

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



S.O. OPERE GEOTECNICHE

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA

NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA

LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA

LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA

GEOTECNICA

Studio dei movimenti franosi e dimensionamento preliminare opere di stabilizzazione

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.

RC2A C1 R 11 RH GB0000 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	E.Sellari	Luglio 2023	A.F: Rotunno	Luglio 2023	I. D'Amore	Luglio 2023	L. Berardi Luglio 2023



File: RC2AC1R11RHGB0000001A.doc

n. Elab.:

SOMMARIO

1	PREMESSA	4
2	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	5
2.1	NORMATIVE E MANUALI	5
2.2	ELABORATI PROGETTUALI	5
2.3	LETTERATURA SCIENTIFICA	5
2.4	SOFTWARE E CODICI UTILIZZATI	6
3	APPROCCIO METODOLOGICO	7
4	DATI GEOTECNICI DI BASE	9
4.1	INQUADRAMENTO GEOTECNICO GENERALE	9
5	PROCEDURA E METODI DI CALCOLO	11
5.1	CENNI SUL METODO DELL'EQUILIBRIO LIMITE	11
5.2	CRITERI PER IL DIMENSIONAMENTO PRELIMINARE DEGLI INTERVENTI	13
5.2.1	<i>Trincee Drenanti</i>	13
5.2.2	<i>Pali plastici</i>	14
6	DESCRIZIONE DELLE OPERE DI STABILIZZAZIONE	16
7	FRANA GB01	18
7.1	MODELLO GEOLOGICO	20
7.2	INDAGINI DI RIFERIMENTO E DATI DI MONITORAGGIO	22
7.3	DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOTECNICO	26
7.3.1	<i>Analisi EQL – Back Analysis</i>	27
7.3.2	<i>Analisi EQL – Post Operam</i>	29
7.4	DIMENSIONAMENTO PRELIMINARE DEGLI INTERVENTI	32
7.4.1	<i>Verifica trincee drenanti</i>	32
7.4.2	<i>Modellazione pali plastici</i>	32

8	CAMPAGNA INDAGINI INTEGRATIVA E PIANO DI MONITORAGGIO DEI VERSANTI.....	33
8.1	CRITERI GENERALI PER IL PROGETTO DI MONITORAGGIO.....	33
8.1.1	<i>Distribuzione della strumentazione di monitoraggio.....</i>	34
8.1.2	<i>Frequenze di lettura.....</i>	34
8.1.3	<i>Soglie di monitoraggio e criteri generali per l'attuazione dei provvedimenti correttivi.....</i>	35
8.2	SISTEMA DI MONITORAGGIO PER IL GESTORE DELL'INFRASTRUTTURA.....	36
8.2.1	<i>SISTEMA DI MONITORAGGIO AUTOMATICO.....</i>	37
8.2.2	<i>INTERFEROMETRIA.....</i>	39

1 PREMESSA

Nella presente relazione viene illustrato lo studio dei movimenti franosi intercettati dal tracciato della nuova linea ad alta velocità ferroviaria Salerno-Reggio Calabria, con riferimento al lotto 1C. All'interno del documento è inoltre presentato il dimensionamento preliminare degli interventi di mitigazione del rischio da frana relativamente all'infrastruttura ferroviaria in oggetto.

Il lotto 1C, che si estende da Buonabitacolo a Praia, attraversa un particolare versante interessato da un dissesto attivo generato da scivolamento rotazionale.

In Figura 1-1 si riporta schematicamente l'inquadramento del tracciato e l'ubicazione dell'area oggetto di studio.

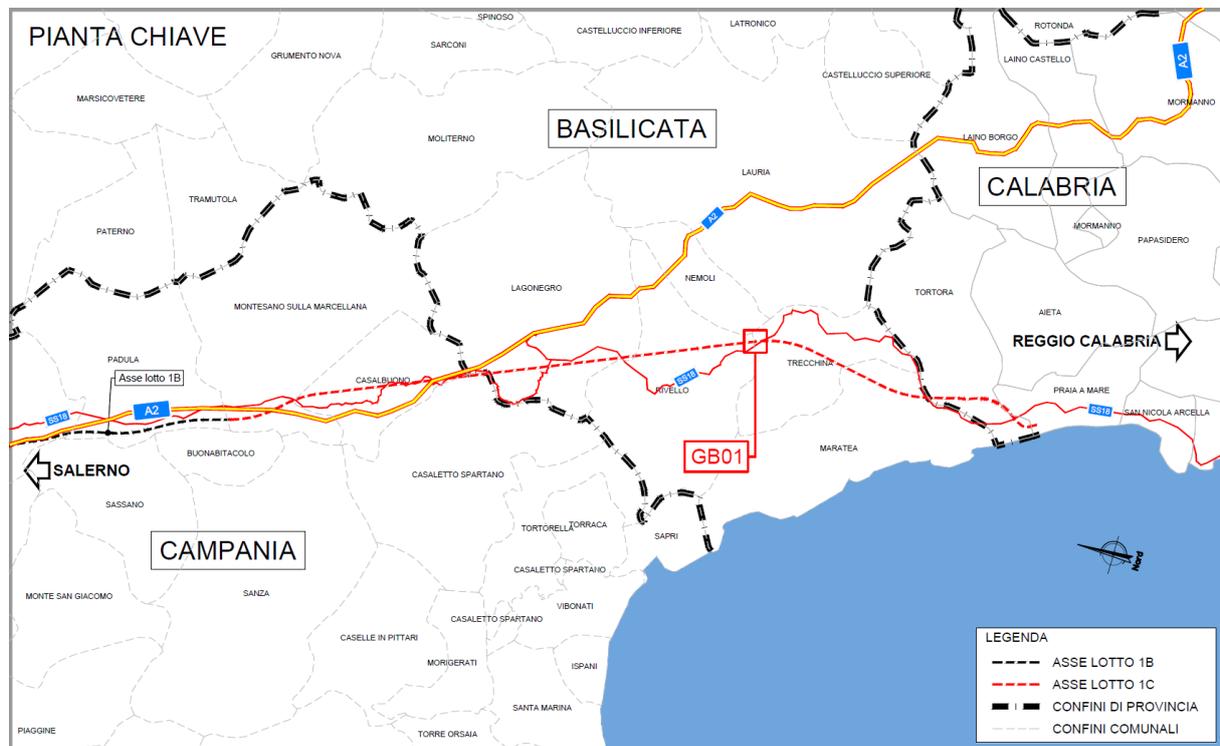


Figura 1-1: Lotto 1C Salerno-Reggio Calabria con ubicazione planimetrica del versante oggetto di studio

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Studio dei movimenti franosi e dimensionamento preliminare opere di stabilizzazione	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000 001	REV. A

2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

2.1 Normative e manuali

- [N.1]. Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 20.2.2018, Supplemento Ordinario n.30;
- [N.2]. Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici recante “Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”;
- [N.3]. RFI DTC SI CS MA IFS 001 del 2021- “Manuale Di Progettazione Delle Opere Civili”;
- [N.4]. RFI DTC SI CS SP IFS 004 del 2021-Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – “Opere in terra e scavi” – RFI.
- [N.5]. UNI EN 1992-1: Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo
- [N.6]. UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [N.7]. UNI EN 1998-5: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

2.2 Elaborati progettuali

- [D.1]. ITALFERR-Relazione geotecnica opere all’aperto (Doc. RC2AC1R11GEGE0006001)
- [D.2]. ITALFERR- Interventi di stabilizzazione dei versanti (Doc. RC2AC1R11PZGB0100001).
- [D.3]. ITALFERR-Sistema di monitoraggio versanti (Doc. RC2AC1R11PZGB0100002).
- [D.4]. ITALFERR-Profilo geotecnico (da Doc. RC2AC1R11L5GE0006001 a RC2AC1R11L5GE0006004, 4 tavole).
- [D.5]. ITALFERR-Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica (Doc. RC2AC1R69RGGE0001001)
- [D.6]. ITALFERR – Indagini Geognostiche: Sondaggi ordinari (Doc. RC2AC1R69SGGE0005001).
- [D.7]. ITALFERR – Indagini Geognostiche: Prove di Laboratorio (Doc. RC2AC1R69PRGE0005001).
- [D.8]. ITALFERR – Indagini Geognostiche: Indagini Geofisiche (Doc. RC2AC1R69IGGE0005001).

2.3 Letteratura scientifica

- [B.1]. Hungr, O., Leroueil, S., & Picarelli, L. (2014). The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11(2), 167-194.
- [B.2]. Duncan, J. M., Wright, S. G., & Brandon, T. L. (2014). *Soil strength and slope stability*. John Wiley & Sons.
- [B.3]. Morgenstern, N. U., & Price, V. E. (1965). The analysis of the stability of general slip surfaces. *Geotechnique*, 15(1), 79-93.

- [B.4]. Chen, Z. Y., & Morgenstern, N. R. (1983). Extensions to the generalized method of slices for stability analysis. *Canadian Geotechnical Journal*, 20(1), 104-119.
- [B.5]. Desideri, A., Miliziano, S., & Rampello, S. (1997). Drenaggi e gravità per la stabilizzazione dei pendii. *Hevelius*.
- [B.6]. Ellis, E. A., Durrani, I. K., & Reddish, D. J. (2010). Numerical modelling of discrete pile rows for slope stability and generic guidance for design. *Geotechnique*, 60(3), 185-195.
- [B.7]. Dusko Hadzijanec Ardiaca. MOST Engineers (2009). Mohr-Coulomb parameters for modelling of concrete structures. *Plaxis Bulletin* 1 Spring issue.

2.4 Software e codici utilizzati

Per i calcoli e le modellazioni di cui alla presente relazione sono stati utilizzati i seguenti codici di calcolo:

- Slide2 (Rocscience Inc.) per le analisi di stabilità globale dei versanti.

3 APPROCCIO METODOLOGICO

Lo studio dei movimenti franosi descritto nel presente documento prende le mosse dai risultati dello studio geologico e geomorfologico che fornisce, per il movimento franoso rilevato, una classificazione in funzione della tipologia del cinematisma osservato e dello stato di attività (classificazione proposta da Varnes [B.1]). In Tabella 3.1, sono sintetizzati tali dati per il dissesto rilevato.

Dissesto		
WBS	Tipologia	Attività
GB01	Frana per movimento lento, generato come scivolamento rotazionale che evolve in colamento	Attivo

I risultati dello studio geologico e geomorfologico hanno condotto alla definizione di un modello geologico per il dissesto censito, il quale è stato la base di riferimento per la costruzione del modello geotecnico di versante.

Per la frana attiva in oggetto sono state sviluppate analisi di stabilità, al fine di prevedere interventi di stabilizzazione delle aree strettamente interessate dal dissesto e direttamente interferenti con l'infrastruttura, agendo cioè soltanto sulla porzione di frana che può produrre effetti significativi sulla infrastruttura. Tale scelta è in accordo con i principi espressi dalla Circolare esplicativa delle NTC2018 che recita: *“Nel caso di frane di ampie dimensioni, per le quali non sempre è possibile giungere alla stabilizzazione, gli interventi possono essere progettati con il fine di rallentare l'evoluzione dei fenomeni in atto. In tal caso, l'efficacia di un intervento sul pendio deve essere valutata in termini di riduzione della pericolosità”*.

In sintesi, nei capitoli che seguono vengono riportati per il dissesto in oggetto i seguenti contenuti:

1. **Descrizione generale del dissesto** con sua localizzazione e inquadramento territoriale;
2. **Modello geologico:** metodologia di studio, descrizione del modello, stralcio di planimetria e sezioni geologiche. Viene qui esplicitata la tipologia di movimento (cinematisma e attività) e i suoi dati morfometrici (dimensioni e profondità superfici di scorrimento);
3. **Indagini geognostiche e dati di monitoraggio.** Vengono riassunte sia le indagini disponibili (sondaggi, prove in sito e in laboratorio), sia i dati di monitoraggio (piezometrico e inclinometrico);
4. **Definizione del modello geotecnico.** Vengono riportate le sezioni geotecniche che costituiscono il modello geotecnico di riferimento. In particolare, è stata sviluppata una back-analysis per la individuazione delle condizioni di incipiente instabilità;

5. **Analisi di stabilità post-operam.** Sono state analizzate le condizioni post-operam, considerando attivi sia gli interventi idraulici (trincee drenanti), sia gli interventi strutturali. Tali analisi di stabilità sono state eseguite sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche;
6. **Dimensionamento preliminare degli interventi di stabilizzazione.** Sono descritti i calcoli di dimensionamento preliminare degli interventi considerati nelle analisi di stabilità post-operam del versante.

4 DATI GEOTECNICI DI BASE

4.1 Inquadramento Geotecnico Generale

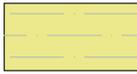
Viene qui riportata una sintesi delle caratteristiche delle unità geotecniche presenti lungo linea in progetto e consultabili, nello specifico, all'interno della Relazione geotecnica delle opere all'aperto [D.1]

Per l'individuazione delle unità geotecniche sono stati analizzati e correlati i dati stratigrafici corrispondenti alle verticali di sondaggio delle diverse campagne di indagine e i risultati delle prove in sito e di laboratorio disponibili.

Sulla base di quanto disponibile si è dunque deciso di far generalmente corrispondere le unità geotecniche con quelle geologiche, fatta eccezione per i depositi b, g1, g2, g3 e a3b, accorpatisi in un'unica unità geotecnica denominata DEP, e delle unità geologiche UAS, scorporata nelle unità geotecniche UAS1 (Argille) e UAS2 (Marne, arenarie e calcari marnosi, argilliti poco consistenti) e PAD, divisa nelle unità geotecniche PADe2 (argille e limi sabbiosi) e PADb (depositi prevalentemente ghiaioso-sabbiosi). Di seguito sono elencate le unità in ordine di età geologica crescente, mostrando il colore corrispondente alla legenda geologica/geotecnica utilizzata per identificarle. I rapporti stratigrafici sono illustrati nei profili geotecnici di linea [D.4].

Tabella 4.1: Schema riassuntivo delle unità geotecniche e relativa corrispondenza con quelle geologiche

UNITÀ GEOLOGICHE	UNITÀ GEOTECNICHE		
Depositi alluvionali attuali (b)	DEP		Questa unità geotecnica comprende i depositi non distinti in base al bacino di pertinenza assimilabili tra loro dal punto di vista della granulometria generalmente grossolano. Depositi ghiaioso-sabbiosi e subordinatamente sabbioso-limosi (b) e sabbie e ghiaie (g1), breccia ad elementi dolomitici grossolanamente gradati (g2) e ghiaie e sabbie (g3).
Depositi collegati ai terrazzi marini (g1, g2 e g3) e Detrito di falda			
Depositi di spiaggia antichi (S1)	S1		Sabbia e ghiaia, sabbie limose, ghiaia fine e sabbia grossolana.
Sistema della Certosa di Padula (PAD)	PADe2		Alternanze di argille grigie e nerastre, limi-sabbiosi passanti a sabbie limose marroni, con lenti ghiaiose e livelli torbosi.
	PADb		Depositi ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi fluviali e di conoide alluvionale costituiti da ghiaie a clasti eterometrici, con matrice limoso-sabbioso-argillosa talora prevalente.
Formazione di Albidona (ABD)	ABD		Clasti di calcareniti fittamente attraversate da vene calcitiche, immersi in una matrice fine costituita da siltiti-argilliti e clasti di ghiaie in abbondante matrice argilloso-limosa. In questa relazione, l'unità ABD sarà trattata come unità terrigena coesiva.

UNITÀ GEOLOGICHE	UNITÀ GEOTECNICHE	
Complesso indifferenziato di Nemoli (UAS)	UAS1	 Argilla sabbiosa-limosa, con presenza di ghiaia; Argilla limosa da consistente a molto consistente, con inclusi millimetrici.
	UAS2	 Marne, arenarie e calcari marnosi; è diffuso un intervallo caotico, costituito da matrice argillosa contenente pezzame di calcareniti, rare brecciole e arenarie. Argilliti poco consistenti.
Dolomia Principale (DPR)	DPR	 Dolomie

Nel seguito si riporta una sintesi dei valori caratteristici dei principali parametri geotecnici assunti come dati di partenza nelle analisi di stabilità, nelle back-analysis e nella progettazione degli interventi. Per la caratterizzazione dei materiali costituenti il corpo di frana si è tenuto conto anche dei risultati delle prove di taglio diretto per la determinazione dell'angolo di attrito residuo.

Nella tabella che segue sono riportati i valori dei parametri meccanici per l'unità geotecnica interessata dal dissesto in condizioni "a riposo", cioè non interessate da cinematismi che abbiano potuto produrre un decadimento delle proprietà meccaniche (condizioni residue).

Tabella 4.2: Parametri geotecnici di progetto

Parametri	UAS1
	
γ [kN/m ³]	19
ϕ [°]	22
c' [kPa]	10-20
c_u [kPa]	200-300
E' [MPa]	20-35
K [m/s]	1E-07 a 1E-06

5 PROCEDURA E METODI DI CALCOLO

Il progetto degli interventi di mitigazione è finalizzato alla messa in sicurezza della nuova infrastruttura ferroviaria in corrispondenza dell'area attraversata dal dissesto. Il dimensionamento preliminare degli interventi è quindi basato sul raggiungimento dei seguenti coefficienti di sicurezza nei confronti della stabilità globale del versante:

- Fattore di sicurezza $FS = 1.2$ in condizioni statiche;
- Fattore di sicurezza $FS = 1.1$ in condizioni sismiche.

Le analisi di stabilità sono condotte secondo una procedura convenzionalmente adottata nella progettazione delle opere infrastrutturali. Tale procedura può essere esplicitata nei seguenti punti:

1. Analisi ante-operam

- i. Back Analysis. Nota la superficie di scorrimento, con questa analisi viene ricercato il valore dell'angolo d'attrito residuo tale per cui si abbia l'innescio del movimento franoso ($FS = 1.0$).

2. Analisi post-operam

- i. Condizioni statiche. Noto l'angolo d'attrito residuo (punto "1a"), viene ricercato il valore minimo di azione stabilizzante (rappresentativo dell'intervento di stabilizzazione) tale per cui si raggiunga un coefficiente di sicurezza di stabilità globale $FS = 1.2$.
- ii. Condizioni sismiche. Viene effettuata un'analisi pseudostatica mediante applicazione dei coefficienti k_h e k_v . Noto l'angolo d'attrito residuo (punto "1a"), viene ricercato il valore minimo di azione stabilizzante (rappresentativo dell'intervento di stabilizzazione) tale per cui si raggiunga un coefficiente di sicurezza di stabilità globale $FS = 1.1$.

Nel seguente paragrafo verrà sinteticamente illustrato il metodo dell'equilibrio limite, utilizzato per le analisi di stabilità dei versanti ante e post-operam. Nei paragrafi successivi verranno descritti i criteri di calcolo adottati per il dimensionamento preliminare degli interventi di stabilizzazione.

5.1 Cenni sul Metodo dell'Equilibrio Limite

Le analisi di stabilità sono condotte mediante il metodo dell'equilibrio limite [B.2], utilizzando la procedura di Morgerstern e Price [B.3]. Tale metodo rientra nei metodi delle strisce, che permettono di calcolare il coefficiente di sicurezza FS del versante a partire dalle equazioni di equilibrio delle singole strisce, in cui il versante stesso viene suddiviso. Con la procedura proposta da Morgerstern e Price è possibile considerare versanti di forma complessa, costituiti da terreni aventi differenti caratteristiche fisiche e meccaniche.

Nella presente fase progettuale le analisi vengono svolte, a favore di sicurezza, su di una sezione del versante ragionevolmente rappresentativa del movimento franoso interagente con l'infrastruttura. Dopo aver imposto una

superficie di scorrimento potenziale, il versante viene suddiviso in n conci mediante $n - 1$ tagli verticali. In Figura 5.1 si riporta una sezione di calcolo di un versante (A) e le corrispondenti azioni applicate al generico concio (B). Le funzioni $y(x)$ e $y_t(x)$ rappresentano, rispettivamente, la superficie di scorrimento e la linea delle pressioni [B.4]. Il piano di campagna, descritto dalla funzione $z(x)$, può presentare un sovraccarico q , di estensione e posizione qualsiasi.

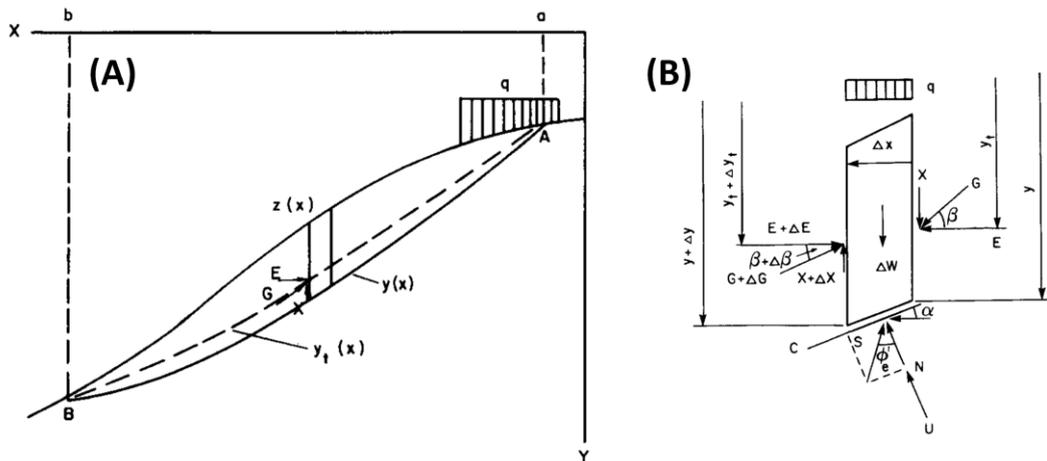


Figura 5.1 – Sezione di calcolo di un versante (A) e azioni applicate al generico concio (B) [B.4].

Il concio i ha una larghezza Δx , e peso ΔW . La corda dell'arco di cerchio alla base è inclinata di un angolo α sull'orizzontale. Le azioni G e $G + \Delta G$, inclinate di un angolo β sull'orizzontale, sono le spinte efficaci agenti ai lati del concio. Alla base agiscono le forze N e U , rispettivamente, la pressione efficace e la pressione idrostatica (entrambe calcolate come componenti normali alla base del concio). La procedura di Morgenstern e Price assume che le azioni di taglio tra le strisce ($X = G \sin \beta$) siano correlate alle azioni normali ($E = G \cos \beta$) mediante la seguente relazione

$$X = \lambda f(x) E$$

dove λ è un fattore di scala incognito e $f(x)$ è una funzione arbitraria. Nel presente progetto è stata utilizzata una funzione $f(x)$ di tipo sinusoidale. Il coefficiente di sicurezza globale può quindi essere definito, in modo semplificato, come

$$FS = \frac{\sum_i (C_i + N_i \tan \phi') \Delta x_i}{\sum_i \Delta W_i \sin \alpha_i}$$

Tale espressione rappresenta dunque il rapporto tra lo sforzo di taglio limite e lo sforzo di taglio agente sulla superficie di scorrimento.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Studio dei movimenti franosi e dimensionamento preliminare opere di stabilizzazione	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000 001	REV. A

5.2 Criteri per il Dimensionamento Preliminare degli Interventi

A seguito di un intervento preliminare di riprofilatura del versante, gli interventi in progetto finalizzati all'incremento di sicurezza sono del tipo:

1. Interventi strutturali:
 - i. Pali plastici di grande diametro.
2. Interventi di drenaggio:
 - i. Trincee drenanti.

Nei paragrafi seguenti vengono descritti nel dettaglio i criteri di calcolo che hanno portato al dimensionamento degli interventi di stabilizzazione

5.2.1 Trincee Drenanti

Il dimensionamento delle trincee drenanti viene eseguito secondo l'approccio proposto da Desideri [B.5]. Secondo tale approccio si considera che la riduzione delle pressioni interstiziali lungo tutta la superficie di scorrimento sia direttamente correlata ad un incremento del coefficiente di sicurezza lungo la superficie di scorrimento stessa. Se esse vengono ridotte ad un valore $u < u_0$ ($\Delta u = u - u_0$), l'incremento del coefficiente di sicurezza è:

$$\Delta F = \frac{-\Delta u \cdot tg\varphi'}{\tau_m}$$

che assume il massimo valore quando si annullano le pressioni interstiziali ($\Delta u_{max} = -u_0$):

$$\Delta F_{max} = \frac{u_0 \cdot tg\varphi'}{\tau_m}$$

L'incremento del coefficiente di sicurezza come precedentemente definito può essere ottenuto solo in corrispondenza di un determinato valore di efficienza idraulica puntuale \bar{E} . Essa viene definita così come segue:

$$\bar{E}(t) = E(t) = \frac{u_0 - u(t)}{u_0} = \frac{\Delta F(t)}{\Delta F_{max}}$$

$$\Delta F(t) = \bar{E}(t) \cdot \Delta F_{max}$$

dove ΔF_{max} è semplicemente ottenuto da un'analisi di stabilità del pendio con pressioni interstiziali nulle lungo la superficie di scorrimento. È quindi possibile rappresentare i risultati ottenuti risolvendo il problema idraulico connesso con l'installazione di un sistema di drenaggio in termini di efficienza idraulica media \bar{E} , essendo essa direttamente correlata all'incremento del coefficiente di sicurezza ΔF .

L'efficienza idraulica di un sistema di trincee drenanti può essere valutata con riferimento allo schema riportato di seguito. Le trincee, disposte secondo le linee di massima pendenza, hanno sezione rettangolare (larghezza \mathbf{B} e profondità \mathbf{H}_0); il piano campagna è orizzontale e le condizioni idrauliche iniziali sono idrostatiche. Lo strato di terreno sede del processo

di drenaggio è omogeneo e isotropo nei riguardi della permeabilità ed è limitato inferiormente da un terreno impermeabile posto a profondità $H = n \cdot H_0$. La soluzione dipende dai rapporti S/H_0 , B/H_0 , H/H_0 .

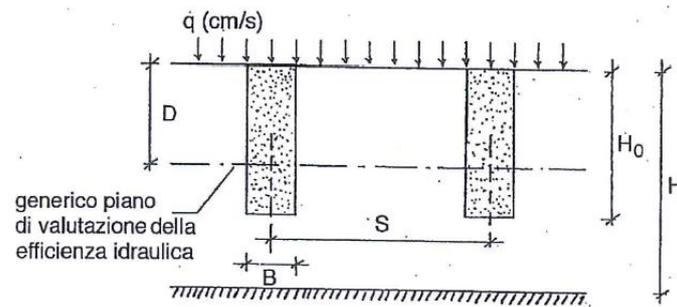


Figura 5-1 - Schema geometrico per dimensionamento preliminare delle trincee drenanti

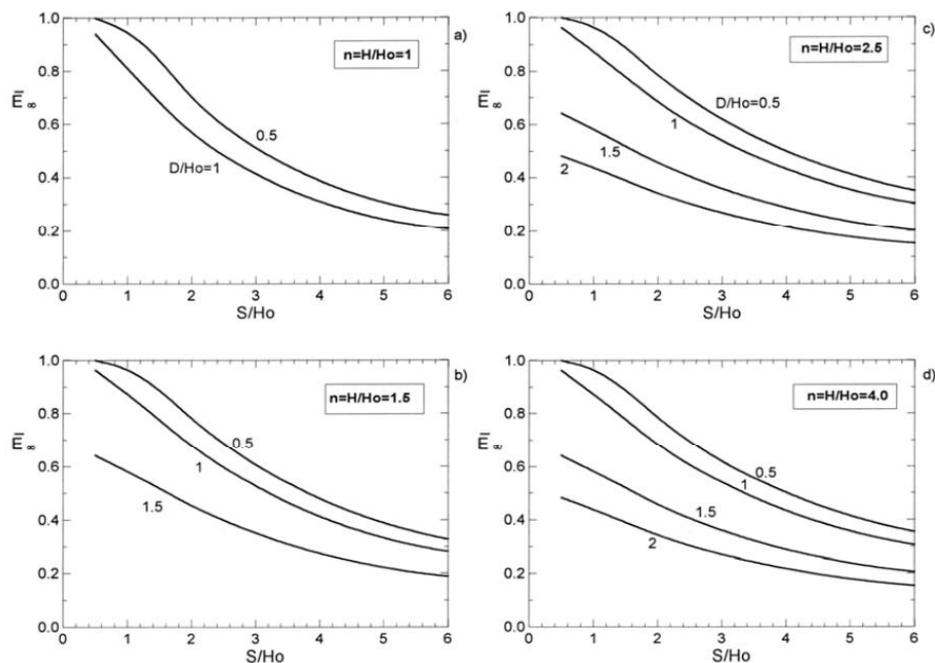


Figura 5-2 - Efficienza idraulica a regime di un sistema di trincee drenanti – lama d'acqua al piano campagna (Desideri et al. [B.5])

5.2.2 Pali plastici

La modellazione dei pali plastici viene effettuata tramite l'implementazione dei parametri meccanici del calcestruzzo in termini coesione e angolo di attrito secondo il criterio di Mohr-Coulomb. In particolare, i parametri sono stati ottenuti,

in accordo con l'Eurocodice 2, a partire dalla formulazione proposta per la valutazione della resistenza a taglio per elementi non armati a taglio:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d \geq (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d$$

Da cui si può stabilire:

$$\tau_{Rd,c} = V_{Rd,c} / b_w d = v_{min} + k_1 \sigma_{cp}$$

Che può essere ricondotta alla forma del criterio di rottura di Mohr-Coulomb ponendo:

$$\tau = \tau_{Rd,c}$$

$$c = v_{min}$$

$$tg\varphi = k_1$$

$$\sigma' = \sigma_{cp}$$

Dove, secondo l'EC-2:

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$$

Si considera $k = 2,0$ e $k_1 = 0,15$, perciò:

$$c = 0.035 2^{3/2} f_{ck}^{1/2} \approx \sqrt{\frac{f_{ck}}{100}} [Mpa]$$

$$tg\varphi = 0,15 \rightarrow \varphi = 9^\circ$$

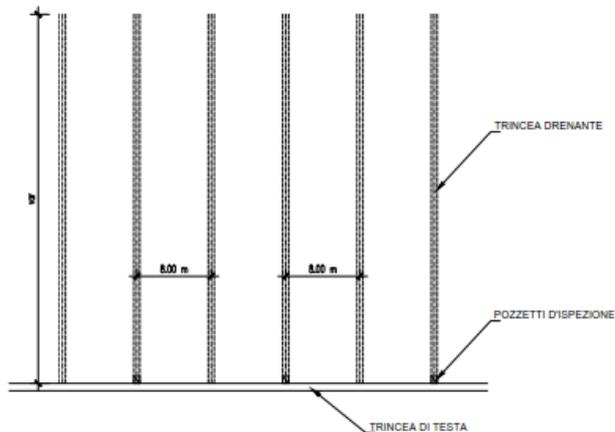
6 DESCRIZIONE DELLE OPERE DI STABILIZZAZIONE

In questo capitolo si riportano le caratteristiche delle opere di stabilizzazione del versante interessato da movimenti franosi. Tali opere sono state scelte in relazione alla tipologia di dissesto, al suo stato di attività, al grado di interferenza con la linea in progetto e tenendo conto dei risultati delle analisi di stabilità, descritte nei capitoli seguenti.

In Figura 6-1, sono riportate le caratteristiche geometriche delle trincee drenanti in progetto.

Le trincee presentano un'altezza massima di 5 m e sono disposte ad interasse di 8 m. Lo scavo viene rivestito con un geotessile con funzione di filtro, mentre alla base della trincea viene posto un tubo microfessurato in PVC, anch'esso rivestito con geotessile.

SCHEMATICO DISPOSIZIONE PLANIMETRICA
Scala 1:400



SEZIONE TIPOLOGICA
Scala 1:10

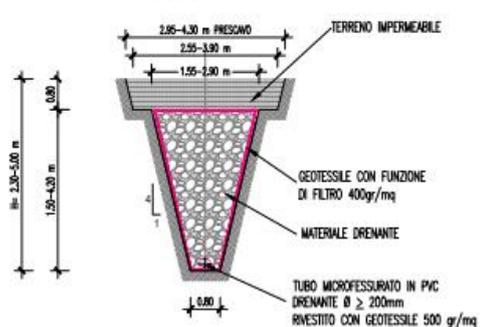


Figura 6-1 – Disposizione planimetrica e sezione tipologica delle trincee drenanti

Le trincee drenanti sono utilizzate per migliorare le condizioni di stabilità del versante attraverso la riduzione delle pressioni interstiziali e, dunque, l'incremento della resistenza a taglio lungo le superfici di scorrimento considerate nella analisi di stabilità.

I pali plastici rappresentano un intervento di consolidamento dall'alto necessario per la realizzazione delle opere d'imbocco delle gallerie naturali, ma, in base alla loro disposizione, possono essere sfruttati anche come intervento strutturale per la stabilizzazione di dissesti, come nel caso preso in esame nel successivo capitolo 7. Essi sono caratterizzati da un diametro D1000, tra di loro secanti, ed un'estensione in senso longitudinale rispetto all'asse della galleria dipendente dal raggiungimento delle condizioni di stabilità richieste per ciascuno stato limite indagato.

Si riporta di seguito lo schema planimetrico adottato per gli elementi ora descritti:

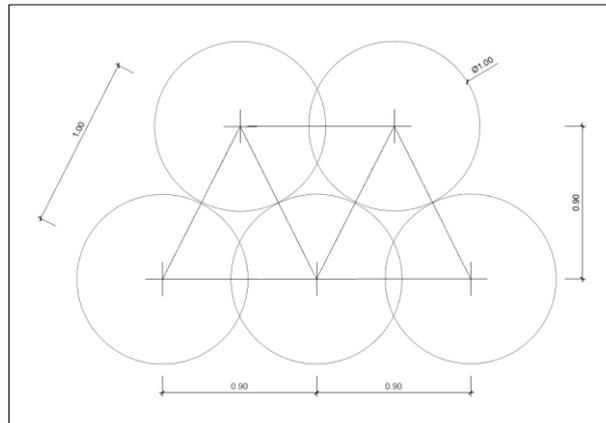


Figura 6-2 - Schema pali plastici

7 FRANA GB01

La frana in oggetto è situata nel comune di Trecchina ed è compreso tra le progressive 28+680 e 28+780 circa.

Il movimento interessa esclusivamente una strada comunale, che, attualmente, non presenta lesioni o segni di deformazione.

Per quanto concerne la linea in progetto, il movimento oggetto dell'analisi, pressoché parallelo alla linea, è interferente con l'imbocco lato SA della GN02 (GA05).

Nel suo complesso, il corpo di frana è caratterizzato da un'inclinazione di circa 12°.

Dallo studio geologico-morfologico è emerso che il versante è interessato da un movimento lento, generato come scivolamento rotazionale che evolve in colamento.

Il movimento interessa unicamente l'unità geologica UAS (complesso indifferenziato di Nemoli).

Di seguito sono riportate alcune foto rappresentative del sito in esame.



Figura 7-1: Panoramica del versante interessato dalla frana



Figura 7-2: Dettaglio della strada che attraversa la frana

7.1 Modello Geologico

A seguire si riporta in forma sintetica quanto emerso dallo studio geologico. In Figura 7-3 e in Figura 7-4 sono riportati, rispettivamente, la planimetria e la sezione geologica del dissesto in esame.

Tipologia di dissesto	<i>Frana per movimento lento, generato come scivolamento rotazionale che evolve in colamento.</i>		
Fonte	<i>Misure inclinometriche</i>		
Codice IFFI (se presente)	-		
Stato di attività da cartografia /rilevato	<i>Attivo (da misure sonda inclinometrica)</i>		
Dati morfometrici stimati			
Larghezza (m)	60	Inclinazione versante (°)	12
Lunghezza (m)	100	Quota superiore del coronamento	250 m s.l.m.
Area (m²)	6000	Esposizione del versante	NNE
Profondità (m)	4-7 m (dato ricavato da inclinometro)		

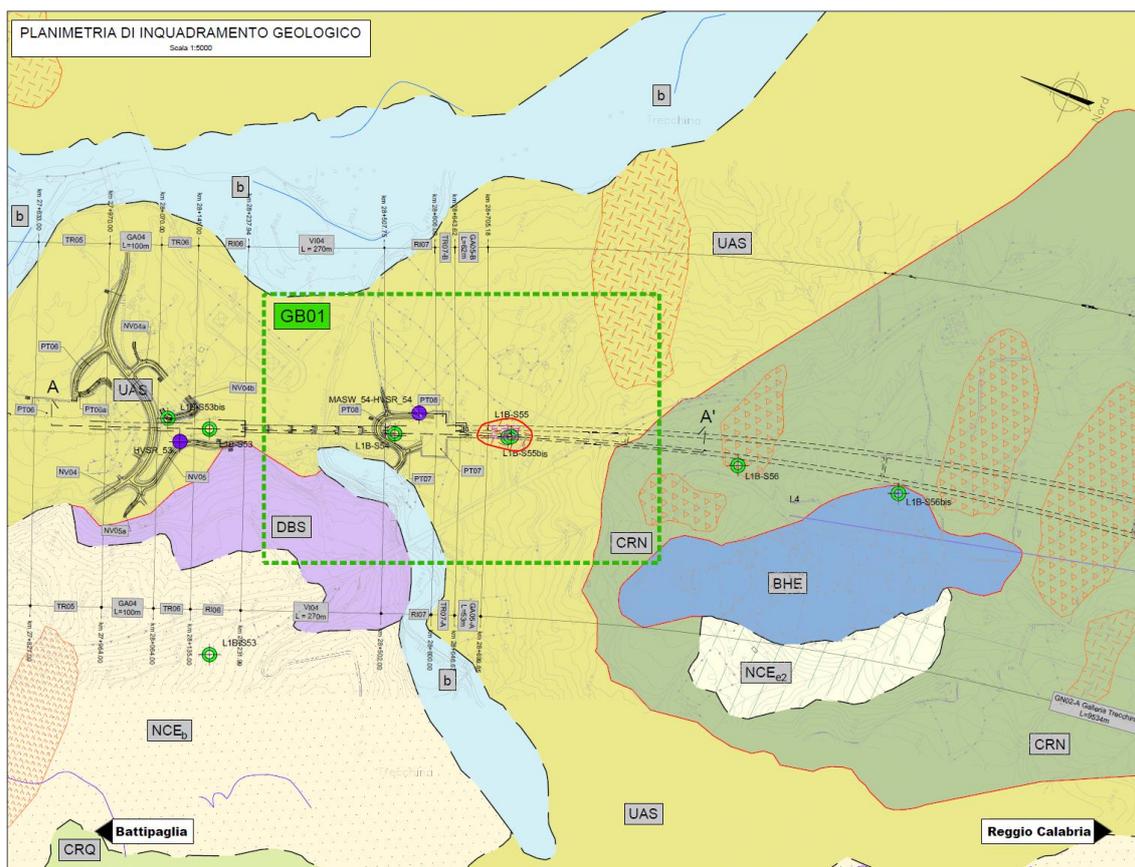


Figura 7-3 - GB01: dettaglio della planimetria di inquadramento geologico

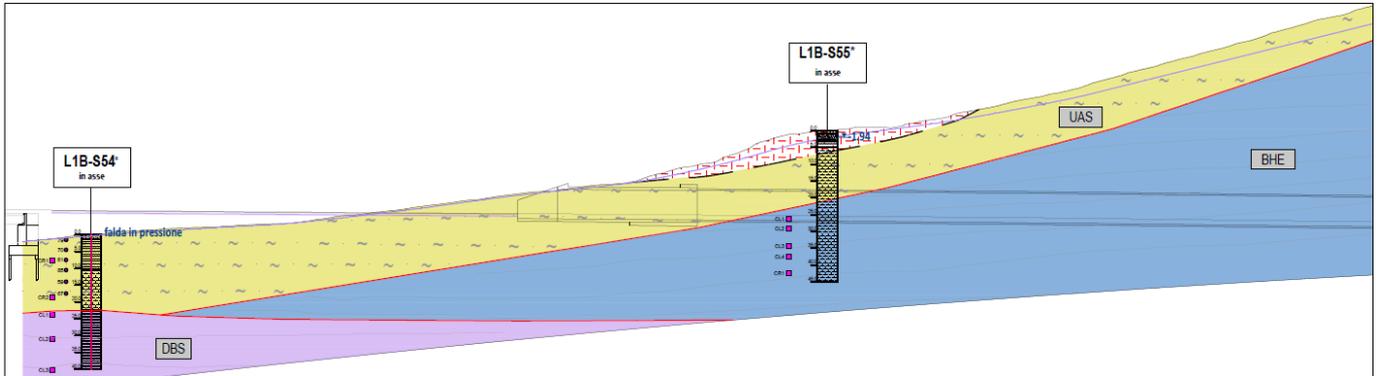


Figura 7-4 - GB01: dettaglio della sezione geologica AA'

7.2 Indagini di riferimento e dati di monitoraggio

Le indagini disponibili sino alla data di redazione del presente documento, sono di seguito riassunte:

- n° 3 sondaggi: S54 (2021), S55 (2021) e S55bis (2021);
- i sondaggi S54 e S55 sono attrezzati con un piezometro a tubo aperto;
- n° 1 MASW_54 E n° 1 HVSR_54;

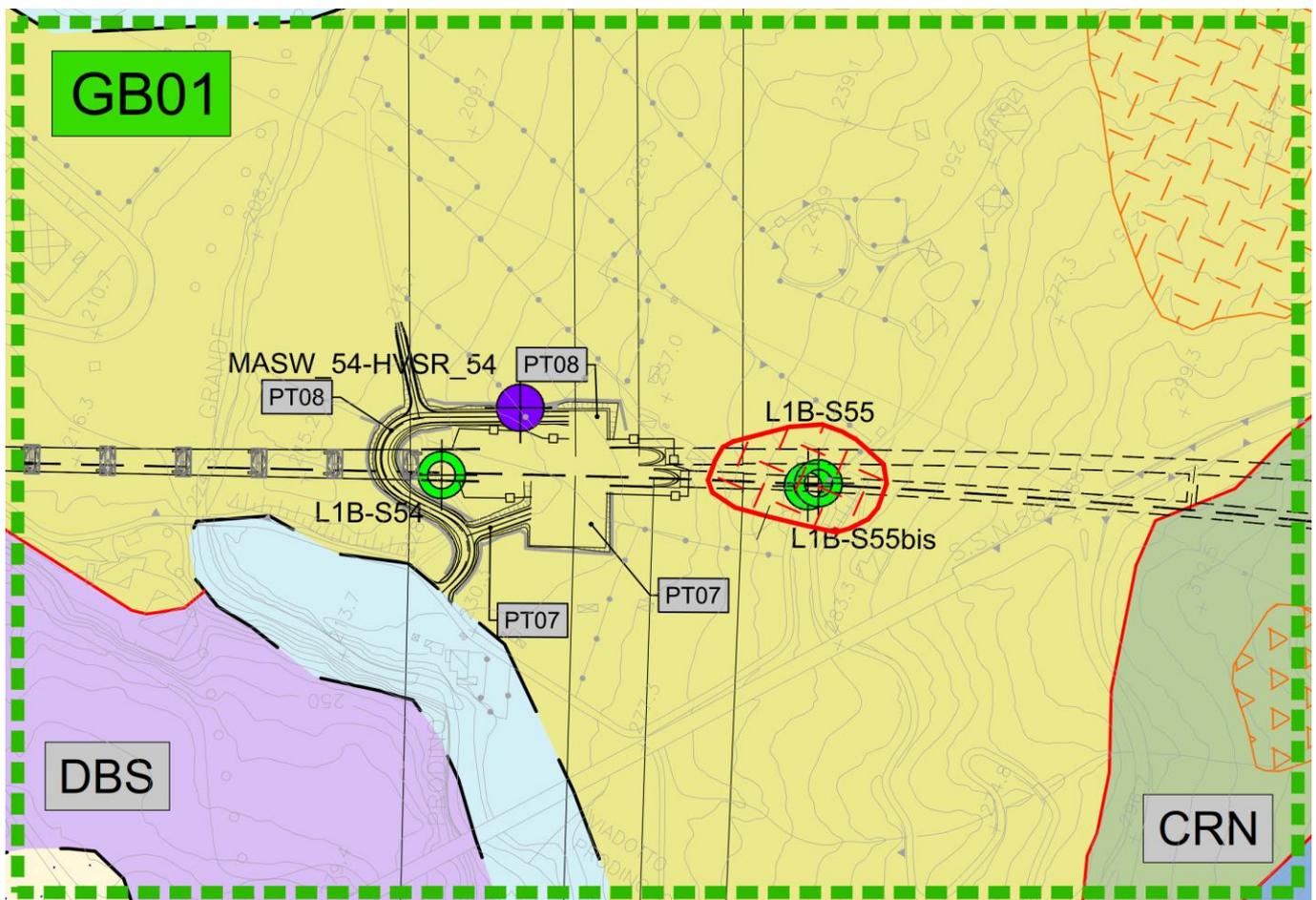


Figura 7-5 - GB01: Planimetria ubicazione indagini

Le letture inclinometriche del sondaggio S55bis, aggiornate a maggio 2023, sono riportate di seguito:

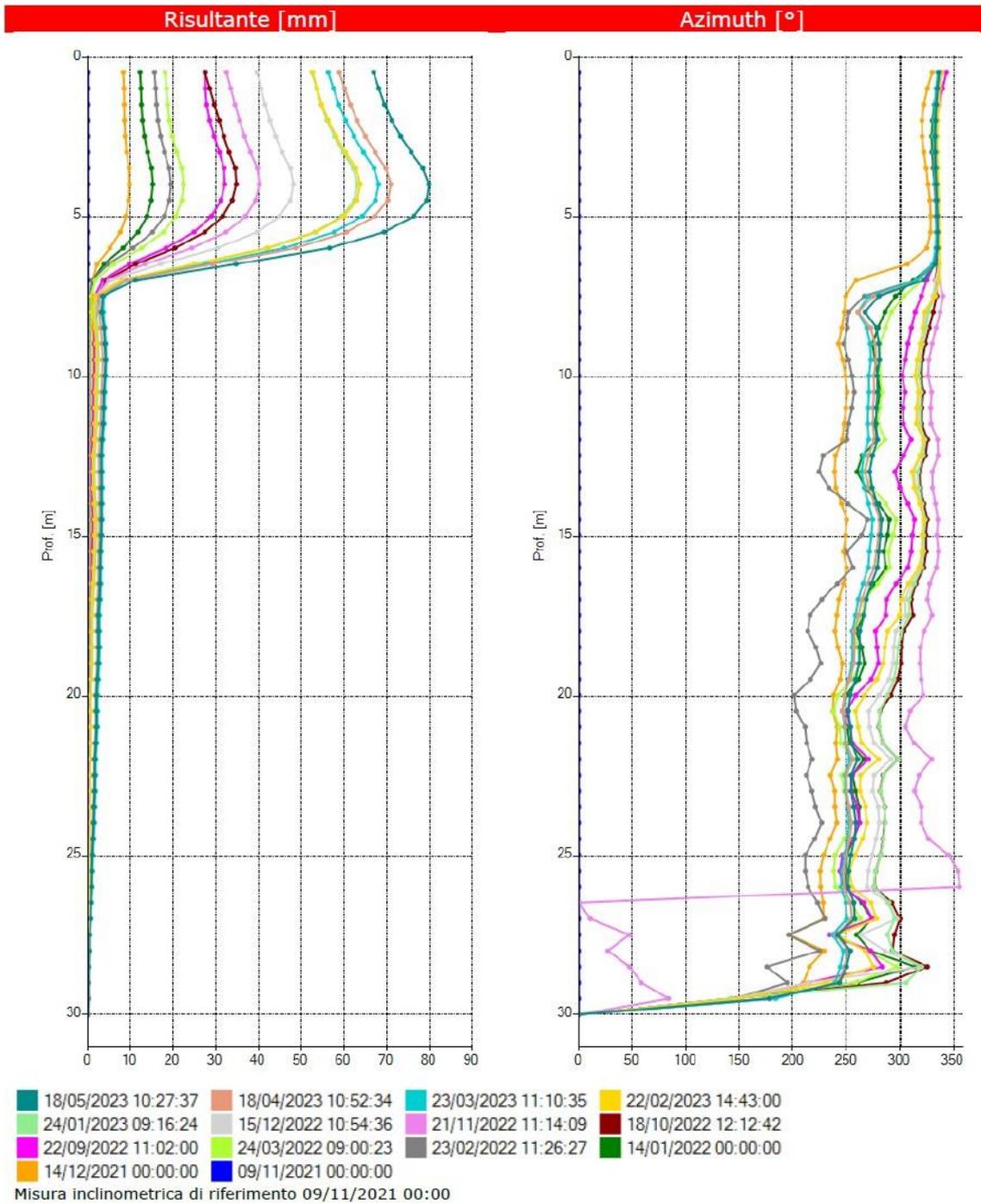


Figura 7-6 – GB01: Dati inclinometrici sondaggio S55bis

Dalle letture dei dati inclinometrici ad oggi disponibili, si può evidenziare che i maggiori spostamenti si registrano in prossimità dei primi metri di profondità (da 0-4m dal piano di campagna). Tali risultati sono in linea con quanto ricostruito nel modello geologico per il dissesto di tipo attivo.

Per quanto concerne la quota della falda, le letture piezometriche mostrano la presenza di una falda ubicata a qualche metro di profondità dal piano campagna. Si evidenzia inoltre che alcune letture evidenziano una risalita della falda in alcuni periodi dell'anno. Viene quindi ipotizzato, coerentemente con il modello geologico di riferimento, che in occasione di eventi pluviometrici intensi si verifichi la saturazione dei livelli più superficiali con risalita della falda fino al piano campagna.

A seguire si riportano in figura i dati piezometrici dei sondaggi S54 e S55.

Tabella 7-1 Letture piezometriche effettuate

Sondaggio	Piezometro			Soggiacenza (m da p.c.)			
	Codice	Tipo*	Tratto fenestrato (m da p.c.)	Tratto cieco (m da p.c.)	Novembre 2021	Gennaio 2022	Marzo 2022
L1B-S54	TA	0-20	20-40	p.c.	p.c.	p.c.	p.c.
L1B-S55	TA	30-42	0-3 e 42-45	-3.05	-2.73	-2.9	-4.29

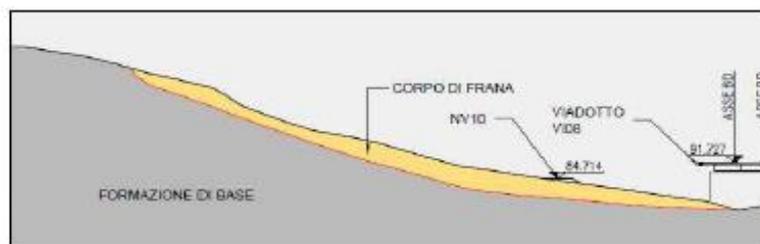
*TA = Tubo Aperto / CC = Celle di casagrande

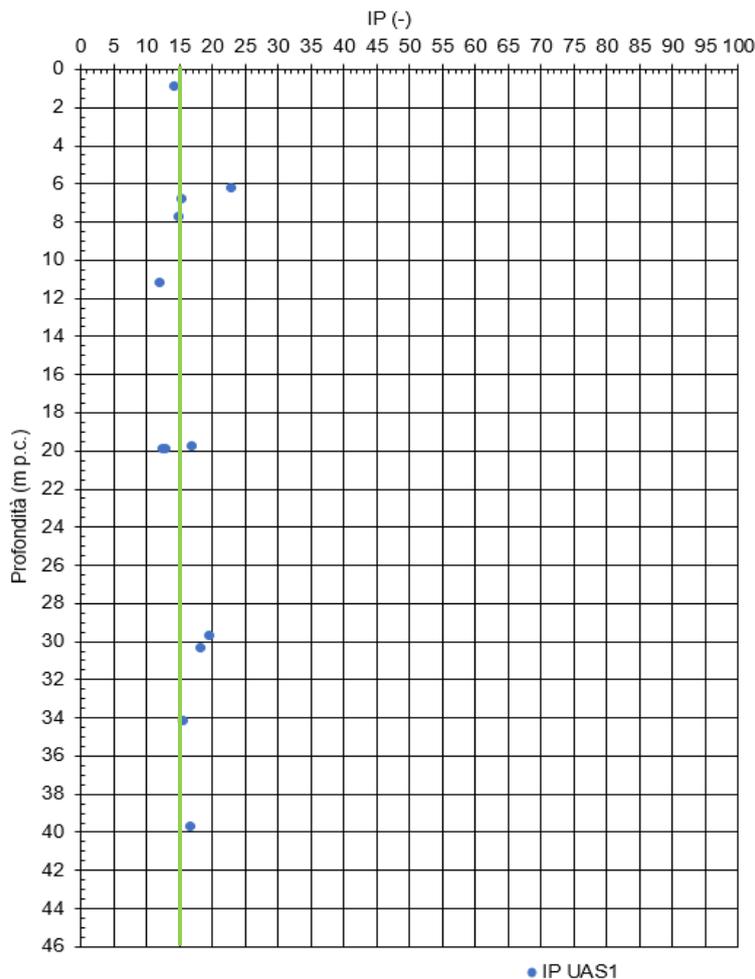
Sondaggio	Soggiacenza (m da p.c.)						
	Novembre 2022	Dicembre 2022	Gennaio 2023	Febbraio 2023	Marzo 2023	Aprile 2023	Maggio 2023
L1B-S54	p.c.	p.c.	p.c.	p.c.	p.c.	p.c.	p.c.
L1B-S55	-2.23	-1.94	-2.35	-3.18	-3.05	-2.66	-2.15

Il valore dell'angolo d'attrito residuo della coltre di frana, determinato sulla base dell'indice di plasticità, è riportato di seguito:

L'angolo d'attrito residuo è stato definito sulla base dell'indice di plasticità noto per la formazione di base secondo la formula di Kanji, 1974 riportata in seguito:

$$\phi'_R = \frac{46,6}{I_p^{0,446}}$$





IP	ϕ'_R
10	16,7
15	13,9
20	12,2
25	11,1

Si ipotizza quindi un valore di angolo d'attrito residuo compreso tra 12° e 16°.

I risultati in termini di resistenza residua riportati in tabella sono stati criticamente analizzati e posti a confronto con il valore determinato tramite specifica back-analysis.

7.3 Definizione del Modello Geotecnico

Sulla base del modello geologico e dell'interpretazione dei risultati delle prove in sito e in laboratorio, nonché dello sviluppo di alcune analisi a ritroso (si veda il paragrafo 7.3.1), è stato ricostruito il modello geotecnico del dissesto.

La perimetrazione della frana studiata, il cui movimento è ragionevole ipotizzare sia direttamente interagente con le opere, è illustrata, con tratto rosso, in Figura 7-7.

L'unità geotecnica interessata dal cinematisma studiato è il UAS1, i cui parametri meccanici e idraulici sono riportati nel capitolo di "Inquadramento e caratterizzazione geotecnica".

L'angolo d'attrito residuo, pari a 17° per la superficie di scorrimento analizzata, è stato definito sulla base della back analysis di seguito riportata.

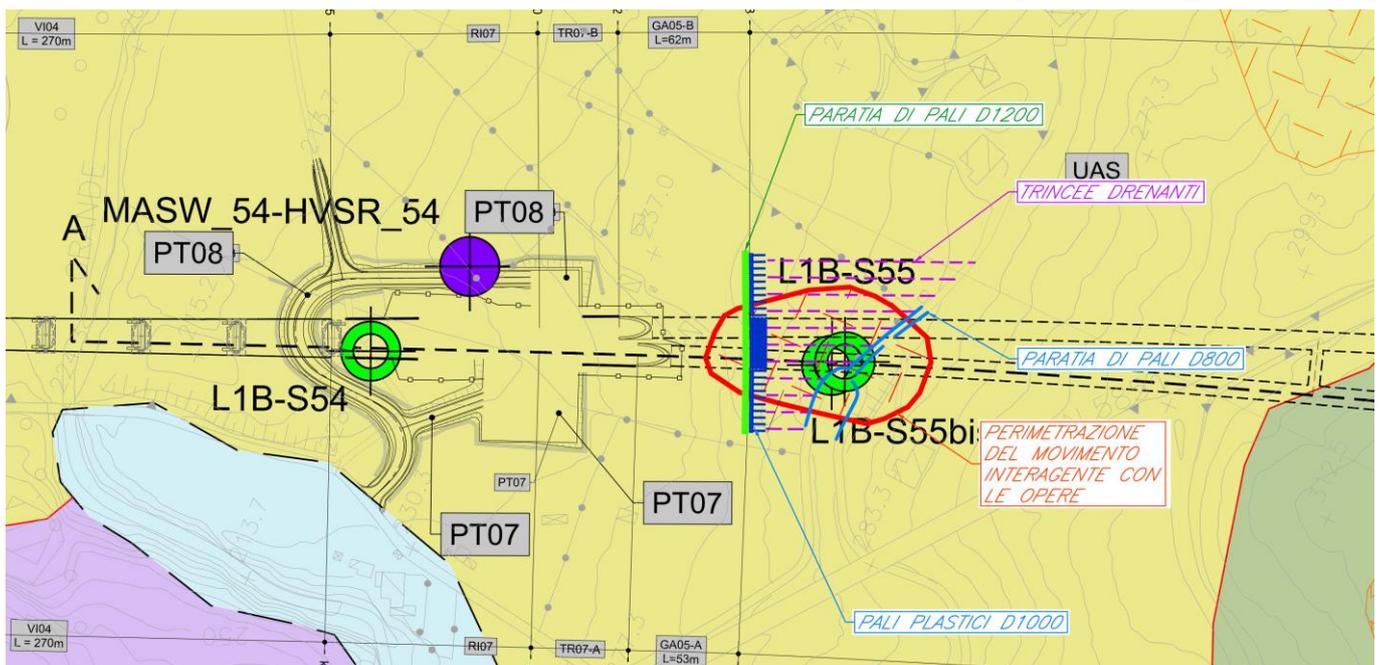


Figura 7-7 - GB01: perimetrazione area interagente con le opere

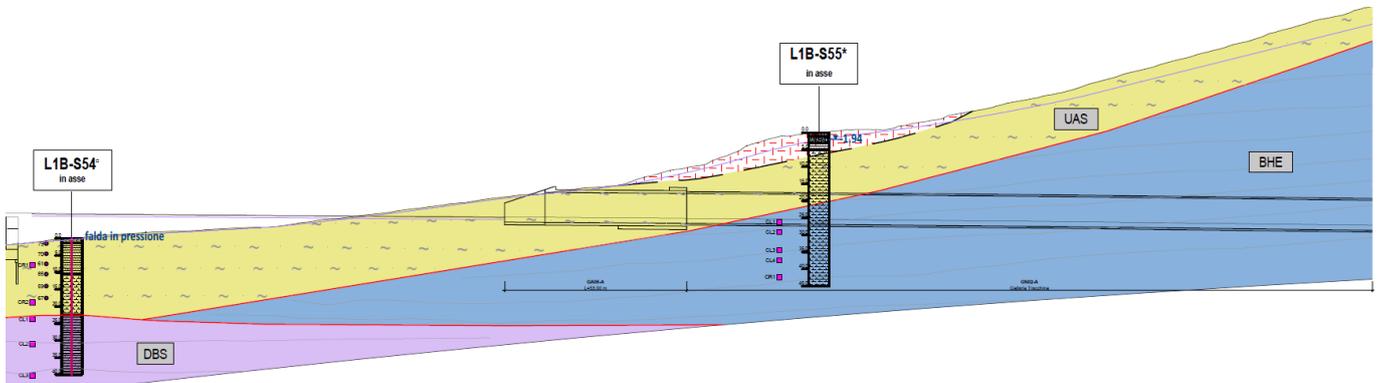


Figura 7-8 – GB01: sezione geotecnica con indicazione delle superfici di scorrimento analizzate

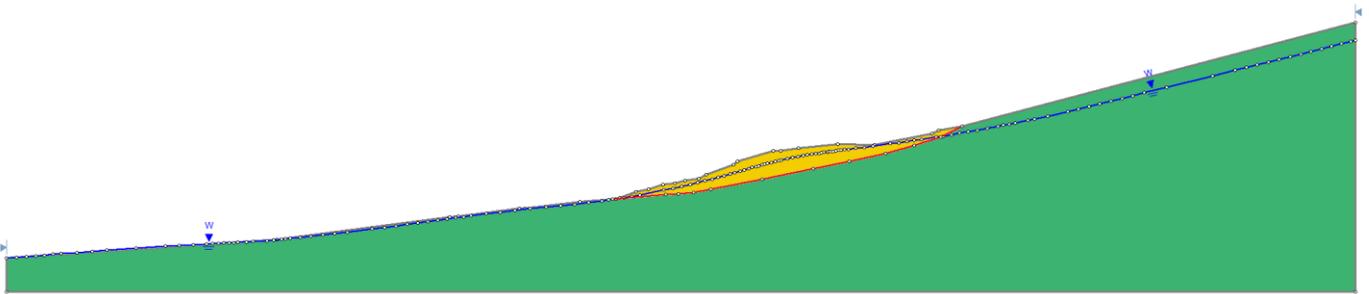


Figura 7-9 – GB01: modello di calcolo

7.3.1 Analisi EQL – Back Analysis

La back analysis è stata condotta sulla superficie di scorrimento interferente con la linea in progetto, limitata a monte e a valle secondo le evidenze fornite dal rilevamento geologico.

Nel dettaglio si registra un valore massimo di spostamento ad una profondità compresa tra 4.50 e 5.00 metri, con la superficie di scivolamento che viene cautelativamente individuata ad una profondità compresa tra 6.00 e 7.00 metri.

Sulla base delle letture di soggiacenza nel sondaggio S55, la falda è posta ad una profondità di -1.9 metri dal piano campagna.

Si è osservato che considerando il livello della falda a p.c., non fosse possibile raggiungere un fattore di sicurezza unitario corrispondente alla configurazione incipiente della frana, per cui si può supporre che rispetto allo stato attuale si sia già verificato un primo innesco del dissesto con un angolo d'attrito pari a 22° caratterizzante l'unità UAS.

L'angolo d'attrito residuo ottenuto dalla back analysis è pari a 17° per la superficie considerata (FS=1.03).

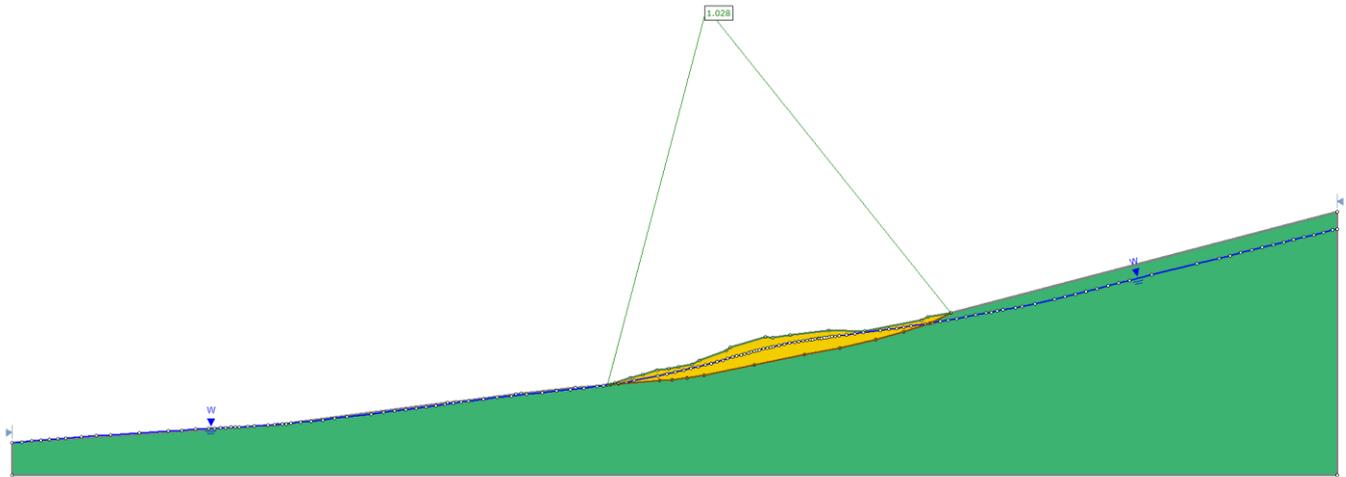


Figura 7-10 – GB01: Modello per Back Analysis del dissesto.

7.3.2 Analisi EQL – Post Operam

Nelle analisi all'equilibrio limite post-operam sono considerati gli interventi di stabilizzazione previsti per il dissesto in oggetto. Gli interventi previsti sono rappresentati in planimetria (Figura 7-11) e in sezione (Figura 7-12) e possono essere sinteticamente riassunti in:

- Riprofilatura del versante;
- Trincee drenanti con altezza massima di 5m ed interasse di 8m;
- Pali plastici secanti D1000 di estensione in senso longitudinale rispetto all'asse della galleria pari a 8m.

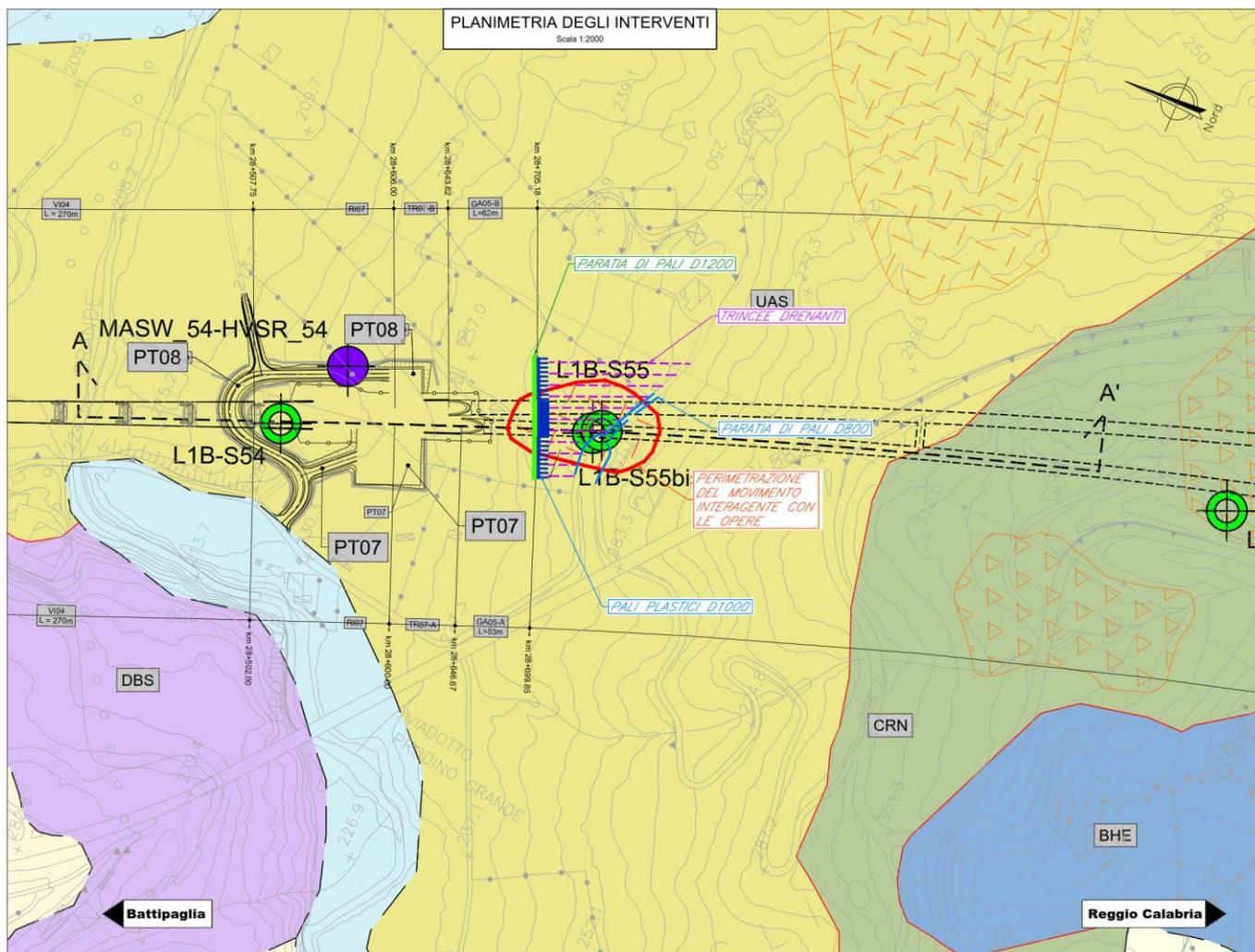


Figura 7-11 – GB01: Planimetria degli interventi

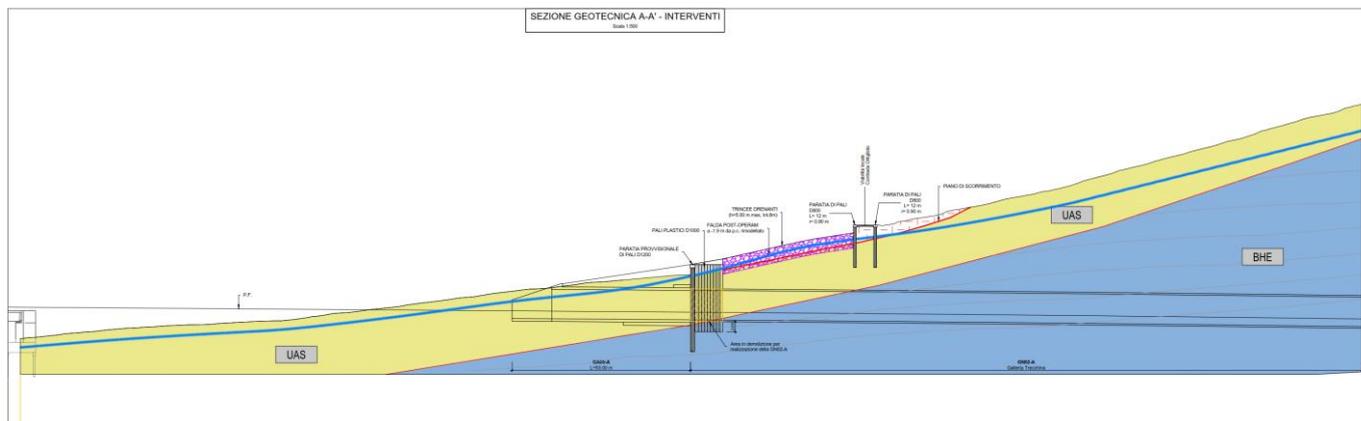


Figura 7-12 - GB01: particolare della sezione geotecnica con gli interventi di stabilizzazione

La quota di falda post-operam è stata posta a 2.6 m dal livello dello stato di fatto geologico, coerentemente con il dimensionamento preliminare delle trincee drenanti riportato al paragrafo 7.4.1. Pertanto, considerando la rimodellazione del versante, la falda è posta a 1.9 m dal p.c. rimodellato.

In figura Figura 7-13, è riportato il risultato dell'analisi effettuata per lo stato limite **SLU statico** sulla superficie di scorrimento il cui coefficiente di sicurezza raggiunto è di **FS=2.175**.

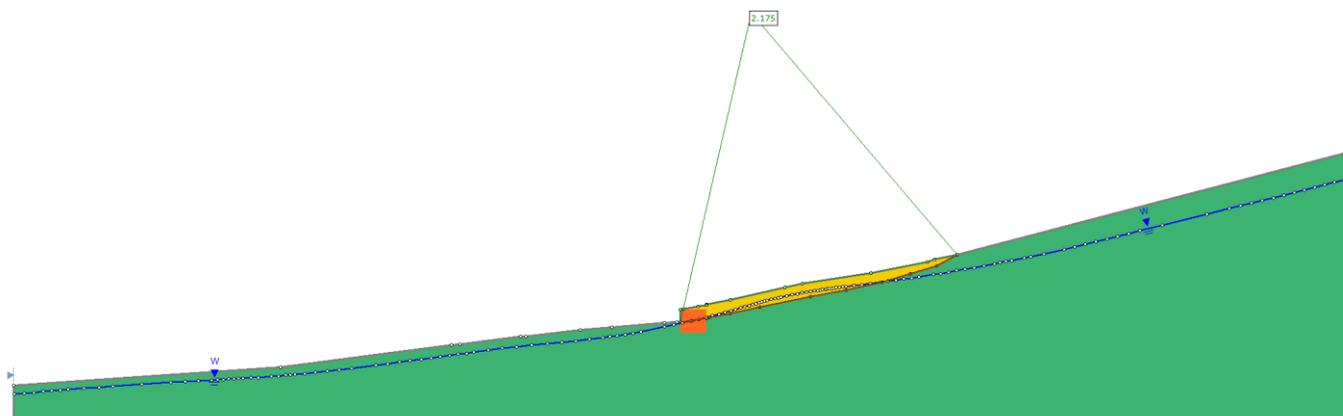


Figura 7-13 - GB01: FS post operam - **SLU statiche**

In figura Figura 7-14, è riportato il risultato dell'analisi effettuata per lo stato limite **SLV sismico** sulla superficie di scorrimento il cui coefficiente di sicurezza raggiunto è di **FS=1.416**.

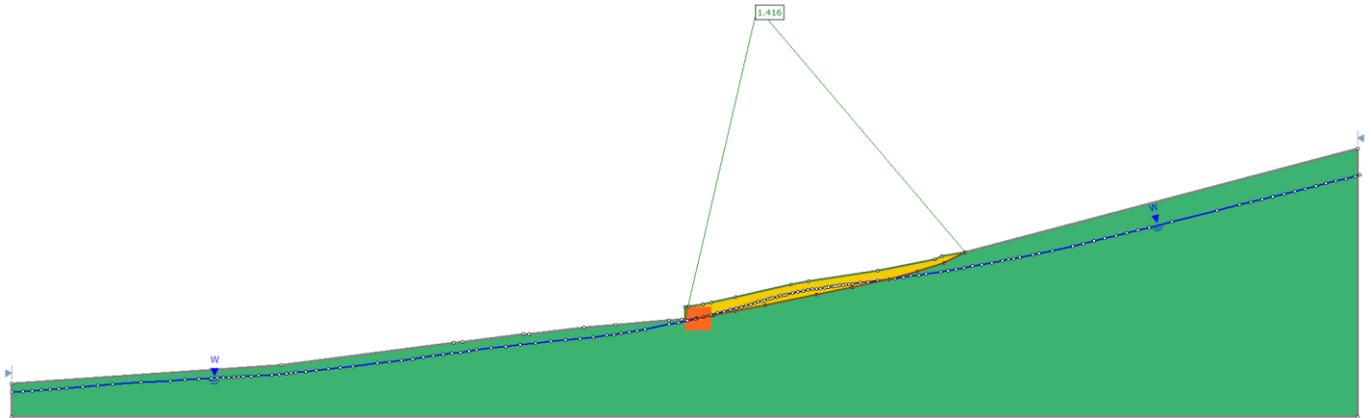


Figura 7-14 - GB01: FS post operam – **SLV sismiche** (analisi pseudostatica - $k_h=0.113$; $k_v=0.057$)

7.4 Dimensionamento preliminare degli interventi

7.4.1 Verifica trincee drenanti

Si riportano i risultati delle verifiche effettuate sulle trincee drenanti ipotizzate per il dissesto in esame, eseguite facendo riferimento al metodo di Desideri et al. (1997).

Facendo le seguenti ipotesi:

- $H/H_0 = 1$ ossia altezza trincea pari all'altezza dello strato permeabile (spessore coltre in frana);
- $D/H_0 = 1$ ossia l'efficienza viene valutata a base della trincea;
- $S = 8$ m interasse fissato tra le trincee;

Considerando lo spessore della coltre in frana pari a 4.4 m, il rapporto $S/H_0 = 1.82$. Noto tale rapporto, viene calcolata l'efficienza della trincea:

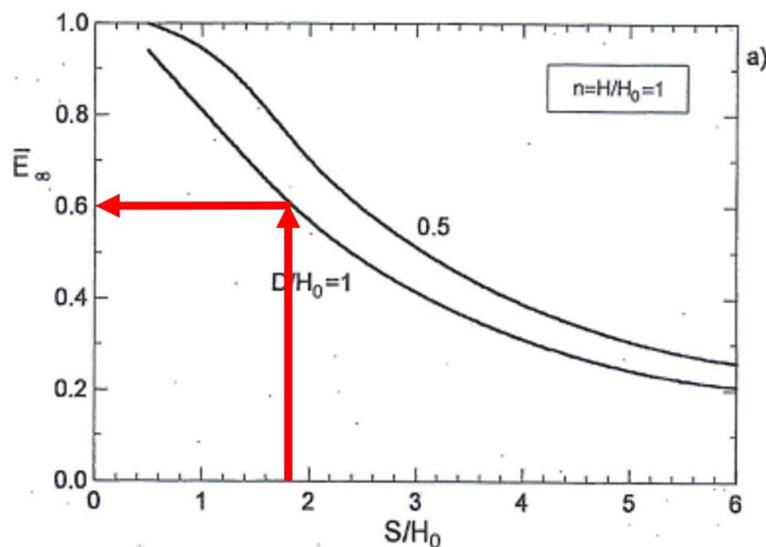


Figura 7-15 – GB01: Abaco per il calcolo dell'efficienza delle trincee drenanti (Desideri et al., 1997)

A partire dal valore di efficienza ricavato, si calcola la profondità finale della falda, che risulta pari a 2.6 m dal livello iniziale.

7.4.2 Modellazione pali plastici

Per la modellazione dei pali plastici è stato adottato un terreno caratterizzato da un angolo d'attrito di 9° ed una coesione di 150 kPa, corrispondente ad una resistenza caratteristica a compressione f_{ck} di circa 2,30 Mpa.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Studio dei movimenti franosi e dimensionamento preliminare opere di mitigazione	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000 001	REV. A

8 CAMPAGNA INDAGINI INTEGRATIVA E PIANO DI MONITORAGGIO DEI VERSANTI

Nel seguito viene illustrato il sistema di monitoraggio geomorfologico e geotecnico-strutturale per l'area interessata dal movimento analizzato nei paragrafi precedenti.

In particolare, il presente piano riguarda l'individuazione della strumentazione di monitoraggio e la definizione della frequenza delle letture.

Nell'elaborato grafico che costituisce il progetto di monitoraggio per l'area in frana (RC2AC1R11PZGB0100002) vengono indicate: l'ubicazione planimetrica della strumentazione prevista e la frequenza di acquisizione dei dati *ante-operam*, in corso d'opera e *post-operam*, secondo la seguente definizione delle tre fasi:

- *ante operam*: durata intesa come tempo che intercorre tra l'affidamento dei lavori e l'effettivo inizio degli stessi sulla frana competente. In tale durata è compreso il tempo per la redazione del Progetto Esecutivo;
- *Corso d'opera*: durata dei lavori competenti la realizzazione degli interventi sulla singola frana;
- *post operam*: durata intesa come tempo che intercorre tra il completamento degli interventi sulla singola frana e il termine dei lavori complessivi sulla linea.

Durante le successive fasi di progettazione e in corso d'opera le assunzioni fatte in questa fase di progettazione andranno verificate e aggiornate, valutando la possibilità di incrementare o ridurre le strumentazioni e la frequenza delle letture, in funzione del comportamento registrato.

Le caratteristiche tecnologiche della strumentazione e le modalità di installazione indicate nei successivi paragrafi possono essere migliorate in funzione di quanto disponibile commercialmente e di eventuali accorgimenti operativi.

In tutti i casi, le variazioni dovranno comunque garantire la funzionalità e l'efficacia di quanto installato e la significatività delle misure acquisite, nei riguardi dei criteri e delle necessità progettuali.

Il sistema di monitoraggio è stato definito in modo da poter fornire gli elementi necessari ad una corretta valutazione in corso d'opera, al fine di poter intervenire con eventuali azioni correttive da adottare qualora ci si discosti dalle previsioni progettuali.

8.1 Criteri generali per il progetto di monitoraggio

Per l'area interessata dal dissesto analizzato nei paragrafi precedenti, è prevista l'installazione di una specifica strumentazione finalizzata al monitoraggio dell'evoluzione dei movimenti franosi e degli effetti sulle opere di nuova realizzazione.

Per definire la tipologia di monitoraggio si è fatto riferimento al modello geologico-geomorfologico e geotecnico descritto nelle specifiche relazioni ed elaborati grafici.

Note le condizioni di progetto, la scelta della strumentazione da installare è stata dettata dai parametri che si intendono monitorare. In particolare nella tabella seguente vengono riportate le grandezze da misurare la strumentazione prevista.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Studio dei movimenti franosi e dimensionamento preliminare opere di mitigazione	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000 001	REV. A

Tabella 8-1 Grandezze da misurare e strumentazione prevista

	Grandezza da misurare	Strumentazione prevista
<i>Regime idraulico</i>	Misura di pressioni interstiziali	Celle di Casagrande
<i>Profilo degli spostamenti</i>	Spostamenti dei versanti	Inclinometri
<i>Spostamenti plano-altimetrici</i>	Spostamenti dei versanti	Scatters permanenti su versante

8.1.1 Distribuzione della strumentazione di monitoraggio

Per il dissesto analizzato si riportano nella tabella seguente il numero e la tipologia di strumenti di nuova installazione.

Tabella 8-2 Strumenti di nuova installazione per dissesto

Dissesto	n. incl nel terreno (L=30 m)	n. piezometri (L=30 m)	n.scatters permanenti su versante
GB01	1	1	4

8.1.2 Frequenze di lettura

Al fine di effettuare un corretto monitoraggio viene riportato in Tabella 8-3 il programma delle frequenze delle letture per differenti intervalli temporali (ante opera, corso d'opera e post opera) e diverse tipologie di strumentazione.

La frequenza delle misurazioni è stata differenziata nelle seguenti fasi temporali:

- ante operam: durata intesa come tempo che intercorre tra l'affidamento dei lavori e l'effettivo inizio degli stessi sulla frana competente. In tale durata è compreso il tempo per la redazione del Progetto Esecutivo;
- Corso d'opera: durata dei lavori competenti la realizzazione degli interventi sulla singola frana;
- post operam: durata intesa come tempo che intercorre tra il completamento degli interventi sulla singola frana e il termine dei lavori complessivi sulla linea.

Tabella 8-3 Frequenza delle letture per tipologia di strumento

Tipologia di strumentazione	Ante-operam (3 mesi prima dell'inizio dei lavori)	Corso d'opera (Durata dei lavori su singola frana)	Post-operam (Fino a termine lavori su linea)
Inclinometri	2/30gg	2/30gg	1/30gg
Piezometri	2/30gg	2/30gg	1/30gg
Microprismi	-	-	1/60gg

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Studio dei movimenti franosi e dimensionamento preliminare opere di mitigazione	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000 001	REV. A

Raggiunta la stabilizzazione delle misure, le eventuali ulteriori letture di controllo proseguiranno con frequenze da definire in corso d'opera. Pertanto, in funzione dei risultati e dell'andamento, le frequenze esposte potranno essere ridefinite dal Progettista di concerto con la Direzione Lavori.

8.1.3 Soglie di monitoraggio e criteri generali per l'attuazione dei provvedimenti correttivi

Nella fase di progettazione esecutiva dovranno essere definiti i valori di riferimento dei parametri oggetto di monitoraggio, sia in superficie sul/nel terreno, sia sulle opere in progetto, che determinano il passaggio da una condizione attesa ad una condizione di attenzione e da questa ad una condizione di allarme. In corrispondenza del superamento di ciascuna soglia devono essere definite le azioni da compiere al fine di prevenire il raggiungimento delle condizioni critiche. Nella successiva fase di realizzazione, l'Appaltatore potrà definire ulteriori parametri di controllo in aggiunta a quelli sopra indicati, definendo specifici valori di soglia di attenzione e di allarme con le correlate azioni correttive per prevenire il raggiungimento delle condizioni critiche.

Sono di seguito forniti i criteri generali per la definizione delle soglie e la loro gestione nella fase realizzativa.

8.1.3.1 Soglia di attenzione – aspetti generali

Il raggiungimento/superamento di tale soglia apre una fase di attenzione che comporta una serie di azioni finalizzate a verificare l'importanza dei fenomeni in atto, contrastare la tendenza al superamento dei limiti di verifica progettuale e la tendenza verso la soglia di allarme; si riportano, a titolo di esempio le azioni che si possono intraprendere al raggiungimento della soglia di attenzione:

- rilievi sulla strumentazione disponibile per un controllo di ridondanza delle misure;
- aumento della frequenza delle letture al fine di controllare la rilevanza dei fenomeni e la velocità di evoluzione;
- eventuale inserimento di nuovi strumenti e punti di misura.

Al raggiungimento della soglia di attenzione deve essere eseguita un'analisi approfondita dei dati in maniera integrata per la comprensione dei fenomeni, con la valutazione delle azioni da mettere in atto, come previsto da progetto, qualora nelle fasi successive si raggiungesse a soglia di allarme.

8.1.3.2 Soglia di allarme – aspetti generali

La soglia di allarme è un valore rappresentativo di un fenomeno che può costituire un potenziale pericolo per la funzionalità delle strutture e per l'interazione con le preesistenze. Il raggiungimento/superamento della soglia di allarme comporta l'attivazione di una serie di azioni volte a scongiurare la tendenza del fenomeno ad ulteriore significativa crescita verso la condizione di non ammissibilità.

Per i dettagli sulla gestione del sistema di monitoraggio e sulle caratteristiche della strumentazione si rimanda alla relazione RC2IA1R11RHOC0000002.

	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Studio dei movimenti franosi e dimensionamento preliminare opere di mitigazione	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000 001	REV. A

8.2 Sistema di monitoraggio per il gestore dell'infrastruttura

Nell'ambito delle attività a carico dell'Appaltatore si prevede la predisposizione della strumentazione per il monitoraggio delle aree in frane e delle opere ferroviarie interferenti. Si riporta di seguito la tipologia di strumentazione per la singola WBS GB01 e le opere in progetto ad essa direttamente correlate.

In particolare, si prevede un sistema di monitoraggio basato su:

- sistema automatico di monitoraggio mediante stazione di misura totale robotizzata (per ogni stazione totale è prevista l'installazione di n.4 macroprismi);
- acquisizione di dati satellitari mediante la tecnica dell'interferometria per l'analisi degli spostamenti superficiali delle aree in frana. Si prevede l'installazione di almeno n.5 *scatterers* permanenti ogni 10.000 m² di versante da investigare.

La strumentazione necessaria al monitoraggio permanente deve essere installata e testata prima dell'entrata in esercizio dell'infrastruttura.

Si riporta di seguito una generale descrizione delle metodologie e degli strumenti di monitoraggio per il monitoraggio in esercizio. Le tipologie descritte sono indicative e dovranno costituire requisiti minimi di riferimento, tenendo conto dell'evoluzione tecnologica delle stesse.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Studio dei movimenti franosi e dimensionamento preliminare opere di mitigazione	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000 001	REV. A

8.2.1 **SISTEMA DI MONITORAGGIO AUTOMATICO**

Il sistema è composto dai seguenti elementi:

- Stazione totale
- Alimentatore per stazione totale
- Antenna radio per stazione totale
- Centralina di acquisizione completa di modem radio per comunicazione con stazione totale
- Microprismi di riferimento completi di staffa di fissaggio a “L”
- Supporti magnetici per microprismi, se necessari
- Supporti a pressione per microprismi, se necessari
- Zanca di supporto per stazione totale
- Tetto di protezione per stazione totale
- La stazione totale dovrà essere installata tenendo conto dei seguenti criteri:
- Massima stabilità della posizione; non soggetta a grosse vibrazioni e movimenti
- Distanza massima da struttura monitorata: suggerita 100 m
- Visuale completa struttura da monitorare senza interferenze quali alberi, cavi, passaggio macchine ecc.
- Visuale completa sulle 4 direzioni per punti fissi
- Massima distanza da unità di centralizzazione 150 m

Le misure vengono effettuate mediante apposita centralina automatizzata. Il software multilogger permette la completa gestione di tutti gli strumenti collegati compresa la trasmissione dei dati alla stazione centrale remota, la pianificazione delle soglie di allarme e la resa grafica dei dati raccolti.

8.2.1.1 Fasi di installazione del sistema di monitoraggio automatico

Fasi installazione Stazione Totale

- Installazione della zanca di sostegno in posizione prescelta.
- Posizionamento Stazione Totale su specifico bracket di sostegno
- Livellazione stazione totale
- Installazione ombrello di protezione
- Alimentazione Stazione Totale
- Installazione sistema di comunicazione con unità logger.
- Accendere la stazione totale ed esecuzione test di livellazione
- Impostazione parametri di comunicazione

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Studio dei movimenti franosi e dimensionamento preliminare opere di mitigazione	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000 001	REV. A

8.2.1.2 *Strumentazione*

8.2.1.2.1 *Stazioni totali robotizzate*

La stazione totale robotizzata dovrà essere uno strumento motorizzato automatico per effettuare misure con e senza prisma. La capacità di misura dovrà essere altamente performante e raggiungere prestazioni operative elevate contraddistinte da alta ripetibilità delle misure.

Di seguito sono riportate in elenco le principali caratteristiche del sensore:

- Portata del Dispositivo di Puntamento circa 3500 m. in condizioni medie
- Possibilità di Misure con Prisma e senza Prisma
- Possibilità di Utilizzo di Videocamera per l'acquisizione delle immagini dei punti misurati.
- Precisione di misura della distanza su prisma: 0,6 mm + 1ppm (tipicam. 2,4 s) - M. Singola (Prisma)
- Precisione di misura angolare: 0,5" (0,15 mgon)
- Precisione di Collimazione Automatica (ATR) 0,5" (0,15 mgon)
- Motorizzazione delle rotazioni dei due Assi strumentali. Metodo con Guida diretta basata su tecnologia piezo-elettrica.
- Tempo diritto/capovolto: 2,9 sec
- Velocità di Rotazione 180° (o 200 gon) / s
- Lettura angolare di altissima precisione, Metodo di lettura continua con codificatori assoluti memoria costante, quadruplo.

8.2.1.2.2 *Prismi di misura – fasi di installazione*

- Identificazione posizione prisma con verifica ottica della libertà di visuale verso la Stazione Totale di misura
- Applicazione prisma sulla struttura utilizzando gli appositi sostegni; fissaggio supporto con tasselli Ø 8mm (applicazioni in parete) o con specifici supporti magnetici + collante
- Verifica stabilità installazione
- Orientamento prisma verso Stazione Totale e verifica orientamento da Stazione Totale

I microprismi sono costituiti da un cristallo di precisione, con montatura in metallo, verniciata a polvere, di colore nero. Sono dotati di barra ad L sulla quale è presente un foro passante di diametro 9 mm, per le installazioni "fisse" (Figura 8-1)



Figura 8-1 Miniprisma topografico per installazioni fisse

8.2.1.2.3 Punti fissi (macroprismi)– fasi di installazione

La procedura di installazione è la medesima dei prismi di monitoraggio, ma si deve tenere in considerazione che:

- I punti di riferimento devono essere ad una distanza maggiore dei punti di monitoraggio ma non oltre i 200 m dalla Stazione Totale (consigliata)
- I punti di riferimento devono essere il più lontano possibile dalla zona di interesse dei lavori, fuori quindi da ogni turbamento interessante l'area da monitorare
- Per ogni stazione totale i punti di riferimento devono essere minimo di 4 (suggerito n.5 se possibile) in posizioni diverse, comprendo possibilmente un'area di 360°

8.2.1.3 Attivazione Sistema di Monitoraggio

Eseguite tutte le fasi qui sopra ricordate si procede con il rilevamento di tutti i prismi installati (sia prismi di misura sia punti di riferimento) e con l'inserimento delle relative coordinate all'interno del software di elaborazione. Il sistema automaticamente attiverà il controllo della posizione della stazione totale attraverso triangolazioni con i punti fissi e procederà con le misure dei punti di misura secondo le frequenze impostate.

La misura di zero di ogni punto fornita ed indicata in piattaforma web sarà l'elaborazione di 10 giorni di misure con frequenza di almeno 4 volte al giorno.

8.2.2 INTERFEROMETRIA

L'analisi dei dati radar satellitari con tecnica dell'interferometria è stata prevista con lo scopo di analizzare eventuali spostamenti superficiali delle aree in frana che potrebbero interessare e/o impattare sulle opere in progetto.

Il monitoraggio da remoto ad alta precisione dei fenomeni di deformazione sulla superficie terrestre è possibile mediante la materializzazione di punti puntuali di misura al suolo, bersagli radar (*Permanent Scatterers*) installati sulle aree di interesse.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Studio dei movimenti franosi e dimensionamento preliminare opere di mitigazione	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GB0000 001	REV. A

Nel caso in esame, data l'assenza di bersagli radar preesistenti con caratteristiche di *Permanent Scatterers* (infrastrutture, edifici), si prevede l'installazione di almeno n.5 *scatterers* permanenti ogni 10.000 m² di versante da investigare. La densità dei punti di misura è stata definita al fine di monitorare adeguatamente le aree in esame.

Nello specifico, per *Permanent Scatterers* si intende l'utilizzo di specifici riflettori artificiali che si comportano, per caratteristiche costruttive, come capisaldi radar. Devono essere realizzati mediante manufatti in metallo di tipo passivo tali da non richiedere una specifica manutenzione.

8.2.2.1 Caratteristiche del report di monitoraggio da interferometria satellitare

Nell'ambito del monitoraggio devono essere consegnati i seguenti dati:

- i risultati delle analisi per ognuno dei dataset elaborati, nel quale vengono riportati per ogni punto di misura individuato: velocità media, quota, serie storiche (grafici tempo-spostamento) ed i parametri di qualità delle misure ottenute;
- redigere per ogni dataset elaborato mappe di velocità medie di spostamento e confrontarle, se disponibili, con mappe contenenti serie storiche.
- un rapporto di Elaborazione ed un file in formato .xml, per ogni dataset elaborato, contenente tutti i metadati tecnici relativi all'analisi interferometrica condotta, le immagini utilizzate, l'indicazione del punto di riferimento (REF) per l'ottimizzazione della precisione sull'intera area, i versori di LOS (Line of Sight, direzione di vista del satellite)

I dati devono essere consultabili e scaricabili via web mediante portale geografico WebGIS