

# SV003 - Pero - Varazze (SV)

## 1. *Inquadramento del sito*

Il sito del Pero si colloca nel Comune di Varazze ed è caratterizzato da un'elevata complessità geologica con affioramenti di metabasiti e serpentiniti (e in misura minore di calcescisti) dell'Unità Voltri (Fig.1),

Nel passato sono stati individuati diversi corpi di frana, ritenuti indipendenti, che hanno interessato il centro abitato e che si dipartono con una morfologia articolata dal versante roccioso fino al torrente Teiro. I dati raccolti riguardanti la frana dal maggior impatto sull'abitato, che coinvolge l'edificio della chiesa vecchia, esplicano un movimento di tipo complesso-scorrimento/colata lento, in cui alcune parti del corpo franoso subiscono maggiori deformazioni rispetto ad altre all'apparenza più stabili o comunque soggette ad un movimento più graduale ed omogeneo (*"Atlante dei Centri Abitati Instabili della Liguria"* – CNR – Prov. di Savona, 2005).

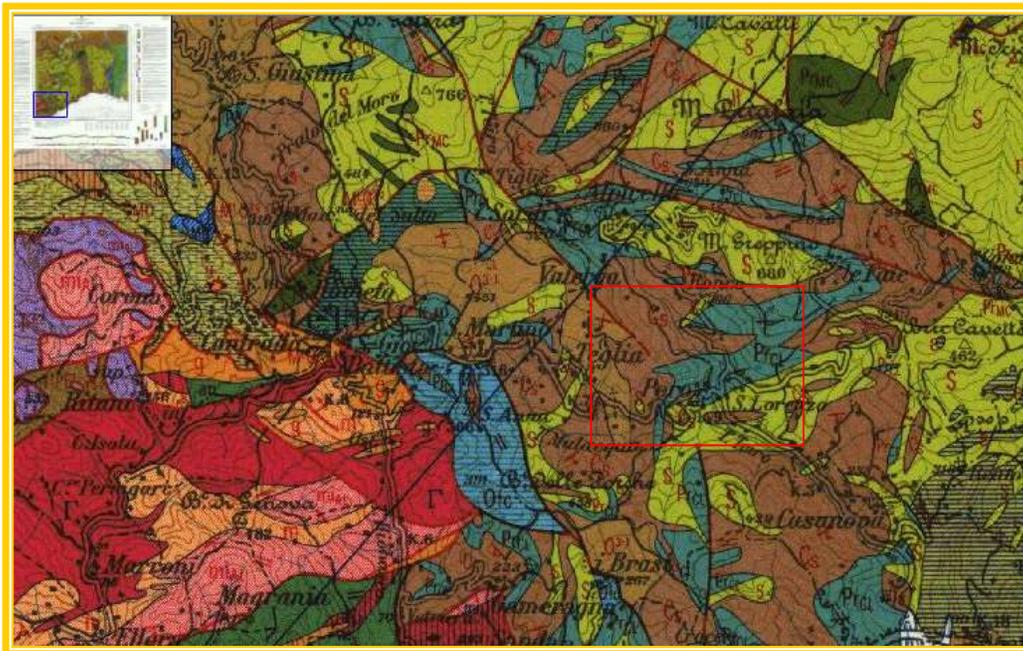


Fig. 1 - Stralcio della Carta Geologica Regionale con elementi di geomorfologia CGR e localizzazione dell'area di monitoraggio. csAL = calcescisti, πAL = metabasiti, σV= serpentinoscisti (Unità tettonometamorfica Voltri)

## 2. *Campagne di indagine 2007-2008*

Per il sito in oggetto, molte informazioni provengono inoltre dalle ampie campagne geognostiche susseguitesesi negli anni per la stabilizzazione del centro abitato.

La frana del Pero è oggetto di monitoraggio dal 2008 con gli inclinometri IP1, IP2, IP3 e IP4, installati tra la fine del 2007 e il 2008 (*"Indagini Geotecniche ed installazione di n°4 inclinometri - Ditta Geotirreno S.r.l."*).

Le installazioni presenti ricadono all'interno della frana del Pero, censita come costituita da due corpi separati nell'Inventario IFFI (Fig.2).

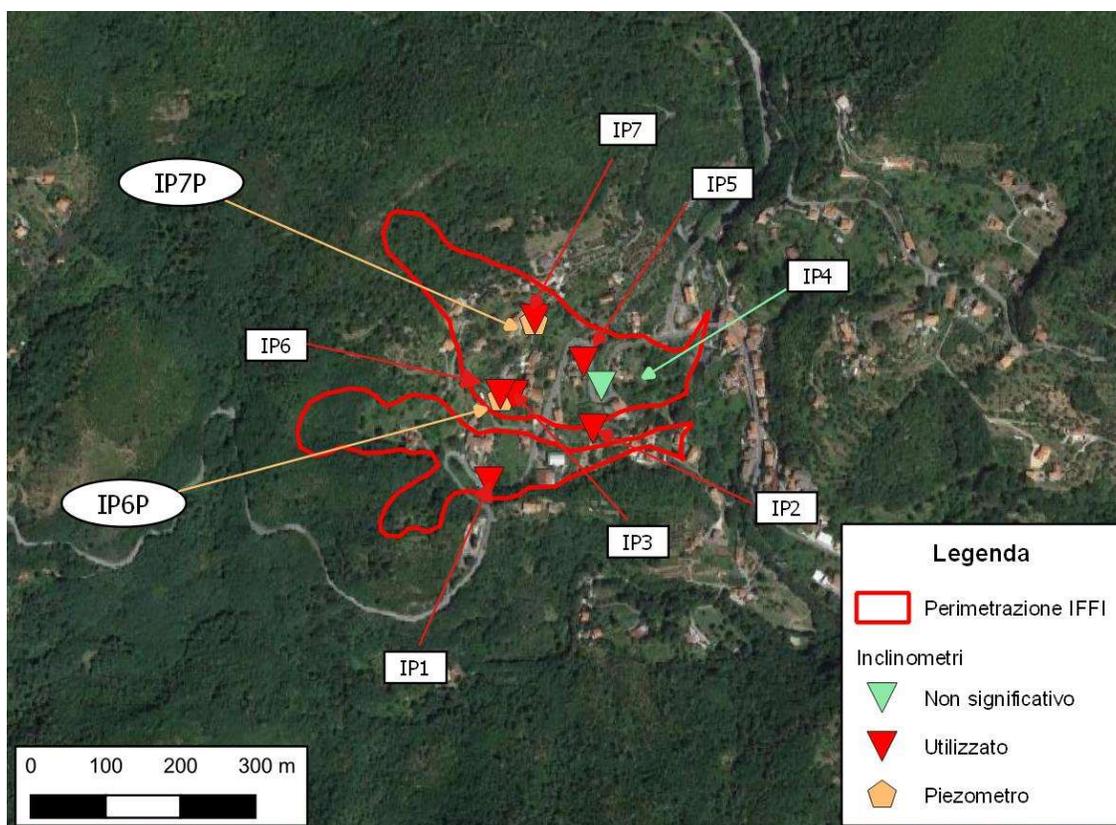


Fig. 2 - Posizione degli inclinometri IP1, IP2, IP3, IP4, IP5, IP6 e IP7 e dei piezometri IP6P e IP7P all'interno del corpo di frana

*Inclinometri:* IP2, IP3, IP4

Tipo	Complesso
Stato	Attivo/riattivato/sospeso
Identificativo	0090116000
Area [mq]	52954

*Inclinometri:* IP1

Tipo	Colamento lento
Stato	Attivo/riattivato/sospeso
Identificativo	0090036900
Area [mq]	36843

La campagna geognostica del 2007, con cui si sono eseguiti i sondaggi S1, S2, S3, S4 attrezzati a inclinometro (IP1, IP2, IP3 e IP4), ha permesso di caratterizzare la frana nelle sue componenti principali. In particolare i sondaggi S1 e S2 eseguiti a carotaggio continuo, rispettivamente fino alla profondità di 25.00 m e 20.00 m da p.c., hanno individuato una coltre franosa contenente livelli rocciosi brecciati della potenza rispettivamente di 6 e 12 m, che sormonta un basamento roccioso molto foliato di metabasiti e serpentinoscisti e livelli di laminazione tettonica come gli scisti attinolitici e talcosi (SAC "auctorum"). La frammentazione del basamento roccioso si rinviene fino alla profondità di installazione degli inclinometri come mostrano le foto seguenti (Fig.3).



**Fig. 3** - Colonne stratigrafie di S1 (IP1) e S2 (IP2) caratterizzate da serpentinoscisti e metabasiti, con importanti livelli di cataclasi

Le faglie sarebbero responsabili della cataclasi del basamento metaofiolitico, i cui gradi di tettonizzazione e alterazione favoriscono la disgregazione della roccia: la logica conseguenza della scadente qualità geomeccanica sarebbe quindi una naturale propensione allo scorrimento e quindi alla ciclica riattivazione del fenomeno franoso. Ciò rafforzerebbe l'idea di una probabile tipologia di scorrimento traslativo di detrito e roccia estremamente fratturati ed alterata, che si attiverebbe su superfici rappresentate da piani debolezza come fessurazioni o scistosità molto pervasive.

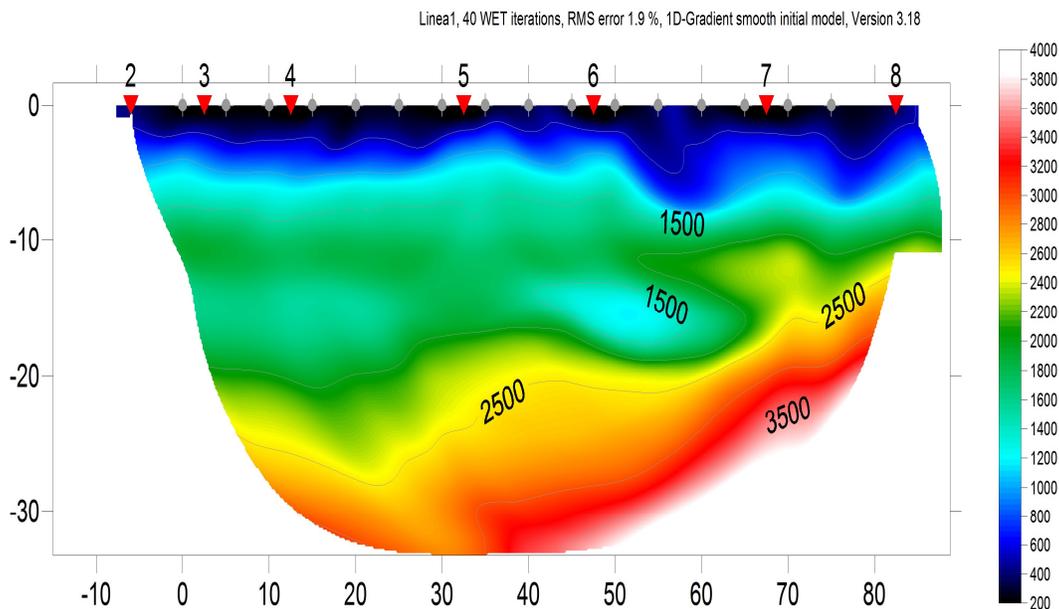
### 3. Campagne di indagine 2012

Nel gennaio 2012 è stata eseguita una sezione sismica N-S nella zona compresa tra IP1 e IP3 al fine di individuare la potenza della coltre franosa ed eventualmente determinare il reale valore del livello piezometrico (Fig.4). La stesa, lunga 75 m con distanza intergeofonica di 5 m, ha consentito di raggiungere 30 metri di profondità di indagine.

La prova ha evidenziato la presenza del substrato roccioso stabile a -25/-30 m (zona IP3) a inizio stesa e di circa 15 m a fine stesa nella zona periferica (zona IP1). Questa situazione confermerebbe il basso tasso di spostamento registrato presso IP1 a fondo foro (si rileva un

movimento con debole rotazione della base dell'inclinometro), mentre presso IP3 i dati inclinometrici evidenziano in modo inequivocabile un movimento alla base dell'inclinometro, intorno a 24 m, che potrebbe rappresentare una quota parte del movimento globale lungo il piano di scorrimento.

Al di sopra del substrato stabile ( $V_p$  2500 m/s) è stato localizzato un corpo eterogeneo caratterizzato da  $V_p$  compatibili con un deposito addensato o una roccia alterata, di spessore variabile (10-20 m m/s) su cui giacciono circa 6 metri di coltre detritica. Il passaggio al basamento stabile avviene attraverso l'interposizione di alcuni metri di materiale roccioso ( $V_p$  2400-3000 m/s) che potrebbe rappresentare la base della frana. Infine i bassi valori superficiali della velocità sismica per almeno 5 m costituirebbero un primo strato insaturo, indicando quindi immediatamente al di sotto la presenza di una falda superficiale e continua.



**Fig. 4** - Sezione sismica tomografica del pendio in frana: si osserva il basamento ofiolitico disgregato (giallo) e stabile (rosso) che affonda da profondità prossime a -15 m in prossimità di IP1 (destra) fino a -30 m in corrispondenza di IP3 (a sinistra).

L'elaborazione sismica ha quindi confermato la presenza di un unico complesso morfologico caratterizzato da un cinematismo, da una stratigrafia e da una litostruttura comuni a tutta l'area (*"Caratterizzazione idrogeologica, geotecnica e geomorfologica della frana del Pero"* – Tesi di laurea 2014/2015).

#### 4. Campagne di indagine 2013

Per definire con certezza il piano di scorrimento e quindi rilevare la reale velocità del sistema franoso, è stato eseguito nel 2013 un sondaggio a distruzione di nucleo, spinto fino a 40 m di profondità, con un'ultima parte a carotaggio continuo: la perforazione è stata eseguita per installare un nuovo inclinometro nella zona centrale (codificato come IP5). 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 12 m di profondità si incontrano in alternanza blocchi lapidei e livelli incoerenti attribuibili alla coltre franosa, e a profondità superiori fino 40 m il substrato roccioso, caratterizzato da metabasiti ad albite ocellare (prasiniti), frequentemente disarticolato da fratture.

Dalle informazioni stratigrafiche si evince inoltre che alla profondità di circa 12 m si è registrata la perdita totale delle acque di perforazione. Nelle foto seguenti si evidenzia l'intervallo 34-36 m del basamento roccioso con carote ben formate (anche 40 cm) ed evidenti discontinuità sviluppate lungo i piani di scistosità non conseguenti alle operazioni di carotaggio. Inoltre sono presenti sistemi di fratture che tagliano perpendicolarmente il fabric composito e che, a causa delle caratteristiche strutturali, sarebbero indiziate del movimento della frana del Pero (Fig. 5-6).



**Fig.5** - Intervallo 34-36 m del basamento roccioso: carote di metabasiti ed evidenti discontinuità sviluppate lungo i piani di scistosità, che nelle zone ove la trasposizione è meno evidente coincidono con i fianchi delle shear folds. La superficie delle fratture risulta ossidata in modo pressoché totale e tali discontinuità aperte contribuiscono alla debolezza del substrato roccioso in termini di stabilità.



**Fig.6** - Il set di fratture trasversali alla scistosità seziona in senso longitudinale le carote: l'alterazione dei piani di frattura è elevata con presenza di deboli ricristallizzazioni sulla superficie che appare debolmente ondulata e con gradini di scorrimento. Tali fratture, insieme alle discontinuità sub orizzontali, sono indiziate di essere le responsabili dello scivolamento della frana.

## 5. Campagna di indagini 2018

Nel 2018 la strumentazione inclinometrica è stata integrata da quattro nuovi fori (due strumentati con inclinometri IP6 e IP7, e due con piezometri IP6P e IP7P a supporto degli stessi inclinometri) nell'ambito del "PROGETTO POR FESR - 5-5.1.4 - 0000002 - SVILUPPO DEL SISTEMA DI PREVENZIONE REGIONALE PER IL RISCHIO IDROGEOLOGICO E IDRAULICO" POR, eseguiti dalla ditta M3D e da sonde inclinometriche fisse inserite in IP5 alle profondità di 12 m, 23.5, 24.5, 28.5 e 29.5. Nel corso del 2019 sono state inoltre installate due sonde freatiche fisse all'interno dei piezometri IP6P e in IP7P (Fig.2).

*Inclinometri: IP5, IP6, IP7*

Tipo	Complesso
Stato	Attivo/riattivato/sospeso
Identificativo	0090116000
Area [mq]	52954

*Inclinometri: IP1*

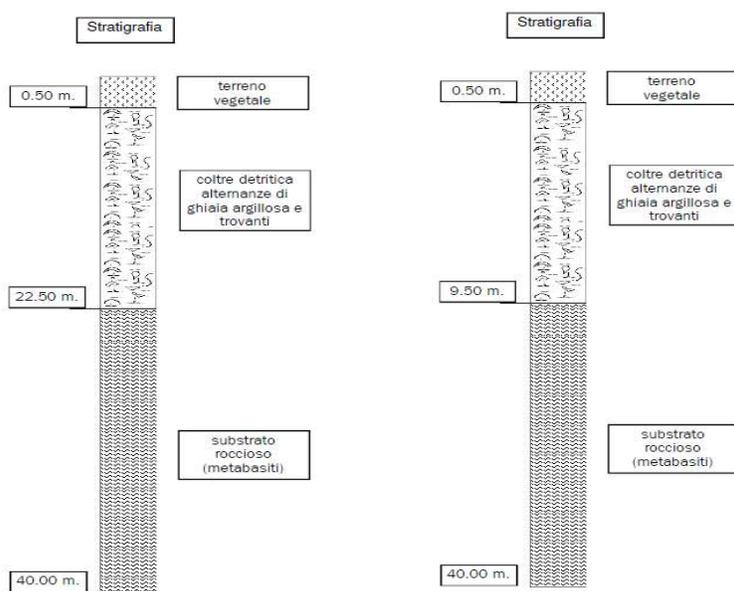
Tipo	Colamento lento
Stato	Attivo/riattivato/sospeso
Identificativo	0090036900
Area [mq]	36843

Dall'analisi dei cuttings di IP6 è stata ricostruita una stratigrafia così composta: fino a 0.50 m terreno vegetale, da 0.50 a 22.50 m è presente una coltre detritica, seguita dal substrato roccioso fratturato e tettonizzato fino ad una profondità di 40 m (Fig.7).

Dall'analisi dei cuttings di IP7 è stata ricostruita una stratigrafia così composta: fino a 0.50 m terreno vegetale, da 0.50 a 9.50 m è presente una coltre detritica, seguita dal substrato roccioso a fino ad una profondità di 40 m (Fig.7).

Dall'analisi sull'indice di plasticità, la coltre franosa costituita da ghiaia limosa con sabbia si classifica come “*poco plastica*”.

Gli effetti sulla stabilità sono attribuibili quasi esclusivamente all'angolo di resistenza al taglio poiché la componente argillosa è risultata quasi assente. Inoltre la prova per definire i *Limiti di plasticità e di liquidità* mostra come sia necessario un quantitativo di acqua modesto per attivare in modo plastico il materiale, nonostante al momento del campionamento la quantità di acqua naturale fosse al di sotto del limite di plasticità, mentre il limite di liquidità risulta lontano.



**Fig. 7** - Stratigrafia ricostruita dai cuttings per i sondaggi IP6 e IP7.

## 6. Analisi dei dati inclinometrici 2008-2013

### Inclinometro IP3 (25 m) – parte mediana della frana (centro abitato)

A seguito dell'installazione (2018) nelle vicinanze di IP3 di un nuovo inclinometro, denominato IP6 (40 m di profondità), finalizzato al rilievo della potenza della frana nella zona centrale e alla corretta misurazione del cinematismo lungo i piani di taglio, le letture dello stesso inclinometro sono state sospese in accordo con Regione Liguria.

L'elaborazione differenziale integrale, quindi, si riferisce al periodo 2008-2018 in cui si era evidenziato uno spostamento massimo di circa 45 mm e una direzione di movimento verso E in accordo con la morfologia del versante.

I valori registrati nelle letture dell'anno 2018 avevano confermato il movimento profondo al limite della base dell'inclinometro: infatti dall'elaborazione differenziale locale si può osservare il massimo di spostamento con un valore di quasi 19 mm a -23.5 m di profondità e non si può escludere che siano in evoluzione una o più superfici di taglio a profondità superiori (Figg.8-9). Il monitoraggio ha permesso di identificare una serie di riattivazioni che si alternano a brevi stasi, non sempre presenti nello stesso periodo stagionale.

**REMOVER 2008-2024**

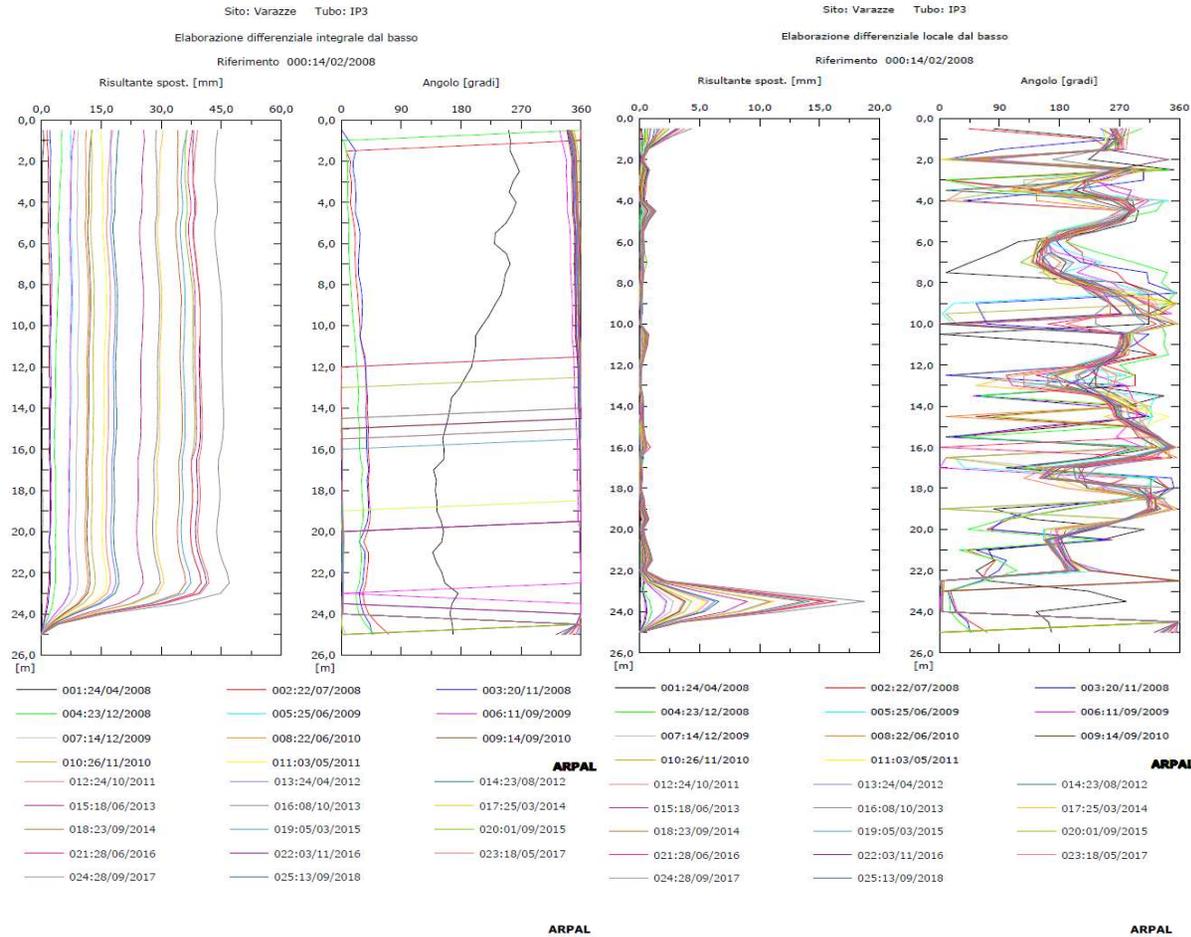
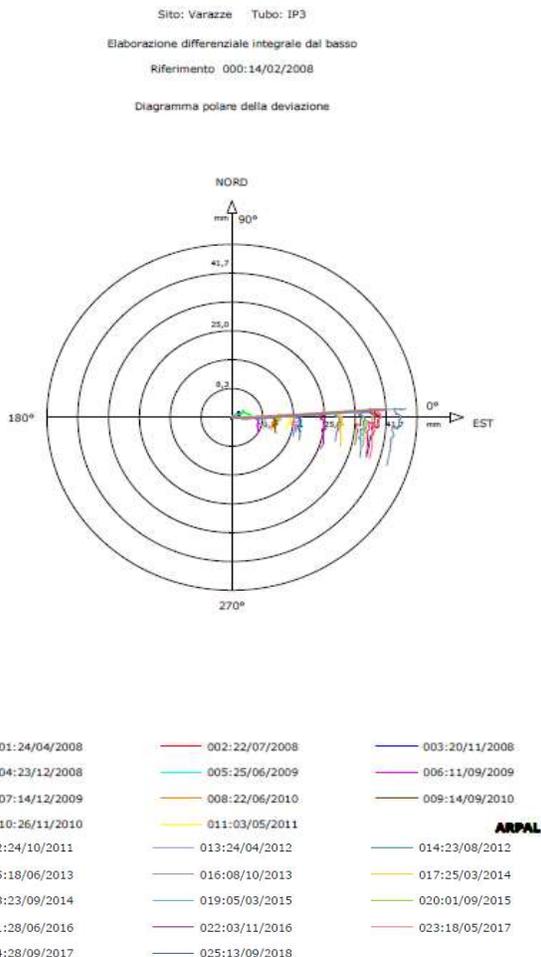


Fig. 8 - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) e all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro IP3.



**Fig. 9** - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro IP3

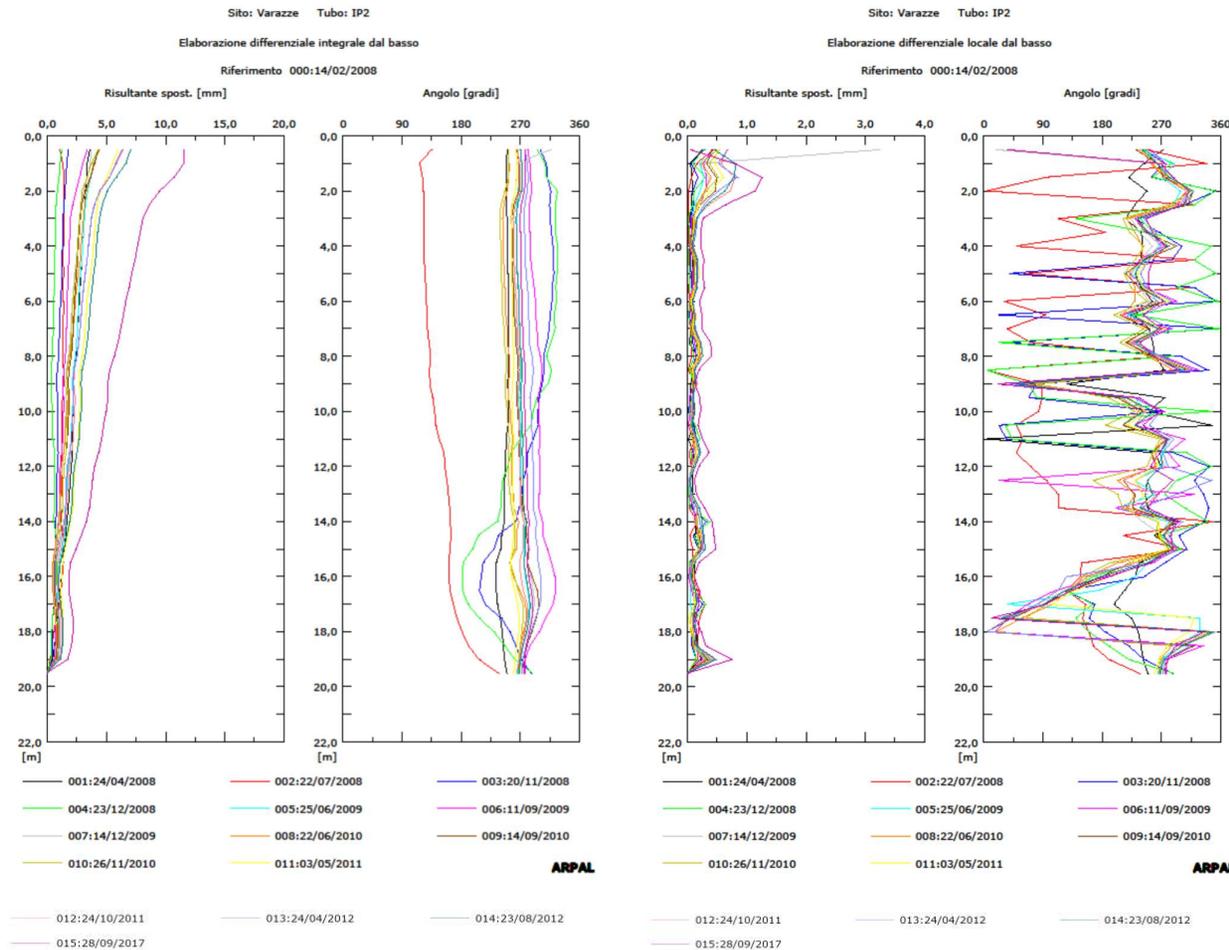
### Inclinometro IP2 (19.5 m) – zona di valle della frana (centro abitato)

Il monitoraggio eseguito dal 2008 al 2012 non ha dato particolari indicazioni tanto da far dubitare dell'effettiva funzionalità della tubazione in relazione alla corretta profondità di installazione. Si è deciso nel 2017 di eseguire una lettura per verificare la presenza di eventuali nuove deformazioni. L'elaborazione differenziale integrale dal basso ha evidenziato un lieve incremento rispetto al 2012 pari a 7 mm per uno spostamento massimo di circa 13 mm dal 2008 e una direzione di movimento verso S in accordo con la morfologia del versante. Dal 2018, in accordo con Regione Liguria, l'inclinometro non è stato misurato, dati i bassissimi incrementi inferiori a 1mm/anno.

A questo proposito si rammenta che, data la lunghezza limitata della tubazione, non si possano escludere movimenti di traslazione della stessa nel movimento in massa. Le deformate integrali non mostrano anomalie di particolare entità e dato il basso valore della risultante degli spostamenti, potrebbero complessivamente ancora rientrare nel campo delle oscillazioni

strumentali. A conferma del fatto che gli spostamenti non mostrano spostamenti rilevanti, l'elaborazione locale non evidenzia picchi di particolare deformazione lungo tutto l'asse del tubo inclinometrico (Figg.10-11).

**REMOVER 2008-2024**



**Fig. 10** - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) e all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro IP2.

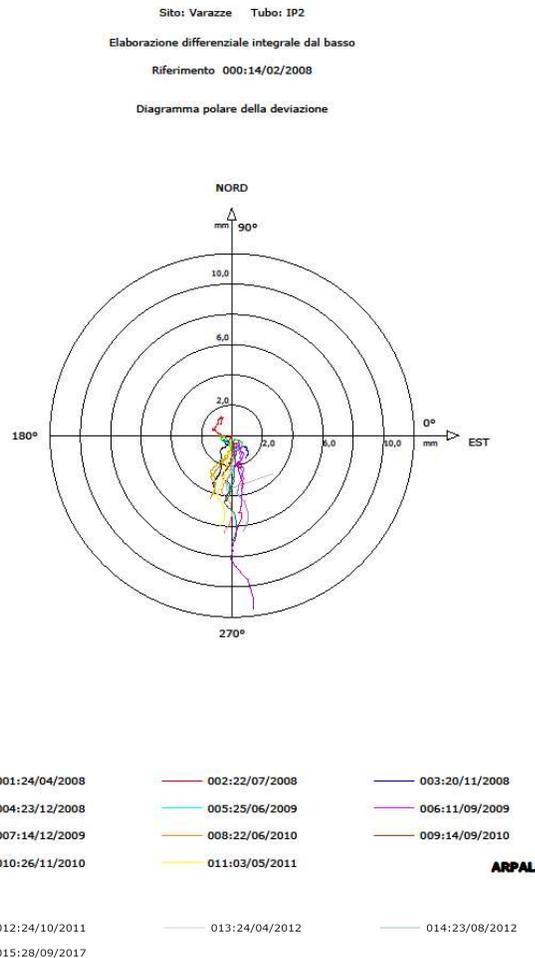
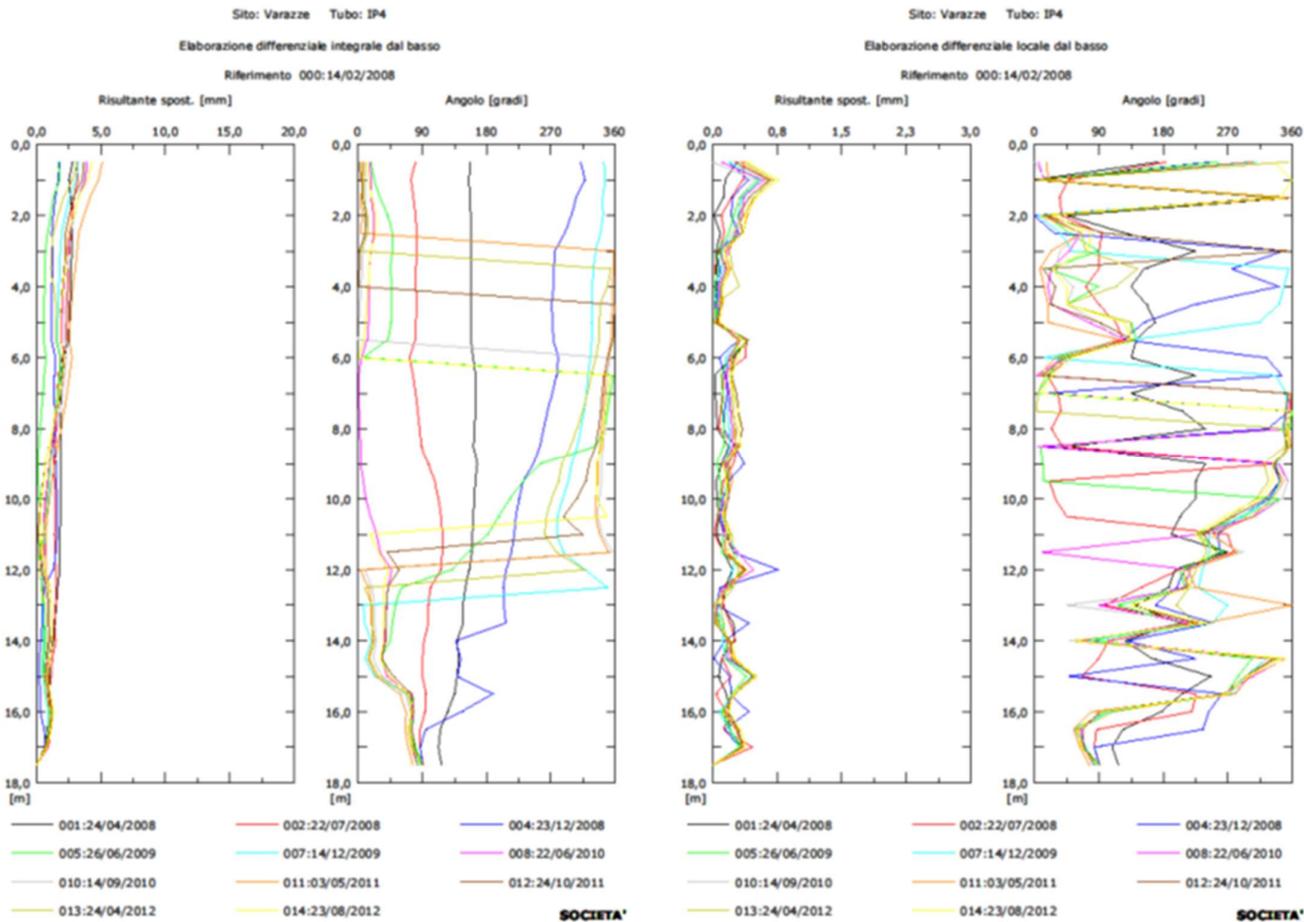


Fig. 11 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro IP2

### Inclinometro IP4 (17.5 m) - zona di valle della frana (centro abitato)

Il monitoraggio eseguito dal 2008 al 2012 non ha dato particolari indicazioni tanto da far dubitare dell'effettiva funzionalità della tubazione in relazione alla corretta profondità di installazione. Data la lunghezza limitata della tubazione, non si possono escludere movimenti di traslazione della stessa che potrebbe essere coinvolta nel movimento in massa. L'elaborazione differenziale integrale dal basso ha evidenziato uno spostamento inferiore a 5 mm e una direzione generale di movimento non definita. Le deformate integrali non mostrano anomalie di particolare entità e dato il basso valore della risultante degli spostamenti, potrebbero complessivamente rientrare nel campo delle oscillazioni strumentali (Fig.12). A conferma del fatto che gli spostamenti risultino compresi entro i 5 mm, l'elaborazione locale non evidenzia picchi di particolare deformazione lungo tutto l'asse del tubo inclinometrico. Si concorda con Regione Liguria la sospensione delle letture dal 2013.

**REMOVER 2008-2024**

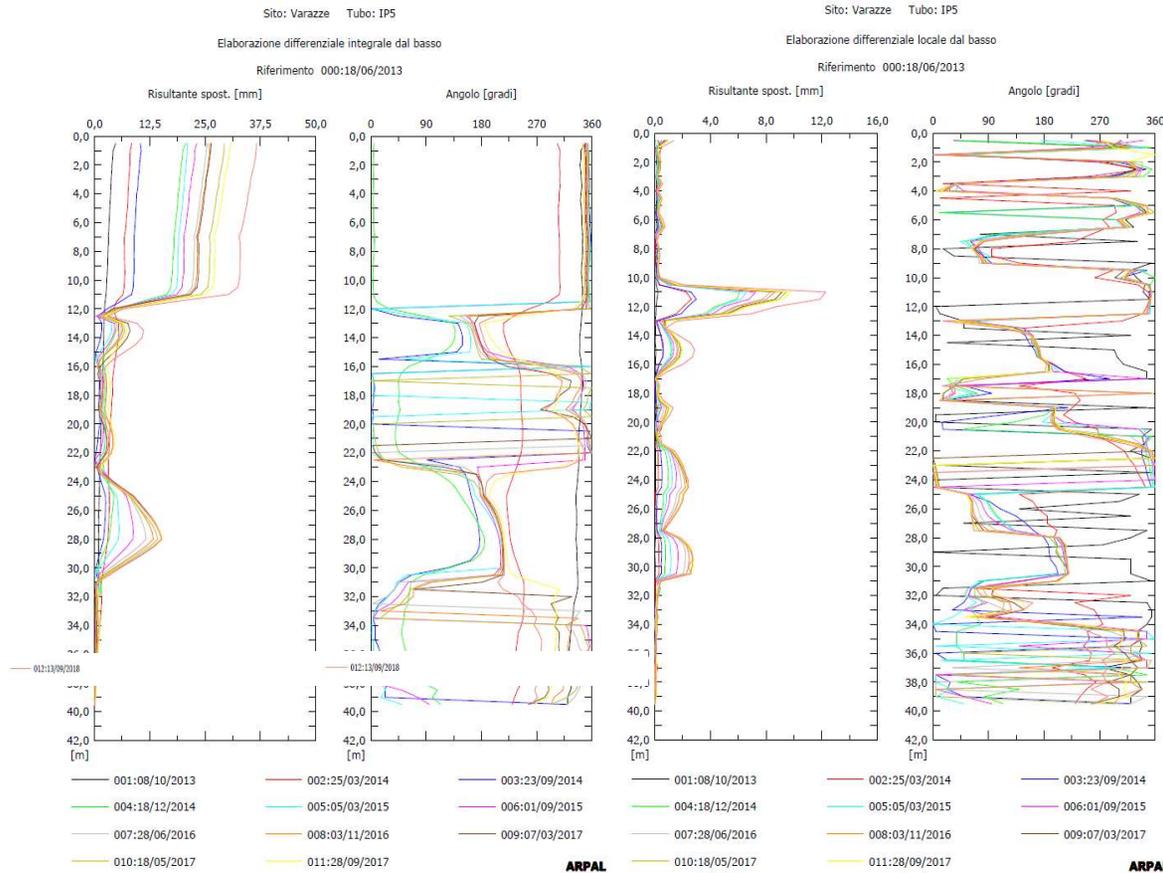


**Fig. 12** - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) e all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro IP4

### **Inclinometro IP5 (39.5 m) – zona centrale della frana (centro abitato)**

Poiché nel corso del 2018 è stata programmata l'installazione di sensori inclinometrici fissi, a fine 2018 si è proceduto ad eseguire l'ultima lettura manuale di esercizio (in data 13/09/2018) (Figg.13 e 14). L'elaborazione differenziale integrale dal basso (sonde inclinometriche manuali) ha evidenziato quanto segue: in una prima fase si è rilevato uno spostamento di 10 mm/anno cui ha fatto seguito una accelerazione di 10 mm/3 mesi (periodo settembre-dicembre 2014) ed infine una successiva decelerazione del movimento fino a tutto il 2017 con incrementi di pochi millimetri per uno spostamento massimo di circa 32 mm in direzione E, in accordo con la morfologia del versante. Nel 2018, il movimento sembra essere nuovamente in accelerazione, con un valore di circa 37 mm, sempre in direzione E. I valori registrati hanno individuato un piano di taglio tra 10 e 13 m, che costituisce il contatto tra la coltre franosa e il primo livello del basamento disarticolato (dall'elaborazione locale massimo di spostamento con oltre 12 mm a -12 m di profondità) e una zona profonda localizzata tra -24 m e -30 m (comprendente due livelli tra 22 e 24 m e tra 28 e 30 m) che risulta essere sede di deformazioni in evoluzione continua. Queste deformazioni, per la profondità e per l'entità del movimento, risultano in accordo con quanto rilevato negli anni scorsi con i movimenti profondi registrati in IP1 e IP3 al di sotto dei 25 m.

**REMOVER 2008-2024**



**Fig. 13** - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) e all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro IP5.

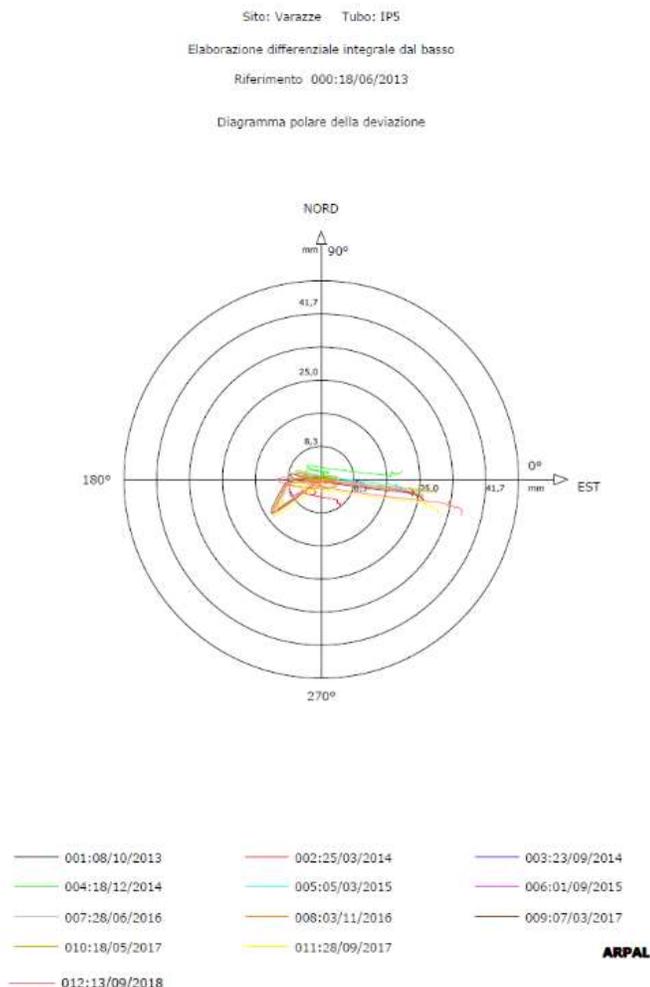


Fig. 14 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro IP5

## 7. **Analisi dati inclinometrici 2013-2024 (monitoraggio attivo)**

L'attività di monitoraggio del 2024 è stata svolta tramite lo scarico dei dati inclinometrici e piezometrici in continuo e la loro elaborazione grafica. Gli inclinometri IP1, IP6 e IP7 non sono stati monitorati. Da segnalare che i dati delle sonde a -23.5 m e a -24.5 m dell'inclinometro IP5 sono presenti fino al 28 agosto 2024, a causa di un problema riscontrato al datalogger che è stato sostituito ad inizio 2025.

Data	Attività	Strumentazione	Sistema di misura
31/12/2024	scarico dati inclinometrici	Inclinometro IP5	Sonde SIM IN935-H
31/12/2024	scarico dati piezometrici	Piezometro IP6P, IP7P	Sonde IN SITU

Tab. 2 - Misure effettuate nel 2024 nel sito del Pero.

### Inclinometro IP1 ("Pero1") (24 m) – zona periferica sud della frana

A seguito della lettura 2023, sul differenziale integrale non è stato riscontrato un incremento degli spostamenti osservati a testa tubo rispetto alla lettura 2022 con risultante totale di circa 34 mm nella fascia più deformata che, trovandosi in prossimità del fondo foro, potrebbe aver determinato una rotazione di tutta la colonna inclinometrica sottostimando la deformazione totale osservata a testa tubo. Il differenziale locale ha espresso l'evidenza di un'accelerazione del corpo di frana, soprattutto nella porzione tra 6 m e p.c., nonostante sia confermata la presenza di un piano di scivolamento a circa 24 m di profondità in corrispondenza del fondo foro. Il diagramma polare conferma la componente principale del movimento a NE (Figg.15-16).

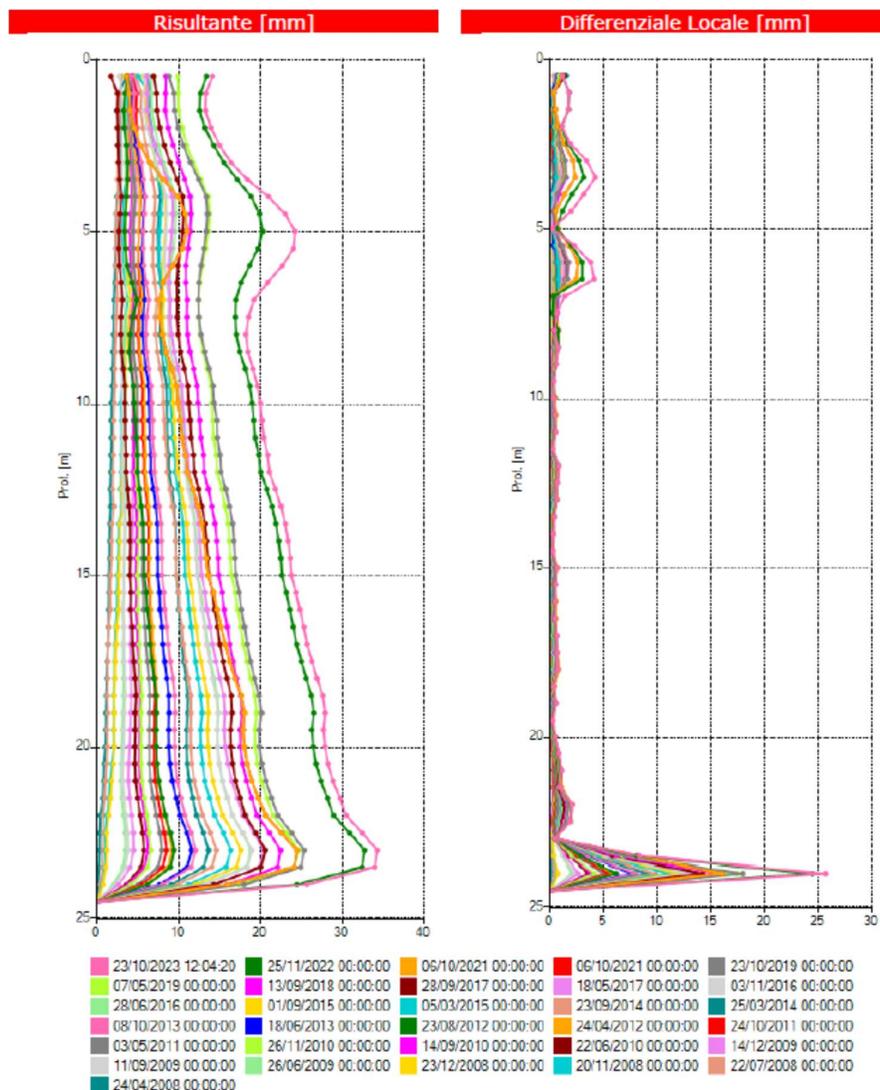


Fig. 15 - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) e all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro IP1.

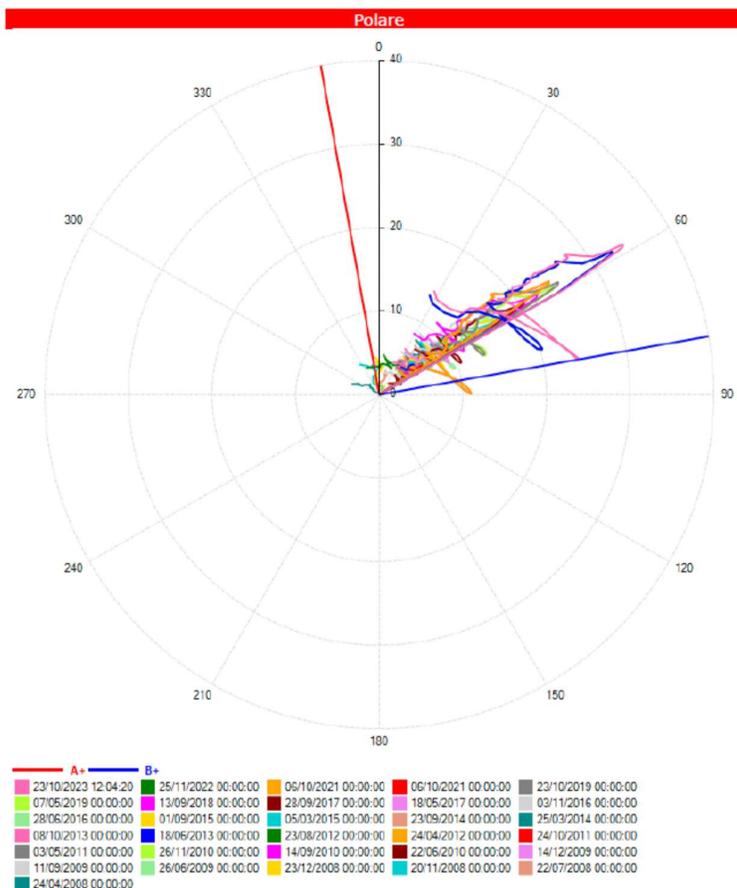


Fig. 16 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro IP1

### Inclinometro IP5 (39.5 m) – zona centrale della frana (centro abitato)

L'attività di misura, dal 2018, è proseguita con l'acquisizione di dati automatici relativi alle cinque sonde fisse installate rispettivamente a -12 m, -23.5 m, -24.5 m, -28.5 m, -29.5 m.

Di seguito vengono riportati i grafici relativi alle rilevazioni delle sonde fisse posizionate all'interno di IP5 per il periodo 2018-2024:

#### Sonda n.1 – posizionata a -12 m

Nel periodo 30/10 – 13/11 del 2018, la sonda ha registrato un movimento complessivo di circa 5 mm, con una fase di stabilizzazione fino ad aprile 2019, quando si registra un lieve incremento di qualche millimetro (vedi Fig.17). Un evidente incremento si nota a partire dalla fine del mese di ottobre 2019 fino alla data dell'ultimo scarico dati (05/12/2019), il cui valore si attesta intorno ai 7 mm. Nel mese di novembre 2019 in circa 10 gg si assiste ad un nuovo incremento pari a 5 mm e ulteriori 5mm vengono registrati per tutto il 2020. In totale in poco più di due anni il piano di taglio localizzato a -12 m si è spostato di 20 mm. Nel periodo 2021-2023 l'andamento delle deformazioni

appare moderato ma costante con una deformata di 26 mm. Nel 2024, l'andamento pur sempre moderato, vede attestarsi la deformata a circa 33 mm.

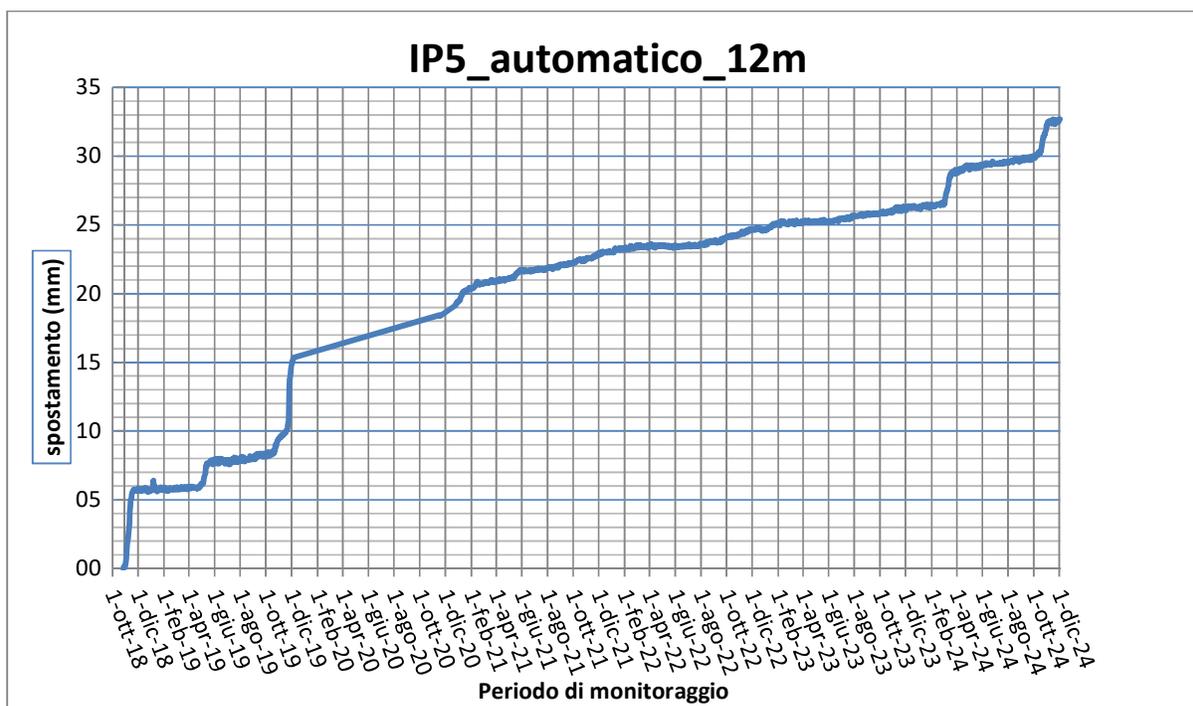


Fig. 17 - Grafico relativo agli spostamenti rilevati dalla sonda posizionata a -12 m nel tubo inclinometrico IP5

### Sonda n.2 – posizionata a -23.5 m

La sonda posizionata a -23.5 m non ha mostrato segni di movimento nel periodo fine ottobre 2018 –dicembre 2020 (Fig.18). Nel corso del 2021 l'evoluzione del dissesto ha visto dapprima un rapido incremento delle deformazioni che durante l'anno ha modificato il suo andamento verso un trend di arresto degli spostamenti. Nel periodo gennaio 2023 - agosto 2024 la deformata è passata da circa 4.5 mm a 6 mm totali.

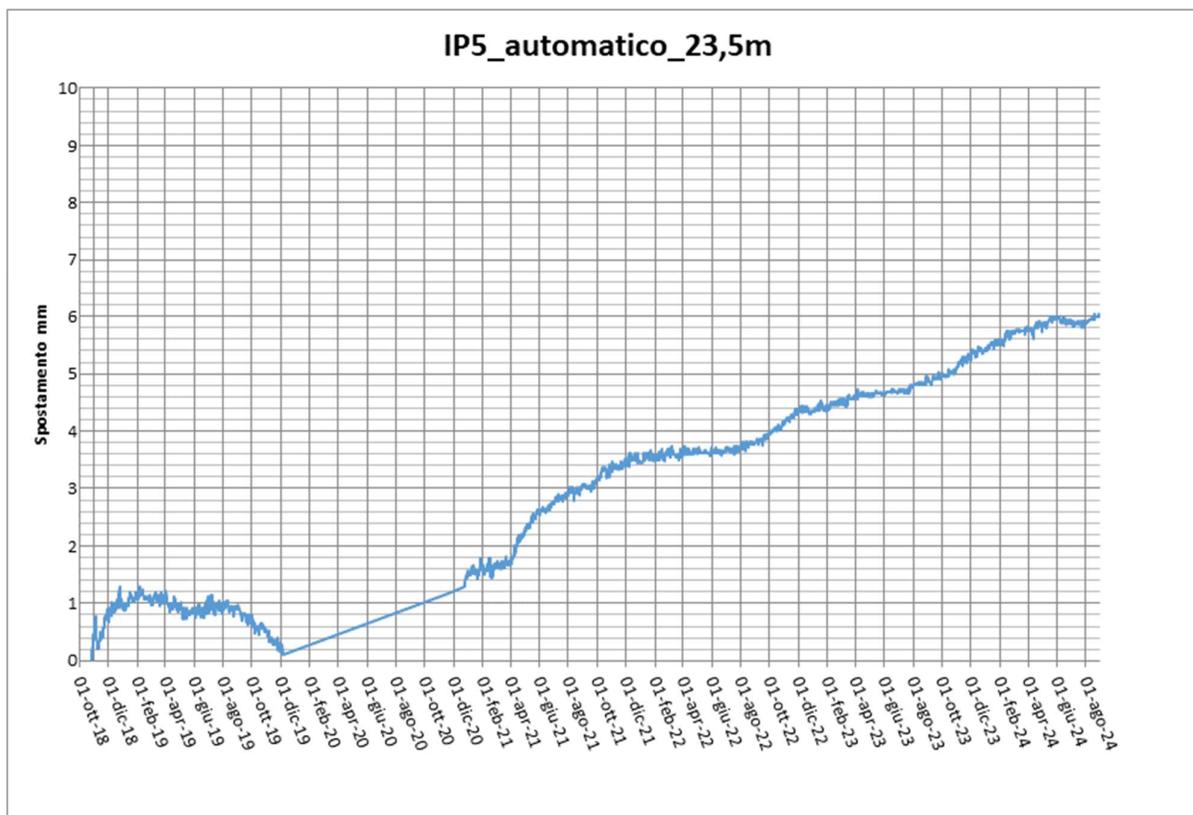


Fig. 18 - Grafico relativo agli spostamenti rilevati dalla sonda posizionata a -23.5 m nel tubo inclinometrico IP5

**Sonda n.3 – posizionata a -24.5 m**

La sonda posizionata a -24.5 m non ha mostrato segni di movimento nel periodo fine ottobre 2018 – inizio dicembre 2019; successivamente sembra essere stata soggetta a deboli movimenti in leggera progressione che ad agosto 2024 mostrano una cumulata di 3 mm complessivi (Fig.19).

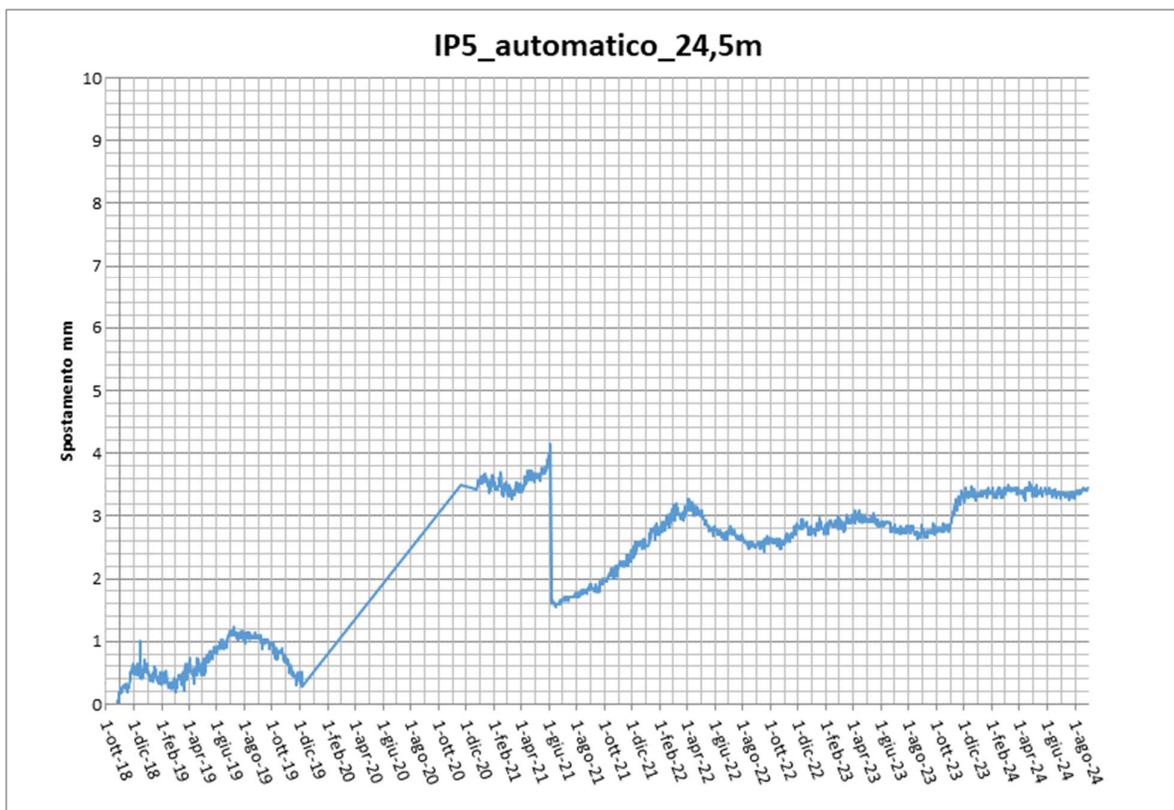


Fig. 19 - Grafico relativo agli spostamenti rilevati dalla sonda posizionata a -24.5 m nel tubo inclinometrico IP5

#### Sonda n.4 – posizionata a -28.5 m

La sonda posizionata a -28.5 m non ha mostrato segni di movimento rilevante, se non un lieve incremento complessivo di poco inferiore ai 2 mm, nel periodo settembre-dicembre 2019, mentre nel 2020 si è rilevato un incremento nel movimento per un totale di 6 mm in due anni. Ad oggi il riscontro strumentale fornisce uno spostamento di circa 2 mm/anno con velocità di movimento costante nel 2023 (Fig.20). Nel 2024 si assiste ad una variazione dello spostamento da 15 a 12.5 mm circa.

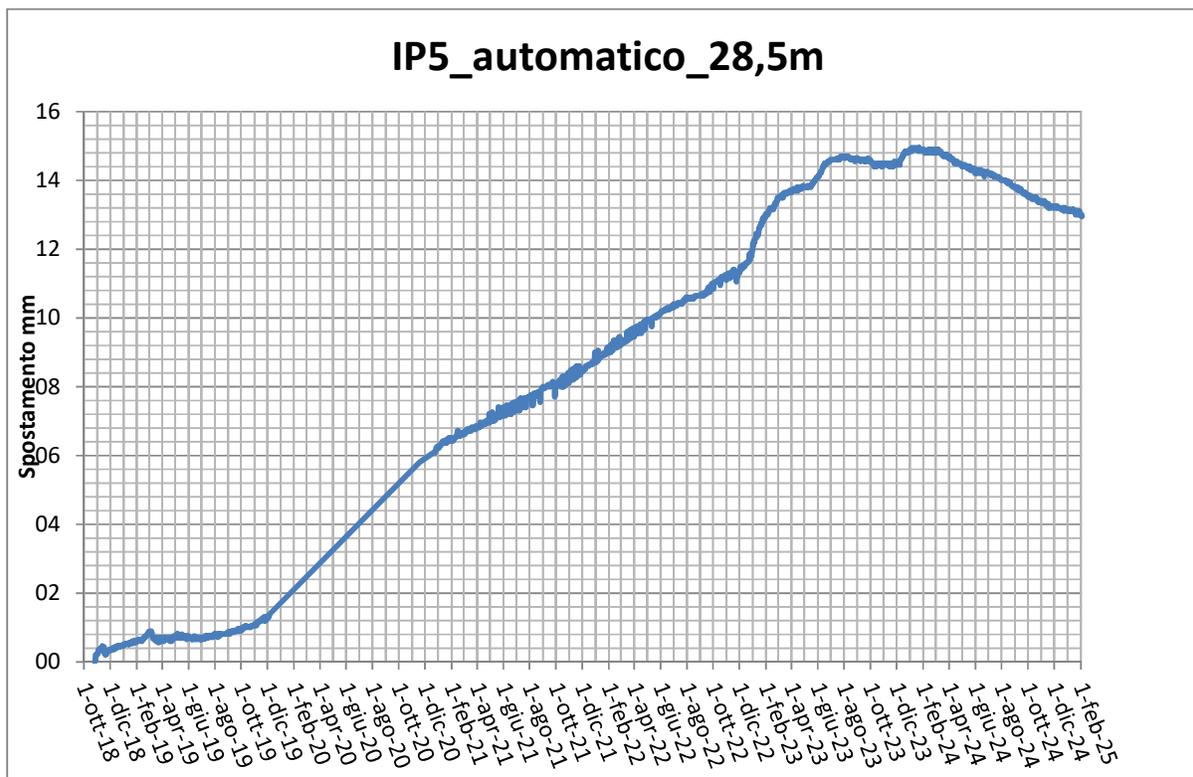


Fig. 20 - Grafico relativo agli spostamenti rilevati dalla sonda posizionata a -28.5 m nel tubo inclinometrico IP5

### Sonda n.5 – posizionata a -29.5 m

La sonda posizionata a -29.5 m ha registrato nel periodo ottobre 2018 – inizio dicembre 2019 un incremento graduale, pari ad un movimento complessivo di 4 mm (Fig.21). nel corso del 2020 si è registrato un debole incremento per un totale di 6 mm. Per il 2021 si osserva un trend costante con velocità costanti del corpo di frana pari a circa 2 mm/anno, valore confrontabile con quanto emerso dalle altre sonde installate in IP5 mentre nel periodo 2022-2023 si assiste ad una sostanziale stabilizzazione delle deformazioni alla quota di indagine. Nel 2024 si osserva un lieve incremento di circa 2 mm.

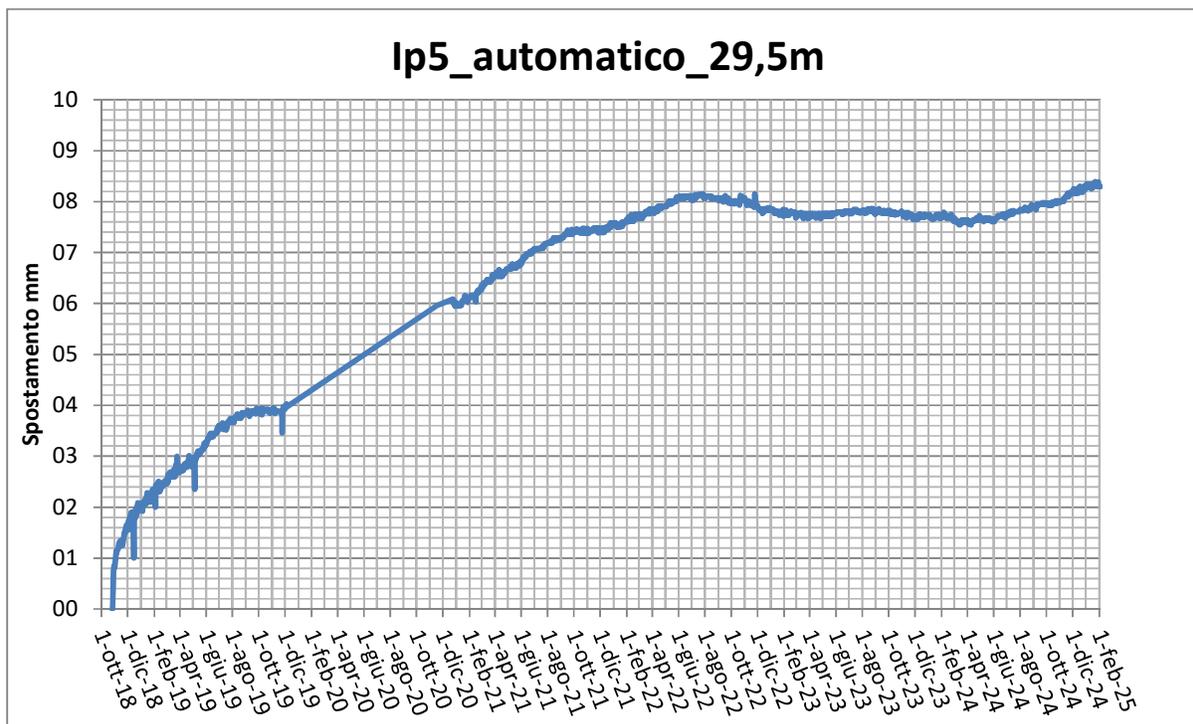
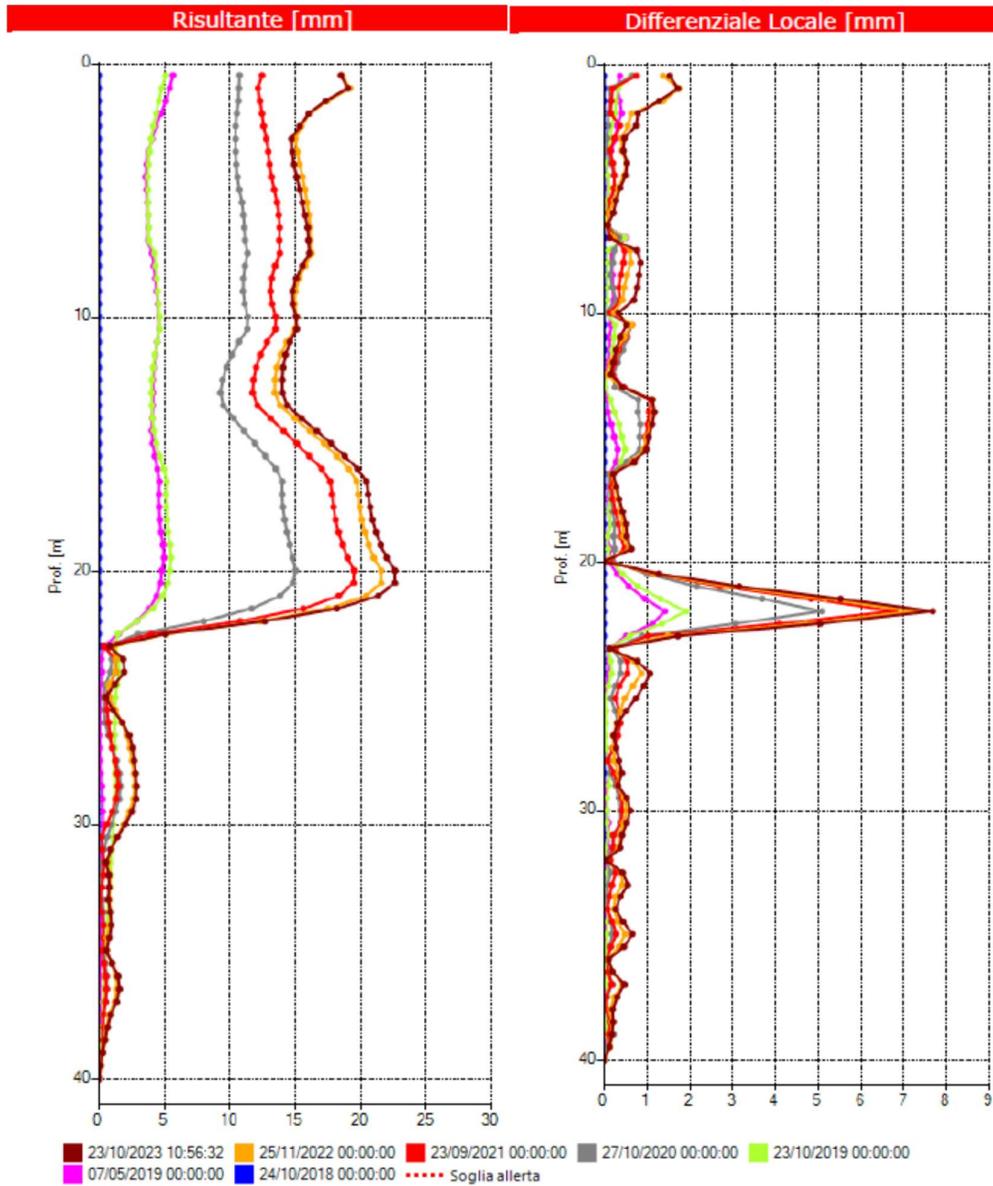


Fig. 21 - Grafico relativo agli spostamenti rilevati dalla sonda posizionata a -29.5 m nel tubo inclinometrico IP5

### Inclinometro IP6 (39.5 m)

L'elaborazione differenziale integrale dal basso (Figg.22-23), non ha evidenziato incrementi rispetto alla lettura 2022 che risulta perfettamente sovrapponibile, per uno spostamento totale di 18 mm ed una direzione di movimento verso E in accordo con la morfologia del versante.

Anche dall'elaborazione differenziale locale non si osservano incrementi nello spostamento con un valore invariato a 7.5 mm a -22.0 m di profondità. Le letture confermano la presenza del piano di scorrimento attivo, già individuato dall'inclinometro IP3 nel 2008, la cui evoluzione è ancora in fase di valutazione.



**Fig. 22** - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) e all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro IP6.

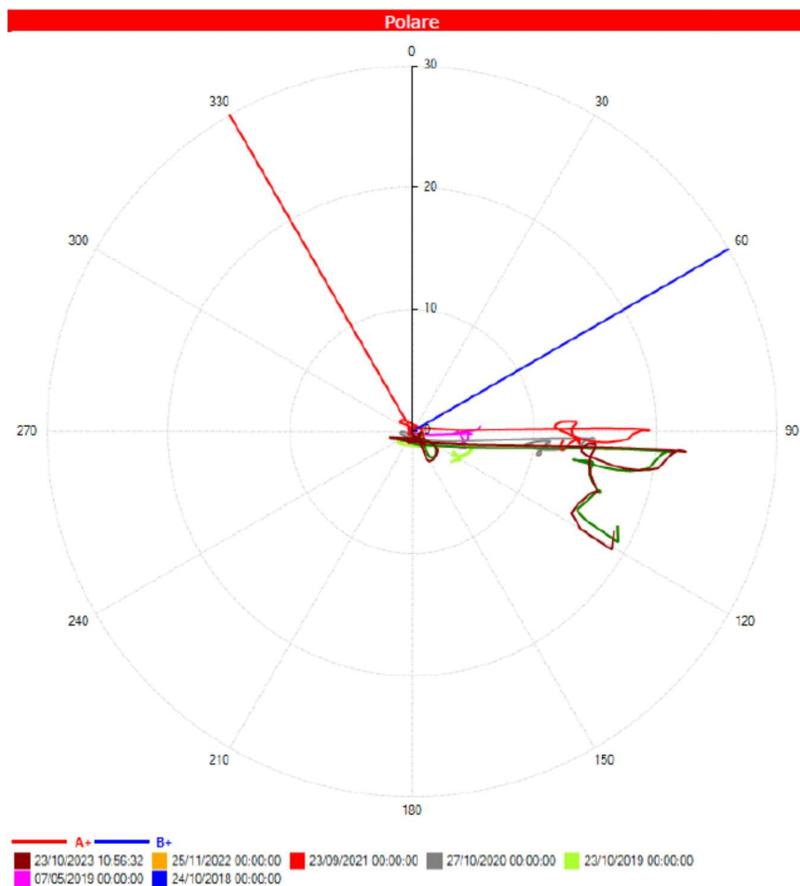
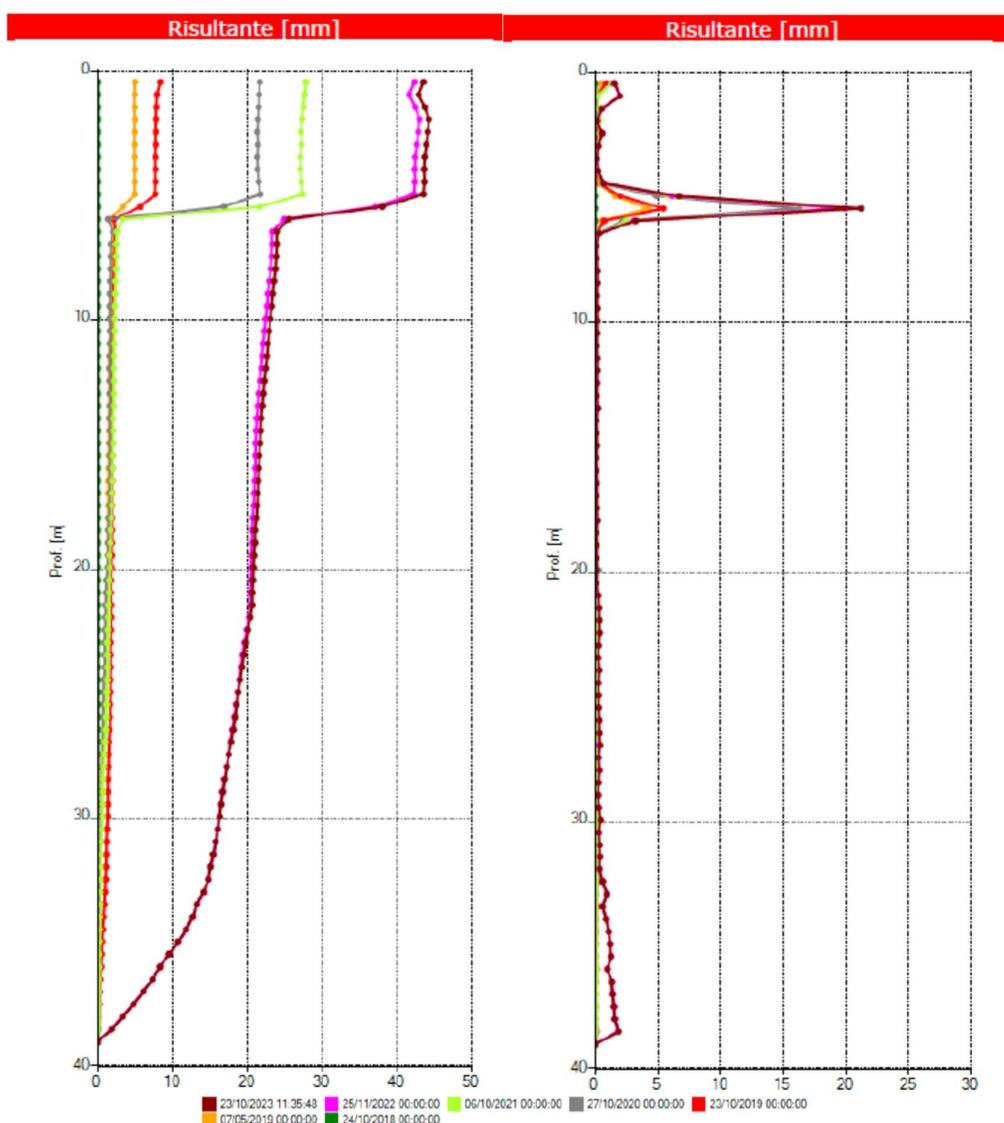


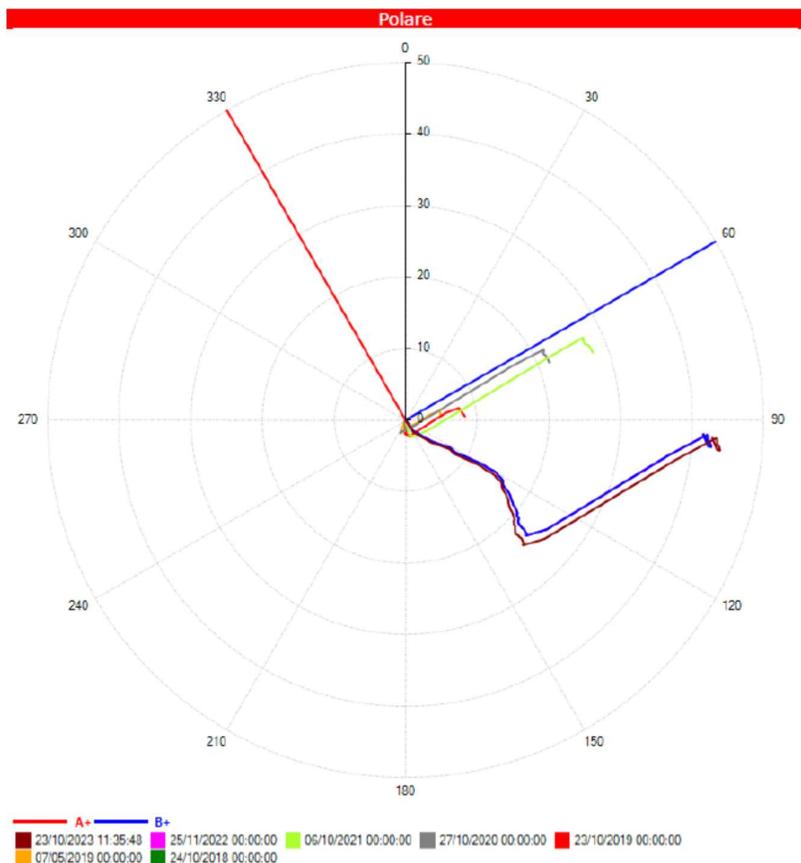
Fig. 23 - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro IP6

### Inclinometro IP7 (38.5 m) – parte alta della frana

Il differenziale integrale dalla lettura 2023 ha mostrato un incremento degli spostamenti di circa 2 mm osservabili principalmente nella porzione di fondo foro con effetto sulla cumulata delle deformazioni fino alla superficie (risultante 44 mm). Sul differenziale locale è stata osservata una deviazione da fondo foro ai successivi 10 m circa in risalita. Sul piano di scivolamento precedentemente individuato, è stato riscontrato un incremento di circa 1 mm alla profondità di 5 m con deformazione totale alla quota di interesse pari a circa 21 mm. Il diagramma polare suggerisce una deviazione della traccia da fondo foro con evidenza di una traslazione verso SE per poi riprendere il normale tracciato in direzione ENE.



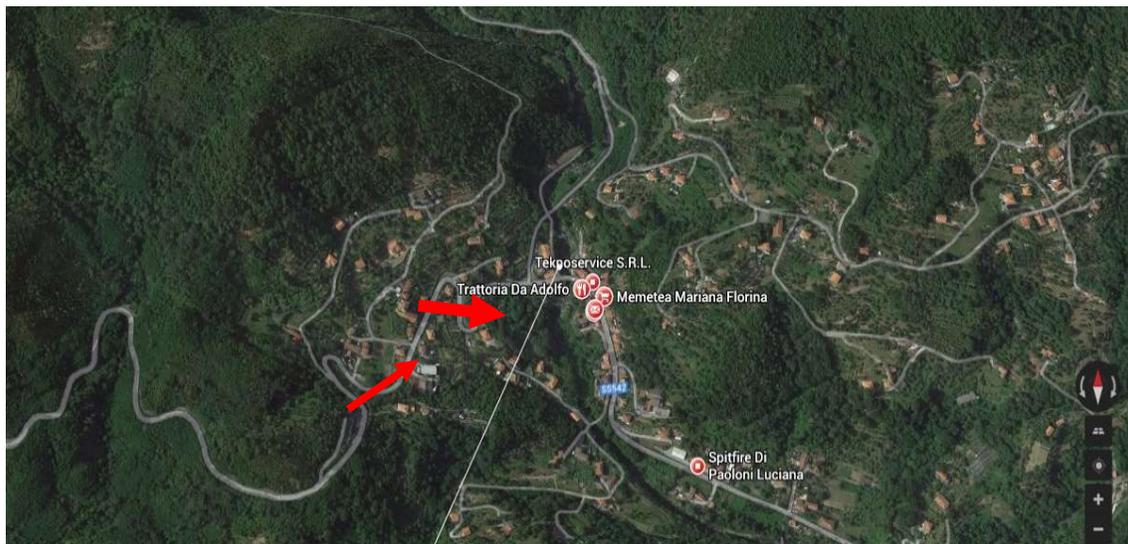
**Fig. 24** - Grafici relativi all'elaborazione differenziale integrale (risultante degli spostamenti) e all'elaborazione differenziale locale (spostamenti locali) dell'inclinometro IP7.



**Fig. 25** - Grafico relativo all'elaborazione differenziale integrale (diagramma polare della deviazione) dell'inclinometro IP7

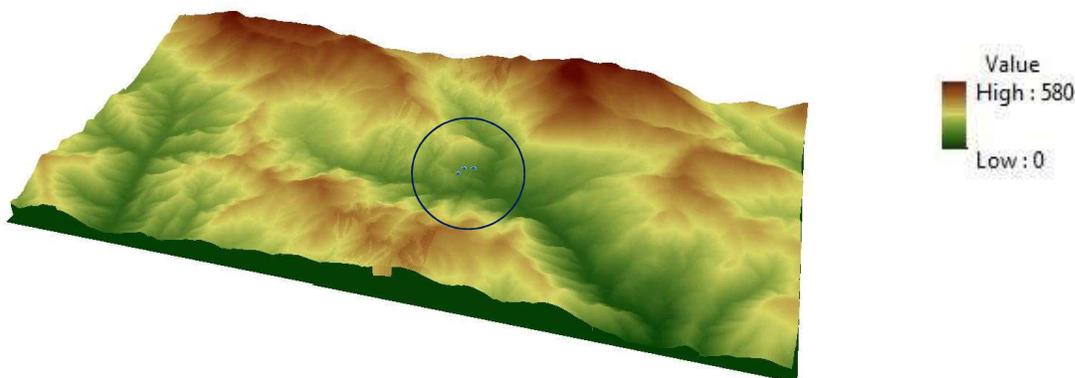
## 8. Conclusioni

La frana "storica" del Pero risulta localizzata in una zona ad elevata complessità geologico-strutturale, sia per la presenza di litologie polimetamorfiche e polideformate (metabasiti e serpentinoscisti spesso affioranti a contatto), sia per la presenza di importanti lineamenti strutturali. Infatti dall'analisi della Carta Geologica d'Italia - foglio Genova (scala 1:50.000) si può osservare la presenza di una meso-faglia avente direzione circa NE-SW, passante a NS, impostata nella zona ove sono localizzati i dissesti di versante (vedi Fig.1). Inoltre si può affermare che in tale regime di tettonica fragile, con la presenza di discontinuità regionali che impongono la morfologia dei versanti, si può inserire anche la scarpata tettonica che insiste sull'abitato del Pero (Fig.26).



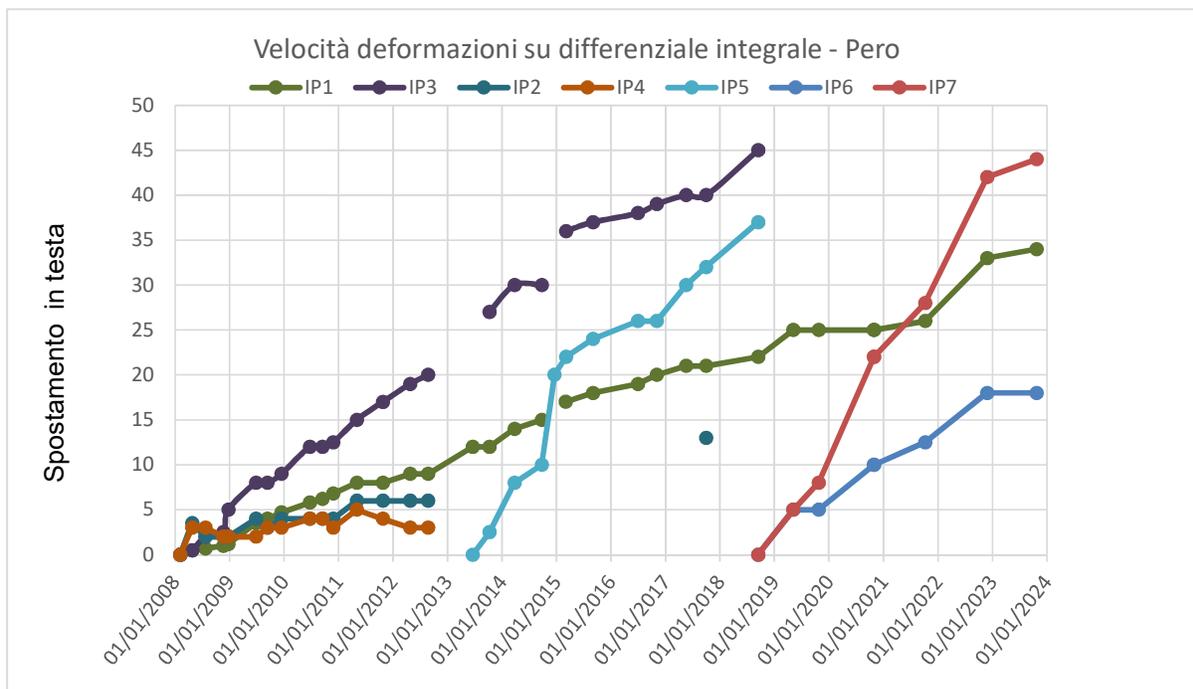
**Fig.26** - Direzione di movimento (prevalente nella zona centrale) dell'area in frana su cui sorge l'abitato del Pero

La Fig.27 mostra il DTM della morfo-struttura, la scarpata tettonica con la strumentazione inclinometrica e i rilievi circostanti soggetti a collassi e scorrimenti in blocco.



**Fig.27** - DTM dell'orografia circostante l'area del Pero: si osserva la scarpata tettonica che sovrasta l'abitato con la strumentazione inclinometrica installata

Le deformazioni rilevate dal 2008 indicano una ciclicità nelle stasi e nelle riattivazioni degli spostamenti: in particolare le pause avvengono sempre in concomitanza di periodi caratterizzati da un regime pluviometrico modesto e pertanto comprendono sempre i mesi estivi con un possibile allargamento ai mesi autunnali o primaverili. Analogamente le riattivazioni autunno-invernali possono subire anticipazioni o posticipazioni mensili.



**Fig. 28** - Velocità delle deformazioni nel periodo 2008-2023 – Nel grafico sono espresse le deformazioni date dal differenziale integrale sui singoli inclinometri: mentre su IP6 e IP7 si confermano le velocità di spostamento in linea con il trend degli anni precedenti, IP1 mostra un gradiente di velocità minore poiché subisce progressivamente una rotazione alla base della tubazione inclinometrica vista la presenza della superficie di scivolamento a fondo foro. IP5 essendo strumentato con sonde fisse dal 2020 non consente di risalire alle deformazioni cumulate fornite dal differenziale integrale.

Salvo l'incremento anomalo dell'autunno 2014, complessivamente il trend della deformazione, indica una velocità media del fenomeno franoso di 4-5 mm/anno nella zona centrale (45 mm in IP3), e una progressione della deformazione inferiore, quasi dimezzata, nella zona periferica, per un totale di 20 mm in IP1.

Per quanto riguarda la zona centrale ove è installato IP5, dal 2015 si è osservata una decelerazione dopo l'incremento di 10 mm/3mesi dell'autunno 2014, per un totale di 37 mm di spostamento e successivamente dal 2018 un nuovo incremento. Inoltre gli inclinometri IP6 e IP7 hanno rilevato le deformazioni alle profondità attese e già identificate dagli inclinometri storici. Dalla figura seguente emerge che la zona centrale della frana, monitorata da IP3, arriva a registrare valori doppi di spostamento rispetto alla zona periferica (IP1) in un regime piezometrico costante. Da rilevare che lo spostamento registrato nella zona a monte con IP7 mostra una velocità piuttosto elevata, comparabile con l'attività del 2014 (22 mm/2 anni). Di seguito si propone una sezione che rappresenta la superficie di scivolamento principale riscontrata dall'analisi dei dati inclinometrici (Fig.29).

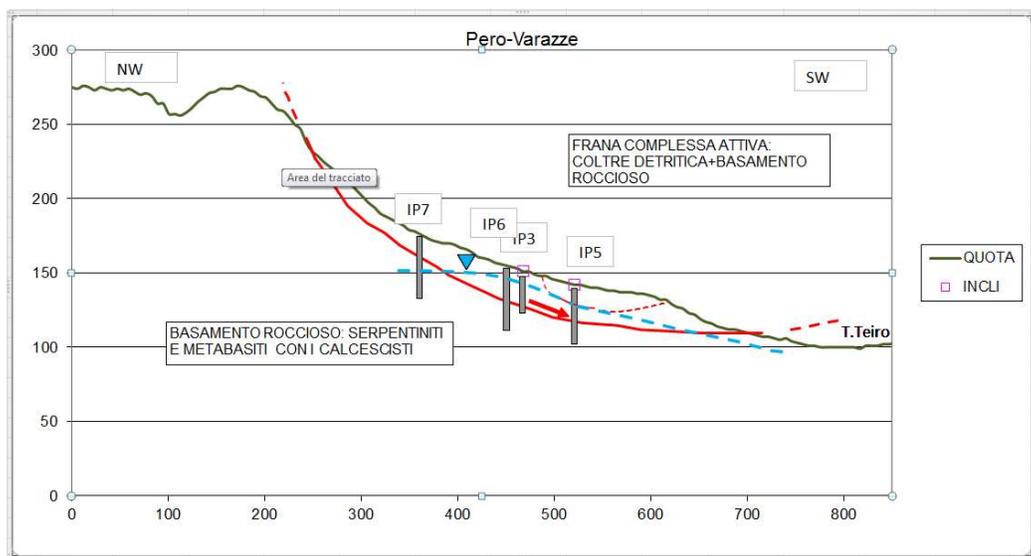


Fig.29 - Sezione della frana del Pero

Il rapporto tra eventi meteorici e movimenti del versante dal 2008 al 2023 (dal 2018 al 2024 per IP5) è descritto nei grafici seguenti (Figg.30-31-32-33-34-35).

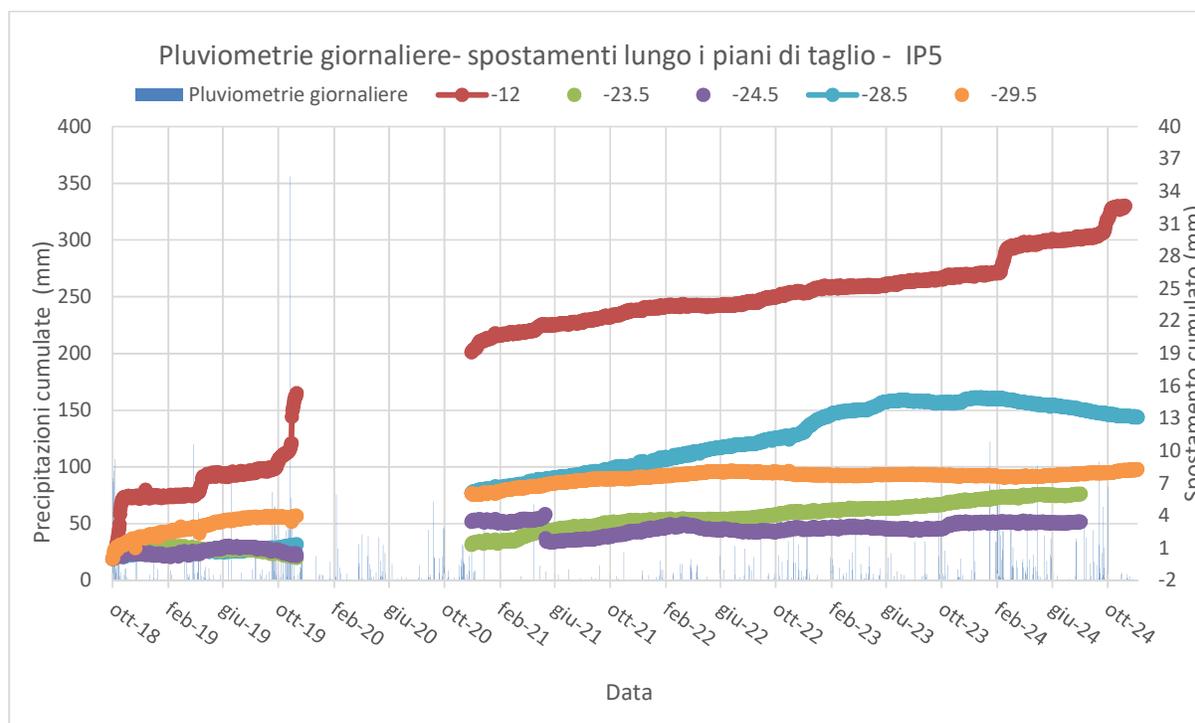


Fig. 30 – Rappresentazione del confronto tra precipitazioni mensili e spostamenti registrati dalla sonde automatiche di IP5.

Il corpo di frana risulta in continua evoluzione e quindi solo parzialmente sensibile agli eventi meteorici: sia nella parte periferica che in quella centrale si riscontrano risposte ad eventi prolungati/intensi e stasi in periodi secchi, salvo eccezioni nel cinematismo a seguito di eventi alluvionali con deboli incrementi prolungati nel tempo. Date le dimensioni del complesso coltre franosa-substrato alterato e disarticolato che scorre su un basamento a profondità prossime a 30 m, ne segue come siano fondamentali gli aspetti relativi alla scadente qualità geomeccanica e alla gravità, entrambi concause al dissesto in atto.

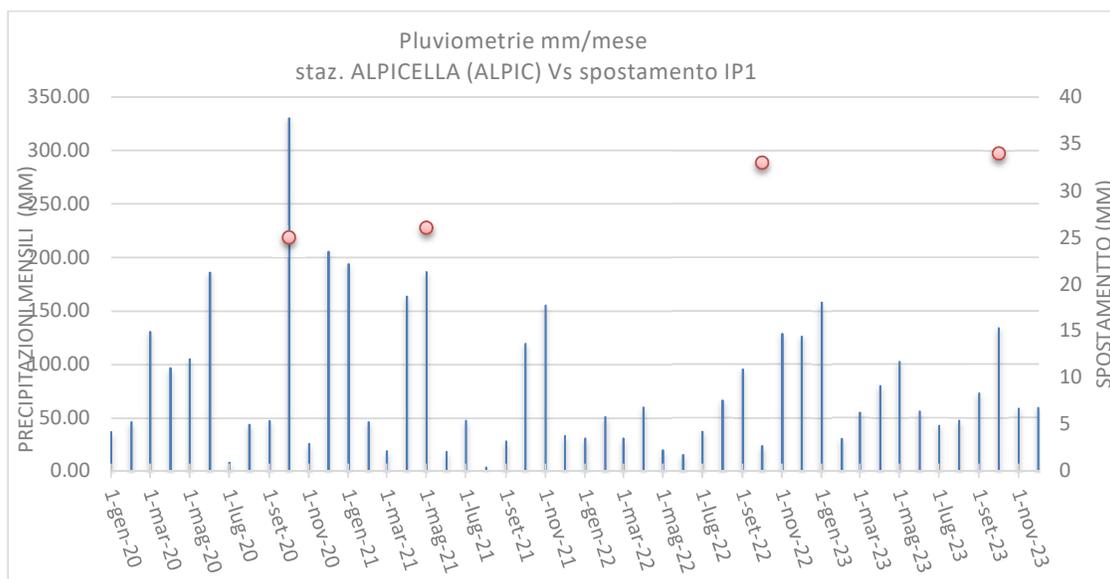


Fig. 31 – Andamento pluviometrico mensile, (stazioni Il Pero e Alpicella) e letture inclinometriche IP1 - periodo 2020-2023

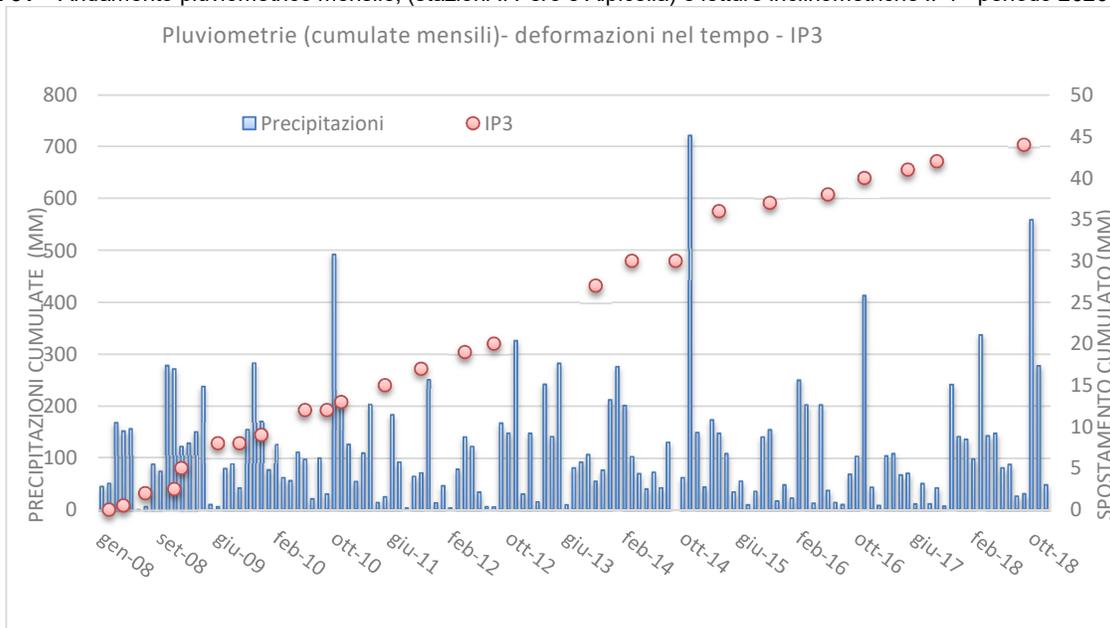
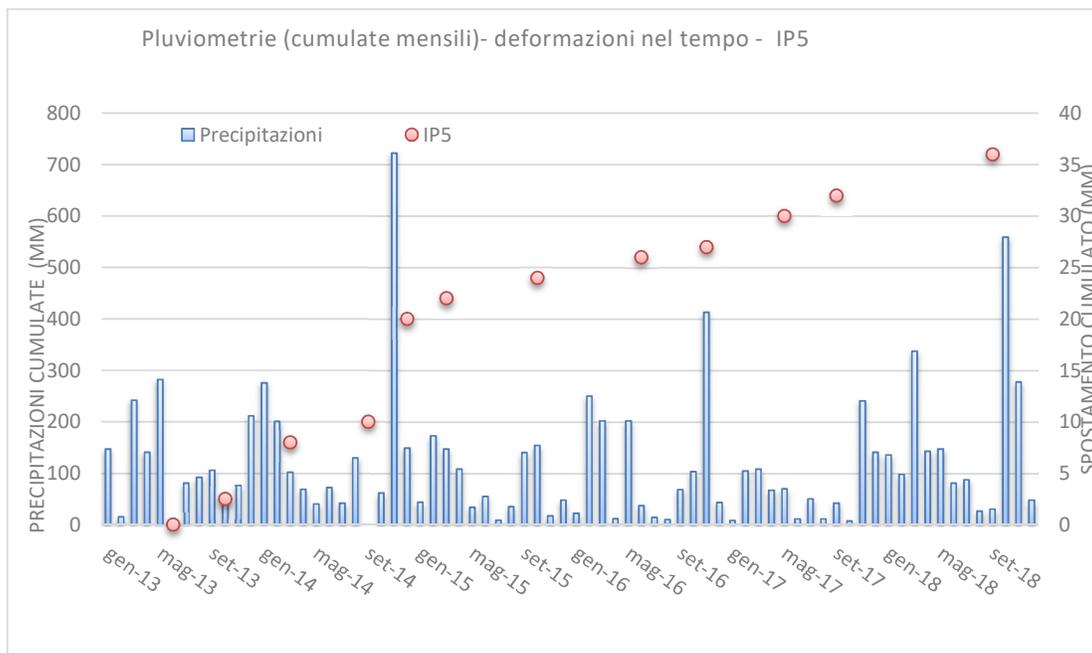
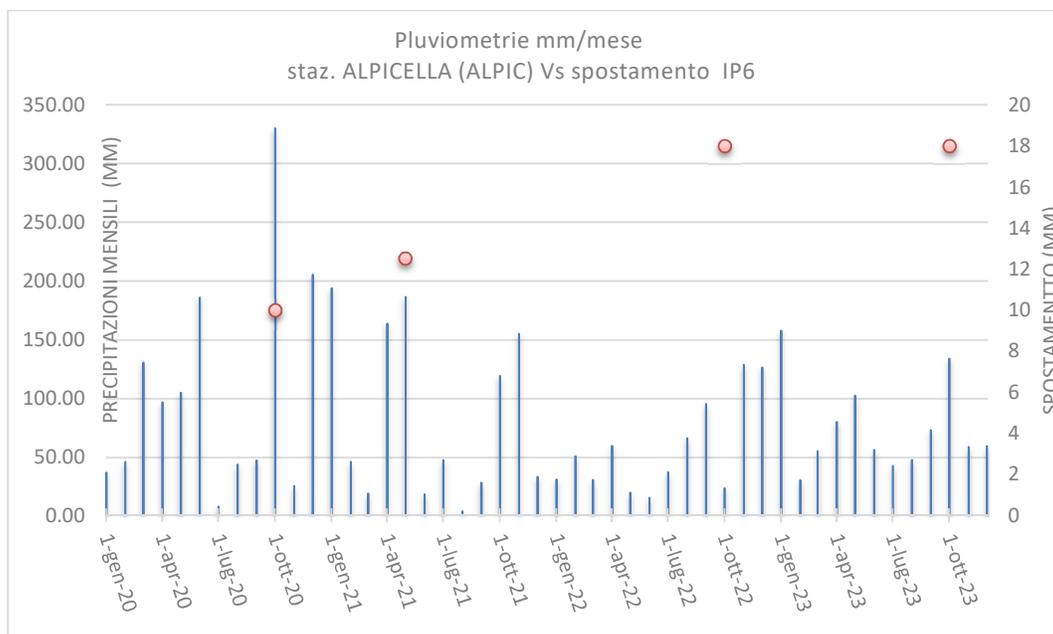


Fig. 32 – Andamento pluviometrico mensile, (stazioni Il Pero e Alpicella) e letture inclinometriche IP3 – periodo 2008-2018.



**Fig. 33** – Andamento pluviometrico mensile, (stazioni Il Pero e Alpicella) e letture inclinometriche IP5 – periodo 2013-2018.



**Fig. 34** – Andamento pluviometrico mensile, (stazioni Il Pero e Alpicella) e letture inclinometriche IP6 - periodo 2020-2023.

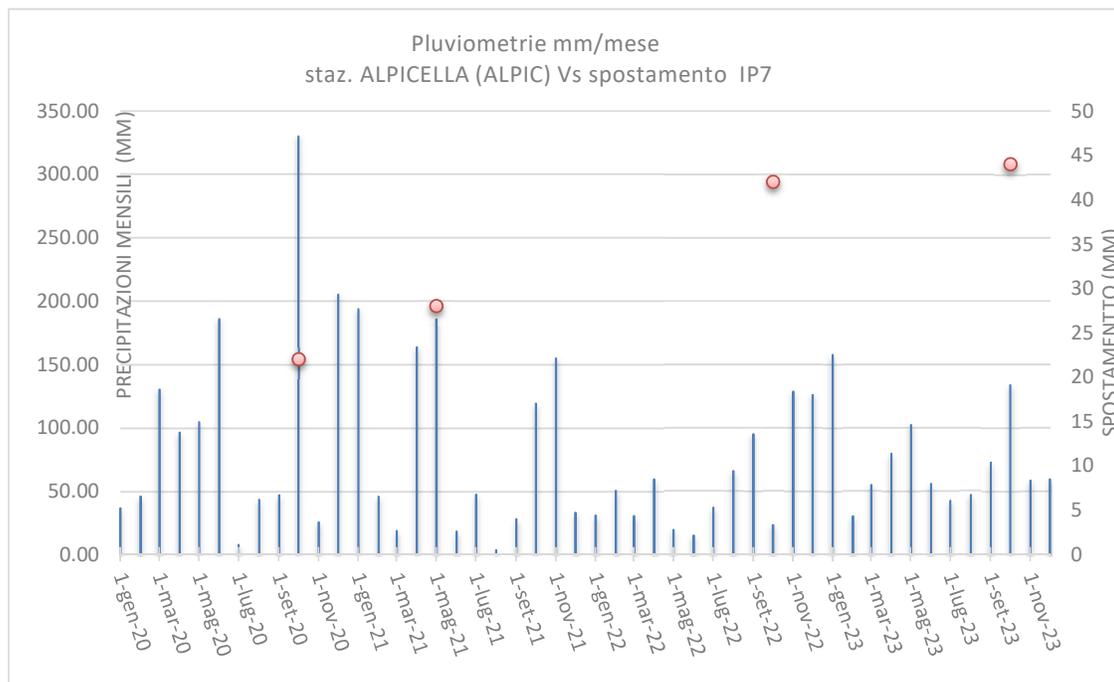


Fig. 35 – Andamento pluviometrico mensile, (stazioni Il Pero e Alpicella) e letture inclinometriche IP7 - periodo 2020-2023.