulta SW. La direzione di spostamento osservata in S14 risulta non completamente allineata con quanto rilevato fino ad oggi e pertanto, sebbene complessivamente si possa individuare un andamento di coerenza W-SW, sarebbe necessario attendere conferma con le prossime letture.

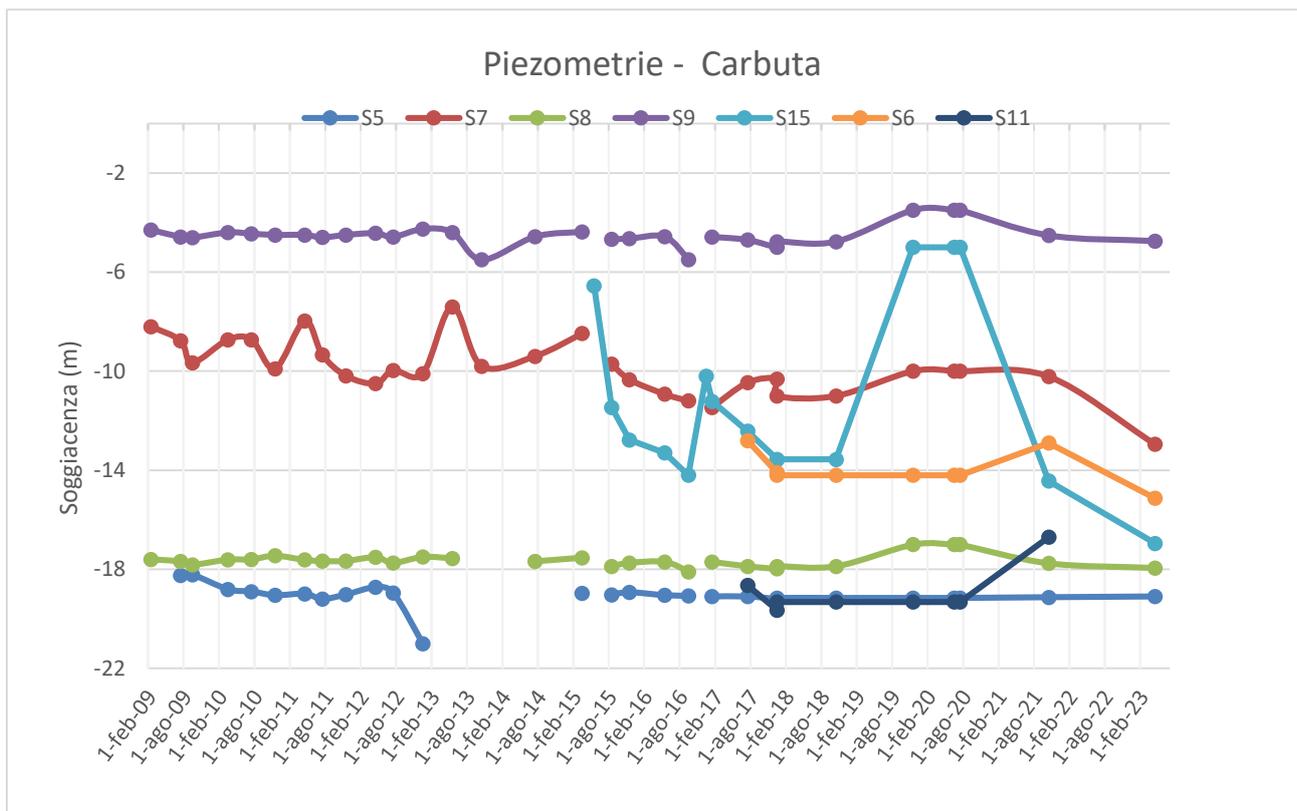


Fig. 54 - Soggiacenza della falda nel periodo 2009-2023

A seguito dell'installazione di sonde inclinometriche automatiche in S12 e S13, avvenuta nel 2017, si è potuto constatare come non si siano verificati incrementi sostanziali alle quote predefinite, nemmeno a seguito di eventi meteo importanti. Nell'autunno del 2018, a causa dei lavori programmati per la sistemazione locale di alcuni punti del versante di Carbuta nelle zone adiacenti

S12 e S13, si è deciso di sfilare gli strumenti automatici per evitare il danneggiamento e il potenziale non recupero e quindi procedere ad effettuare ulteriori letture di esercizio manuale degli inclinometri in oggetto. Quanto evidenziato nel capitolo 2 dimostra come gli spostamenti effettivamente ci siano stati ed alle profondità definite, anche se in misura modesta: ciò dimostra al momento come le sonde automatiche e manuali non riescano a leggere gli spostamenti allo stesso modo. A luglio 2020 si sono reinserite le sonde automatiche che a fine 2023 non hanno dato indizi di movimento.

I dati relativi alla circolazione idrica sotterranea hanno confermato che il livello della falda variabile tra -5 m e -20 m in funzione della topografia. La circolazione idrica sotterranea risulta essere sempre presente alle medesime profondità nelle zone centrali e basali del versante di Carbuta, mentre la zona di monte ha fatto registrare escursioni rilevanti, che arrivano anche a 5 m (S7) e fino a 8 m nel nuovo piezometro S15 con una soggiacenza minima di -14.2 m, rilevata nel 29 settembre 2016, confermando nell'area la presenza di una forte variabilità dal punto di vista idrogeologico. Gli ultimi dati del 2016 e inizio 2017 hanno evidenziato la presenza di una falda compresa tra -10 m e -11 m con una forte risalita registrata nel dicembre 2016, dovuta alla grande ricarica determinata dagli eventi alluvionali del novembre, e successiva nuova depressione nel gennaio 2017. Nel corso del 2019 sono state installate n.4 sonde piezometriche automatiche in S7, S8, S9 e S15; ad oggi, in media, i valori delle soggiacenze rimangono invariati per S5, S8, S9 mentre per S6, S7, S15 si assiste ad una diminuzione di alcuni metri da piano campagna rispetto alle misure precedenti (Fig.54), in linea con il comportamento della falda nella zona, frequentemente soggetta a forti escursioni.

In Fig. 55 si propongono anche i dati rilevati nel piezometro S15 dal proprietario del civico 23 di via Ca dei Boretti fino al 2017. Come si può verificare i dati fanno rilevare una buona correlazione con i dati ARPAL e confermano una repentina risalita della falda nei giorni immediatamente successivi all'evento alluvionale del novembre 2016 e uno scarico successivo più lento con leggere oscillazioni. Complessivamente l'andamento del piezometro S15 mostra una discesa costante dei livelli della falda dal maggio 2015, in cui era stato rilevato un valore di picco di soggiacenza pari a -6.55 m, fino al novembre 2016. Tale andamento risulta anche dai valori rilevati nell'altro piezometro di monte S7 con -8.48 m di soggiacenza nel maggio 2015 e successivamente in diminuzione costante, mentre come detto sopra, gli altri piezometri ubicati nel corpo di frana non hanno fatto registrare variazioni sostanziali, al massimo contenute in 1 m di escursione.

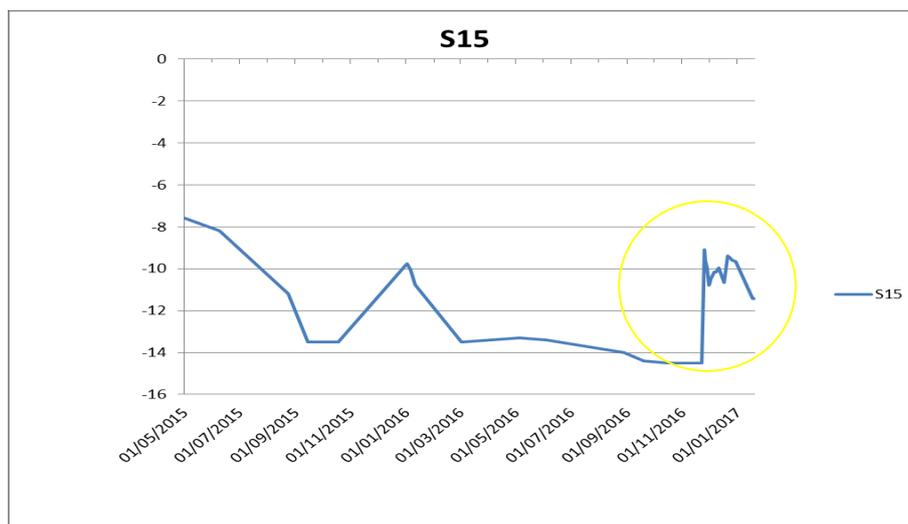


Fig. 55 - Soggiacenza della falda in S15 (dati rilevati dal proprietario del civico 23 via Ca dei Boretti)

Nella Fig. 56 si sono messi in relazione i dati pluviometrici del periodo 22 novembre 2016-19 gennaio 2017 successivo all'evento alluvionale con le piezometrie di S15: come si evince dal grafico la risalita risulta quasi istantanea nell'area dove risulta ubicato lo strumento, e la conseguente discesa graduale dei valori piezometrici per stabilizzarsi intorno a quasi -12 m.

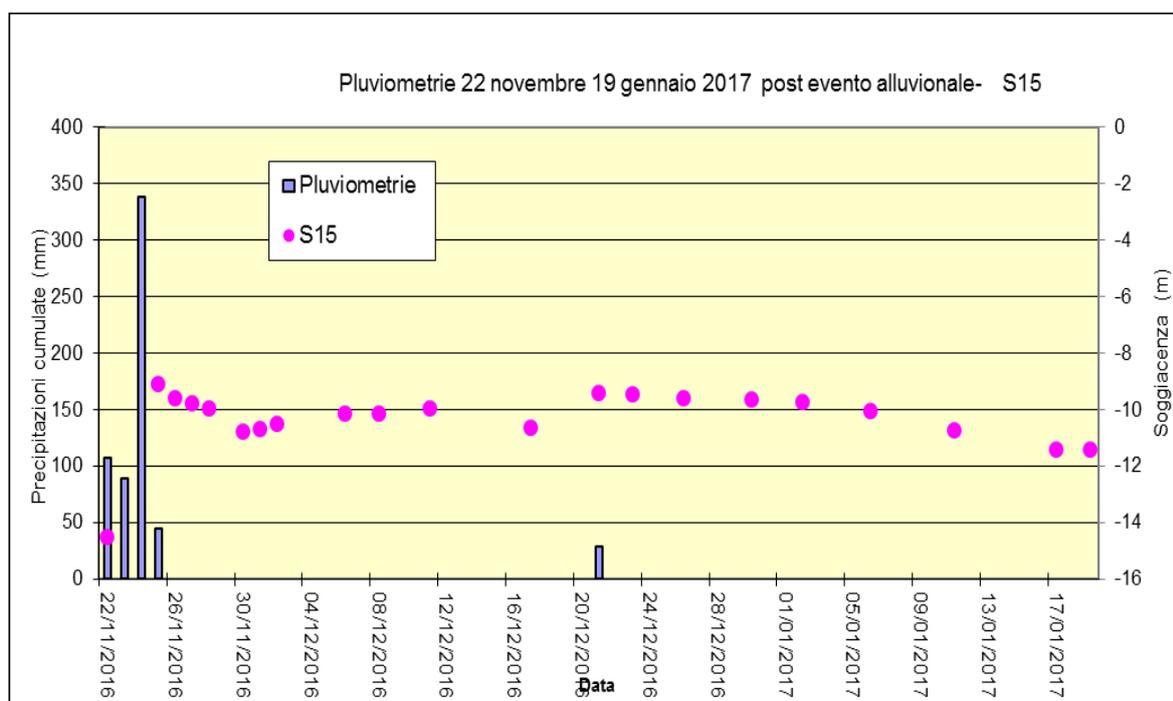


Fig. 56 - Pluviometrie 22 novembre 2016 – 19 gennaio 2017 e soggiacenza della falda in S15 (dati rilevati dal Sig. F. Pizzigoni)

Osservando gli eventi meteo del 20 ottobre e del 23 novembre 2019, la ricarica avviene in concomitanza di tali eventi e determinato una risalita della falda di circa 1-2 m: tale ricarica nella zona di monte è durata per oltre un mese, mentre la zona centrale e di valle sono soggette a drenaggi

rapidi e risalite altrettanto veloci. Si segnala la maggior oscillazione di quasi 10 m, per il piezometro S15, che evidenzia una risalita costante a seguito dei due eventi meteo principali e un drenaggio di circa 4 m che dura alcuni mesi (Figg.57,58,59).

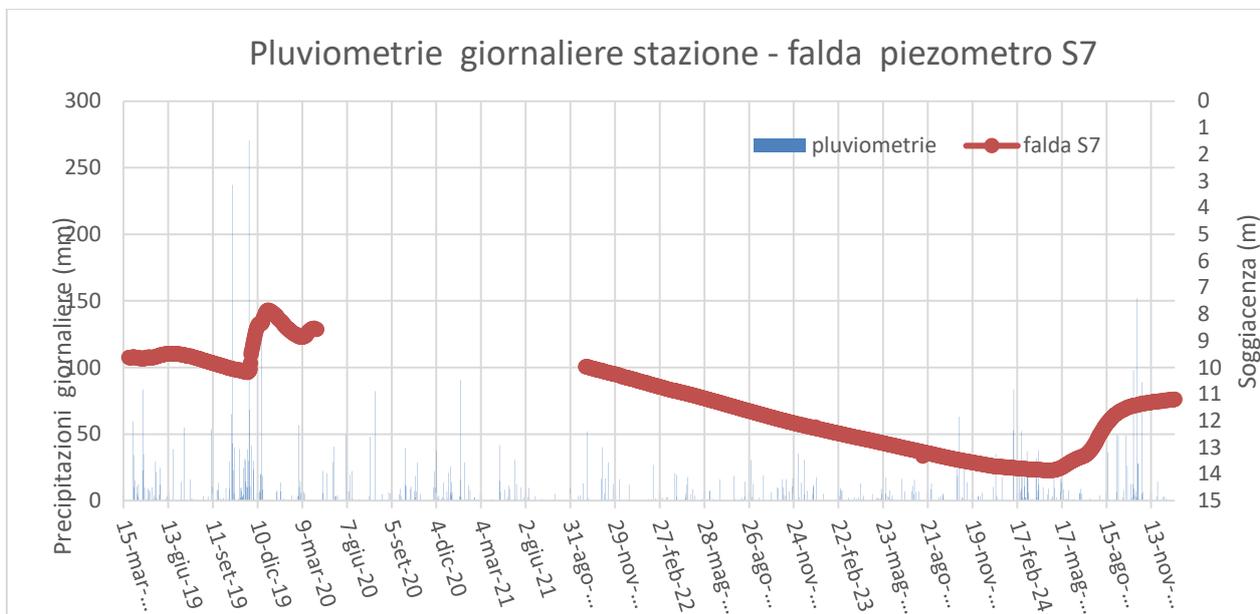


Fig. 57 - Pluviometrie staz. CALGR e soggiacenza della falda in S7. Da maggio 2020 a settembre 2021 si è verificato un problema tecnico nell'acquisizione/trasmissione dei dati.

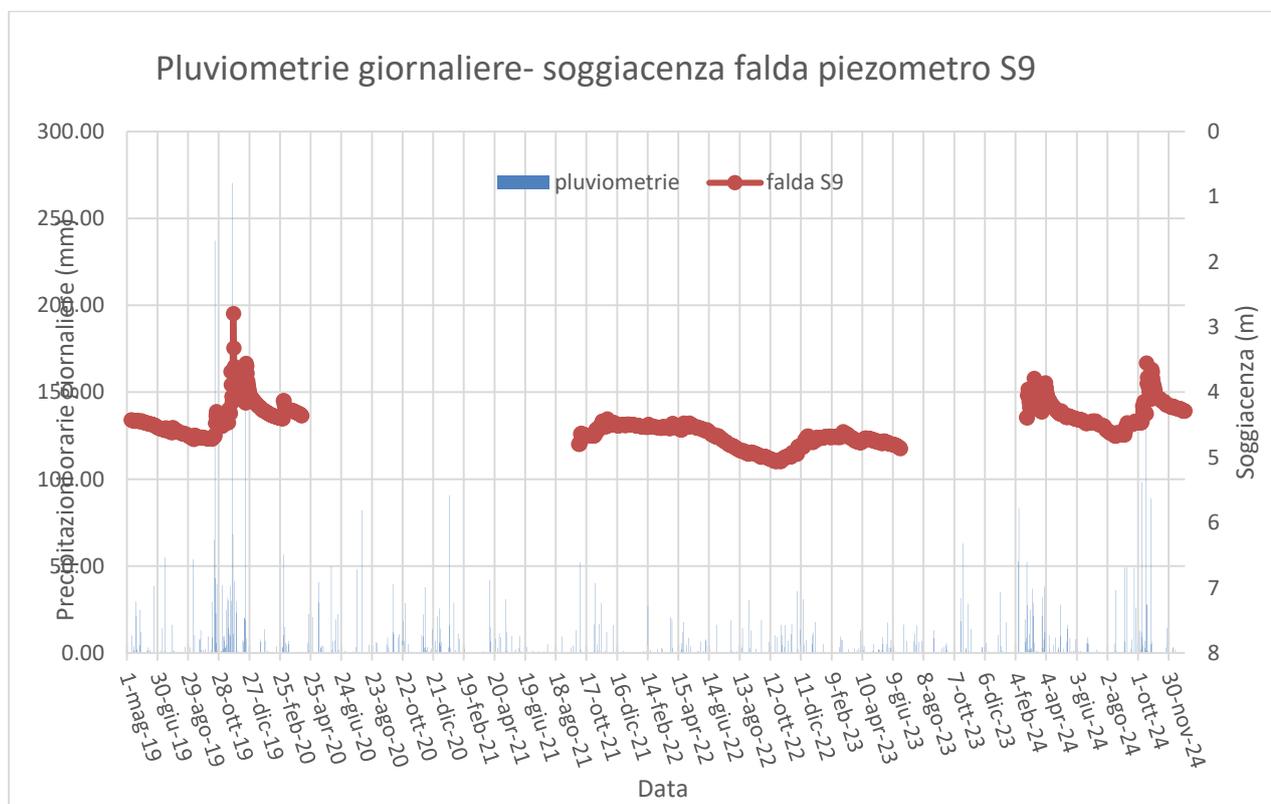


Fig. 58 - Pluviometrie staz. CALGR e soggiacenza della falda in S9. Da maggio 2020 a settembre 2021 e nella prima metà del 2023 si è verificato un problema tecnico nell'acquisizione/trasmissione dei dati.

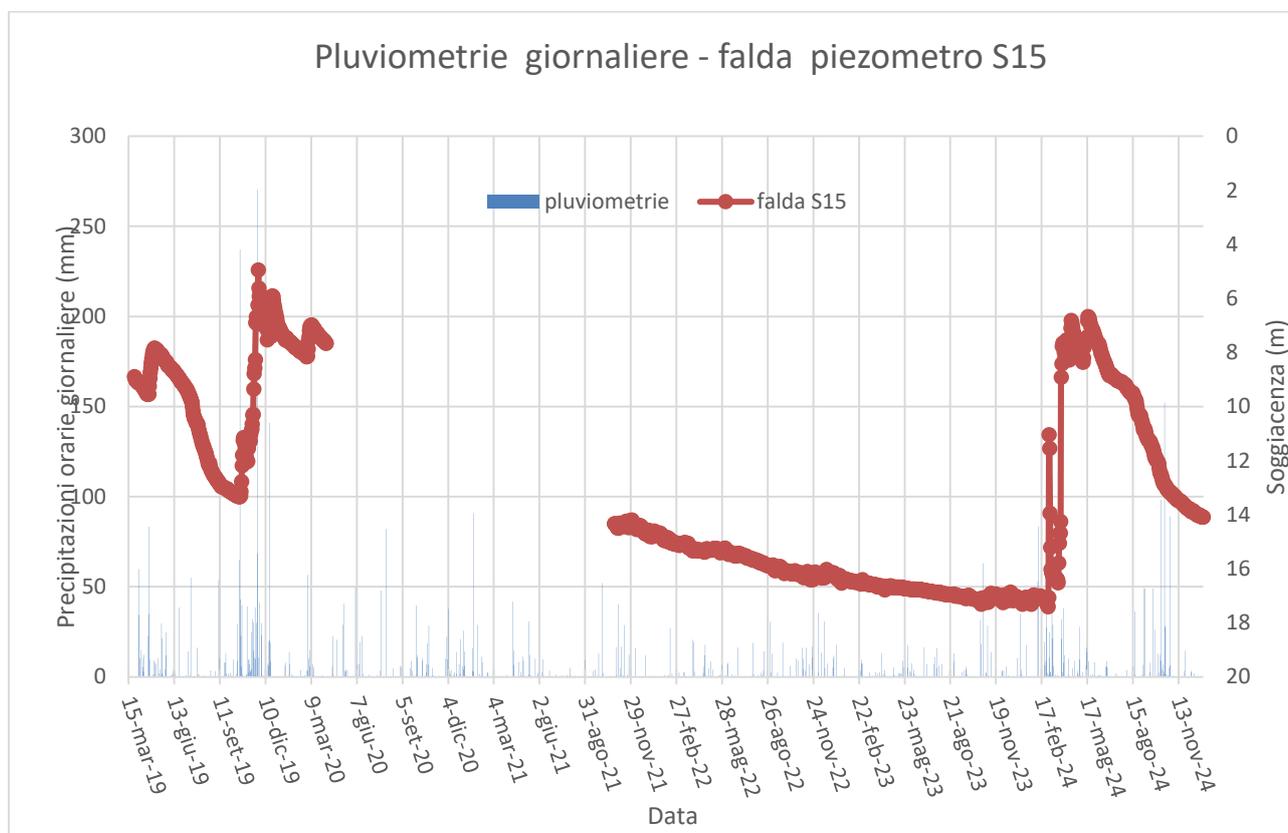


Fig. 59 - Pluviometrie staz. CALGR e soggiacenza della falda in S15. Da maggio 2020 a settembre 2021 si è verificato un problema tecnico nell'acquisizione/trasmissione dei dati.

Nel corso del 2011 erano state rilevate in prossimità dell'inclinometro S1 fratture nella sede stradale (Fig.61) ed un cedimento della stessa, associato a deformazioni nella struttura di sostegno.

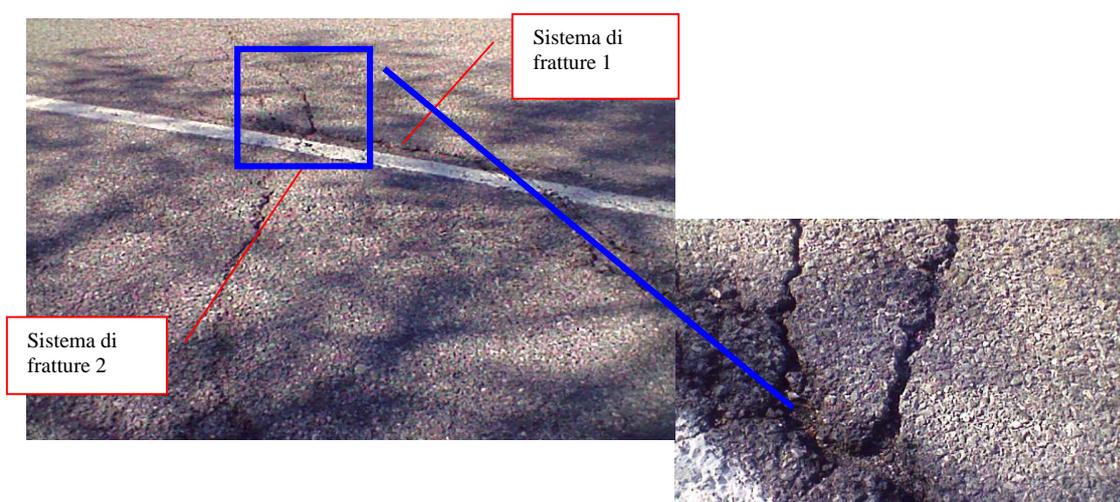


Fig. 60 - Fessure nella sede stradale. Sono evidenti un sistema 1 di fratture parallelo al versante (longitudinale rispetto alla sede stradale) e un sistema trasversale 2 (cedimento della sede stradale) - 2011

Nel corso del 2014, durante la verifica di funzionalità degli inclinometri, si è potuto constatare come il sistema di fratture 2 si sia evoluto e abbia prodotto una maggiore apertura nelle fessure (Fig.61). Inoltre poco più a monte del punto di misura S2 e risalendo verso l'abitato di Carbuta si è rilevato il cedimento della sede stradale (Fig.62).



Fig. 61 - Evoluzione di una fessura nella sede stradale in zona S1 che rispetto al passato mostra una maggiore apertura - 2014



Fig. 62 - Sede stradale in cedimento qualche decina di metri a monte di S2 in direzione dell'abitato di Carbuta con rigetto della zona ribassata di decine di centimetri – 2014

Nel 2016 era stato osservato un ulteriore cedimento della sede stradale con ramificazione delle fessure (Figg.63 e 64).



Fig. 63 - Evoluzione delle fessure nella sede stradale in zona S1 che rispetto al passato mostra una maggiore apertura e ramificazione - 2016

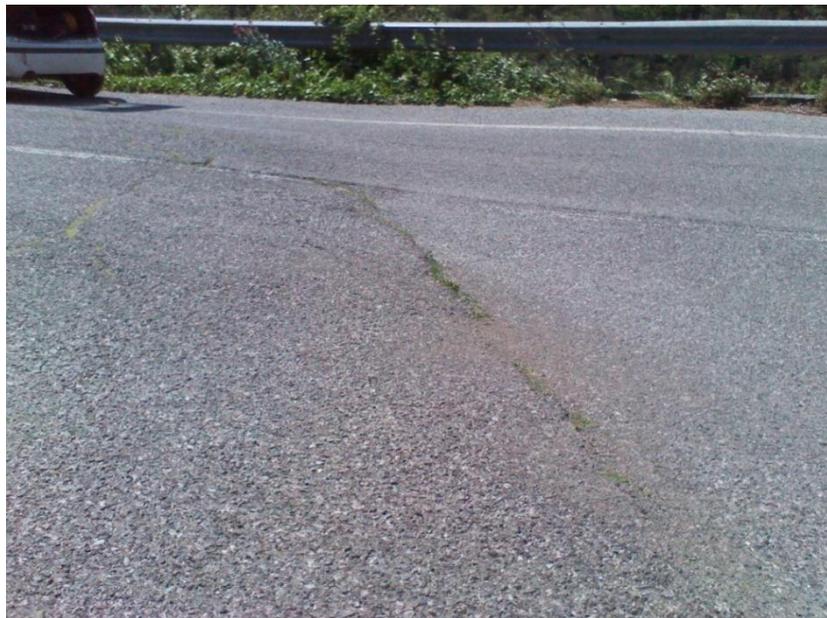


Fig. 64 - Particolare della fessura nella sede stradale in zona S1 che rispetto al passato mostra la nascita di gradino con una zona in cedimento – 2016

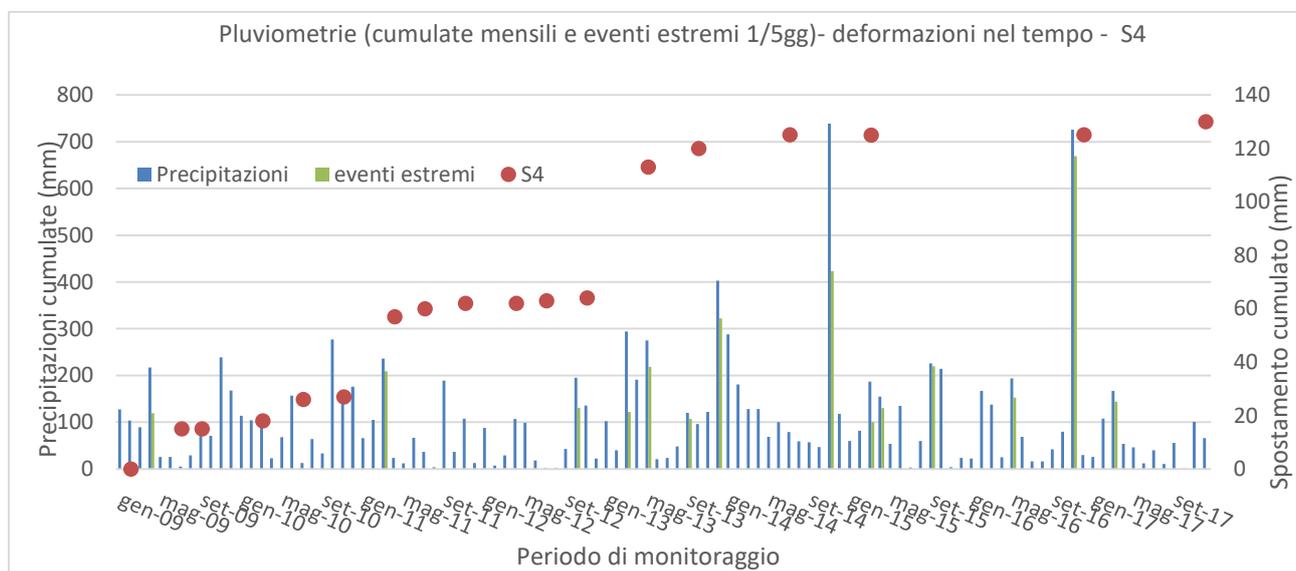
Per quanto riguarda il rapporto tra eventi pluviometrici e movimenti si può osservare quanto segue:

- anni 2009 e 2010: caratterizzati da quantitativi di precipitazione molto più elevati rispetto al biennio successivo, si collegano ad una situazione di bassa attività della frana se non addirittura quiescenza;
- anni 2011 e 2012: lo spostamento più importante registrato nell'aprile 2011 potrebbe essere attribuito al periodo piovoso novembre 2010 - aprile 2011 con cumulate mensili di oltre 250 mm, mentre il lungo periodo successivo è caratterizzato da scarsi incrementi nello spostamento passanti a una vera e propria quiescenza, indipendentemente dalla presenza di massimi pluviometrici;
- anno 2013: la fase di quiescenza durata due anni termina nel 2013 (inverno-primavera) con il maggior spostamento della frana dall'inizio del monitoraggio nel 2009 e risulta coincidente con un periodo primaverile (marzo-maggio) con cumulate mensili fino a 300mm di pioggia, verosimilmente responsabili dell'accelerazione del versante. Per il 2013 si sottolinea quanto accaduto nel mese di maggio e nel mese di dicembre 2013 con episodi massimi di 322 mm in 4 giorni;
- anno 2014: il successivo incremento del movimento, registrato nel mese di luglio 2014 con la rottura di tutti gli inclinometri, potrebbe essere messo in relazione con l'abbondanza di piogge del mese di dicembre 2013 (400 mm). In ultimo si segnalano i tre giorni con oltre 400 mm di pioggia del mese di novembre 2014;
- anno 2015: si osserva la relativa scarsità di eventi meteorici e conseguentemente l'assenza per il momento di spostamenti di una certa entità nei nuovi inclinometri;
- anni 2016 e 2017: come per il 2015 si osserva una relativa scarsità di eventi meteorici per tutto l'anno eccezione fatta per il mese di novembre 2016, caratterizzato da una cumulata mensile di 726 mm, quasi tutti concentrati in 7 giorni con il picco di 338 mm del 24 novembre. Per quanto riguarda gli inclinometri storici non si sono osservati incrementi sostanziali nelle deformazioni dopo tale evento meteorico, così come non si sono registrati spostamenti negli inclinometri S12 e S13;
- anno 2018: l'anno risulta piuttosto modesto di precipitazioni ad eccezione degli eventi meteo accaduti nel mese di ottobre con una cumulata mensile di quasi 700 mm di pioggia di cui 500 mm relativi alle precipitazioni registrate in pochi giorni. Le letture in automatico e la lettura manuale non hanno però rilevato movimenti del versante;
- anno 2019: come per il 2018, l'anno risulta piuttosto modesto di precipitazioni ad eccezione degli eventi meteo registrati nel mese di ottobre e novembre con una cumulata mensile di oltre 600 mm di pioggia. Le letture manuali hanno rilevato un aumento del movimento del versante in particolare in S12 e S13.
- anno 2020: l'anno risulta piuttosto scarso di precipitazioni ad eccezione degli eventi meteo registrati nel mese di giugno e ottobre con una cumulata mensile di circa 300 mm di pioggia. Le letture manuali hanno rilevato un lieve aumento del movimento del versante in S12 e S13.

- anno 2021: le precipitazioni sono state molto scarse nell'arco dei dodici mesi rispetto alle precipitazioni medie riferite agli anni precedenti. Il livello di falda è risultato più basso da 1 m a 2 m circa rispetto agli ultimi rilevamenti disponibili.
- anno 2022: il sito non è stato inserito nella programmazione REMOVER per l'anno corrente.
- anno 2023: l'analisi dei dati sulle precipitazioni complessive conferma la tendenza ad una diminuzione della media delle precipitazioni con spostamenti molto contenuti sia nei tubi attrezzati con sonde fisse che in quelli a lettura manuale.
- anno 2024: il sito non è stato inserito nella programmazione REMOVER per l'anno corrente.

Connessa ad un sistema di DGPV, la frana di Carbuta sembra mostrare un cinematismo soggetto ad una serie di concause, dato che non emerge un unico rapporto diretto causa – effetto. L'innescò principale per questo tipo di fenomeno franoso sembra essere determinato dalla gravità, date le dimensioni della massa franosa (la superficie di taglio si trova a circa 20 m mentre più a valle arriva a 36 m), strettamente connessa con le scadenti qualità geomeccaniche del basamento roccioso. L'influenza degli eventi meteorici estremi, e la presenza costante di una falda di versante non sembrano produrre sempre un effetto diretto sulla frana. Ne è un esempio l'assenza di movimento a seguito dell'evento alluvionale del novembre 2016, mentre il grande spostamento della massa di Carbuta è avvenuto nella primavera 2013 dopo un periodo piovoso distribuito su alcuni mesi. Sembra quindi logico pensare che periodi di media-forte intensità prolungati nel tempo, in grado di incrementare il contenuto d'acqua dell'insaturo (e quindi il peso di volume della massa franosa), possano avere più influenza che eventi estremi di notevole intensità ma ridotti alla scala temporale. A questo proposito si osserva che anche la cumulata mensile del mese di novembre 2014, unitamente a quella del 2016, non sembra avere avuto effetti diretti sugli inclinometri storici e su quelli di recente installazione S12 e S13.

Una descrizione litostratigrafica del corpo di frana è contenuta nella relazione *"Indagini geofisiche per la caratterizzazione di un versante in frana"* (dott. geol. Zamparutti e dott. geol. Nardi, 2018) contenente la descrizione delle indagini geofisiche realizzate per conto del comune di Calice



Ligure. Le indagini hanno permesso di discriminare la geometria dei vari corpi coinvolti nel movimento franoso e la quota dei principali piani di scivolamento.

Fig. 65 – Andamento pluviometrico mensile, eventi estremi (stazione CALIG e CMELO), letture inclinometriche e ispezioni televisive (telecamera da foro) S4 – periodo 2009-2017

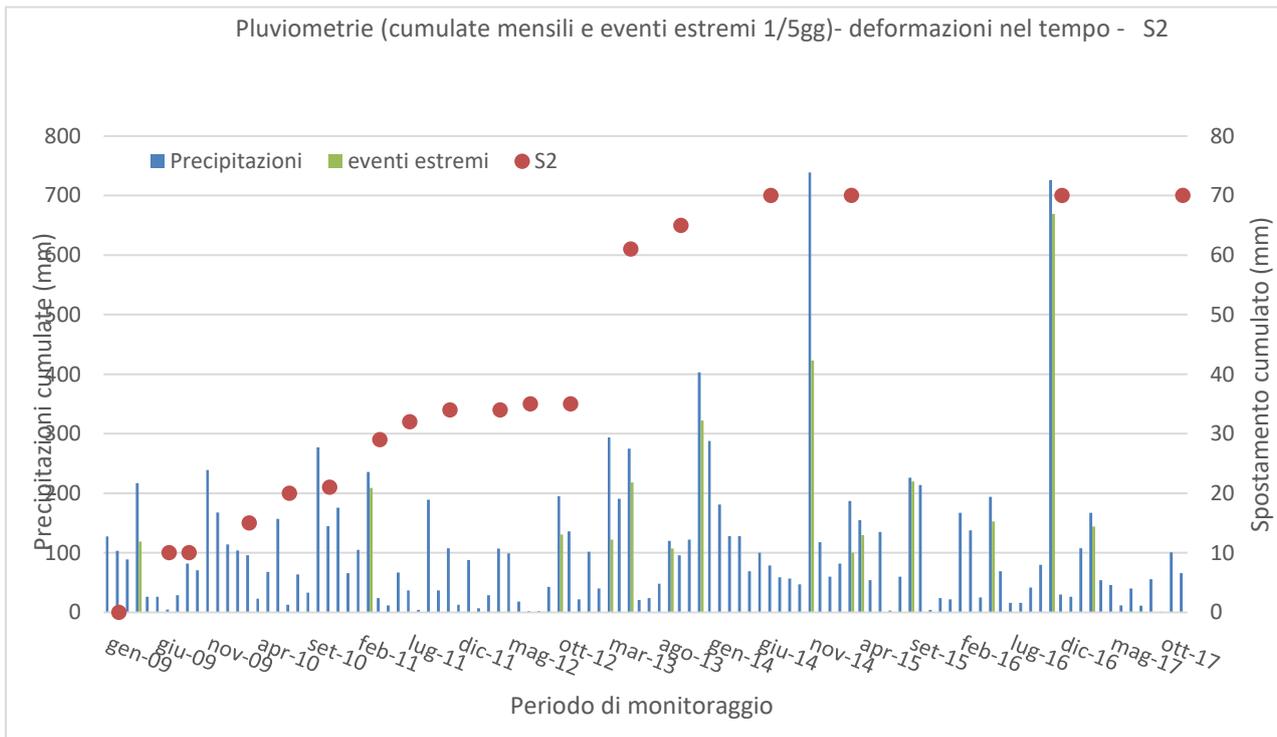


Fig. 66 – Andamento pluviometrico mensile, eventi estremi (stazione CALIG e CMELO), letture inclinometriche e ispezioni televisive (telecamera da foro) S2 - periodo 2009-2017

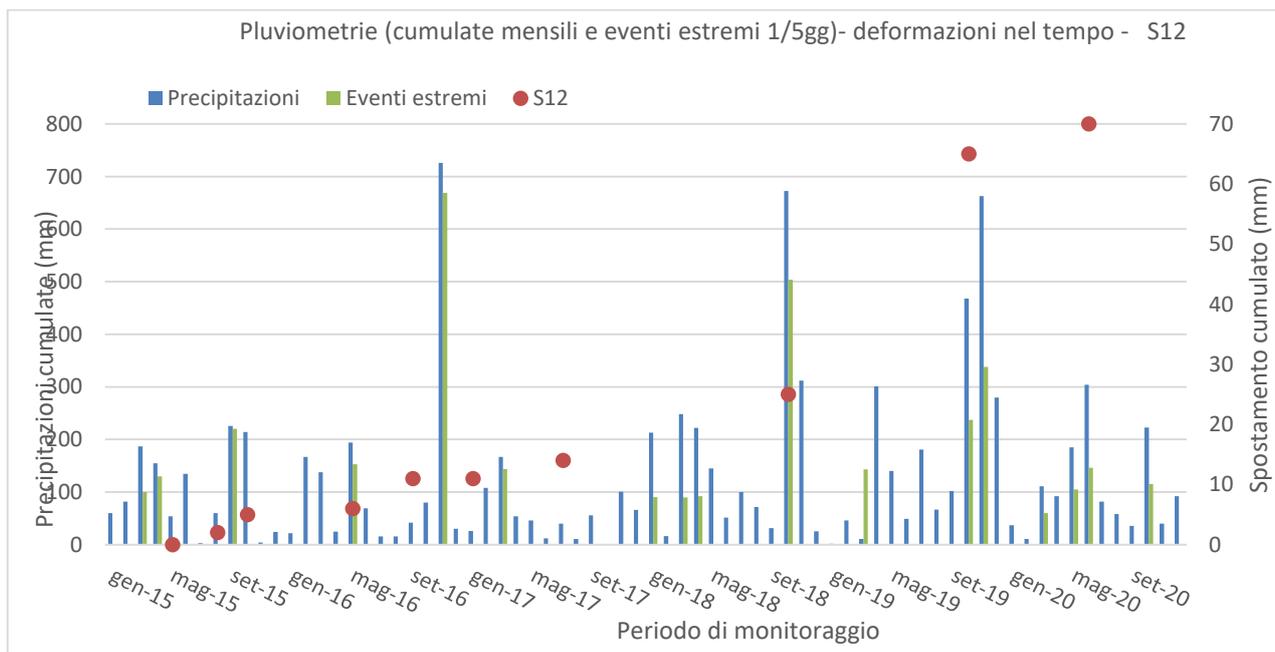


Fig. 67 – Andamento pluviometrico mensile, eventi estremi (stazione CMELO) e letture inclinometriche S12 - periodo 2015-2020

