

# SP009 - Molino-Tirolo- Bolano (SP)

## 1. Inquadramento del sito

Il sito di Molino-Tirolo nel comune di Bolano è situato in un'area complessa dal punto di vista tettonico dove il movimento gravitativo è subordinato al sovrascorrimento dell'Unità di Ottone sull'Unità di Canetolo. Queste unità sono caratterizzate da sequenze sedimentarie flyschoidi e da formazioni caotiche con presenza di olistoliti di natura ofiolitica (Complesso di M. Veri). "L'evoluzione morfologica si è verosimilmente compiuta in due fasi: in una prima fase si sono sviluppati, nella fascia superiore del versante, meccanismi di scorrimento legati alla sovrapposizione, o quasi-giustapposizione, per sovrascorrimento tettonico o per faglia diretta, di un complesso litologico ad elevata componente argillitica (costituito dalle Unità tettoniche sub-ligure e ligure) sulle arenarie. Ciò ha generato accumuli di frana facilmente plasticizzabili, che sono quindi evoluti in grandi colate, incanalate nel sottostante sistema vallivo. I movimenti primari si sono probabilmente realizzati secondo tipologie complesse (scorrimenti planari e rotazionali, scivolamenti di cunei rocciosi). In una seconda fase si è avuta una ripresa dei fenomeni erosivi in seguito a sollevamenti neotettonici. Si è avuta una nuova incisione anche dei precedenti corpi di frana e formazione di una nuova rete di canali e vallecole. Il risultato finale sembra essere quello di due ordini di accumuli gravitativi incanalati, con tipologie di colate, che configurano una morfologia a terrazzi incastrati" (da Atlante dei Centri Instabili della Liguria – Prov. SP).

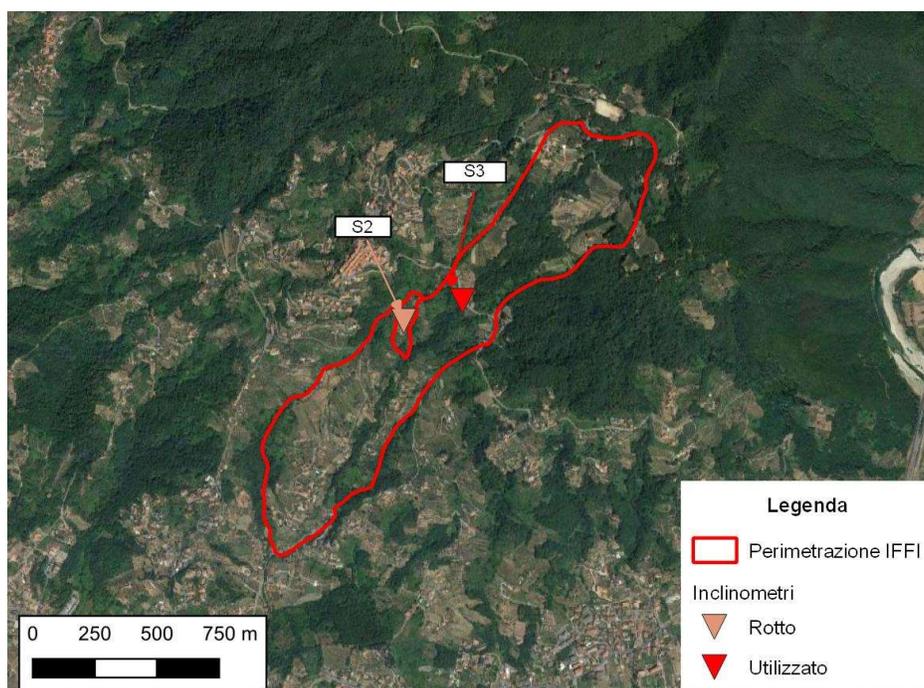


Fig. 1 - Posizione degli inclinometri S2 e S3 all'interno del corpo di frana

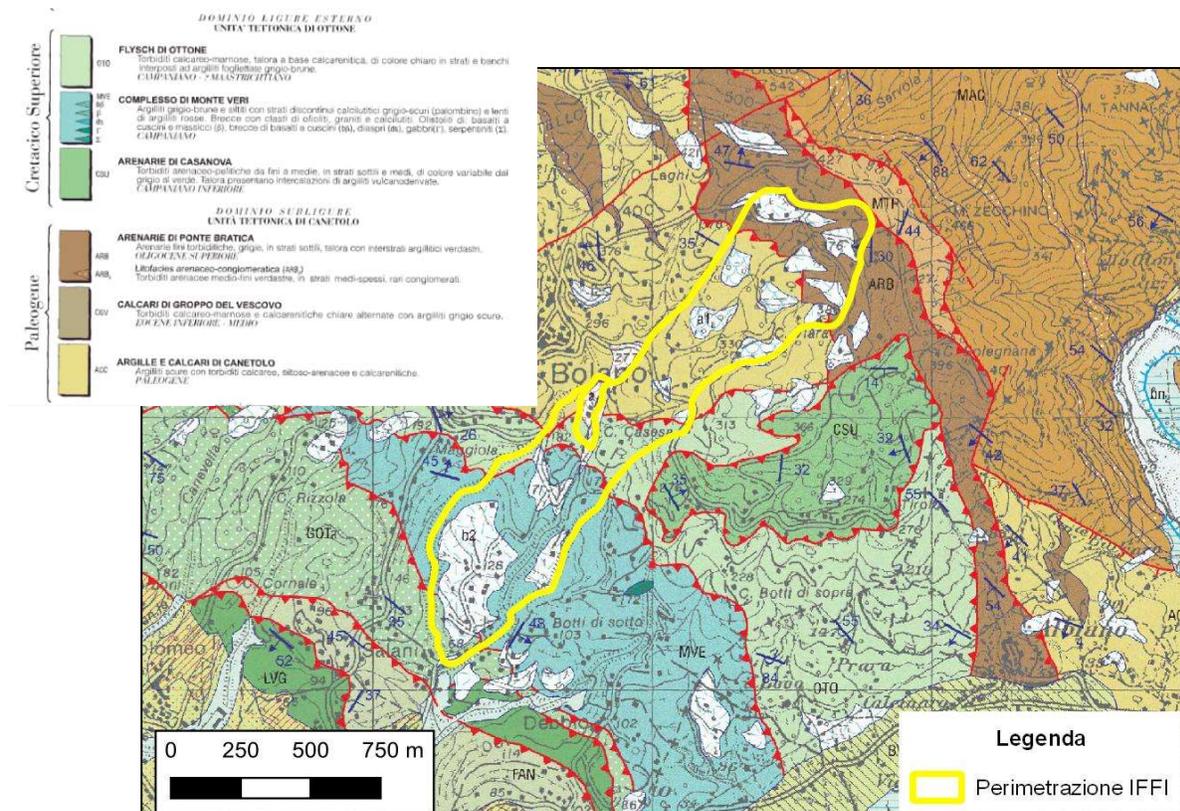


Fig. 2 - Stralcio Carta Geologica Regionale (CARG) sc.1:25.000

## 2. Campagne di indagine

La strumentazione presente ricade all'interno di un vasto movimento franoso classificato come "frana complessa quiescente" che interessa le frazioni di Molino, Tirolo, Viara e Villa del comune di Bolano. Dei quattro inclinometri presenti, sui quali è stata effettuata la ricognizione nel 2008, solo S2 in località Molino e S3 in località Tirolo sono stati monitorati fino al 2013, restando sprovviste di strumentazioni di controllo (inclinometri tagliati) le altre parti del corpo di frana, rispettivamente superiore in località Villa e inferiore in località Viara. Nel corso del 2014 si è verificata la rottura dell'inclinometro S2 effettivamente l'unico rappresentativo per profondità di installazione (Fig.2). Il monitoraggio è stato interrotto per la scarsa rappresentatività degli strumenti installati nel sito, e nel 2020 su richiesta della Regione Liguria è stata eseguita la lettura dell'inclinometro S3. Per gli anni successivi, fino al 2024, il sito non è stato inserito nella programmazione annuale di letture inclinometriche.

L'attività di monitoraggio iniziata nel 2010 ha riguardato le due installazioni inclinometriche ubicate nella parte mediana della frana perimetrata secondo la classificazione dell'Inventario dei fenomeni franosi (Progetto IFFI) come segue:

### *Inclinometri (S2 ex, S3)*

Tipo	Complesso
Stato	Quiescente generico
Identificativo	0111011701
Area [mq]	742717

### **3. Analisi dei dati inclinometrici (2010-2013)**

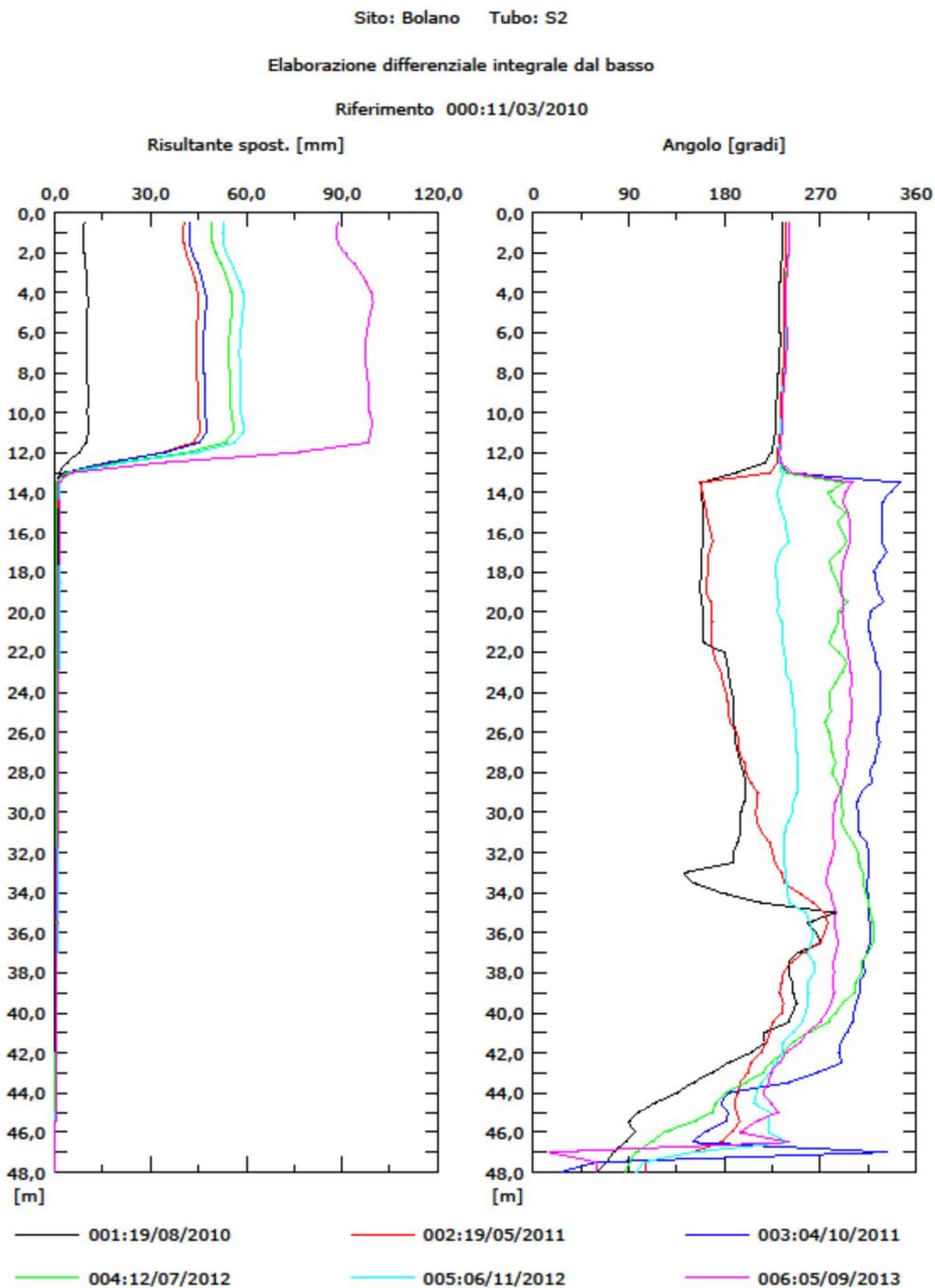
#### **Inclinometro S2 (48 m) – parte centrale della frana (monitoraggio sospeso)**

Nel periodo 2010-2013 dall'elaborazione integrale si è rilevato uno spostamento globale di circa 105 mm di monitoraggio in direzione SW, coerentemente con l'orientazione del versante. Nel corso del 2014 si è potuto accertare la rottura della tubazione con l'evoluzione del piano di taglio, verificato con ispezione televisiva (Fig.3). Il piano di scorrimento che ha determinato lo spostamento ha causato una notevole inclinazione della tubazione tale da non consentire più il passaggio della sonda testimone e a circa 12 m di profondità la rottura della tubazione.

Da sottolineare che dopo il periodo di relativa stasi registrato nel corso del 2012 si è verificato un incremento rilevante nel settembre 2013 pari a circa 35 mm, in maniera del tutto confrontabile rispetto a quanto osservato nel periodo agosto 2010 - maggio 2011. Le deformate hanno rilevato lo scorrimento lungo un piano di taglio a 12 m di profondità, fatto confermato dall'elaborazione differenziale locale con un picco di quasi 45 mm (Figg. 4 e 5).



**Fig. 3** - La lacerazione della tubazione è visibile nella foto indicata dalla freccia (3 giugno 2014).



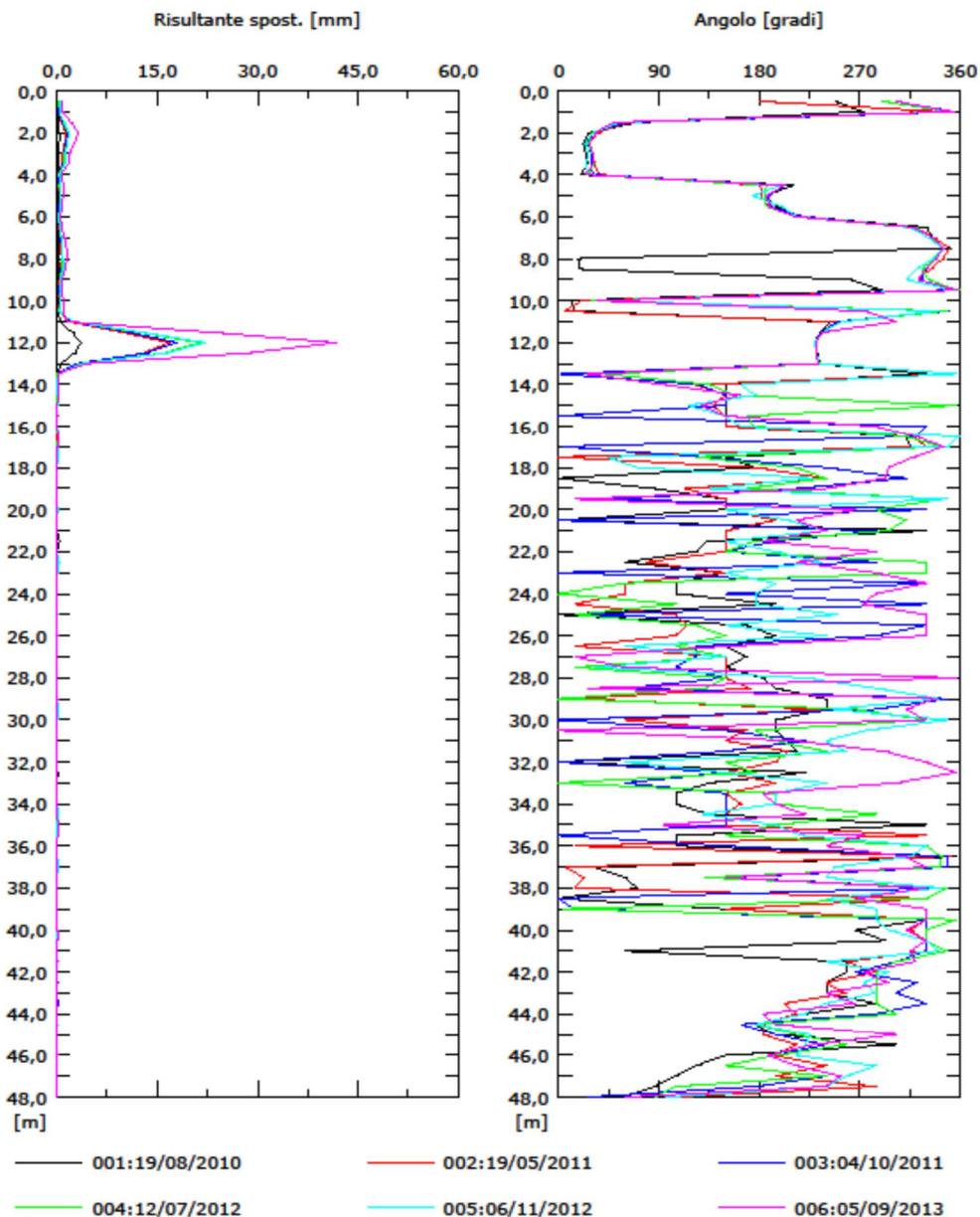
**ARPAL**

Fig. 4a - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) dell'inclinometro S2.

Sito: Bolano Tubo: S2

Elaborazione differenziale locale dal basso

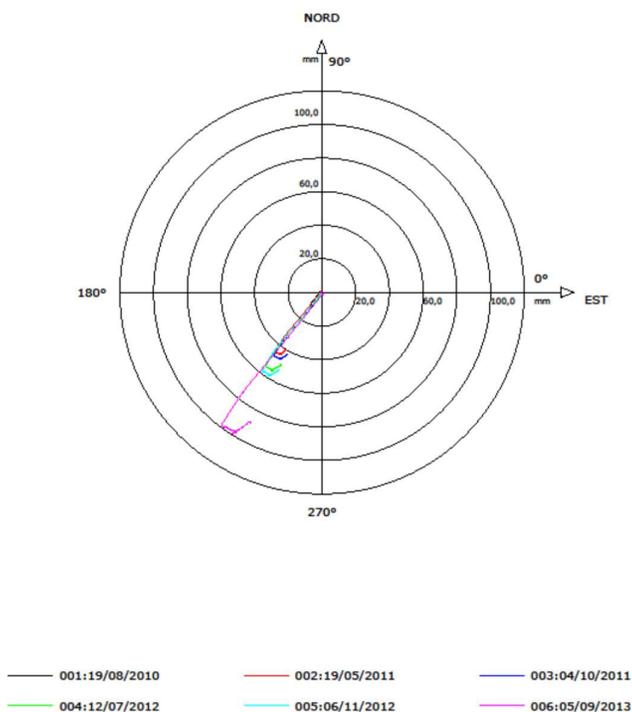
Riferimento 000:11/03/2010



**ARPAL**

Fig. 4b - Grafici relativi all'elaborazione differenziale locale (risultante locale) dell'inclinometro S2.

Sito: Bolano Tubo: S2  
Elaborazione differenziale integrale dal basso  
Riferimento 000:11/03/2010  
Diagramma polare della deviazione



**Fig. 5** - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro S2

Nel giorno 7 ottobre 2020 è stata seguita una ispezione televisiva su S2 per la verifica della deformazione lungo il piano di scorrimento. Si osserva nella foto la superficie del gradino interno localizzato a -12 m, che risulta avanzato rispetto a quello fotografato nel 2014. La luce disponibile per il passaggio della sonda risulta di pochi centimetri e non permette neppure la discesa della telecamera da foro. In conclusione si può affermare che dal 2014 si è verificato un movimento orizzontale di almeno 3-4 cm (Fig.6).

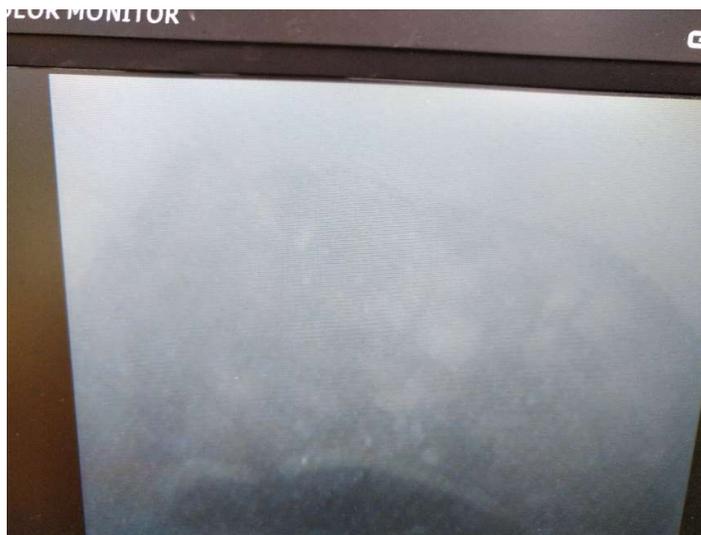


Fig. 6 - La superficie indicata dal tratteggio costituisce un gradino interno della tubazione, non presente nel 2014.

#### 4. Analisi dei dati inclinometrici (2010-2024) (monitoraggio attivo)

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

Data	Attività	Strumentazione	Sistema di misura
16/07/2024	lettura di esercizio sulle guide A1B1/A3B3	Inclinometro S3	Sonda servoaccelerometrica biax. S091260
	Lettura di zero sequenza di letture A1B1/A2B2/A3B3/A4B4		Sonda servoaccelerometrica biax. S222643

Tab. 1 - Misure effettuate nel 2024 nel sito di Molino-Tirolo

#### Inclinometro S3 (25 m) – parte centrale della frana

La verifica dei *dataset* nell'anno 2024 attraverso i “checksum” e la “deviazione standard” non ha evidenziato anomalie strumentali nei cicli di letture effettuate. Dall'elaborazione integrale si erano registrati al 2013 spostamenti trascurabili ma rilevati in costante aumento (fino a 14 mm in totale) e quindi potenzialmente da mettere in relazione con il movimento dello scorrimento. La presenza dell'innalzamento dei valori è visibile anche dall'elaborazione locale (Figg.7 e 8). Nonostante non si osservi un piano di taglio certo, la tubazione deformata potrebbe risentire dello spostamento lungo il piano di taglio principale, localizzato a profondità maggiori della lunghezza stessa dell'inclinometro, e quindi essere imputabile effettivamente allo scorrimento della frana.

La ripresa del monitoraggio nel 2024 ha consentito di registrare 34 mm di spostamento cumulato il quale, considerato che si riferisce ad un periodo di monitoraggio di 14 anni, risulta limitato con un modesto aumento di 2 mm rispetto alla precedente lettura di esercizio (ottobre 2020). L'analisi dei dati di spostamento locale conferma che, pur in un quadro di deformazione articolato, la maggiore variazione si registra chiaramente intorno a 10 metri da piano campagna, raggiungendo 2,4 mm totali con un incremento < 2mm rispetto al 2020. Il trend di spostamento risulta in direzione sud-ovest (dir. media 210°) coerentemente con l'orientazione del versante.

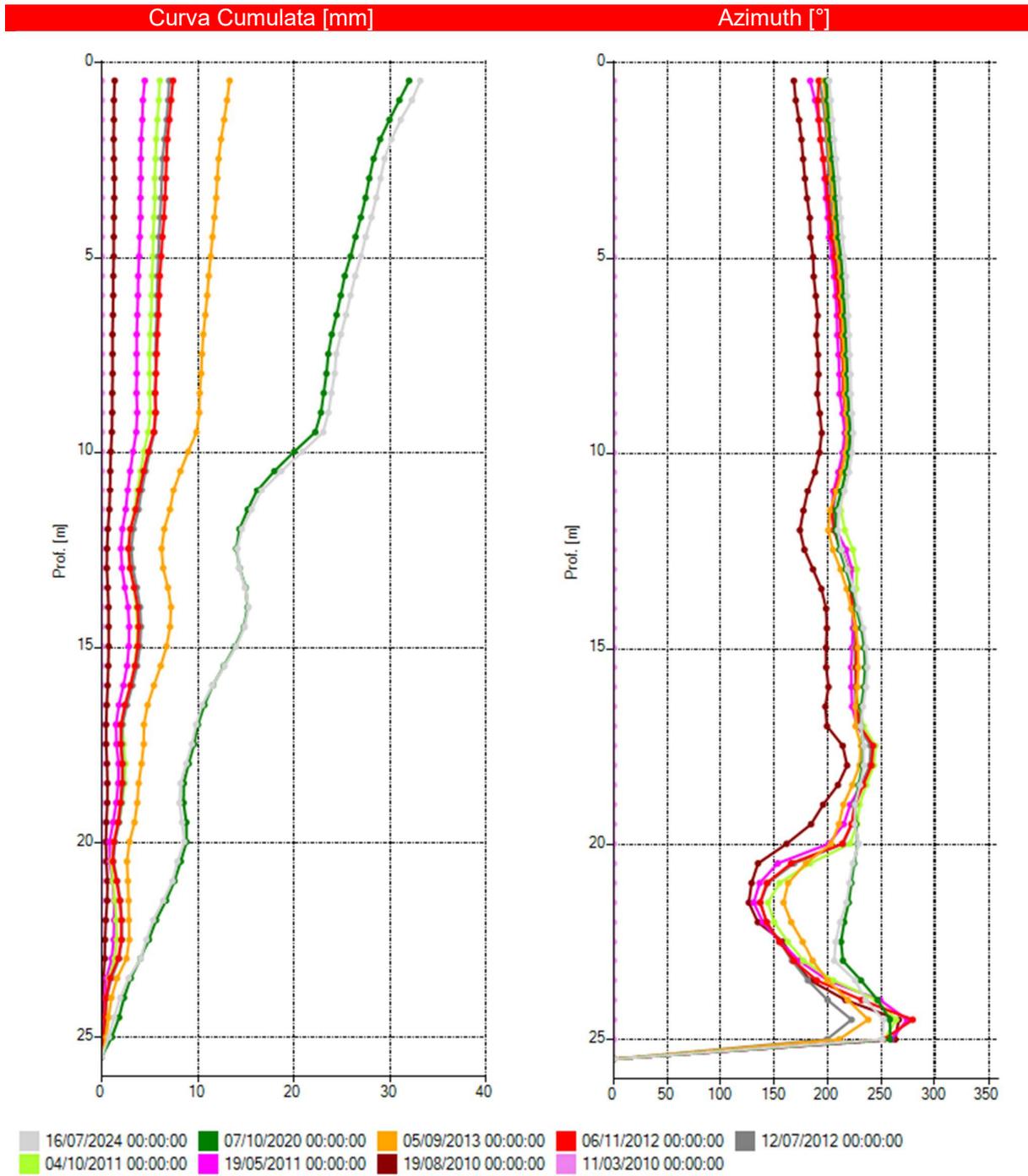
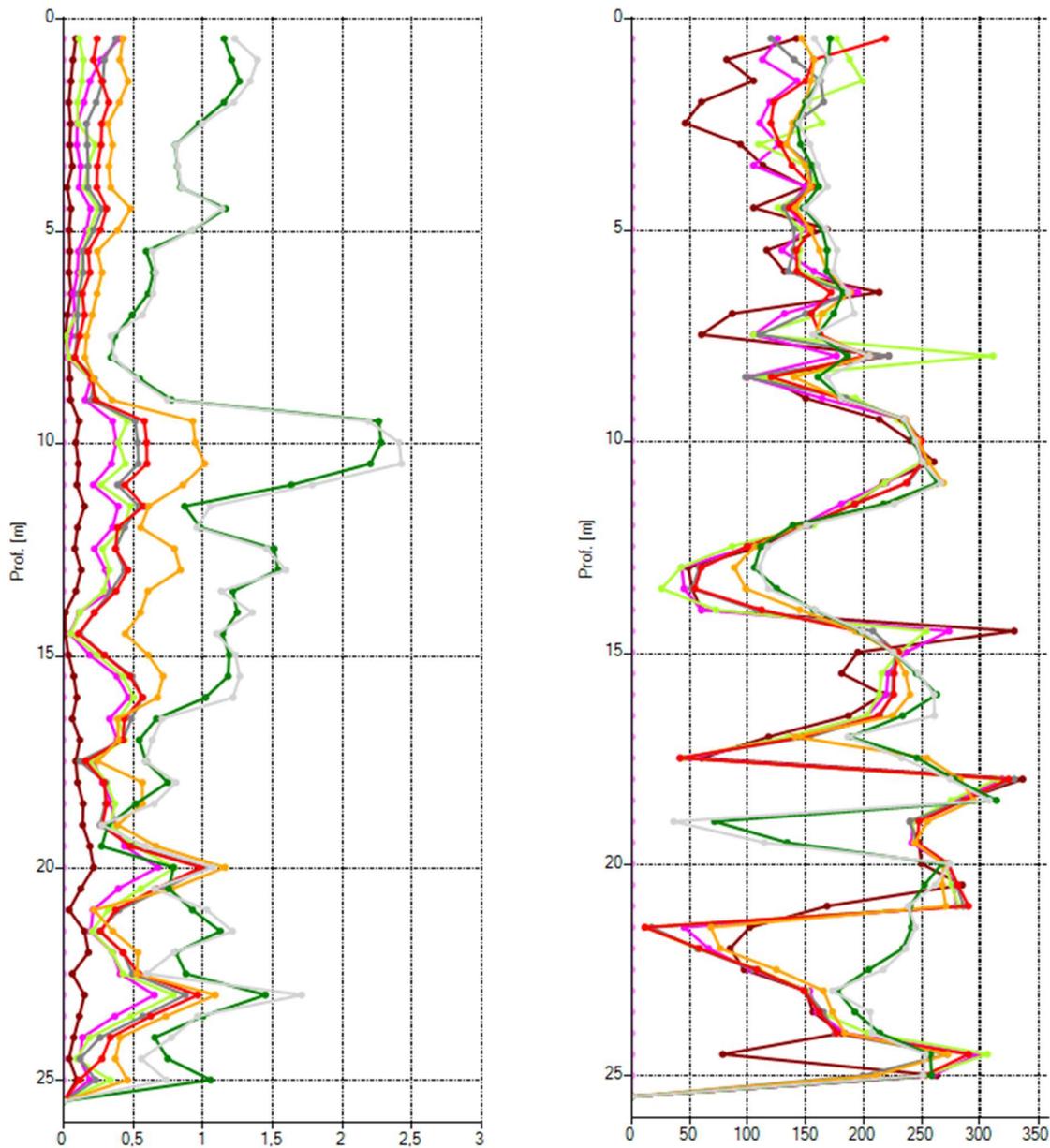


Fig. 7a - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) dell'inclinometro S3.

Variatione Locale Inclinazione [mm] Azimuth [°]



16/07/2024 00:00:00    07/10/2020 00:00:00    05/09/2013 00:00:00    06/11/2012 00:00:00    12/07/2012 00:00:00  
 04/10/2011 00:00:00    19/05/2011 00:00:00    19/08/2010 00:00:00    11/03/2010 00:00:00

Fig. 7b - Grafici relativi all'elaborazione differenziale locale dell'inclinometro S3.

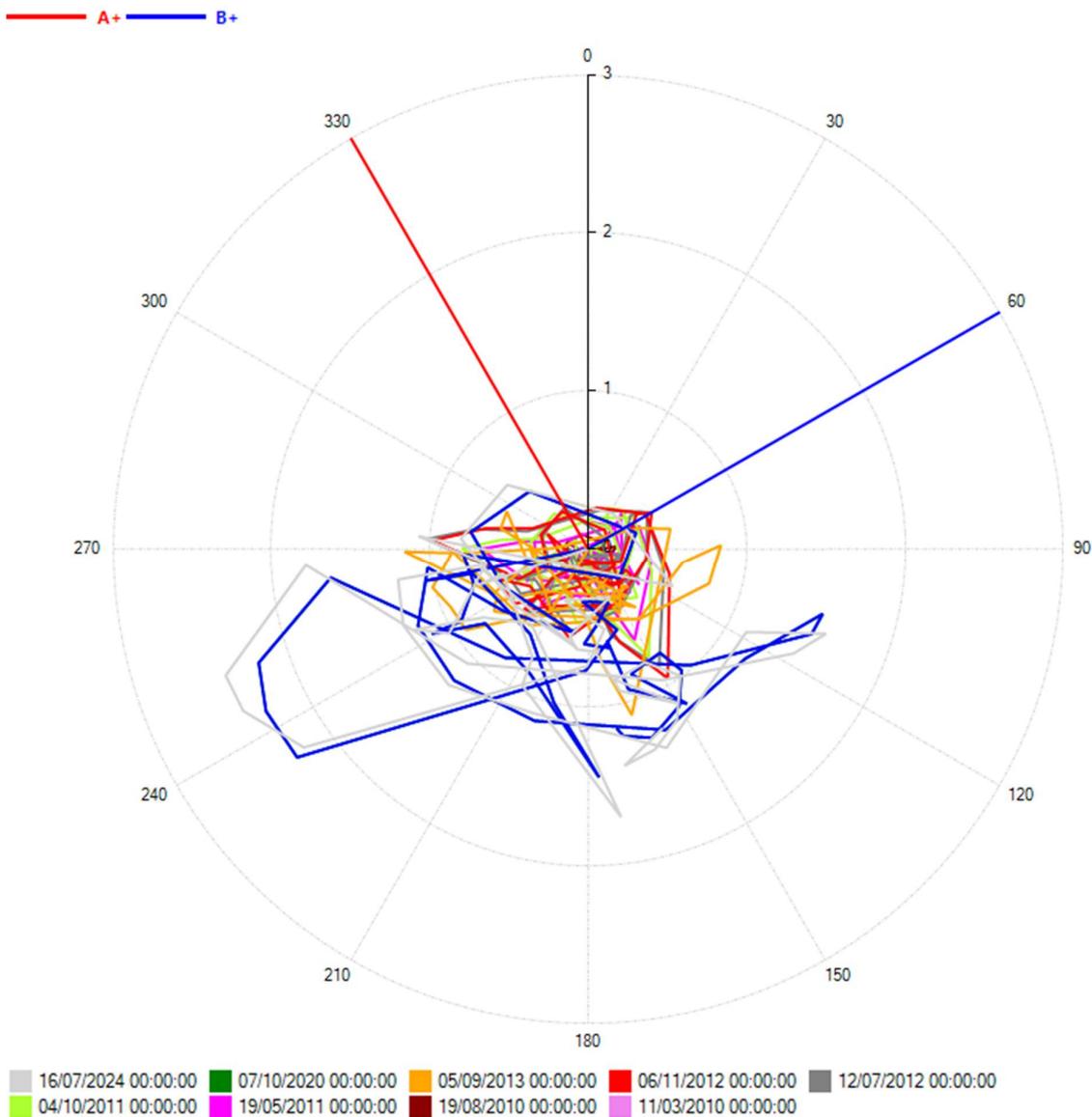


Fig. 8 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro S3

#### 4. Conclusioni

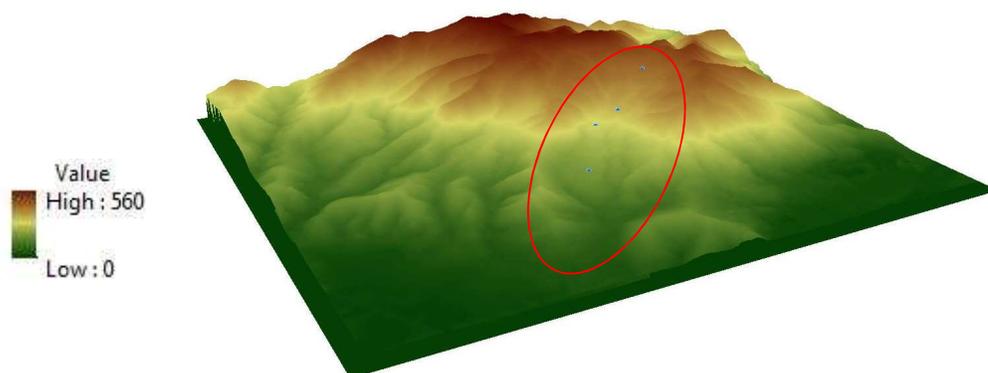
Il movimento gravitativo lambisce l'abitato del comune di Bolano e interessa direttamente alcune frazioni: fino al 2013 la strumentazione ancora utilizzabile risultava collocata solo nella parte centrale della frana, mentre altri strumenti ubicati in vari punti del versante avevano subito deformazioni intorno a 10-13 m di profondità tali da non consentire più la discesa della sonda pilota. Nel periodo 2010-2013 i due inclinometri ancora utilizzabili avevano mostrato comportamenti differenti e precisamente solo S2, installato in modo adeguato e unico a individuare il piano di taglio, rilevava una serie di incrementi fino a raggiungere un movimento globale di circa

105 mm in direzione SW, mentre l'altro inclinometro (S3) faceva osservare solo deboli movimenti (Figg.9 e 10).



**Fig. 9** -Direzione di movimento dell'area in frana nell'abitato di Bolano

Nel 2014 non si era potuta eseguire la lettura dell'inclinometro S2 a causa del peggioramento delle condizioni strutturali della tubazione, confermando quindi la progressione della deformazione con uno spostamento superiore a 105 mm. Avendo uno sviluppo verticale di molto inferiore all'inclinometro posto più a valle (S2), S3 ha rilevato una serie di incrementi di difficile interpretazione, ma che potrebbero essere effettivamente attribuibili allo scorrimento della frana: la superficie di movimento potrebbe svilupparsi a profondità maggiori rispetto alla lunghezza totale dell'inclinometro e quindi determinare una vera e propria traslazione della tubazione.



**Fig. 10** –DTM dell'orografia della frana di Molino-Tirolo: si osserva come la colata parta già dal crinale per poi svilupparsi verso il fondovalle, in sensibile spostamento in tutti i punti dai dati inclinometrici

Nel periodo 2020-2024 il fenomeno gravitativo è stato monitorato attraverso la lettura dell'inclinometro S3 (campagne 2020 e 2024) ed eseguendo (nel 2020) un'ispezione televisiva del piano di taglio registrato in S2 dove i segnali di spostamento sono risultati particolarmente visibili, con una forte deformazione di circa 3-4 cm ed evidente deterioramento della struttura della tubazione.

Considerato che il movimento del versante avviene sviluppando una pulsazione nello scorrimento, si può considerare una velocità media pari a 30 mm/anno nel periodo 2009-2013. Si può osservare, pur considerando il numero di letture limitato, la presenza di un'accelerazione nel movimento a seguito del periodo autunnale 2010 ed invernale 2011 e una vistosa decelerazione seguente che arriva a coprire anche il 2012, cui fa seguito nel 2013 un secondo importante incremento pari a 40 mm in 10 mesi. Considerando il periodo di sospensione del monitoraggio 2014-2020, e ipotizzando una analisi quantitativa attraverso l'osservazione in S2 di alcuni cm, si può valutare il movimento dal 2010 in 1-2cm /anno (Fig.11). Tale valore diminuisce a circa 3 mm/anno considerando le letture in S3, ma tenendo sempre ben presente che verosimilmente l'inclinometro potrebbe non intercettare il piano di scivolamento e non essere intestato correttamente nel substrato e quindi non rilevare tutti i movimenti.

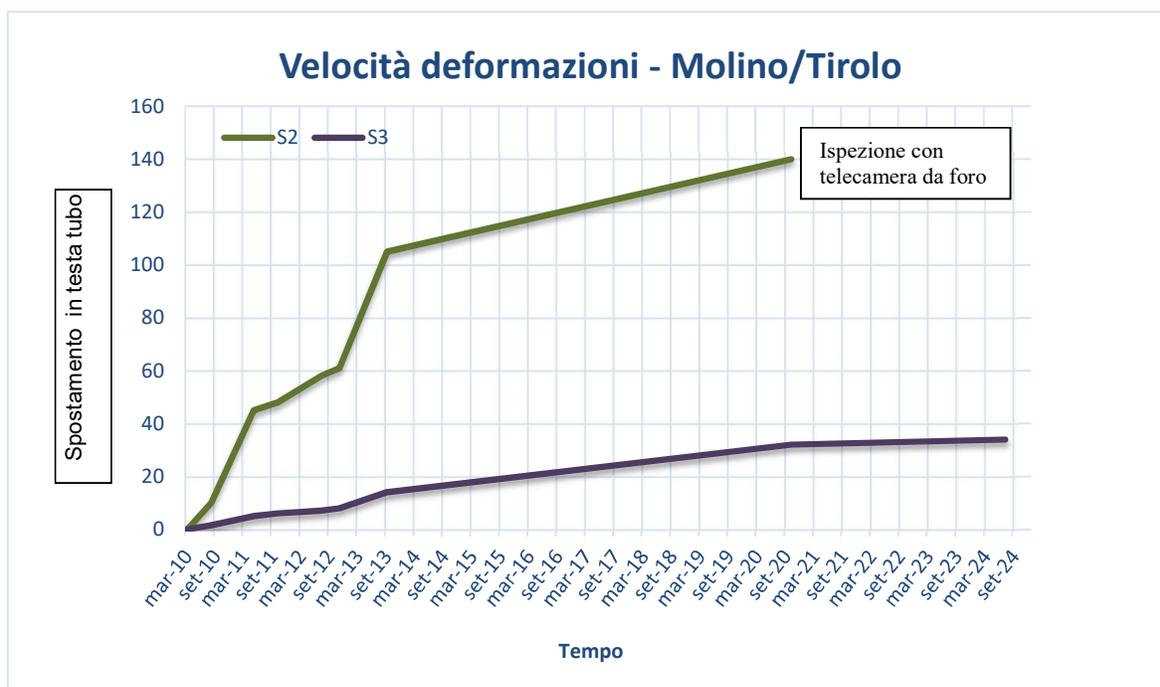


Fig. 11 -Velocità delle deformazioni misurate in S3 e stimate con videoispezione in S2

Visti i rapporti tra deformazioni e regime pluviometrico, l'andamento dei massimi mensili dimostra come gli anni abbondanti di precipitazioni 2010 e 2013 siano stati intervallati dagli anni 2011 e 2012, relativamente più scarsi di precipitazioni. Le due deformazioni principali si sono verificate a seguito di periodo molto piovosi, il primo facente capo all'autunno 2010 e la seconda all'autunno 2012 - primavera 2013, in cui spicca il massimo pluviometrico del mese di marzo.

Si sono succeduti eventi di particolare intensità a partire dall'autunno 2012 e per tutta la primavera 2013: durante questo periodo si è sono registrati 244 mm/gg di pioggia nel mese di ottobre 2012 e 432 mm, caduti in pochi giorni, nel mese di marzo 2013. Questi accadimenti avvengono all'interno di cumulate mensili importanti e strettamente connesse alle deformazioni in atto. La rottura definitiva della tubazione inclinometrica S2 registrata in luglio 2014 potrebbe aver risentito del regime pluviometrico del mese di gennaio 2014 con 738 mm di pioggia (Figg.12-13).

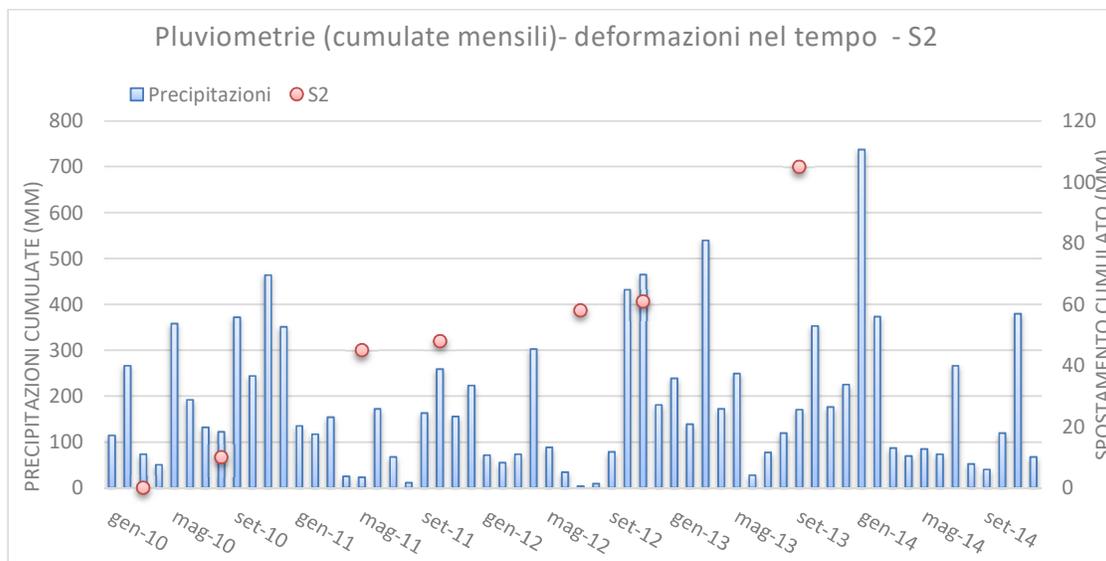


Fig. 12 – Andamento pluviometrico mensile (stazione PBATT) e letture inclinometriche S2 – anni 2010-2014

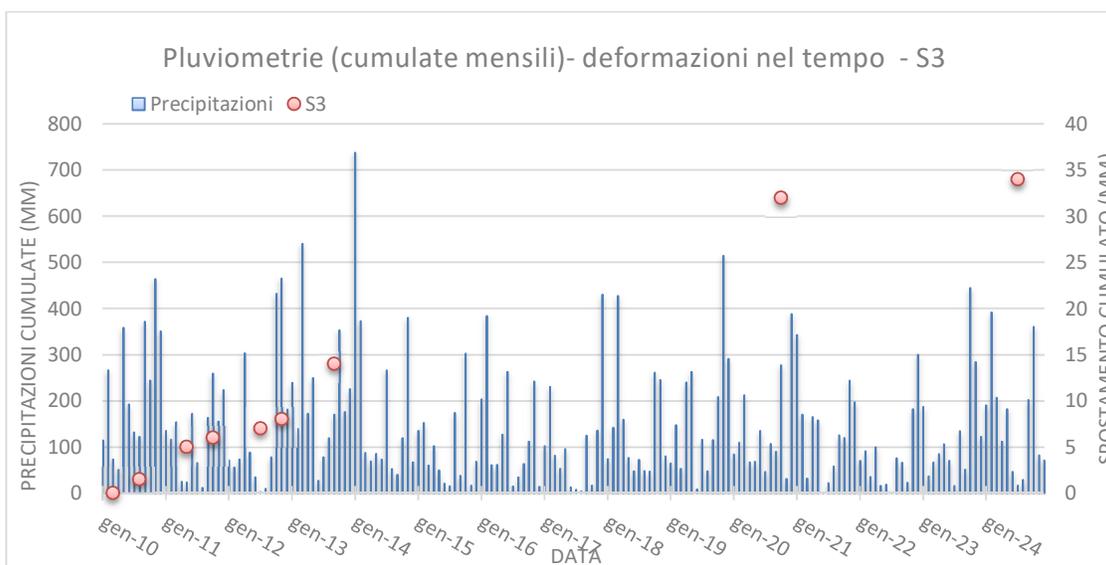


Fig. 13 – Andamento pluviometrico mensile (stazione PBATT) e letture inclinometriche S3 – anni 2010-2024