Firmato digitalmente da
Tommaso Buschiazzo
CN = Buschiazzo Tommaso
O = Ordine degli Ingegneri della Provincia di Imperia
C = IT

COMUNE DI SANREMO

Provincia di Imperia



INTERVENTO DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO E IDROGEOLOGICO NELL'AMBITO DELLA "SISTEMAZIONE DEL MOVIMENTO FRANOSO IN LOCALITA' LA VESCA - PISTA CICLABILE - BIVIO S.S. 1 AURELIA KM 667+800 - POGGIO" NEL COMUNE DI SANREMO (IM)

PROGETTO DEFINITIVO/ESECUTIVO

Elaborato

RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA SISMICA DEI TERRENI E DI MONITORAGGIO

n. Elaborato **G3**

Consulente geologo:

Dott. Geol. Mauro ENOTARPI
Via De Sonnaz 69 - 18100 Imperia (IM)
e-mail : ingeoenotarpi@gmail.com
Tel. 0183/297585

Scala -

Data 4 aprile 2022

Rev.

INDICE

1. PREMESSA

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

3. DOCUMENTAZIONE GEOGNOSTICA REPERITA

4. INDAGINI GEOGNOSTICHE 2022

5. MODELLO GEOLOGICO

6. STRATIGRAFIA GEOTECNICA - SEZIONI

7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA-SISMICA TERRENI

8. SISTEMA DI MONITORAGGIO E RISULTATI OTTENUTI

9. CARATTERISTICHE DEL MOVIMENTO FRANOSO

ELABORATI DI RIFERIMENTO FUORI RELAZIONE

- G2 Fascicolo indagini geognostiche
- G6 Carta degli indizi di instabilità
- G7 Planimetria indagini geognostiche e sezioni stratigrafiche

1. PREMESSA

Il presente studio geologico riguarda gli "Interventi di mitigazione del rischio idraulico ed idrogeologico nell'ambito della "Sistemazione del movimento franoso in località La Vesca-Pista Ciclabile-Bivio S.S. n. 1 Aurelia km 667+800 Poggio" consistenti nella realizzazione di un tratto di scogliera a mare".

Più in particolare tale primo tratto di scogliera a mare fa parte, secondo quanto previsto nelle precedenti progettazioni redatte dal Comune di Sanremo nell'anno 2019, dell'insieme degli interventi necessari per la stabilizzazione del movimento franoso nel suo complesso che sono, oltre alla citata scogliera, una paratia tirantata in corrispondenza del lato valle della pista ciclabile, una paratia tirantata in corrispondenza del lato valle della S.S. n.1 Aurelia, un intervento di consolidamento del muro di sostegno di Via Duca d'Aosta ed alcuni interventi di drenaggio delle acque nel sottosuolo e di raccolta e controllo di quelle piovane di scorrimento superficiale.

Il tratto di scogliera in progetto (Lotto 1) rappresenta il primo intervento di stabilizzazione del movimento franoso ed avrà la funzione di protezione dall'erosione e dal rammollimento-imbibimento dei terreni provocati dai marosi e di appesantimento del piede della frana; l'intervento rappresenta quindi, allo stato attuale, il primo contributo di mitigazione del rischio idraulico ed idrogeologico del movimento franoso in località La Vesca.

La presente relazione, dopo l'illustrazione della campagna geognostica e del modello geologico, affronta e descrive la situazione stratigrafica e la caratterizzazione geotecnica-sismica dei terreni che andranno ad interagire con la scogliera e che caratterizzano il pendio locale.

A seguire viene poi illustrato il sistema di monitoraggio installato ed i risultati ottenuti con le misure di controllo relative al periodo febbraio 2019-marzo 2022.

In ultimo vengono illustrate le caratteristiche del movimento franoso definite sulla base dei dati del rilevamento di terreno, degli indizi di instabilità rilevati sul campo, dei dati delle indagini geognostiche e del monitoraggio inclinometrico-piezometrico.

A supporto e completamento del presente documento sono da prendere a riferimento gli elaborati G2 "Fascicolo indagini geognostiche", G6 "Carta degli indizi di instabilità" e G7 "Planimetria indagini geognostiche e sezioni stratigrafiche".

Si rimanda all'elaborato G1 "Relazione geologica", all'elaborato G4 "Carta geologica-geomorfologica" e all'elaborato G5 "Carta degli elementi idrogeologia" per la descrizione di dettaglio del modello geologico.

Si rimanda invece agli elaborati di progetto e alle specifiche relazioni geotecnica e di calcolo per quanto riguarda le scelte progettuali e le verifiche geotecniche-idrauliche-strutturali della scogliera in progetto.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Per il presente lavoro sono state prese a riferimento le normative nazionali e regionali vigenti, con particolare riferimento a:

- *D.M. Infrastrutture 17.01.2018* Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"
- *D.Lgs. 50/2016* (Codice degli Appalti) e s.m.i.
- *OPCM 3274 del 20.03.2003 e s.m.i.* "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"
- *D.G.R. n. 216 del 17.03.2017 "*OPCM 3519/2006. Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria*"*

3. DOCUMENTAZIONE GEOGNOSTICA REPERITA

Il presente lavoro è iniziato con la ricerca e raccolta del materiale geognostico già esistente riguardante le caratteristiche geotecniche della zona in esame; la documentazione reperita è servita come base sulla quale sviluppare lo studio mirato al progetto in esame.

I documenti reperiti sono:

- Rapporto sui sondaggi geognostici, prove di laboratorio e monitoraggio strumentale redatto e a firma del geologo Fulvio Franco del Comune di Sanremo (anno 2010)
- Studio geologico per il Progetto di fattibilità Tecnica ed Economica degli interventi "Sistemazione e consolidamento del movimento franoso in località La Vesca-Pista Ciclabile-Bivio S.S. n. 1 Aurelia km 667+800 Poggio" (aprile 2019 -elaborati vari)
- Studio geologico per il Progetto Esecutivo dei lavori di "Consolidamento del tratto di muro di sostegno di Via Duca d'Aosta in località La Vesca-Pista Ciclabile-Bivio S.S. n. 1 Aurelia km 667+800 Poggio" (giugno 2019 -elaborati vari)
- Rapporto campagna geognostica ANAS: sondaggi geognostici, indagini sismiche e prove di laboratorio (2020)

4. INDAGINI GEOGNOSTICHE 2022

Per lo studio del modello litostratigrafico nell'area del piede del movimento franoso dove è prevista la scogliera in progetto e per la caratterizzazione geotecnica-sismica dei terreni locali è stata eseguita una campagna geognostica dedicata.

L'ubicazione delle postazioni di indagine geognostica è stata decisa sulla base del posizionamento preliminare delle opere in progetto, delle conoscenze geologiche-geomorfologiche acquisite con lo studio geologico del 2019 e delle accessibilità locali.

Considerato inoltre che, a causa della eccessiva deformazione, il tubo inclinometrico I1 non era più utilizzabile, è stato deciso di perforare ed allestire un nuovo tubo inclinometrico I1bis nelle vicinanze del tubo I1.

Le attività di indagine geognostica e di installazione del nuovo tubo inclinometrico sono state eseguite dalla ditta Eurogeo Srl di Paderno Dugnano (MI), azienda autorizzata dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, con Decreto n° 7466 del 04/08/2011 e ai sensi del D.P.R. n°380 del 06/06/2001, per l'esecuzione e la certificazione di indagini geognostiche, prelievo di campioni e di prove in sito.

Le indagini hanno riguardato, come lavorazioni principali, la perforazione di n. 2 fori a carotaggio continuo S4 e S5, di cui il secondo è stato attrezzato con un tubo piezometrico, ed un foro a distruzione I1bis attrezzato invece con un tubo inclinometrico; sono state inoltre eseguite n. 5 prove penetrometriche dinamiche medio-leggere denominate DPM1, DPM2, DPM3, DPM4 e DPM5 che, grazie alla portabilità della strumentazione, hanno permesso di acquisire dati di resistenza anche alla base della scarpata a mare.

Durante la perforazione dei fori a carotaggio sono state eseguite alcune prove in foro (prove S.P.T. e prove Lefranc).

Per l'esecuzione delle indagini appena descritte sono state prese a riferimento le Norme A.G.I. 1977.

I dati geognostici puntuali dei sondaggi sono stati integrati e tra loro correlati con l'esecuzione di n. 4 tomografie sismiche in onde P e n. 4 linee sismiche tipo Masw; quest'ultime sono servite anche per la caratterizzazione sismica locale.

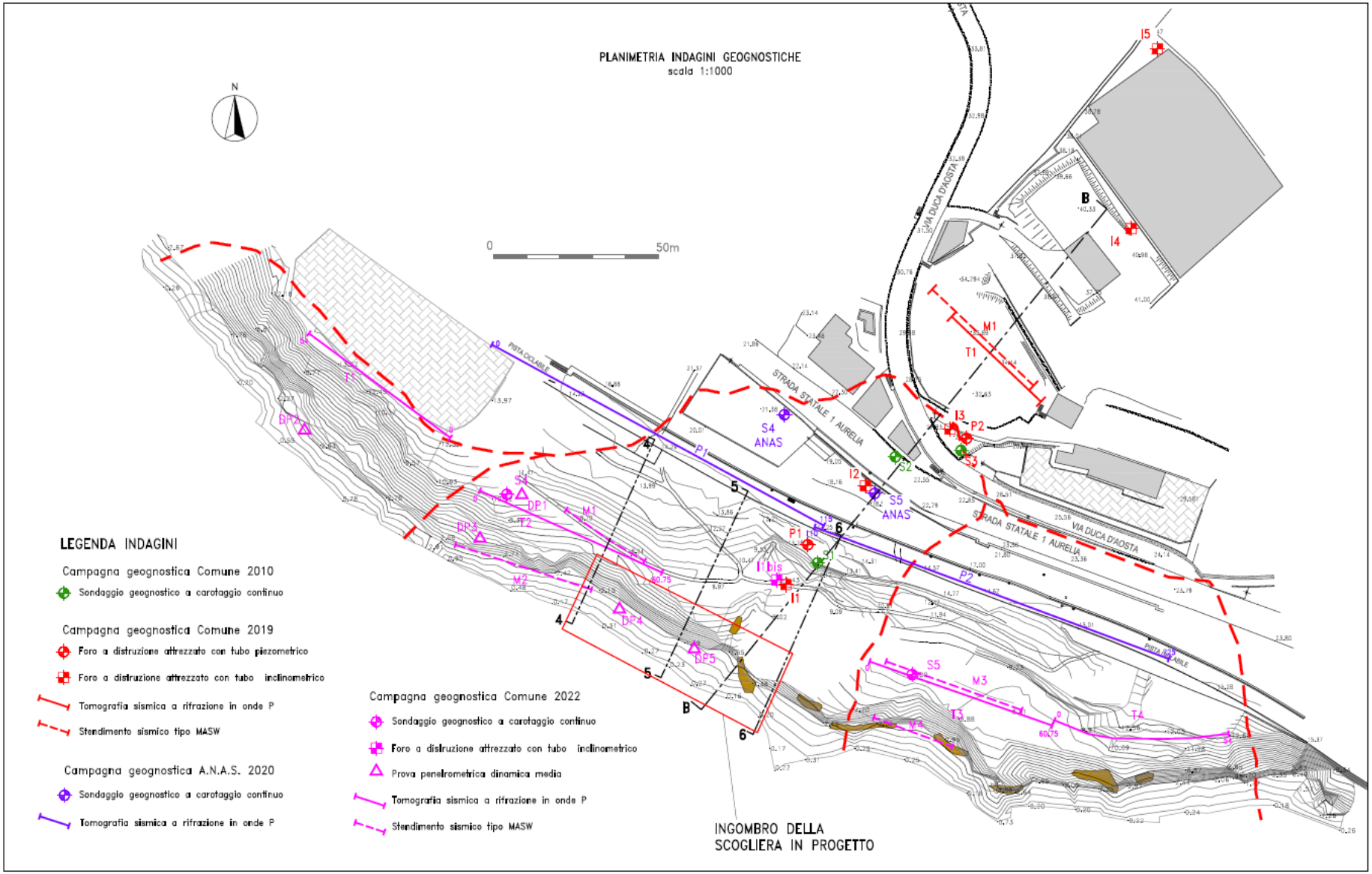
La tabella che segue riassume le indagini geognostiche eseguite.

Tipologia di indagine	Codice	Lunghezza	Inclinazione perforazione	Allestimento foro
Sondaggio a carotaggio	S4	19 m	Verticale	
Sondaggio a carotaggio	S5	14 m	Verticale	Tubo piezometrico
Foro a distruzione	I1bis	20 m	Verticale	Tubo inclinometrico
Tomografie sismiche in onde P	T1, T2, T3,T4	variabile	-	-
Linea sismica MASW	M1, M2, M3,M4	variabile	-	-
Prove penetrometriche dinamiche medio leggere	DPM1, DPM2, DPM3, DPM4	variabile	verticale	-

E' stato in ultimo eseguito il rilievo topografico e batimetrico per una lunghezza del fronte costiero di circa 350 metri lineari.

L'ubicazione delle indagini è riportata nella pagina successiva e nella tavola G7 "Planimetria indagini geognostiche e sezioni stratigrafiche"; la descrizione di dettaglio delle risultanze delle indagini è invece riportata nell'elaborato G2 "Fascicolo indagini geognostiche".

Nel Fascicolo, allo scopo di migliorare la completezza del documento, sono stati riportati anche i risultati (stratigrafie sondaggi, foto casse e tomografie sismiche) delle indagini eseguite nella zona di proegtto in precedenti campagne geognostiche e più precisamente la campagna geognostica 2010 del Comune di Sanremo e la campagna geognostica 2020 di ANAS.


PLANIMETRIA INDAGINI GEOGNOSTICHE
scala 1:1000
N
0
50m
LEGENDA INDAGINI
Campagna geognostica Comune 2010
Sondaggio geognostico a carotaggio continuo
Campagna geognostica Comune 2019
Foro a distruzione attrezzato con tubo piezometrico
Foro a distruzione attrezzato con tubo inclinometrico
Tomografia sismica a rifrazione in onde P
Stendimento sismico tipo MASW
Campagna geognostica A.N.A.S. 2020
Sondaggio geognostico a carotaggio continuo
Tomografia sismica a rifrazione in onde P
Campagna geognostica Comune 2022
Sondaggio geognostico a carotaggio continuo
Foro a distruzione attrezzato con tubo inclinometrico
Prova penetrometrica dinamica media
Tomografia sismica a rifrazione in onde P
Stendimento sismico tipo MASW
INGOMBRO DELLA
SCOGLIERA IN PROGETTO
STRADA STATALE 1 AURELIA
VIA DUCA D'AOSTA
PISTA CICLABILE
S4
ANAS
S5
ANAS
I1
I1bis
I2
I3
I4
I5
P1
P2
S1
S2
S3
M1
M2
M3
T1
T2
T3
DP1
DP2
DP3
DP4
DP5

5. MODELLO GEOLOGICO

L'ossatura geologica della zona di progetto è costituita da un ammasso roccioso stratificato caratterizzato da un'alternanza di prevalenti livelli di natura argillitic, marnosa-argillitica e di livelli arenaceo-siltitici, con intercalazioni secondarie marnose e calcilutitiche; tale ammasso appartiene alla facies FSM4 membro "San Lorenzo" del Flysch di Sanremo distinta nella carta geologica del Progetto CARG (rif. elab. G1 "Relazione geologica", elab. G4 "Carta geologica-geomorfologica" e elab. G5 "Carta degli elementi di idrogeologia").

Nella zona del promontorio di Capo Verde-Valle Armea la bibliografia scientifica segnala la presenza di alcuni allineamenti di faglia con piano di sviluppo sub-verticale che è stata confermata con lo scavo delle gallerie del raddoppio ferroviario e dell'Aurelia Bis.

L'ammasso roccioso della zona è spesso quindi caratterizzato da una intensa fratturazione e/o tettonizzazione con geostrutture tipiche delle rocce di faglia che si alternano con porzioni più resistenti meglio conservate; il livello di fratturazione/tettonizzazione nell'ammasso varia molto in maniera random sia verticalmente sia lateralmente.

Lo stesso contesto è caratterizzato dalla presenza di importanti circolazioni d'acqua sotterranee secondo un modello idrogeologico non banale che potrebbe essere riconducibile ad uno schema a falde multiple, "sacche", "fusi" ed orizzonti acquiferi a più livelli verosimilmente tra loro spesso non comunicanti; l'effetto globale è quello comunque di un sottosuolo saturo d'acqua con una piezometrica che si ricarica e risulta più superficiale nei periodi di più lunga ed intensa piovosità.

Questa situazione di debolezza geologica-geomeccanica dei versanti della zona sommata alle significative circolazioni idrogeologiche ha creato, nel tempo geologico, le condizioni per il collasso di una importante paleofrana che caratterizza la morfologia della località La Vesca.

Storicamente il piede della paleofrana ha avuto diversi episodi di riattivazione tra i quali quello del 1916 è quello più significativo; più recentemente l'anno 2010 segna una importante riattivazione del movimento franoso che è proseguita e prosegue ancora sino ai giorni attuali.

Ad oggi, la zona di piede di tale paleofrana, compresa tra il tratto basso di Via Duca d'Aosta ed il mare, è interessata da una frana attiva che coinvolge importanti infrastrutture quali la stessa Via Duca d'Aosta, la S.S. n. 1 Aurelia, la pista ciclabile e gli importanti sottoservizi ad esse sottostanti (acquedotto del Roja, metanodotto, ecc).

Il rilevamento geologico del pendio, che dalla Vesca risale verso la Frazione di Poggio, ha evidenziato la ridotta o nulla presenza di affioramenti della formazione rocciosa locale che risulta mascherata da spessori detritici più o meno potenti

L'unico "taglio" morfologico, lungo il quale è stato possibile rilevare le caratteristiche del substrato, è rappresentato dalla scarpata più prossima al mare.

Sullo sviluppo di tale tratto di costa, dove è prevista la scogliera in progetto, il rilevamento geologico ha comunque permesso di distinguere due tratti con parziali differenti caratteristiche stratigrafiche.

Un primo tratto più a ponente, corrispondente alla scarpata a mare della "Frana attiva (1)" della Carta geologica-geomorfologica (elab. G4), caratterizzato da una scarpata pressoché interamente terrigena lungo la quale un primo "cappellaccio" della formazione rocciosa parzialmente resistente compare solo alla base della scarpata stessa.

Un secondo tratto più a levante, corrispondente alla scarpata a mare della "Frana attiva (2)", caratterizzato da una scarpata con uno spessore superiore terrigeno ed un piede caratterizzato da una parziale risalita del primo "cappellaccio" parzialmente resistente.

La stratigrafia geologica di questo tratto di progetto, ricostruita sulla base dei dati del rilevamento, è costituita, dal p.c. in profondità, dalla seguente successione di orizzonti:

- la copertura detritica superficiale di origine colluviale-antropica
- il "cappellaccio di alterazione" eluviale della formazione di substrato
- la formazione rocciosa di substrato.

In linea con la variabilità random del livello di fratturazione-tettonizzazione della formazione rocciosa della zona in esame, richiamata nella pagina precedente, gli orizzonti del "cappellaccio di alterazione" e della formazione rocciosa di substrato sono caratterizzati al loro interno da una spiccata variabilità verticale e laterale delle caratteristiche geologiche e quindi geotecniche-geomeccaniche.

6. STRATIGRAFIA GEOTECNICA - SEZIONI

Partendo dal concetto richiamato nel precedente paragrafo circa la variabilità random, sia verticale sia laterale, delle caratteristiche geologiche e quindi geotecniche-geomeccaniche degli orizzonti del "cappellaccio di alterazione" e della formazione di substrato è stato definito l'approccio sul quale basare la definizione e la descrizione degli strati geotecnici.

Più in particolare, tale variabilità geotecnica ha consigliato un approccio non puntuale di sito ma più globale alla scala del pendio mediante l'utilizzo dell'insieme dei dati dei sondaggi a disposizione ed estrapolando, tramite le tomografie sismiche, i dati puntuali dei sondaggi stessi a delle sezioni stratigrafico-sismiche bidimensionali.

Per lo sviluppo di tale approccio sono stati analizzati in maniera incrociata i dati delle campagne geognostiche 2010 e 2022 del Comune di Sanremo e della campagna geognostica 2020 dell'ANAS.

Tale analisi incrociata ha quindi interessato le stratigrafie dei sondaggi S1, S2, S3, S4 e S5 del Comune ed i sondaggi S4 e S5 dell'ANAS; la taratura delle tomografie tramite le stratigrafie di sondaggio ha permesso di distinguere, lungo le sezioni bidimensionali tomografiche, tre strati caratterizzati da diversi range di velocità delle onde sismiche.

Lo sviluppo di questa analisi hanno permesso di ricostruire la seguente stratigrafia geotecnica:

- *strato 0*: copertura detritica superficiale, di origine mista naturale-antropica: limo sabbioso argilloso inglobante scaglie lapidee abbondanti, eterometriche, di argillite, di marna e di arenaria; consistenza terrigena (Vp <750 m/s)
- *strato 1*: orizzonte completamente alterato e destrutturato della formazione di substrato molto fratturata-tettonizzata ("cappellaccio di alterazione") che risulta trasformata in un materiale con consistenza e comportamento terrigeni solo localmente con porzioni semilitoidi-litoidi e che può essere descritto come un limo argilloso, argilla limosa da deb. sabbiosi a sabbiosi, plastici, con inclusi centimetrici, più o meno abbondanti, di marna, argillite ed arenaria, colore marrone chiaro con sfumature giallastre-grigiastre che diventa grigio verso la base dello strato. Il comportamento geotecnico è guidato dalla matrice fine; nello spessore dello strato, la consistenza è crescente progressivamente verso il basso (Vp 750-1750 m/s)

- *strato 2*: ammasso con porzioni di roccia di faglia molto fratturata-tettonizzata, alterata sino a localmente molto alterata con particolare riferimento al primo spessore sotto allo strato 1, e con porzioni rocciose da fratturate a molto fratturate meglio conservate poco alterate; l'ammasso è caratterizzato da una prevalenza di strati grigio-scuro marnosi argillitici, argillitici con intercalazioni di strati grigio-chiaro di siltiti-arenarie fini. La resistenza del materiale aumenta progressivamente con la profondità (Vp >1750 m/s); la consistenza è da semilitoide a litoide.

Si riportano, a seguire, alcune casse sondaggio rappresentative della variabilità all'interno dei singoli strati geotecnici appena sopra descritti; a seguire poi tre esempi di sezioni tomografiche, con sovrapposte le stratigrafie dei sondaggi di taratura, interpretate per la ricostruzione bidimensionale delle geometrie degli stessi strati.



S4 Comune 2022
Cassa 0-5m
0,0-2,7m: strato 0
2,7-5,0: strato 1



S1 Comune 2010
Cassa 5-10m: strato 1



S5 ANAS 2020
Cassa 10-15m: strato 2



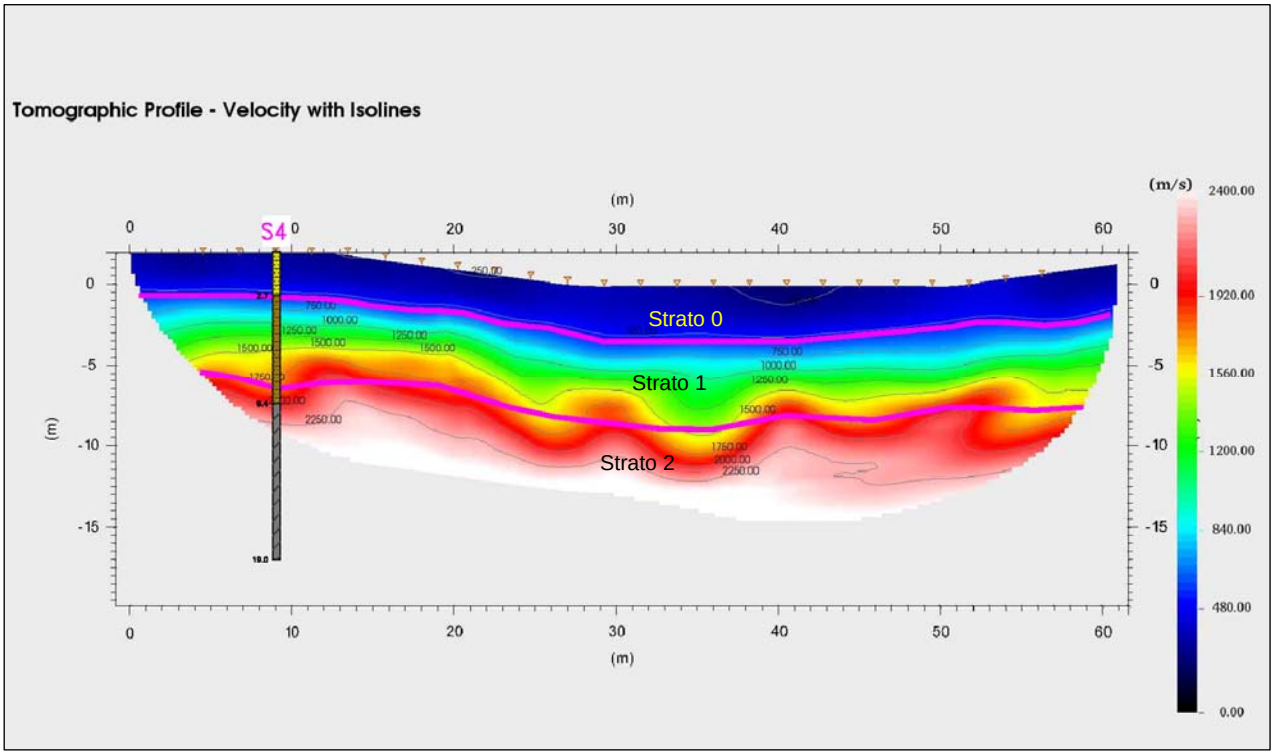
S4 ANAS 2020
Cassa 15-20m: strato 2



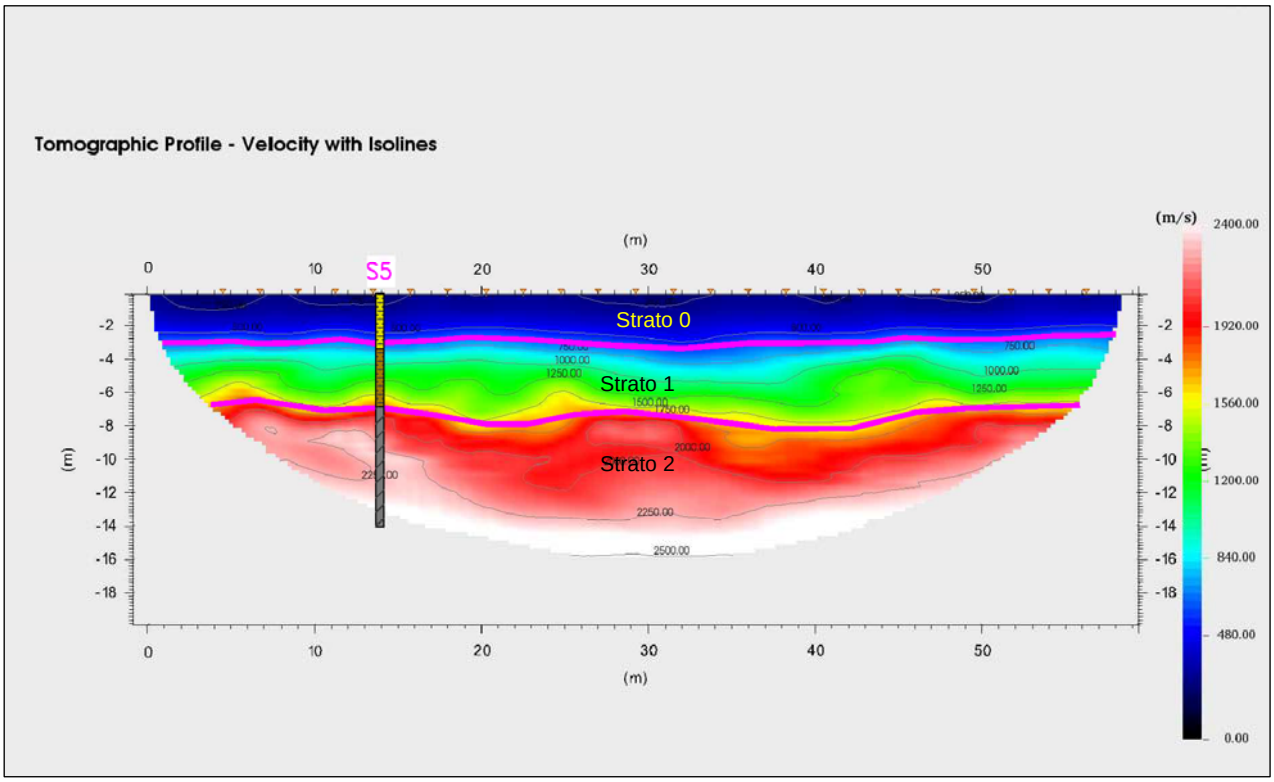
S2 Comune 2010
Cassa 10-15m: strato 2



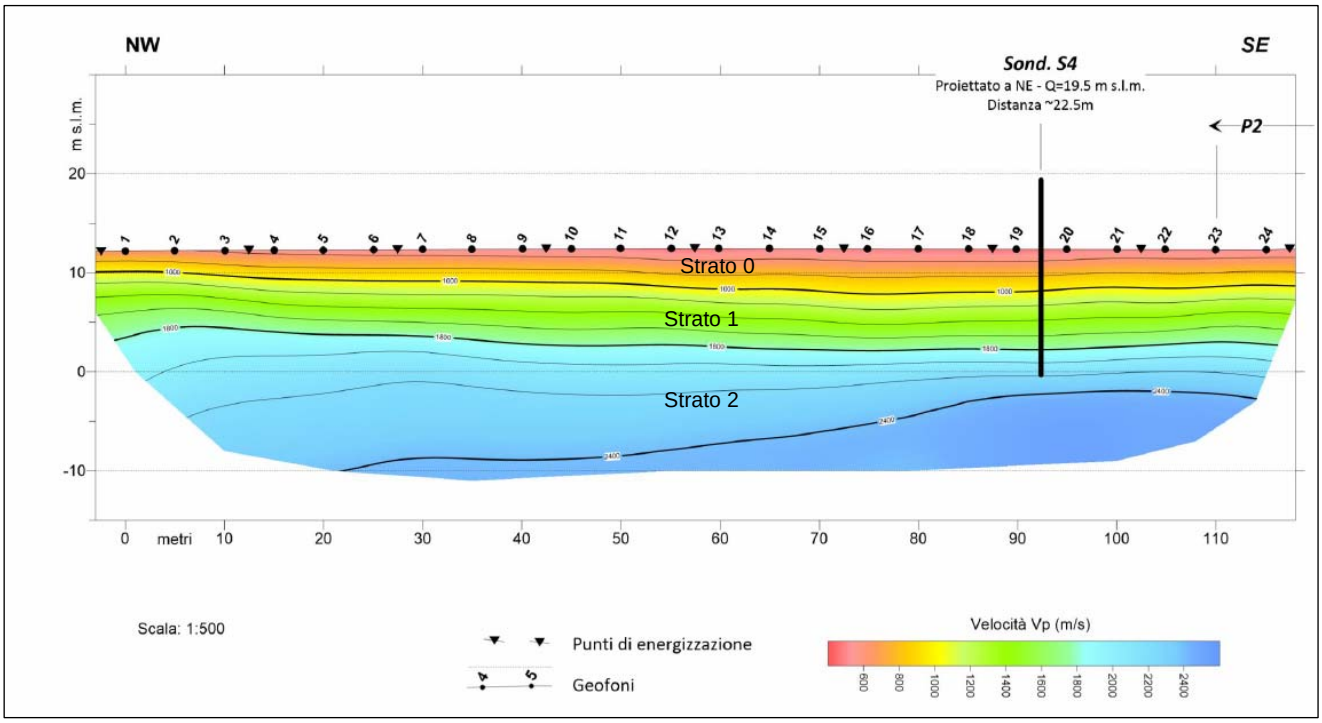
S4 Comune 2022
Cassa 10-13m: strato 2



Tomografia T2 (Comune 2022)



Tomografia T3 (Comune 2022)



Tomografia P1 (ANAS 2020)

Come prodotto finale sono state ricostruite le sezioni stratigrafiche n. 4,5,6 e B-B che intersecano la scogliera in progetto; le sezioni sono rappresentate nell'elaborato G7 "Planimetria indagini geognostiche e sezioni stratigrafiche".

Sulle sezioni stratigrafiche è stato riportato il profilo della falda acquifera.

La sezione B-B, utile per le verifiche di stabilità globale del pendio, riporta il profilo della falda di massima e media piezometria; i due profili sono stati tarati sulla base del valore massimo e medio della piezometria registrata negli anni 2019-2021 nel piezometro P1 (il piezometro P2, a differenza del P1, ha registrato una piezometria pressochè costante poco o nulla correlata alla piovosità e per tale motivo è stato ritenuto poco significativo) e, alla scala più grande, della quota delle emergenze idrogeologiche rilevate sulla scarpata a mare durante il rilevamento geologico-idrogeologico del gennaio 2019.

Le sezioni 4, 5 e 6 riportano invece solo il profilo della falda di massima piezometria.

7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA-SISMICA TERRENI

Nell'ambito della campagna geognostica ANAS 2020 sono state eseguite diverse prove di laboratorio di caratterizzazione geotecnica dei terreni campionati nei sondaggi S4 e S5.

Più precisamente nei due sondaggi sono stati campionati n.3+3 campioni indisturbati che sono stati sottoposti a prove di classificazione generale, di resistenza e di deformabilità; le prove di resistenza eseguite, utili per la presente caratterizzazione, sono n. 6 tagli diretti.

I quattro campioni indisturbati S4CI1, S4CI2, S5CI1 e S5CI2 sono stati prelevati a profondità comprese tra 1,5-9,6 m e sono quindi correlabili agli strati geotecnici 0 e 1 descritti nel precedente paragrafo; i due campioni S4CI3 e S5CI3 sono stati campionati a profondità comprese tra 11-12,6 m e sono quindi invece correlabili alla base dello strato geotecnico 1 e al primo spessore dello strato geotecnico 2.

Si evidenzia che la fattibilità dei campionamenti indisturbati è già un elemento indicativo di una ridotta consistenza dei terreni locali.

Si riportano a seguire le foto dei campioni prelevati.













Le tabelle che seguono riassumono i risultati delle prove di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati.

LAVORO: Progetto esecutivo 2019 VESCA SS1 pk 66+800 (Sondaggi geognostici) San-Remo (Imperia)

Sond	Campione	Profondità (m)	W (%)	γn (kN/m³)	γd (kN/m³)	γs (kN/m³)	γsat (kN/m³)	e	n (%)	Sr (%)	Argilla (%)	Limo (%)	Sabbia (%)	Ghiaia (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IC	IL	TG CD c (kN/m²)	φ_p °	φ_r °
S4	CI1	1.5-2	17.0	19.76	16.89	26.26	20.39	0.55	35.68	82.19	21.10	19.62	55.75	3.53	35.0	15.0	20.1	0.896	0.104	0.3	24.3	n.r.
S4	CI2	6-6.6	22.4	19.42	15.87	26.25	19.75	0.65	39.54	91.83	24.13	15.33	53.86	6.68	38.0	17.1	20.9	0.746	0.254	2.9	21.1	n.r.
S4	CI3	11-11.6	14.9	20.78	18.09	26.26	21.14	0.45	31.13	88.37	24.36	29.42	41.78	4.44	37.2	18.3	19.0	1.177	-0.177	7.3	29.0	n.r.

LAVORO: Progetto esecutivo 2019 VESCA SS1 pk 66+800 (Sondaggi geognostici) San-Remo (Imperia)

Sond	Campione	Profondità (m)	W (%)	γn (kN/m³)	γd (kN/m³)	γs (kN/m³)	γsat (kN/m³)	e	n (%)	Sr (%)	Argilla (%)	Limo (%)	Sabbia (%)	Ghiaia (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IC	IL	TG CD c (kN/m²)	φ_p °	φ_r °
S5	CI1	4-4.6	18.6	19.63	16.56	26.27	20.18	0.59	36.98	84.86	37.48	51.87	3.63	7.02	45.3	22.9	22.4	1.192	-0.192	12.4	20.1	n.r.
S5	CI2	9-9.6	17.8	19.41	16.48	26.26	20.13	0.59	37.26	80.27	27.38	57.33	8.65	6.64	42.4	22.4	19.9	1.232	-0.232	14.3	19.5	n.r.
S5	CI3	12-12.6	16.6	21.16	18.15	26.28	21.18	0.45	30.96	99.35	34.44	47.67	10.76	7.13	43.0	20.6	22.4	1.178	-0.178	12.8	19.7	n.r.

I valori dei parametri geotecnici ottenuti con le prove di laboratorio ANAS sono sostanzialmente allineati con i valori assunti nei progetti 2019 del Comune di Sanremo (Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica e Progetto Esecutivo) che vengono quindi confermati; si evidenzia che i parametri assunti per lo strato 2 si intendono riferiti al primo spessore di tale strato sottostante lo strato 1.

La tabella che segue riassume i parametri geotecnici assunti:

STRATI GEOTECNICI			**PARAMETRI GEOTECNICI**			
Strato geotecnico	**Descrizione geotecnica**	**Vp (m/s)**	**γ (kN/mc)**	**φ (°)**	**c (kPa)**	**E (MPa)**
0	Copertura detritica: limo sabbioso argilloso inglobante scaglie lapidee abbondanti, eterometriche, di argillite, marne ed arenaria	< 750	18-19	22-24	1-3	10-20
1	Orizzonte completamente alterato e destrutturato della formazione di substrato che risulta trasformata in un limo argilloso, argilla limosa da deb. sabbiosa a sabbiosa, plastici, con inclusi lapidei centimetrici più o meno abbondanti. Il comportamento geotecnico è guidato dalla matrice fine; la consistenza è terrigena ed è crescente progressivamente verso il basso	750-1750	19-20	20-22	5-10	30-40
2	Ammasso argillitico-marnoso-arenaceo con porzioni di roccia di faglia molto fratturata-tettonizzata, alterata sino a localmente molto alterata con particolare riferimento al primo spessore sotto allo strato 1, e con porzioni rocciose da fratturate a molto fratturate meglio conservate poco alterate. La consistenza è da semilitoide a litoide.	>1750	21-22	24-26	30-50	50-100

Per gli aspetti di idrogeologia e della falda acquifera si fa riferimento al paragrafo 7 della Relazione Geologica ed ai contenuti del precedente paragrafo.

In termini di permeabilità dei terreni (strato 0 e strato 1) le prove Lefranc eseguite nei sondaggi S4 e S5 hanno evidenziato coefficienti di permeabilità compresi nel seguente intervallo: 9.10E-04<k<4.99E-05 cm/s.

Per quanto riguarda la risposta sismica locale e, più in particolare, in termini di possibile amplificazione stratigrafica e topografica della Pga, sono stati utilizzati i seguenti metodi di valutazione.

Per l'amplificazione stratigrafica, come contemplato dalle NTC2018, è stato fatto riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione del valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, Veq (in m/s) definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

dove:

N = numero di strati
hi = spessore dello strato i-esimo
Vs,i = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato
H= profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s

Le linee sismiche Masw hanno fornito i dati di Vs utili per l'individuazione della Veq e quindi della categoria sismica del sottosuolo locale.

I valori ottenuti con le Masw M1 e M3 sono riferibili a terreni della categoria C; ciò premesso e tenuto conto che la profondità del substrato rigido, con Vs>800 m/s risulta inferiore a 30 m, ne deriva che il sottosuolo locale del sito di progetto è correlabile prudenzialmente alla categoria E descritta come "Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C e D, con profondità del substrato non superiore a 30 m".

Per quanto riguarda l'amplificazione topografica, la morfologia del pendio è associabile, prudenzialmente, alla categoria topografica T2 (tab. 3.2.III NTC2018).

Per quanto riguarda, in ultimo, il fenomeno della liquefazione, è possibile assumere che le caratteristiche e la natura dei terreni fanno ritenere molto basso tale rischio; a tale riguardo si evidenzia che anche la Carta delle M.O.P.S del PUC (Agg. S4.05 agosto 2021) non fa rientrare la zona in esame tra le aree "ZAliq1 Zone di attenzione per liquefazione di tipo 1" così come anche il "Nuovo catalogo nazionale dei processi di liquefazione avvenuti in occasione dei terremoti storici in Italia" P.Galli e F.Meloni (anno 1993) segnala l'assenza a livello storico di tale fenomeno nell'area in esame.

In caso di sisma di magnitudo elevata non possono invece essere esclusi possibili fenomeni di instabilità e di assestamenti/cedimenti dei terreni locali.

A titolo di orientamento sugli aspetti dell'escavabilità, nell'ipotesi di utilizzo di escavatori dai 200 quintali in su, può essere indicato:

- strato 0: escavabile con benna montata su escavatore
- strato 1: escavabile per il 60-70% con benna e per un 30-40% con martello montato su escavatore
- strato 2: escavabile per il 75-85% (livelli marnosi,calcarei ed arenacei) con martello montato su escavatore e per un 15-25% (livelli argillitici) con benna.

8. SISTEMA DI MONITORAGGIO E RISULTATI OTTENUTI

Nell'anno 2019 il Comune di sanremo ha realizzato un sistema di monitoraggio del pendio articolato in (rif. planimetria di pagina seguente ed elab. G7 "Planimetria indagini geognostiche e sezioni stratigrafiche":

- n. 5 tubi inclinometri denominati I1, I2, I3, I4 e I5
- n. 2 tubi piezometrici denominati P1 e P2.

Il monitoraggio è iniziato nel febbraio 2019 mentre l'ultima lettura è stata eseguita nel marzo 2022.

Le letture di controllo nei tubi I3, I4 e I5, ancora ad oggi utilizzabili, coprono l'intero periodo febbario 2019-marzo 2022.

Altrettanto non si può dire per i tubi I1 e I2 che, a causa dell'elevata deformazione subita, non sono più risultati leggibili a partire, rispettivamente, dal 30.08.2019 e dal 01.12.2019.

Nell'ambito della campagna geognostica 2022 del Comune, il tubo I1 rotto è stato rimpiazzato, nelle immediate vicinanze, con la realizzazione del nuovo tubo inclinometrico I1bis.

Il tubo I2 rotto, posto immediatamente a valle della S.S. n. Aurelia, dovrebbe invece essere rimpiazzato, come da accordi tra il Comune di Sanremo e l'ANAS, dalla stessa ANAS.

Si ritiene necessario, anche a fini di protezione civile, mantenere attivo e funzionante nella sua totalità il sistema di monitoraggio inclinometrico-piezometrico realizzato nel 2019 dal Comune sul pendio in frana, senza escludere la possibilità di implementarlo lungo ulteriori direttrici di monitoraggio della paleofrana.

Acquisiti i dati inclinometrici raccolti nel periodo 2019-2022 e conoscendo quindi le profondità di scivolamento, è possibile a questo punto implementare tale monitoraggio attrezzando i tubi con sonde inclinometriche fisse in grado di misurare in continuo gli spostamenti dei terreni della frana; la correlazione dei dati inclinometrici in continuo con quelli piezometrici in continuo (ora purtroppo limitati, come dati significativi, al piezometro P1, sarebbero quindi da implementare) potrebbe fornire utili informazioni e dati per la progettazione delle opere di drenaggio della falda acquifera.

A seguire si riportano i grafici risultanti del monitoraggio inclinometrico e piezometrico; il commento degli stessi viene sviluppato nel prossimo paragrafo.

UBICAZIONE SISTEMA DI MONITORAGGIO



- Tubo inclinometrico
- Tubo piezometrico





Tubo inclinometrico I1: a valle pista ciclabile





Tubo inclinometrico I2: a valle SS n.1 Aurelia





Tubo inclinometrico I3: Via Duca d'Aosta bassa





Tubo inclinometrico I4: Via Duca d'Aosta intermedia

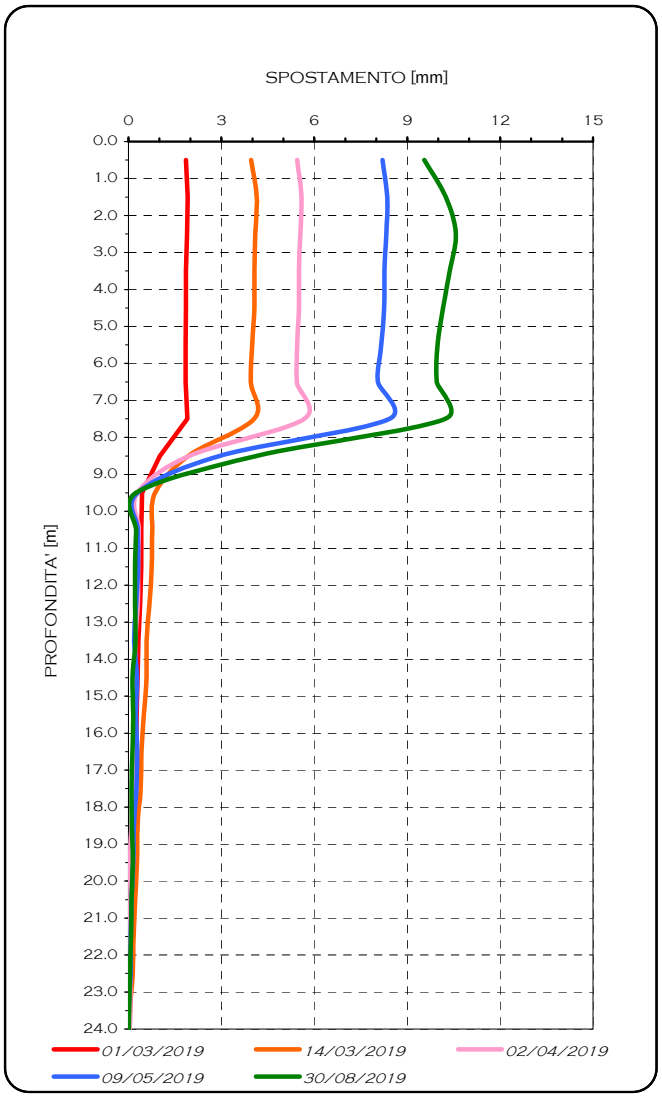


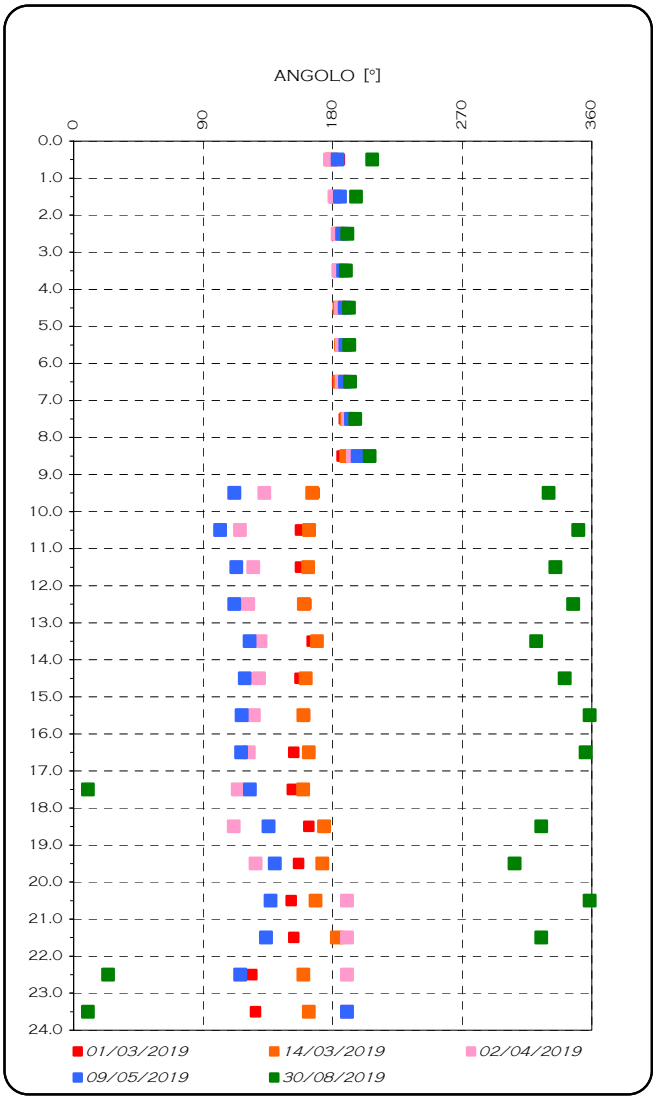


Tubo inclinometrico I5: Via Duca d'Aosta alta

Cantiere:	***Zona La Vesca, Via Duca d'Aosta***
	A valle pista ciclabile
Tubo inclinometrico:	***I1***
Data lettura di zero:	***22/02/2019***
Data ultima lettura:	***30/08/2019***
Numero di letture:	***5***

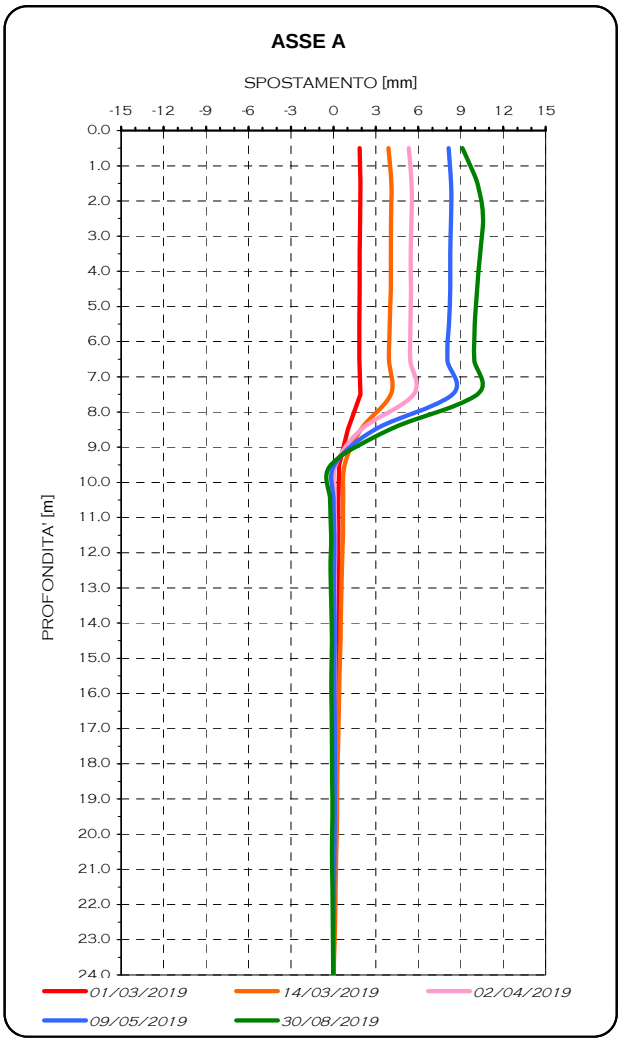
Spostamento cumulativo Risultante

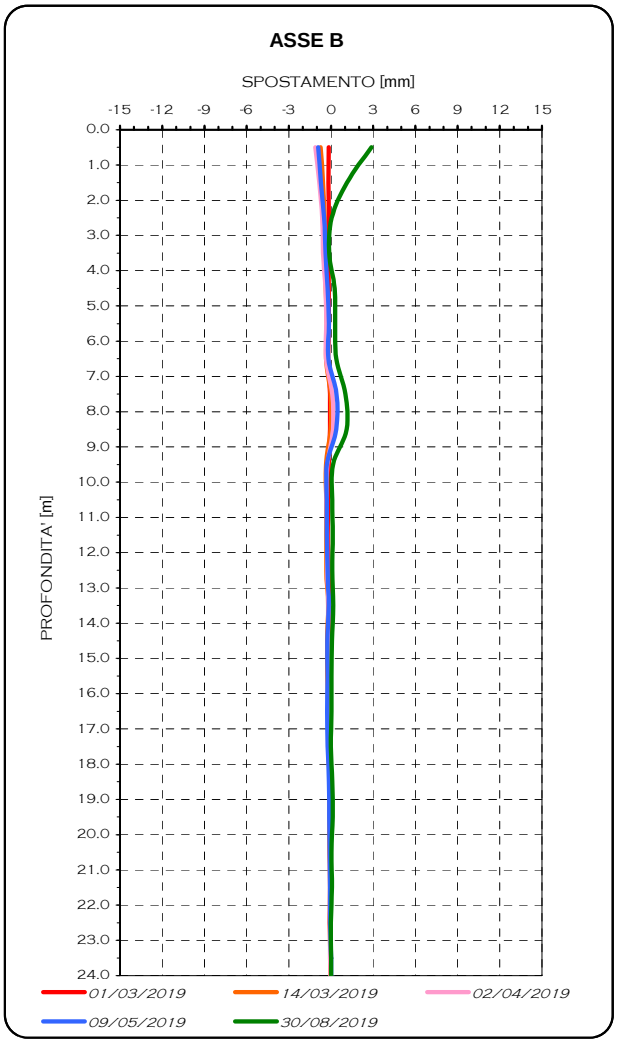




Cantiere:	***Zona La Vesca, Via Duca d'Aosta***
	A valle pista ciclabile
Tubo inclinometrico:	***I1***
Data lettura di zero:	***22/02/2019***
Data ultima lettura:	***30/08/2019***
Numero di letture:	***5***

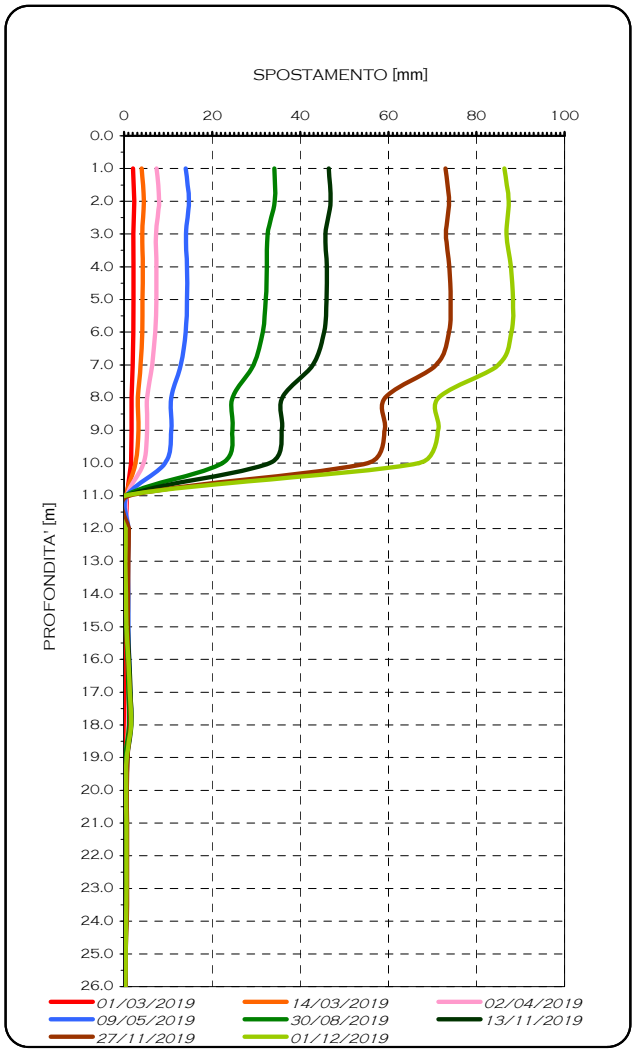
Spostamento cumulativo
Componenti

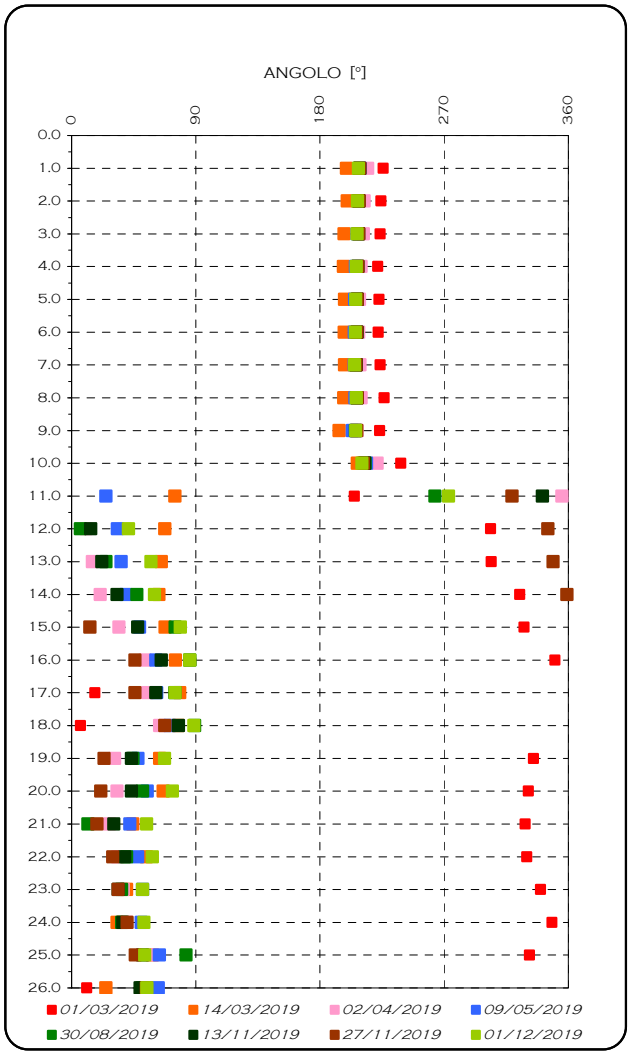




Cantiere:	***Zona La Vesca Via Duca d'Aosta***
	Piede muro di valle S.S. n.1 Aurelia
Tubo inclinometrico:	***I2***
Data lettura di zero:	***22/02/2019***
Data ultima lettura:	***05/02/2020***
Numero di letture:	***9***

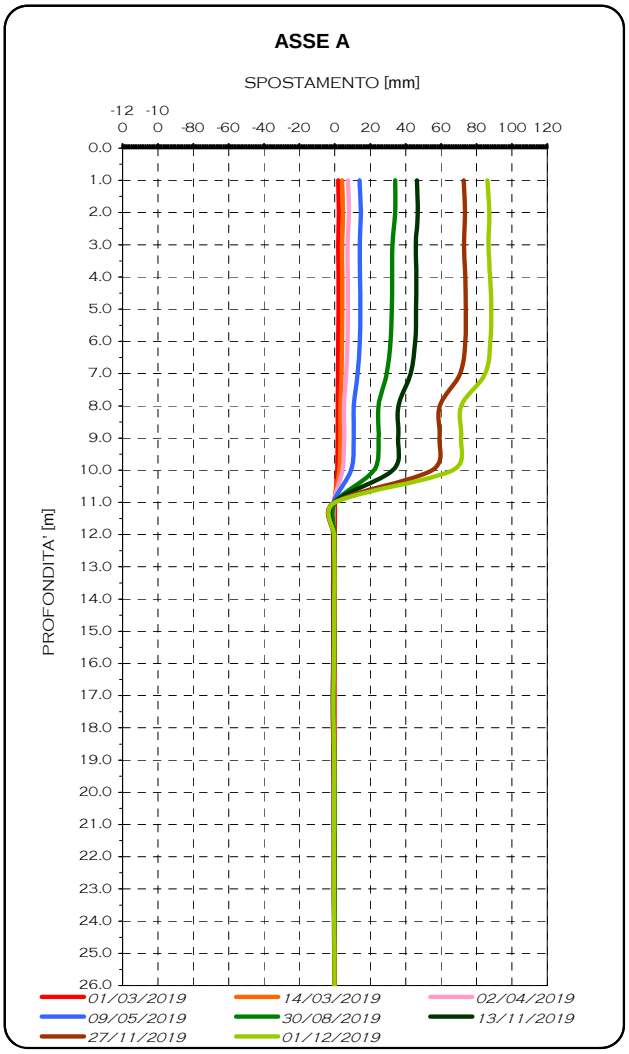
Spostamento cumulativo
Risultante

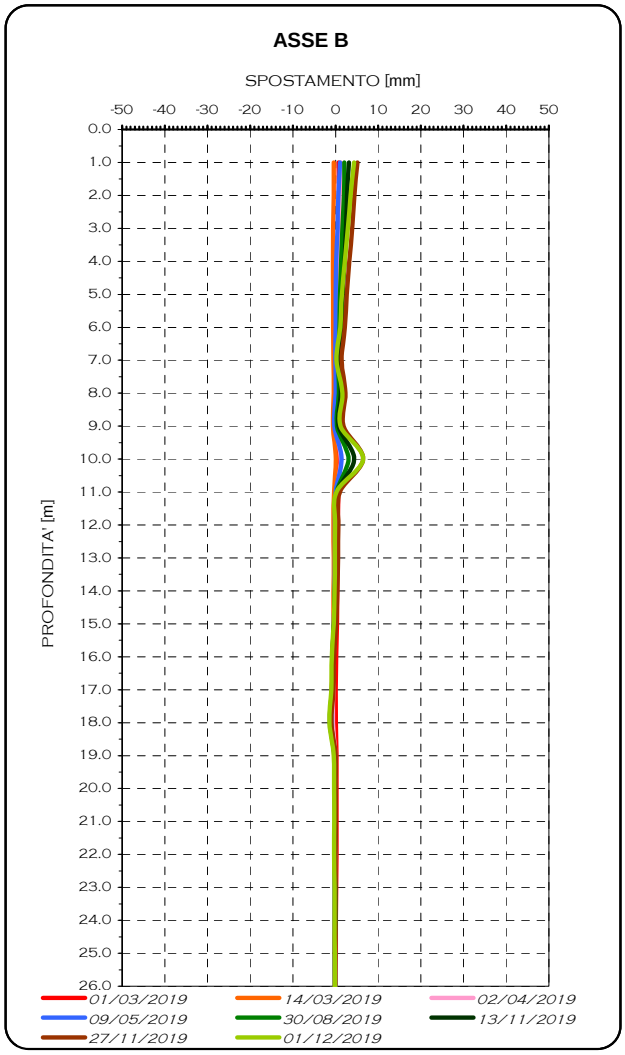




Cantiere:	***Zona La Vesca Via Duca d'Aosta***
	Piede muro di valle S.S. n.1 Aurelia
Tubo inclinometrico:	***I2***
Data lettura di zero:	***22/02/2019***
Data ultima lettura:	***05/02/2020***
Numero di letture:	***9***

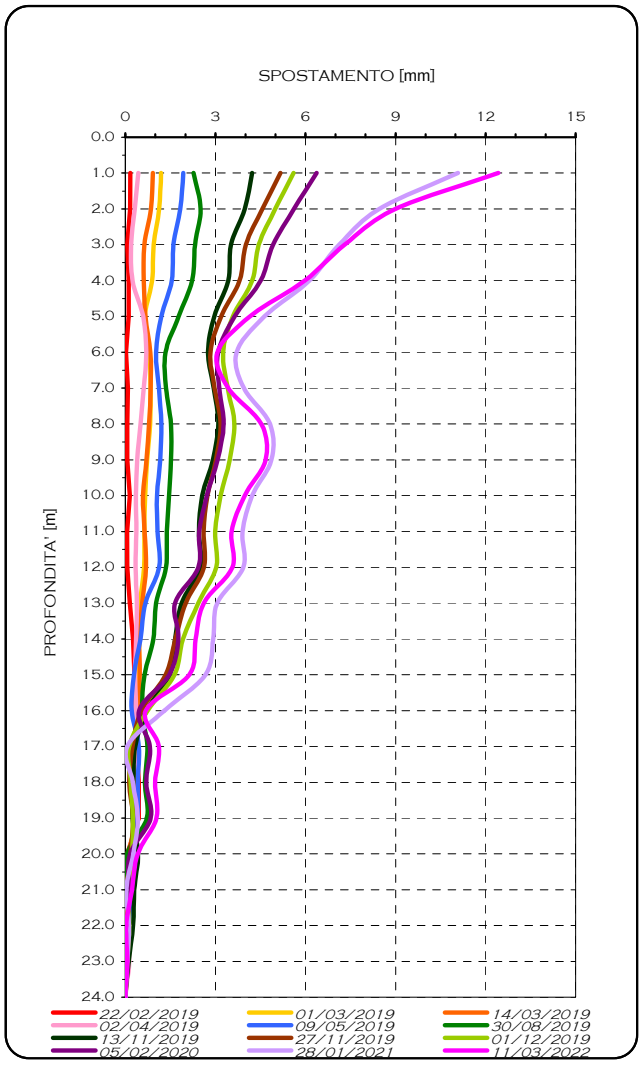
Spostamento cumulativo
Componenti

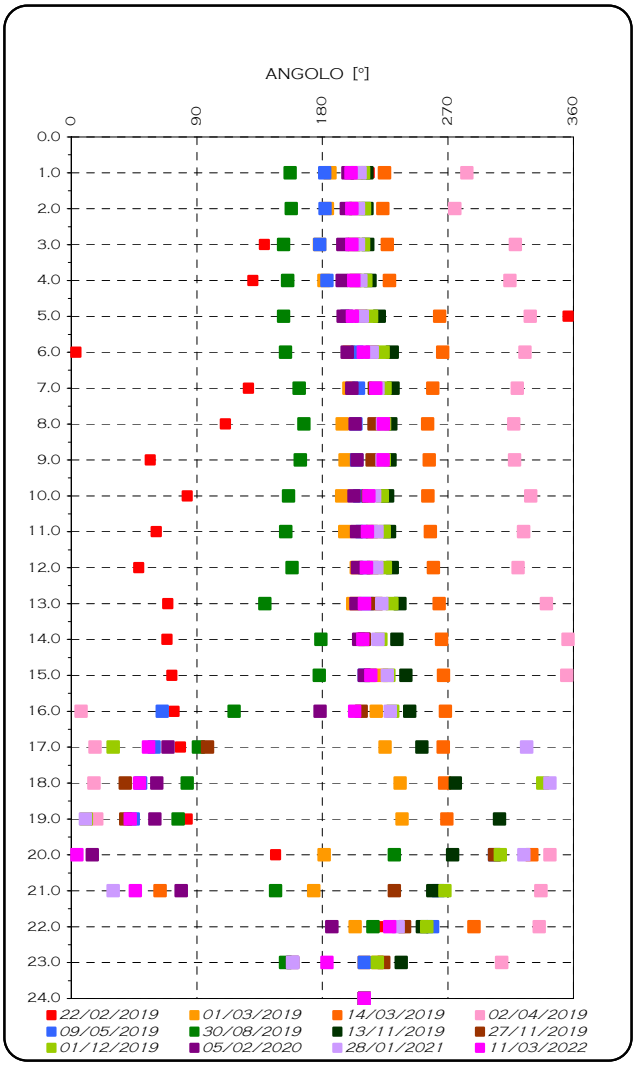




Cantiere:	***Zona La Vesca, Via Duca d'Aosta***
	Via Duca d'Aosta basso
Tubo inclinometrico:	***I3***
Data lettura di zero:	***12/02/2019***
Data ultima lettura:	***11/03/2022***
Numero di letture:	***12***

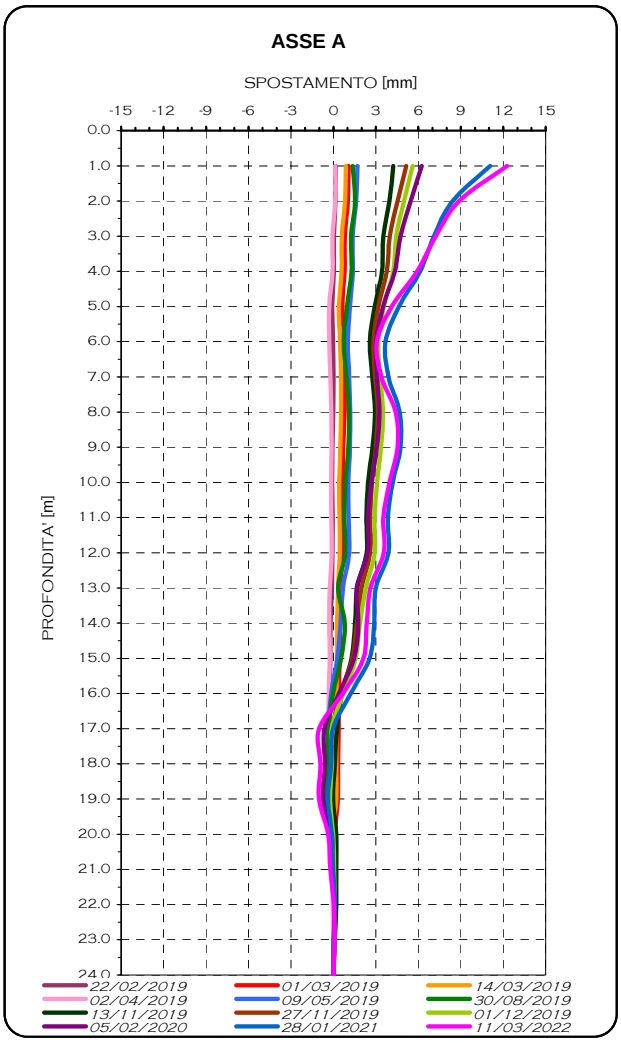
Spostamento cumulativo
Risultante

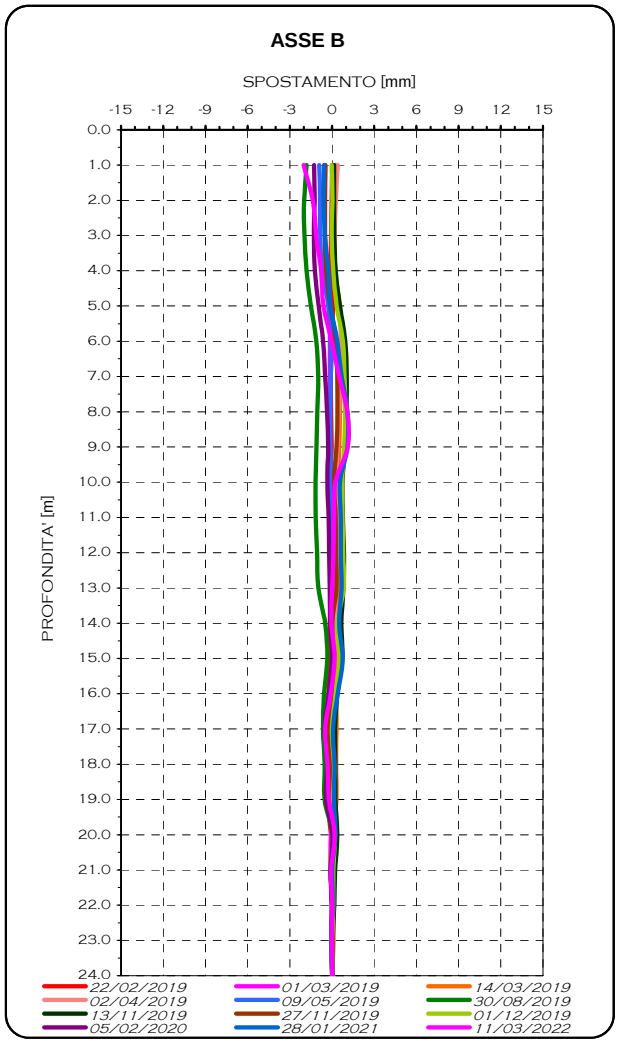




Cantiere:	***Zona La Vesca, Via Duca d'Aosta***
	Via Duca d'Aosta basso
Tubo inclinometrico:	***I3***
Data lettura di zero:	***12/02/2019***
Data ultima lettura:	***11/03/2022***
Numero di letture:	***12***

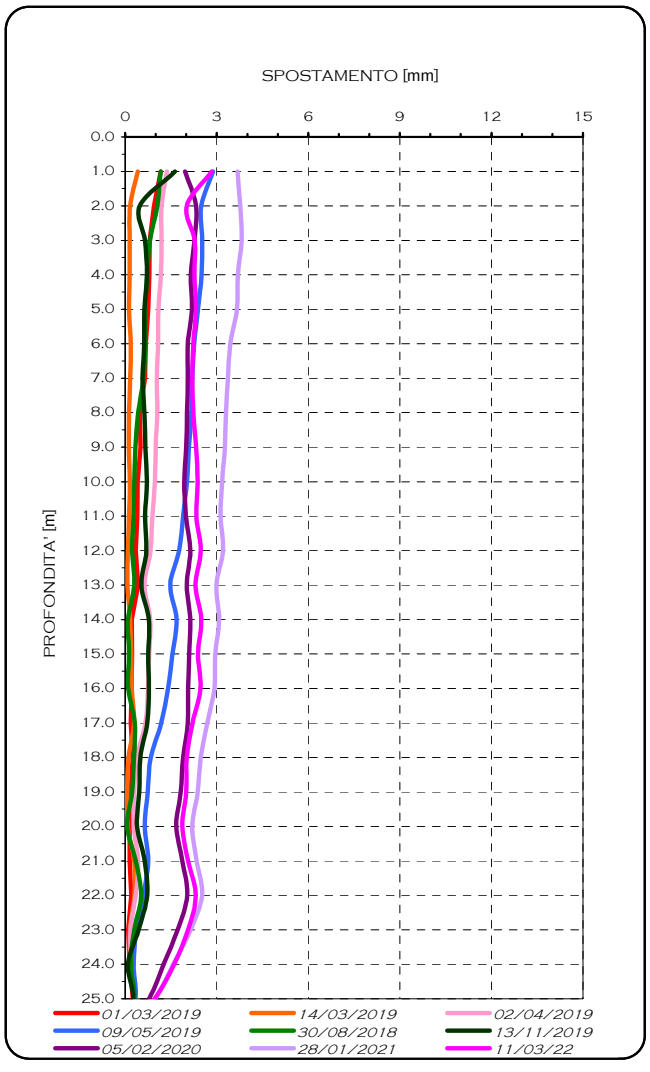
Spostamento cumulativo
Componenti

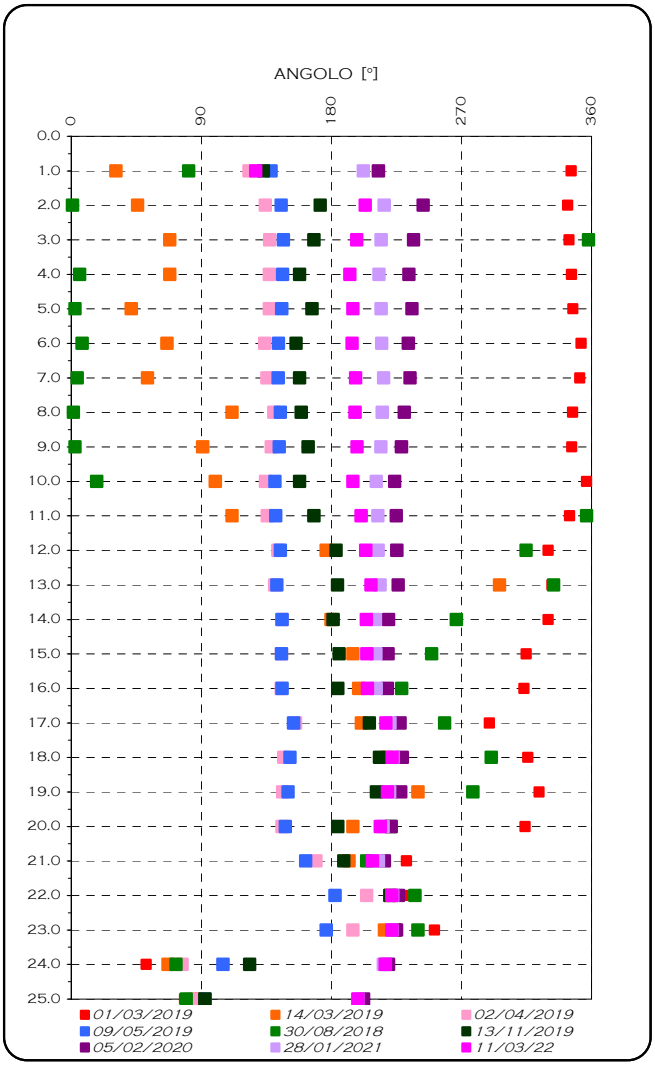




Cantiere:	***Zona La Vesca, Via Duca d'Aosta***
	Via Duca d'Aosta intermedio
Tubo inclinometrico:	***I4***
Data lettura di zero:	***30/08/2018***
Data ultima lettura:	***11/03/2022***
Numero di letture:	***9***

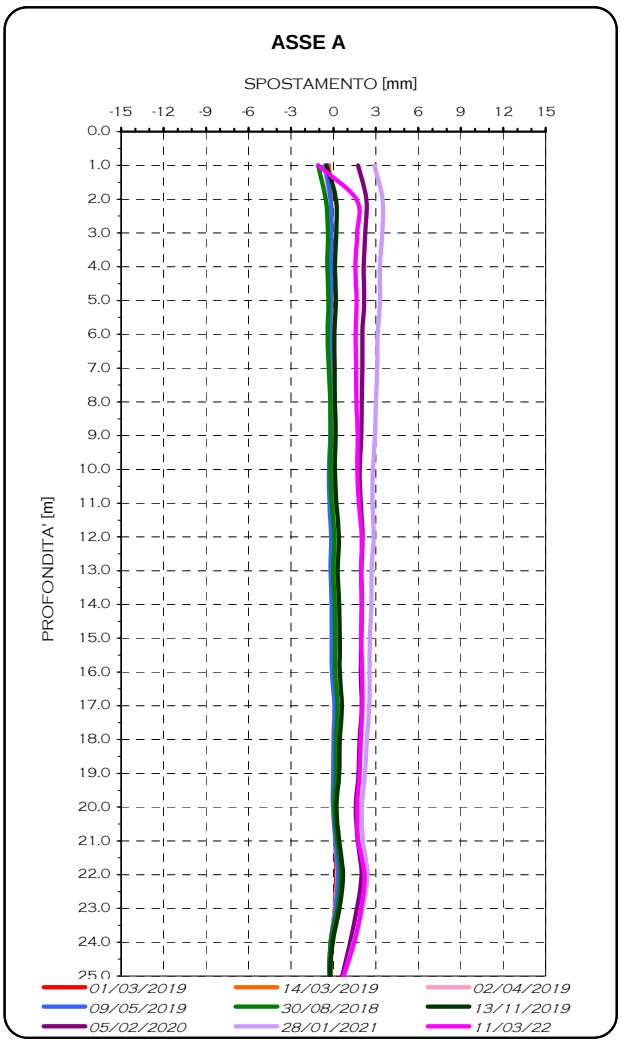
Spostamento cumulativo Risultante

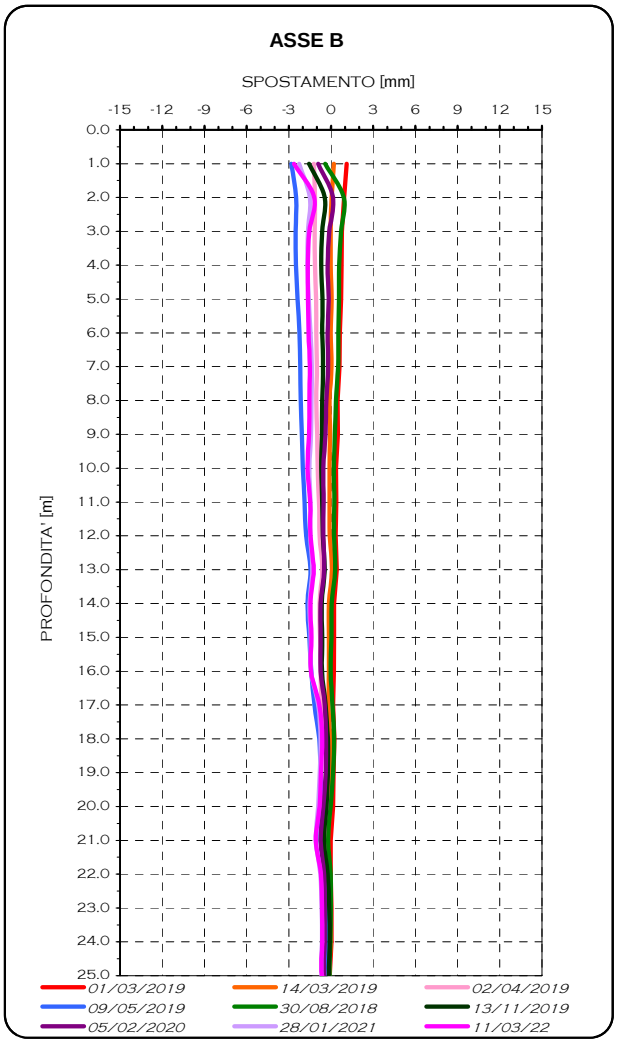




Cantiere:	***Zona La Vesca, Via Duca d'Aosta***
	Via Duca d'Aosta intermedio
Tubo inclinometrico:	***I4***
Data lettura di zero:	***30/08/2018***
Data ultima lettura:	***11/03/2022***
Numero di letture:	***9***

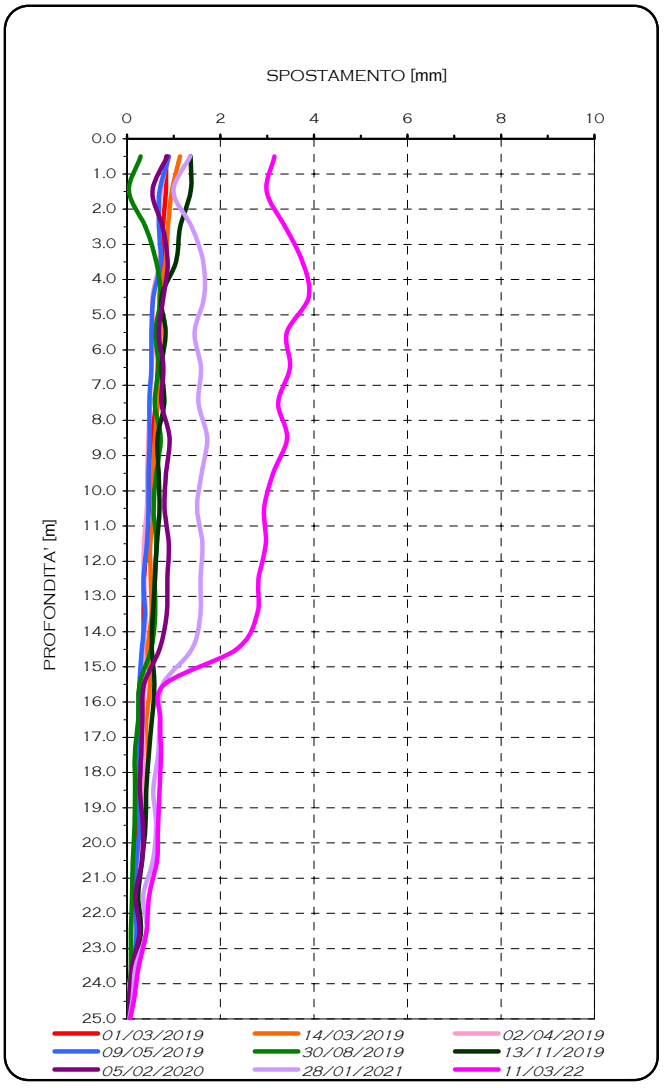
Spostamento cumulativo
Componenti

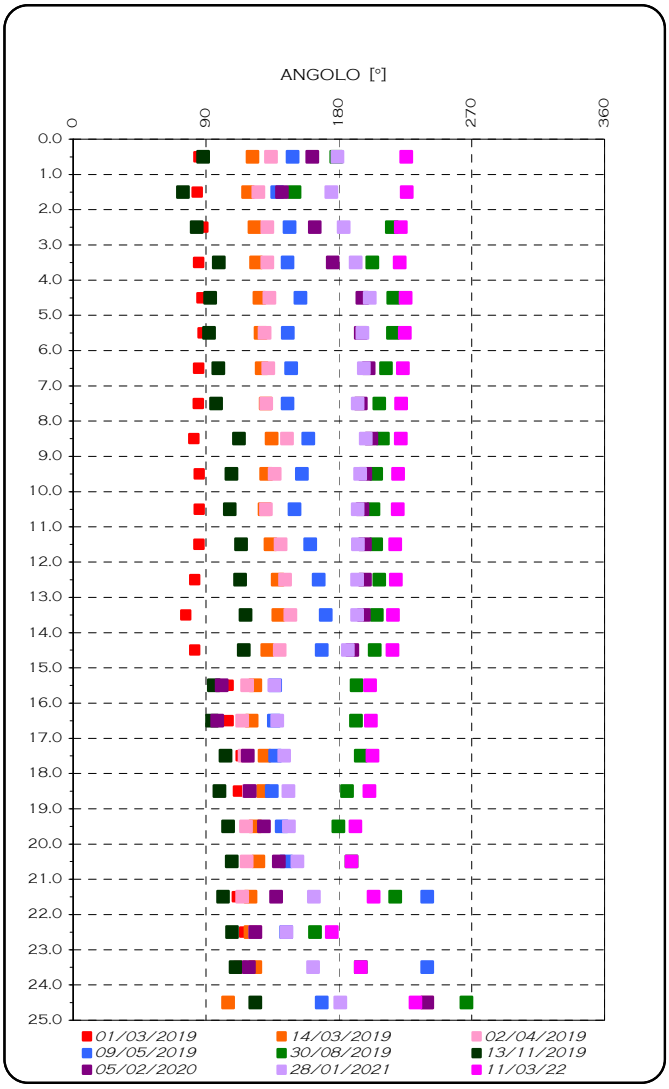




Cantiere:	***Zona La Vesca, Via Duca d'Aosta***
	Via Duca d'Aosta alto
Tubo inclinometrico:	***I5***
Data lettura di zero:	***12/02/2019***
Data ultima lettura:	***11/03/2022***
Numero di letture:	***9***

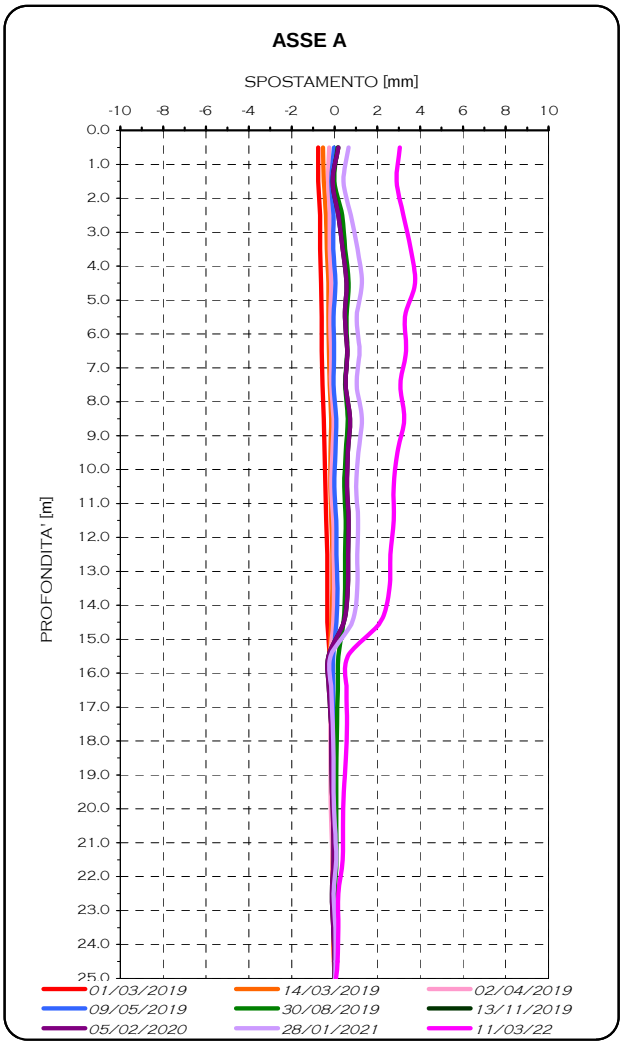
Spostamento cumulativo Risultante

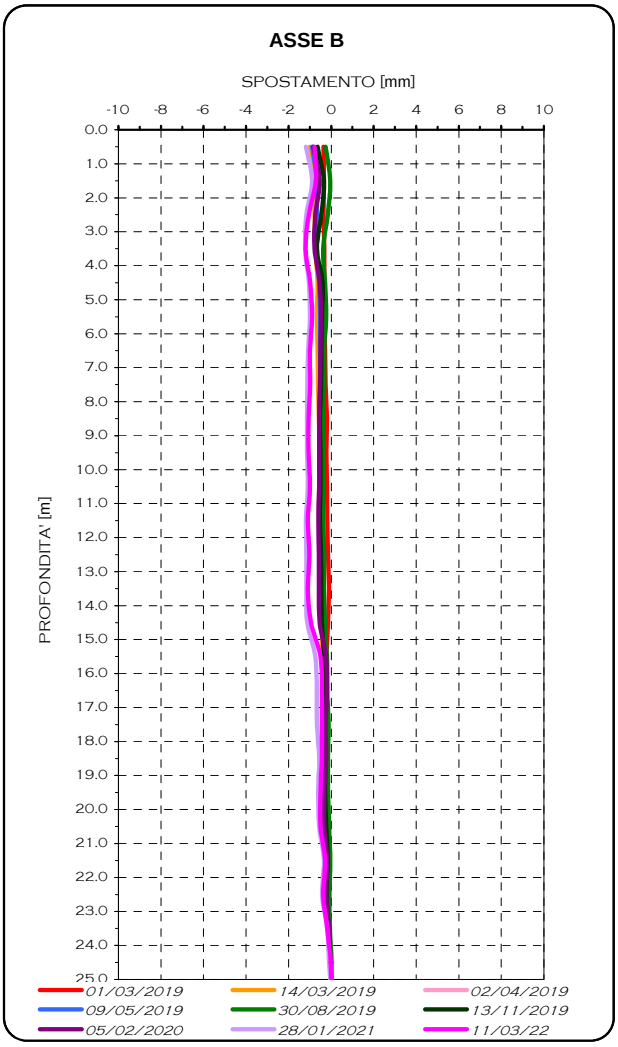




Cantiere:	***Zona La Vesca, Via Duca d'Aosta***
	Via Duca d'Aosta alto
Tubo inclinometrico:	***I5***
Data lettura di zero:	***12/02/2019***
Data ultima lettura:	***11/03/2022***
Numero di letture:	***9***

Spostamento cumulativo Componenti







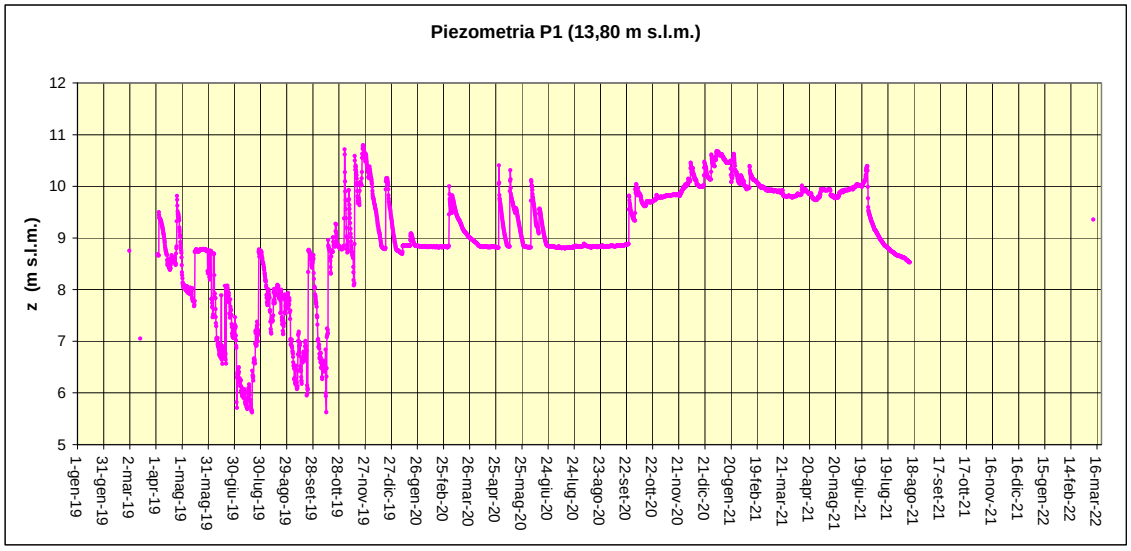


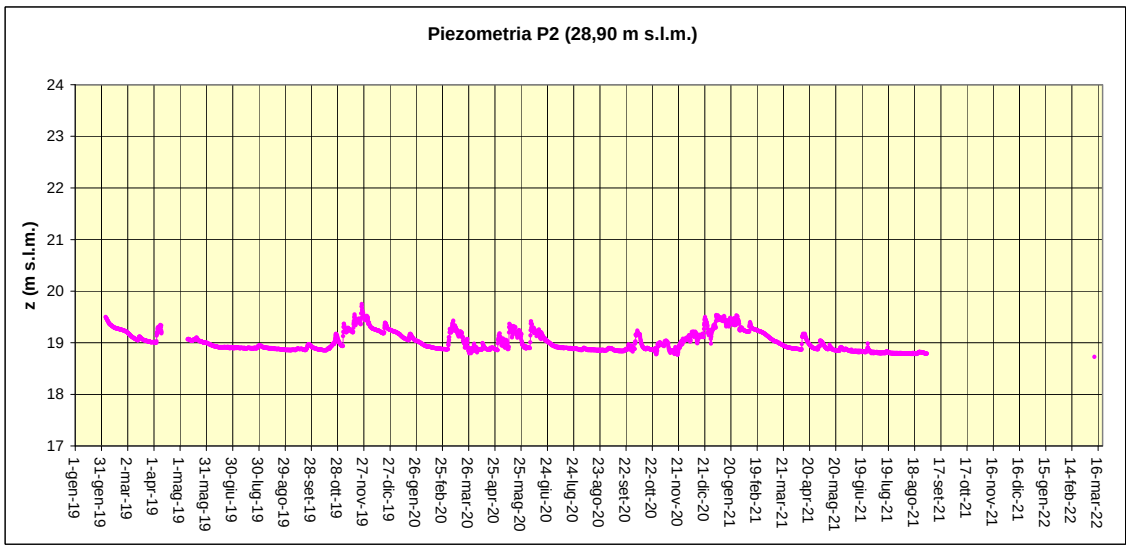
Tubo piezometrico P1: zona pista ciclabile

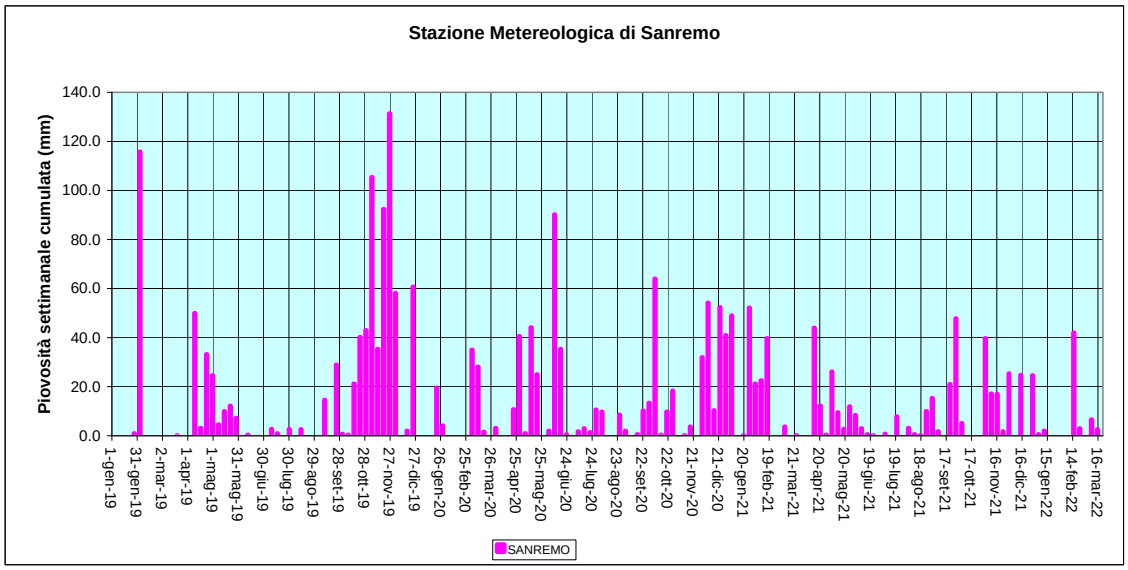




Tubo piezometrico P2: Via Duca d'Aosta bassa


Piezometria P1 (13,80 m s.l.m.)
z (m s.l.m.)
12
11
10
9
8
7
6
5
1-gen-19
31-gen-19
2-mar-19
1-apr-19
1-mag-19
31-mag-19
30-giu-19
30-lug-19
29-ago-19
28-set-19
28-ott-19
27-nov-19
27-dic-19
26-gen-20
25-feb-20
26-mar-20
25-apr-20
25-mag-20
24-giu-20
24-lug-20
23-ago-20
22-set-20
22-ott-20
21-nov-20
21-dic-20
20-gen-21
19-feb-21
21-mar-21
20-apr-21
20-mag-21
19-giu-21
19-lug-21
18-ago-21
17-set-21
17-ott-21
16-nov-21
16-dic-21
15-gen-22
14-feb-22
16-mar-22


Piezometria P2 (28,90 m s.l.m.)
z (m s.l.m.)
24
23
22
21
20
19
18
17
1-gen-19
31-gen-19
2-mar-19
1-apr-19
1-mag-19
31-mag-19
30-giu-19
30-lug-19
29-ago-19
28-set-19
28-ott-19
27-nov-19
27-dic-19
26-gen-20
25-feb-20
26-mar-20
25-apr-20
25-mag-20
24-giu-20
24-lug-20
23-ago-20
22-set-20
22-ott-20
21-nov-20
21-dic-20
20-gen-21
19-feb-21
21-mar-21
20-apr-21
20-mag-21
19-giu-21
19-lug-21
18-ago-21
17-set-21
17-ott-21
16-nov-21
16-dic-21
15-gen-22
14-feb-22
16-mar-22


Stazione Metereologica di Sanremo
Piovosità settimanale cumulata (mm)
140.0
120.0
100.0
80.0
60.0
40.0
20.0
0.0
1-gen-19
31-gen-19
2-mar-19
1-apr-19
1-mag-19
31-mag-19
30-giu-19
30-lug-19
29-ago-19
28-set-19
28-ott-19
27-nov-19
27-dic-19
26-gen-20
25-feb-20
26-mar-20
25-apr-20
25-mag-20
24-giu-20
24-lug-20
23-ago-20
22-set-20
22-ott-20
21-nov-20
21-dic-20
20-gen-21
19-feb-21
21-mar-21
20-apr-21
20-mag-21
19-giu-21
19-lug-21
18-ago-21
17-set-21
17-ott-21
16-nov-21
16-dic-21
15-gen-22
14-feb-22
16-mar-22
SANREMO

9. CARATTERISTICHE DEL MOVIMENTO FRANOSO

La tavola G6 "Carta degli indizi di instabilità" sintetizza gli indizi geomorfologici che hanno guidato la perimetrazione dell'area in frana attiva riportata anche sulla tavola G4; l'entità degli indizi ed i dati del monitoraggio inclinometrico hanno poi permesso di distinguere, nell'ambito dell'area della frana attiva, una sottoarea (1) con criticità più marcate ed una sottoarea (2) con criticità meno marcate.

Le concause predisponenti il movimento franoso sono la debolezza geologica-geotecnica intrinseca del versante, la non corretta disciplina delle acque di falda e meteoriche e l'erosione del mare al piede.

Storicamente il piede della paleofrana ha avuto diversi episodi di riattivazione tra i quali quello del 1916 è quello più significativo; più recentemente l'anno 2010 segna una importante riattivazione del movimento franoso che è proseguita e prosegue ancora sino ai giorni attuali.

Ad oggi, la zona di piede di tale paleofrana, compresa tra il tratto basso di Via Duca d'Aosta ed il mare, è interessata da una frana attiva che coinvolge importanti infrastrutture quali la stessa Via Duca d'Aosta, la S.S. n. 1 Aurelia, la pista ciclabile e gli importanti sottoservizi ad esse sottostanti (acquedotto del Roja, metanodotto, ecc).

Nell'ambito della frana attiva l'area che evidenzia i maggiori indizi di instabilità è quella comprendente l'Aurelia, il parcheggio dell'Hotel Montecarlo sino ad arrivare alla sottostante ciclabile; tale area è caratterizzata da un continuo abbassamento della topografia che, sulla sede della S.S.n. 1, viene sistematicamente compensato con periodiche ricariche dell'asfalto.

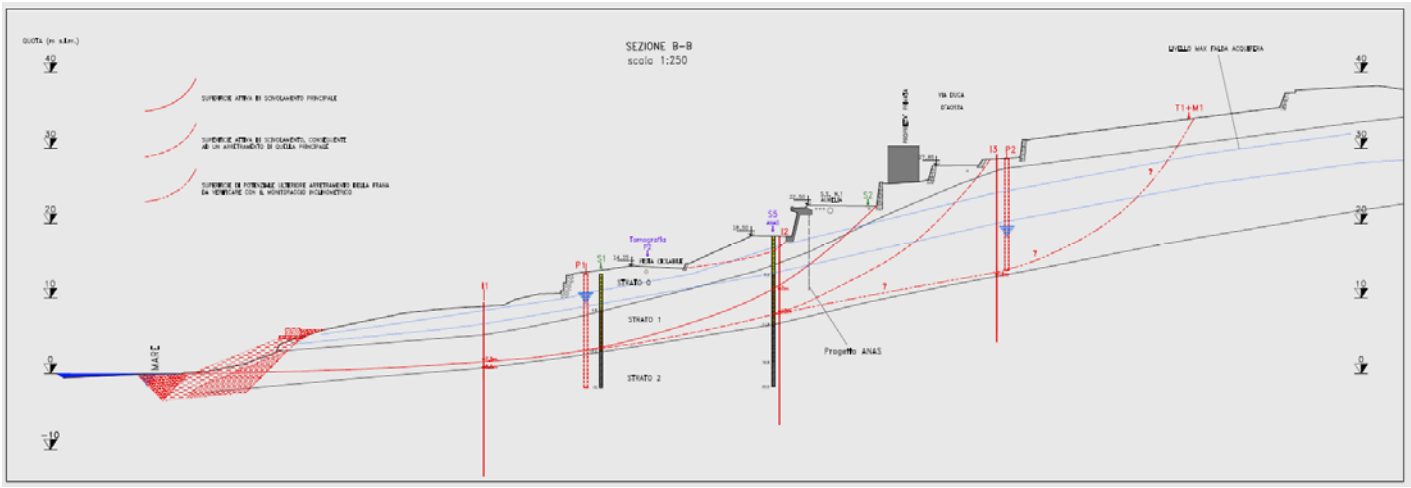
L'abbassamento di questa area provoca, per richiamo, l'instabilità della porzione di terreno subito a monte arrivando a coinvolgere la strada comunale Via Duca d'Aosta e, di conseguenza, il muro di sostegno della stessa.

A valle della ciclabile, complice anche l'effetto di richiamo generato dalle instabilità della scarpata a mare, il pendio è oramai smembrato in più zolle con più ordini di cigli-scarpate di ribasso delle stesse.

Il monitoraggio inclinometrico della frana (n. 5 tubi da I1 a I5), eseguito nel periodo compreso tra febbraio 2019 e marzo 2022, ha evidenziato quanto segue (i grafici inclinometrici sono nel paragrafo precedente):

- i tubi inclinometrici I1 e I2 hanno monitorato l'area in frana attiva sino al dicembre 2019, data dopo la quale hanno subito una tale deformazione da impedire la prosecuzione delle misure; essi hanno rispettivamente evidenziato una superficie di scivolamento alla profondità di 8m e di 10 m con velocità di spostamento comprese tra 0,11-0,19 mm/giorno, con spostamenti complessivi pluricentimetrici e secondo un vettore diretto verso mare. Il tubo I2 ha registrato alla profondità di 7m un livello deformativo associabile ad una ulteriore superficie di scivolamento
- il tubo inclinometrico I3 è ubicato sul passaggio tra l'area in frana attiva e quella in frana quiescente; questo tubo, a parte l'inclinazione dei primi 6 m correlabile alla deformazione del muro di sostegno di Via Duca d'Aosta, ha evidenziato un "ginocchio" millimetrico alla profondità di 16 m che potrebbe essere inquadrato come un segno embrionale della possibile impostazione di un cerchio più profondo di arretramento della frana, da tarare e riverificare con le prossime letture inclinometriche di controllo
- i tubi inclinometrici I4 e I5 sono ubicati nell'area che è stata classificata in frana quiescente. Le misure inclinometriche sembrano ad oggi sostanzialmente confermare questa classificazione; il tubo I4 ha infatti registrato una deformazione dell'ordine millimetrico "poco chiara" intorno ai 22 m che sembra partire ad una profondità superiore ai 25 m di fine tubo mentre il tubo I5 registra un ginocchio deformativo più evidente alla profondità di 15 m con uno spostamento complessivo in tre anni di circa 3 mm.

La sezione B-B che segue, riportata più in grande nella tavola G7, riassume le risultanze delle misure inclinometriche e rappresenta le diverse superfici di scivolamento rilevate.



Siamo di fronte quindi ad un movimento franoso complesso caratterizzato da più cerchi di scivolamento; la tendenza all'abbassamento della parte sommitale del movimento franoso, con particolare riferimento alla sede stradale dell'Aurelia, evidenzia un cinematismo classificabile come scivolamento rotazionale.

La progressione della frana può essere inquadrata secondo uno schema di coinvolgimento di successive zolle in arretramento sul pendio.

In tale schema, la superficie di scivolamento ritenuta principale delimita una zolla compresa tra il mare ed il lato monte della S.S. n. 1 Aurelia; lo spostamento di tale zolla ha poi richiamato il movimento di un'altra porzione di versante sino ad interessare la Via Duca d'Aosta.

Queste due zolle può essere considerato si muovano ad oggi insieme secondo una superficie di scivolamento di inviluppo delle due superfici singole.

In sezione l'area totale in movimento delle due zolle è pari a circa 780 mq; stimata poi la lunghezza media della frana attiva in circa 200 ml, in direzione parallela al mare, ne deriva un volume complessivo in movimento pari a circa 160.000 mc.

Si evidenzia ancora che lo spostamento millimetrico registrato nel tubo I3 alla profondità di 16 m potrebbe essere un indizio, se non saranno realizzati degli interventi di sistemazione e consolidamento, di un potenziale ulteriore arretramento della frana verso monte.

In ultimo, parlando di entità dello spostamento, si evidenzia che il tubo inclinometrico I2, prima di rompersi ed in corrispondenza di un periodo di precipitazioni significative, si è mosso con una velocità corrispondente ad uno spostamento di circa 7 cm/anno.

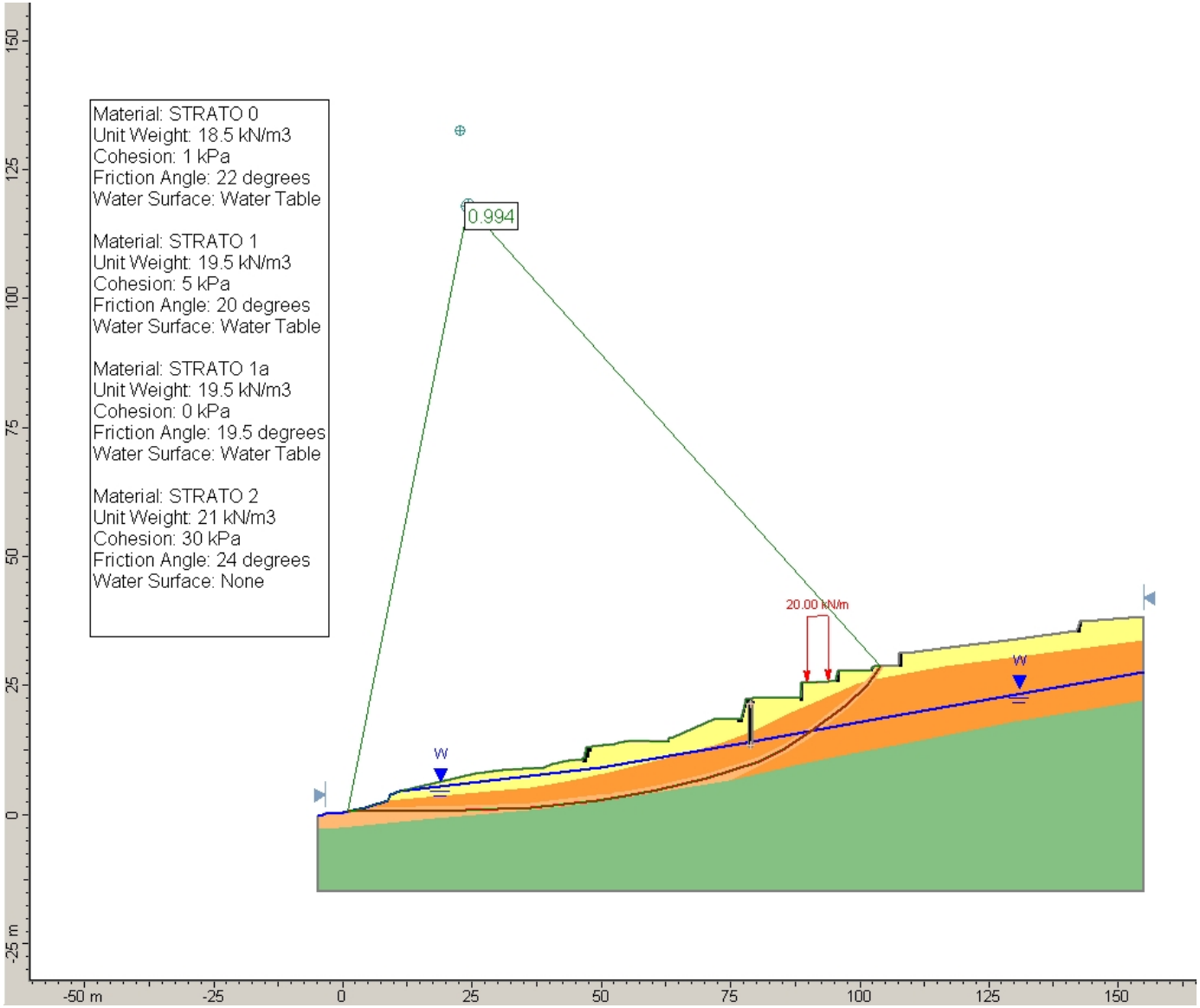
A causa della rottura dei tubi I1 e I2, non è stato possibile tarare la velocità di spostamento durante l'anno 2021 rivelatosi invece poco piovoso; gli indizi visivi rilevati hanno comunque evidenziato, seppur più rallentati, la prosecuzione dei movimenti anche in questo periodo.

Il monitoraggio ha mostrato quindi che la frana è in continuo movimento con accelerazioni in corrispondenza dei periodi piovosi più intensi e duraturi

Il movimento franoso è stato oggetto di una modellazione in back analysis (rif..figura successiva – software Slide di Rocsciense) che ha evidenziato che la zolla in movimento può scivolare sul cerchio principale solo se si ipotizza uno

straterello di base con caratteristiche residue di resistenza molto scadenti e cioè con angolo di attrito pari a circa 18°-19,5° in assenza di coesione; il valore di circa 18°-19,5° è prossimo all'inclinazione media del pendio interessato dal movimento franoso.

Tale livello corrisponde, verosimilmente, ad una superficie di concentrazione di particelle lamellari fini argillose probabilmente allineate lungo la superficie di rottura.


Material: STRATO 0
Unit Weight: 18.5 kN/m3
Cohesion: 1 kPa
Friction Angle: 22 degrees
Water Surface: Water Table
Material: STRATO 1
Unit Weight: 19.5 kN/m3
Cohesion: 5 kPa
Friction Angle: 20 degrees
Water Surface: Water Table
Material: STRATO 1a
Unit Weight: 19.5 kN/m3
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 19.5 degrees
Water Surface: Water Table
Material: STRATO 2
Unit Weight: 21 kN/m3
Cohesion: 30 kPa
Friction Angle: 24 degrees
Water Surface: None
0.994
20.00 kN/m
W
W
150
125
100
75
50
25
0
-25 m
-50 m
-25
0
25
50
75
100
125
150