

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. GEOTECNICA

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

LINEA COSENZA – PAOLA / S. LUCIDO
NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA
RADDOPPIO COSENZA – PAOLA / S. LUCIDO

GEOTECNICA

Relazione sui dissesti

SCALA:

-

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

RC1C 03 R 11 RH GE0006 003 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione a seguito di richiesta integrazioni CSLLPP Parere n°5/2022	L. Sbrenna 	Giu 2022	G. Scasserra 	Giu 2022	I. D'Amore 	Giu 2022	L. Berardi Giu 2022

File: RC1C03R11RHGE0006003A.doc

n. Elab.: X

INDICE

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	4
3	ELABORATI DI RIFERIMENTO.....	4
4	METODOLOGIA DI LAVORO.....	5
5	CRITERI PROGETTUALI	6
6	DESCRIZIONE DEL DISSESTO.....	6
6.1	DATI GEOTECNICI.....	9
6.2	MODELLO GEOTECNICO	9
6.3	CRITERI DI ANALISI.....	10
6.4	CRITERI DI VERIFICA SECONDO NTC2018	12
	6.4.1 Stati limite di riferimento per le verifiche statiche	14
	6.4.2 Azioni sismiche.....	15
6.5	ANALISI DI STABILITÀ “PRE-INTERVENTO”	15
6.6	ANALISI DI STABILITÀ “POST-INTERVENTO”	16
6.7	ANALISI DI SENSIBILITÀ PER VARIAZIONE DELLA FALDA POST-INTERVENTO	18
7	CONCLUSIONI SULLE ANALISI DI STABILITÀ E VALUTAZIONE DEGLI INTERVENTI.....	20

1 PREMESSA

Il presente documento si inserisce nell'ambito del progetto di fattibilità tecnica ed economica relativo al Raddoppio Paola/S. Lucido – Cosenza (**Galleria Santomarco**), individuato come strettamente correlato alla realizzazione della nuova linea AV Salerno-Reggio Calabria e finalizzato a potenziare il traffico passeggeri/merci della linea.

L'intervento di raddoppio si sviluppa per un'estensione di circa 22.2 km, di cui circa 17 km in sotterraneo (galleria naturale e gallerie artificiali). L'opera più rilevante dell'intervento è rappresentata dalla nuova galleria Santomarco inserita nell'itinerario tra la tratta Paola/S. Lucido – Cosenza, la cui configurazione finale prevede la realizzazione di una galleria a doppia canna e a singolo binario con interasse di circa 60 m e con la presenza dei bypass (collegamenti trasversali tra le canne) ogni 500 m.

I restanti 5,2 km sono relativi a tratte all'aperto, che comprendono altre opere quali trincee, rilevati e viadotti. La tratta all'aperto lato Cosenza prevede una sezione di lunghezza pari a circa 3,2 km, si sviluppa prevalentemente come raddoppio della linea esistente (includendo tratti in rilevato in stretto affiancamento e due nuovi importanti viadotti in raddoppio a quelli esistenti), cui si aggiunge un tratto di nuova realizzazione a doppio binario che conduce all'imbocco della nuova galleria a doppia canna. In questo tratto si inseriscono brevi tratti in rilevato e trincea a doppio binario, ma soprattutto in esso è inserita la nuova fermata di Rende.



Figura 1 Corografia dell'intervento Il presente elaborato costituisce relazione tecnica sul dissesto individuato in corrispondenza della NV07 e riporta, in particolare, valutazioni basate su specifiche analisi di interazione tra il movimento franoso e la Nuova Viabilità stessa.

Il documento soddisfa la richiesta del CSLP in cui si richiedono “indicazioni, ancorchè di massima, su eventuali interventi di mitigazione”.

2 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

- 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;
- 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”;
- 3) RFI DTC SI CS MA IFS 001 del 2021 - “MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI”;
- 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.
- 5) UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- 6) UNI EN 1998-5: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

3 ELABORATI DI RIFERIMENTO

- | | |
|---|--------------------------------|
| 1. Dissesti – Sezione geotecnica con interventi | RC1C.0.3.R.11.PZ.GE.00.0.6.001 |
| 2. Relazione geotecnica opere all'aperto | RC1C.0.3.R.11.GE.GE.00.0.6.001 |
| 3. Profilo geotecnico - Tav. 1 di 5 | RC1C.0.3.R.11.LZ.GE.00.0.1.001 |
| 4. Profilo geotecnico - Tav. 2 di 5 | RC1C.0.3.R.11.LZ.GE.00.0.1.002 |
| 5. Profilo geotecnico - Tav. 3 di 5 | RC1C.0.3.R.11.LZ.GE.00.0.1.003 |
| 6. Profilo geotecnico - Tav. 4 di 5 | RC1C.0.3.R.11.LZ.GE.00.0.1.004 |
| 7. Profilo geotecnico - Tav. 5 di 5 | RC1C.0.3.R.11.LZ.GE.00.0.1.005 |

4 METODOLOGIA DI LAVORO

Lo studio del fenomeno di instabilità del versante sotteso alla NV07 è stato articolato nelle seguenti fasi:

1. Studio geologico e geomorfologico per l'identificazione del fenomeno, la definizione delle caratteristiche geometriche di superficie, la definizione del modello geologico di riferimento (cfr Relazione Geologica; Geomorfologica, Idrogeologica e Sismica - RC1C03R69RGGE0001001B);
2. Studio geotecnico:
 - a. analisi dai dati geotecnici per la definizione del modello geotecnico del pendio;
 - b. analisi delle condizioni di stabilità e valutazione preliminare sugli interventi di stabilizzazione.

Nei capitoli che seguono, dopo una breve descrizione generale sui criteri progettuali, sono riportati i seguenti contenuti per il dissesto in esame:

- **Scheda dissesto:** localizzazione del dissesto, tipologia, stato di attività, caratteristiche geometriche e inquadramento planimetrico sul territorio;
- **Modello geologico/geotecnico:** metodologia di studio, descrizione del modello geologico/geotecnico, stralcio della planimetria geomorfologica, sezioni geologiche e parametri meccanici di progetto

Si precisa che sul versante sono state eseguite due coppie di sondaggi (SF1-SF1bis e SF2-SF2bis), ciascuna comprendente un piezometro ed un inclinometro, i cui dati di monitoraggio saranno disponibili per le prossime fasi progettuali.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione sui dissesti	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A

5 CRITERI PROGETTUALI

L'approccio generale con il quale è stata affrontata la problematica inerente al dissesto qui discusso è stato quello di individuare dapprima le condizioni di stabilità generale del versante, sulla base delle informazioni di carattere geologico, geometrico, idrologico e geotecnico.

Come verrà dettagliato nel seguito, quindi, sono state individuate tutte le caratteristiche necessarie a definire un modello geotecnico per sviluppare le analisi di stabilità con i classici metodi delle strisce all'equilibrio limite. Partendo dalle descrizioni riportate negli elaborati geologici e nelle stratigrafie di sondaggio, sono stati estratti i dati relativi agli spessori di frana, all'estensione lungo la sezione di massima pendenza, all'altezza di falda e, sulla base dei risultati delle prove di laboratorio eseguite *ad hoc*, si è proceduto alla caratterizzazione geotecnica dei litotipi presenti.

A seguito di quanto sopra indicato, è stata definita una sezione longitudinale del versante quale rappresentativa del modello geotecnico.

La prima analisi di stabilità sviluppata è stata quella riferita alle condizioni ante operam, corrispondenti allo stato di fatto, cioè in assenza della viabilità di progetto NV07.

Dopo aver analizzato le condizioni di sicurezza della configurazione attuale, che come verrà commentato successivamente risultano verificate sia in caso statico, sia sismico, è stata eseguita una nuova verifica considerando la presenza del rilevato della NV07 (condizione Post-operam). Ne risulta un trascurabile effetto del sovraccarico corrispondente al rilevato stradale ($H_{max}=2m$ circa), che non perturba le condizioni di stabilità.

È opportuno ricordare che nelle analisi di stabilità, il coefficiente relativo alle resistenze γ_R è implementato nel codice di calcolo, in particolare è stato fissato come segue:

- Fattore di sicurezza $\gamma_R \geq 1.2$ in condizioni statiche;
- Fattore di sicurezza $\gamma_R \geq 1.1$ in condizioni sismiche.

Le verifiche risultano soddisfatte per $ODF \geq 1$

Di seguito nei prossimi capitoli, vengono mostrati i dati a disposizione per il dissesto riscontrato sulla NV07 ed i risultati delle analisi conseguenti, le quali mostrano sostanzialmente la non necessità di un intervento di mitigazione per il dissesto globale identificato.

Considerando tuttavia possibili fenomeni superficiali e localizzati di instabilità del versante, in occorrenza di eventi di pioggia intensi, è stata tuttavia prevista la realizzazione di un'opera di presidio al piede del rilevato stradale, quale garanzia verso sconfigurazioni localizzate del rilevato stesso.

6 DESCRIZIONE DEL DISSESTO

Relazione sui dissesti

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1C	03 R 11	RH	GE0006 003	A	7 di 21

Il dissesto interessa un versante ubicato in corrispondenza della zona compresa tra le progressive pk 19+700 e pk 20+000 della linea ferroviaria (senza interessare quest'ultima), con un'estensione di circa 300 m, una larghezza massima di 300 m, e uno spessore massimo ipotizzato di 8-10m. L'inclinazione media del versante è pari a circa 10°.

Le principali caratteristiche sono riassunte nella Scheda Dissesto di seguito riportata ed estratta dalla Relazione Geologica, mentre nelle Figure 2 e 3 sono riportati lo stralcio planimetrico e la sezione rappresentativa. Maggiori dettagli sono inclusi nella tavola RC1C03R11PZGE0006001A.

CODICE DISSESTO e data rilevamento	RC1C03R_dissesto_1 - 27/05/2022		
COMMESSA	Raddoppio Cosenza - Paola /S. Lucido		
LOCALITA'	Siviglia		
Linea ferroviaria	Cosenza - Paola / S. Lucido		
Progressiva progetto	Viabilità NV07		
Tipologia di dissesto	Scivolamento in terra		
Fonte	Rilevamento di campo, fotointerpretazione, analisi morfologiche, analisi dati geognostici, IFFI		
Pericolosità PAI (se presente)	Non presente		
Codice IFFI (se presente)	0780152100 (Complessa - Quiescente) - areale più esteso della frana in esame		
Stato di attività da cartografia /rilevato	Quiescente		
Dati morfometrici			
Larghezza (m)	152	Inclinazione versante (°)	10
Lunghezza (m)	278	Quota superiore del coronamento	65 m s.l.m.
Area (m ²)	34772	Esposizione del versante	WSW
Profondità stimata (m)	8-10 Lo spessore della frana è stato ricostruito sulla scorta di analisi morfologiche, dati geologici, stratigrafie di sondaggio e indagini geofisiche		

Opera di progetto interferente - Opere esistenti	Viabilità
Sondaggi geognostici	SF1 (2022), SF1bis (2022), SF2 (2022), SF2bis (2022) - sismica a rifrazione
Strumentazione	inclinometri, piezometri
Monitoraggio	attivo (inclinometrico e piezometrico)
Note	La frana è classificabile come uno scivolamento in terra, con stato quiescente e distribuzione costante. L'area di alimentazione, con forma concava e piuttosto evidente, è caratterizzata da un esteso terrazzo di frana connesso al movimento rotazionale della parte alta del pendio. Il piede di frana presenta una forma convessa e si estende fino ai settori di fondovalle. L'accumulo di frana è tagliato da numerose scarpate antropiche con altezza variabile tra 2 e 5 m. Non sono presenti indizi di riattivazioni recenti, mentre si notano sporadiche lesioni e cedimenti lungo la sede stradale esistente (immediatamente a valle della nicchia) e i muri a gravità (nella parte bassa del pendio). In prossimità della zona di alimentazione è presente un canale antropico utilizzato per l'irrigazione, che capta le acque di un'emergenza sorgentizia presente a monte della strada statale.

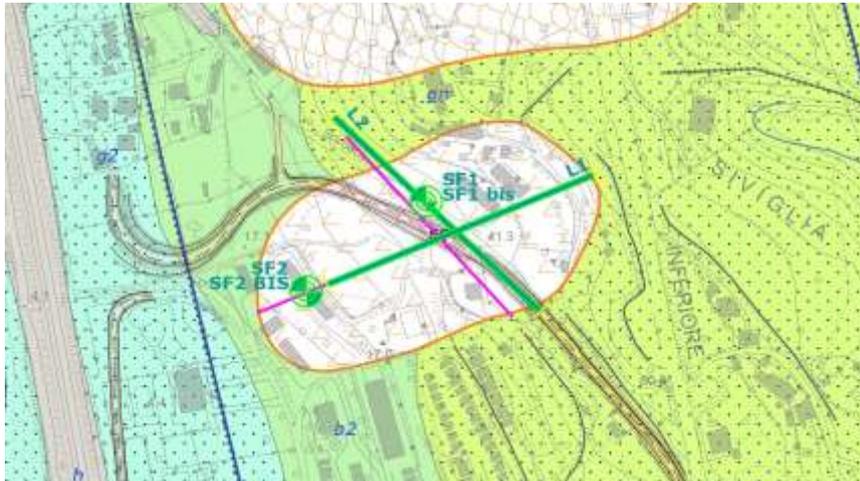


Figura 2 – Planimetria geomorfologica del dissesto con traccia della sezione geologica

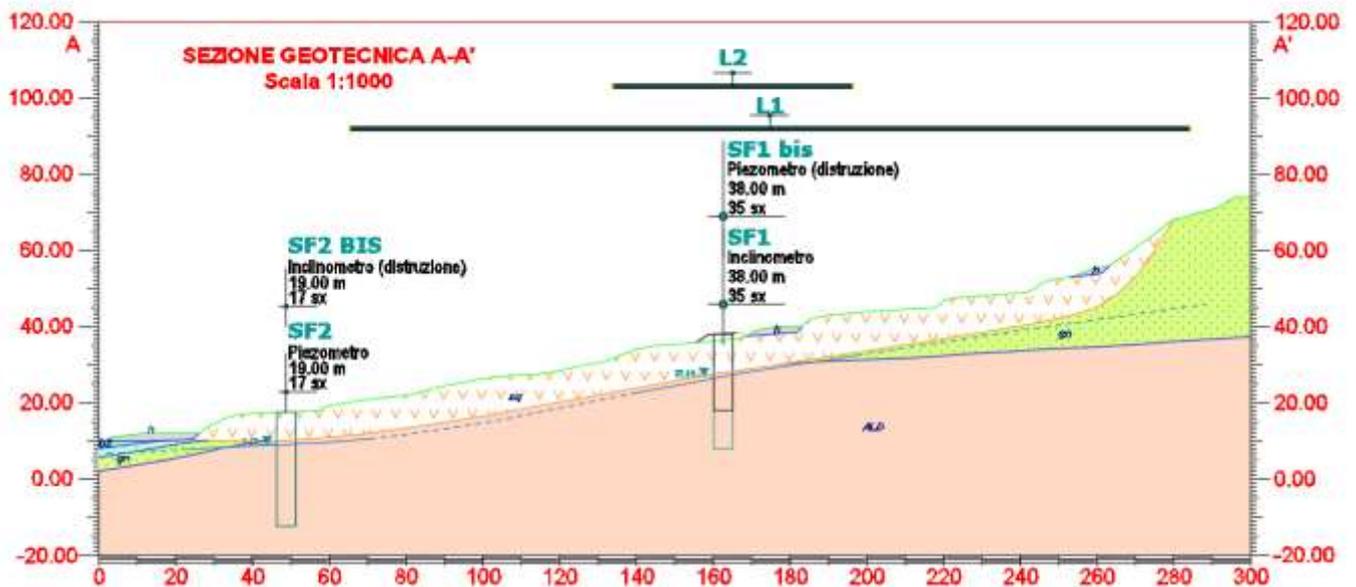


Figura 3 – Ricostruzione del modello geologico completo lungo la sezione

6.1 Dati Geotecnici

Per la caratterizzazione geotecnica sono disponibili n°2 coppie di sondaggi SF1 e SF2 e n°2 stendimenti sismici a rifrazione, la cui esecuzione è stata prevista *ad hoc* per l'ottenimento di informazioni sul dissesto in esame.

Data la peculiarità della problematica, tra le prove di laboratorio sono state commissionate ed eseguite prove di taglio con individuazione anche dei valori residui sui terreni argillosi del substrato, cioè la formazione ALD che costituisce lo strato di base dell'ipotizzato scorrimento.

Facendo riferimento all'elaborato RC1C03R69PRGE0005002A per i certificati delle prove di laboratorio, e richiamando la tabella riassuntiva di seguito riportata, i campioni prelevati nei sondaggi sopra indicati hanno fornito angoli di resistenza al taglio residuo compresi tra 15.4° e 22.2° e coesioni in condizioni residue $c=2-4$ kPa.

campione	prof. (m)	LIMITI DI ATTERBERG						PROVA DI TAGLIO CD		PROVA DI TAGLIO RESIDUO	
		wl (%)	w _p (%)	w _r (%)	I _p (%)	I _c (%)	I _a (%)	c kPa	φ °	c kPa	φ °
SF1 CI1	3,00-3,70	48	19		28,8	1,08	1,20	18,95	27,07	2,22	22,20
SF1 CI2	9,00-9,60	49	23		26,3	0,98	1,10	21,58	26,23	3,07	21,31
SF1 CR1	10,20-10,50	47	17		30,1	1,00	0,94	24,29	23,93	4,86	15,37
SF1 CR2	13,50-13,80	41	20		21,7	-	0,80				
SF1 CR3	16,10-16,40	37	17		19,7	-	0,99				
SF1 CR4	21,48-21,80	57	23		33,8	-	0,91				
SF1 CR5	25,15-25,45	39	18		21,3	-	1,02				

Trascurando l'aliquota coesiva, per la resistenza residua si è deciso di assumere un valore di angolo di attrito residuo sulla superficie di scorrimento ipotizzata pari a 17°.

Per quanto riguarda le altre unità geotecniche (DM e ALD), le stesse risultano già caratterizzate nello studio di precedente emissione, per cui si farà riferimento a quanto riportato nella Relazione Geotecnica allegata al presente progetto.

6.2 Modello Geotecnico

Dall'analisi del modello Geologico e dei risultati delle prove in sito e in laboratorio è stato ricostruito il modello geotecnico del dissesto.

Le unità geologiche interessate dal dissesto sono la **g2** e la **gn**, geotecnicamente accorpate nell'unità **DM** dei depositi superficiali incoerenti, sovrainposti alla formazione di base denominata **ALD**, come definite nella relazione geotecnica a cui si rimanda per i dettagli della caratterizzazione.

Lo spessore massimo del corpo di frana ricostruito a partire dal modello geologico è di 10m.

La profondità della superficie piezometrica, posta in corrispondenza della superficie di scorrimento (circa 10m da p.c.) è stata individuata sulla base delle letture del monitoraggio piezometrico e delle considerazioni più generali sull'andamento della falda lungo il tracciato ferroviario, sintetizzate nella sezione geotecnica di **Figura 4**.

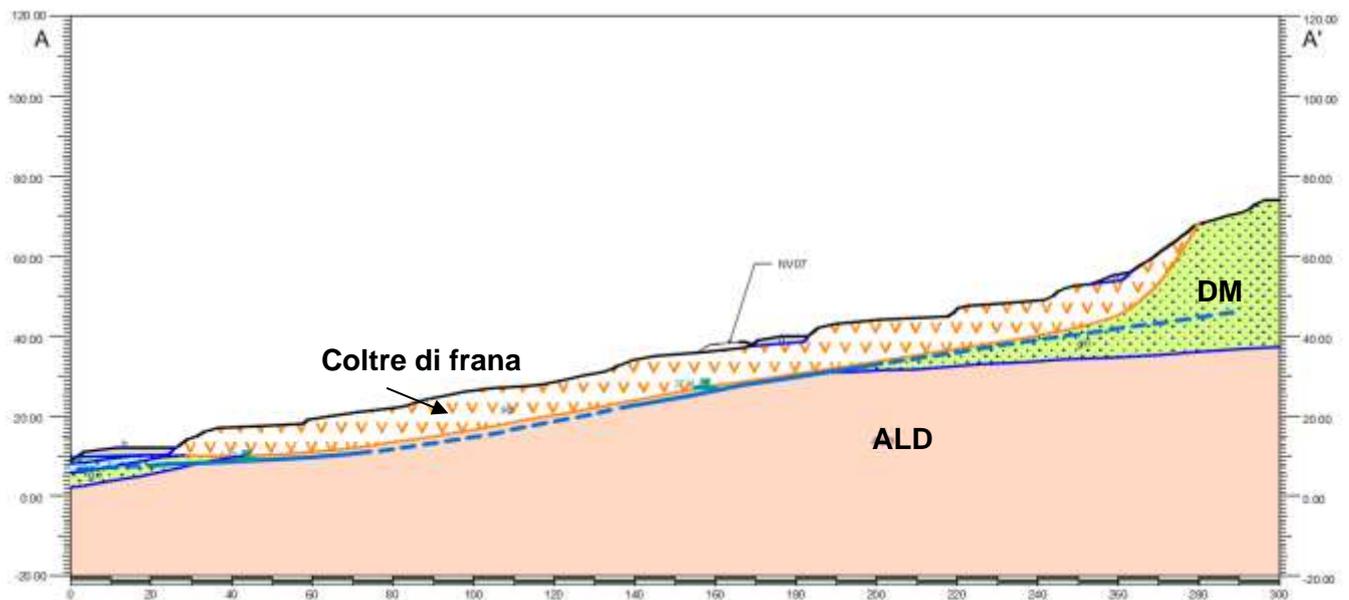


Figura 4 – Sezione geotecnica

Di seguito sono riportati i parametri fisici e meccanici delle unità di interesse utilizzati nelle analisi di stabilità.

Name	Model	Unit Weight (kN/m ³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)
ALD	Mohr-Coulomb	20.5	25	24
Coltre in frana	Mohr-Coulomb	20	0	17
DM	Mohr-Coulomb	20	0	38

Tabella 1 parametri di calcolo dei terreni

6.3 Criteri di analisi

Per l'analisi all'equilibrio limite sono state considerate le ipotesi di Morgenstern&Price nel codice di calcolo SLOPE/W.

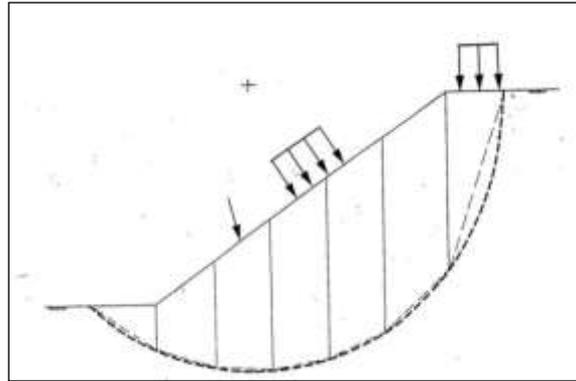


Figura 5 – Blocco di terreno instabile suddivisione in conci.

Il metodo valuta le condizioni di stabilità di un pendio naturale o di una scarpata artificiale ricercando per tentativi la superficie di scivolamento "critica", ossia quella a cui compete il coefficiente di sicurezza F_s minimo, e verificando se tale valore risulta maggiore o minore di 1. In questo caso la superficie di scorrimento è stata identificata in base a osservazioni dirette sul campo ed impostata direttamente come dato di input del modello.

Il metodo si basa sulla considerazione dell'equilibrio di un blocco (o "cuneo") rigido di terreno rappresentato nella figura che segue.

Il cuneo è soggetto sia all'azione del peso proprio sia a quella di eventuali forze esterne di varia natura (sovraccarichi verticali, azioni dei tiranti, forze di inerzia sismiche, ecc.); inoltre è possibile considerare la presenza della falda all'interno del pendio, trascurando il fenomeno di filtrazione.

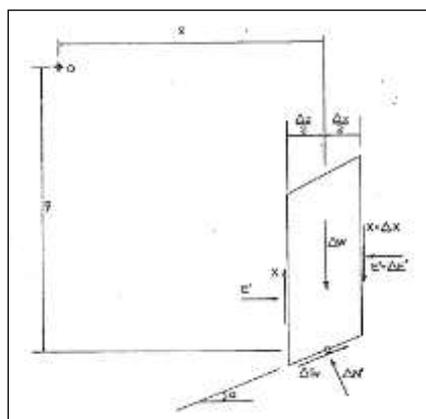


Figura 6 – Forze agenti sui conci.

A questo scopo il blocco viene dapprima suddiviso in conci e l'equilibrio globale è analizzato come somma dell'equilibrio di ciascuno di essi facendo delle assunzioni semplificative sulle forze reciproche tra i conci. Il metodo

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione sui dissesti	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A

consente di valutare un valore del coefficiente di sicurezza medio della superficie di scivolamento ($F_s=1$) definito come:

$$F_s = \frac{(\tau_{ult})_m}{\tau_m}$$

essendo:

- $(\tau_{ult})_m$ = resistenza al taglio media del terreno lungo la superficie di scivolamento
- τ_m = tensione tangenziale media mobilitata lungo la superficie di scivolamento.

6.4 Criteri di verifica secondo NTC2018

Per le opere in esame devono essere svolte le seguenti verifiche di sicurezza e delle prestazioni attese:

- Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU);
- Verifiche agli Stati Limite d'Esercizio (SLE).

Per ogni Stato Limite Ultimo (SLU) deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove:

- E_d = valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione;
- R_d = valore di progetto della resistenza.

Con riferimento all'opera in oggetto, le verifiche geotecniche in presenza di un evento sismico richiedono la verifica ai seguenti stati limite:

Stato Limite Ultimo: **SLV** – Stato Limite di Salvaguardia della Vita (cui corrisponde una probabilità di superamento $P_{vr}=10\%$ nel periodo V_r);

Le suddette probabilità, valutate nel periodo di riferimento V_r per l'azione sismica, consentono di determinare, per ciascuno stato limite, il tempo di ritorno del terremoto di progetto corrispondente.

Stato Limite	Prestazione da verificare	Classe d'uso			
		I	II	III	IV
SLO	Contenimento del danno degli elementi non strutturali			X	X
	Funzionalità degli impianti			X	X
SLD	Resistenza degli elementi strutturali			X	X
	Contenimento del danno degli elementi non strutturali	X	X		
	Contenimento delle deformazioni del sistema fondazione-terreno	X	X	X	X
	Contenimento degli spostamenti permanenti dei muri di sostegno	X	X	X	X
SLV	Assenza di martellamento tra strutture contigue	X	X	X	X
	Resistenza delle strutture	X	X	X	X
	Duttilità delle strutture	X	X	X	X
	Assenza di collasso fragile ed espulsione di elementi non strutturali	X	X	X	X
	Resistenza dei sostegni e collegamenti degli impianti	X	X	X	X
	Stabilità del sito	X	X	X	X
	Stabilità dei fronti di scavo e dei rilevati	X	X	X	X
	Resistenza del sistema terreno-fondazione	X	X	X	X
	Stabilità del muro di sostegno	X	X	X	X
	Stabilità delle paratie	X	X	X	X
	Resistenza e stabilità dei sistemi di contrasto e degli ancoraggi	X	X	X	X
SLC	Resistenza dei dispositivi di vincolo temporaneo tra costruzioni isolate	X	X	X	X
	Capacità di spostamento degli isolatori	X	X	X	X

Tabella 2: Verifiche di sicurezza in funzione della Classe d'uso

Per tutte le verifiche l'azione sismica di progetto deve essere valutata sulla base degli Stati Limite relativi all'opera da verificare (vedasi tabella precedente). Per l'opera in oggetto, come definito al punto **Errore. L'origine r** **iferimento non è stata trovata.**, le verifiche agli Stati Limite Ultimi verranno condotte con riferimento allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (**SLV**).

Per le opere oggetto della presente relazione si è assunto:

- Vita nominale V_n : 75 anni
- Classe d'uso: III (coefficiente d'uso= 1.5)
- Vita nominale= $75 \times 1.5 = 112.5$ anni

Le verifiche di sicurezza agli SLU in campo sismico devono contemplare almeno le medesime verifiche definite in campo statico. In particolare, la stabilità globale in condizioni sismiche dei pendii naturali, avendo a disposizione i valori residuali dell'angolo d'attrito misurato in laboratorio, è stata svolta applicando fattori di sicurezza unitari a parametri meccanici, ovvero ponendo i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri di resistenza dei terreni tutti pari ad uno e impiegando le resistenze di progetto calcolate considerando un coefficiente parziale pari a $\gamma_R = 1.1$.

PARAMETRO	Coefficiente parziale	
------------------	------------------------------	--

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione sui dissesti	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A

Resistenza	$\gamma_{R'}$	1.1
------------	---------------	-----

Tabella 3: coefficiente parziale di sicurezza sulla resistenza (condizioni sismiche)

6.4.1 Stati limite di riferimento per le verifiche statiche

Sulla base di quanto prescritto dalle NTC 2018 le verifiche di sicurezza che devono essere eseguite per i pendii naturali e considerando le stesse ipotesi assunte per la verifica delle condizioni sismiche (M1).

La verifica di stabilità globale si ritiene soddisfatta in generale se:

$$\frac{R_d}{E_d} \geq 1 \Rightarrow \frac{1}{\gamma_R} \cdot R}{E_d} \geq 1 \Rightarrow \frac{R}{E_d} \geq \gamma_R$$

essendo R resistenza globale del sistema, calcolata sulla base delle azioni di progetto, dei parametri di progetto e della geometria di progetto.

Per le verifiche agli stati limite ultimi si adottano i valori dei coefficienti parziali in Tabella 4

		Coefficiente	EQU	A1 STR	A2 GEO	Comb. eccezionale	Comb. Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali	Favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico	Favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20	0,20
Carichi variabili	Favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00

Tabella 4: coefficienti parziali sulle azioni

γ_{G1}	coefficiente parziale del peso proprio della struttura, del terreno e dell'acqua, quando pertinente;
γ_{G2}	coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;
γ_Q	coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;
γ_{Qi}	coefficiente parziale delle azioni variabili.

PARAMETRO	Coefficiente parziale	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\gamma_{\phi'}$	1.0	1.25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	γ_{Cu}	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1.0	1.0

Tabella 5: coefficienti parziali di sicurezza sui parametri meccanici dei terreni

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione sui dissesti	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A

PARAMETRO	Coefficiente parziale	
Resistenza	γ_R	1.2

Tabella 6: coefficiente parziale di sicurezza sulla resistenza (condizioni statiche)

6.4.2 Azioni sismiche

L'azione sismica, valutata con il metodo pseudostatico, è stata schematizzata con una forza statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile. Nelle verifiche allo stato limite ultimo, in mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi come $F_h = k_h \times W$ ed $F_v = k_v \times W$, con k_h e k_v rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{\max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h.$$

nelle quali:

- β_s : coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito, pari a 0.28 per lo stato limite SLV.
- a_{\max} : accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
- S_T : coefficiente di amplificazione topografica (assunto in questo caso pari a 1)
- S_S : coefficiente di amplificazione stratigrafica (dipendente dalla classe di suolo: pari a B in questo caso)
- a_g : accelerazione di sito su substrato rigido;
- a_{\max} : accelerazione di picco;

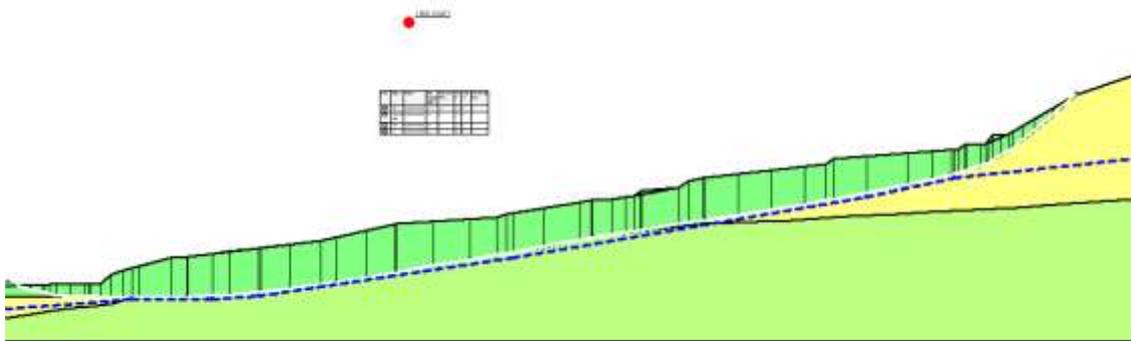
Per le analisi di stabilità sismiche SLV per i pendii naturali, il coefficiente di riduzione dall'accelerazione massima attesa al sito va assunto pari a $\beta_s = 0.28$.

6.5 Analisi di stabilità "Pre-Intervento"

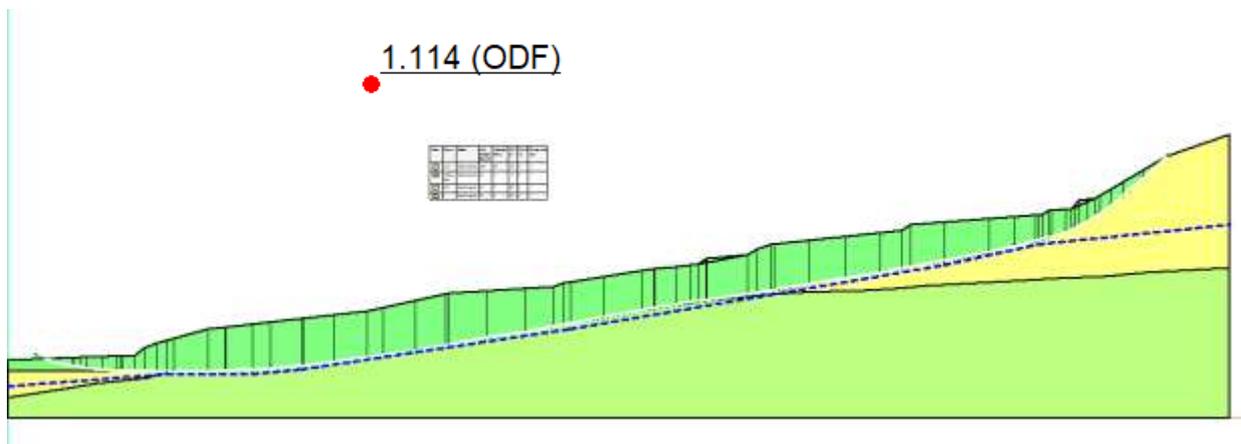
Come anticipato in precedenza, la prima analisi eseguita ha riguardato al condizione dello stato di fatto (Pre-Intervento), i cui risultati sono graficamente riportati nella figura 6 e nella figura 7 seguenti, rispettivamente per caso statico e caso sismico.

In fase sismica si è assunto un valore dei coefficienti k_h e k_v pari a :

CAT. SUOLO	V_N (ANNI)	C_U	a_g [g]	S_T	S_S	a_{\max} [g]	β	k_h	k_v
B	75	1.5	0.269	1	1.13	0.298	0.28	0.085	0.042



1.603 (ODF) atica pre-intervento



1.114 (ODF)

Figura 8 Analisi sismica pre-intervento

Dall'analisi sopra esposte ne derivano i valori di ODF riportati in basso, superiori a 1 e che quindi identificano il pendio come stabile, nelle condizioni di verifica ipotizzate.

Fase statica ODF = 1.603 > 1

Fase sismica ODF = 1.114 > 1

6.6 Analisi di stabilità "Post-Intervento"

Come per il paragrafo precedente, di seguito si mostrano i risultati delle analisi post-intervento, ovvero avendo considerato la costruzione della nuova viabilità, quindi con inserimento del rilevato e tenendo conto del sovraccarico $q=20\text{kPa}$, opportunamente ridotto in caso sismico come descritto nel paragrafo dei criteri di verifica utilizzati.

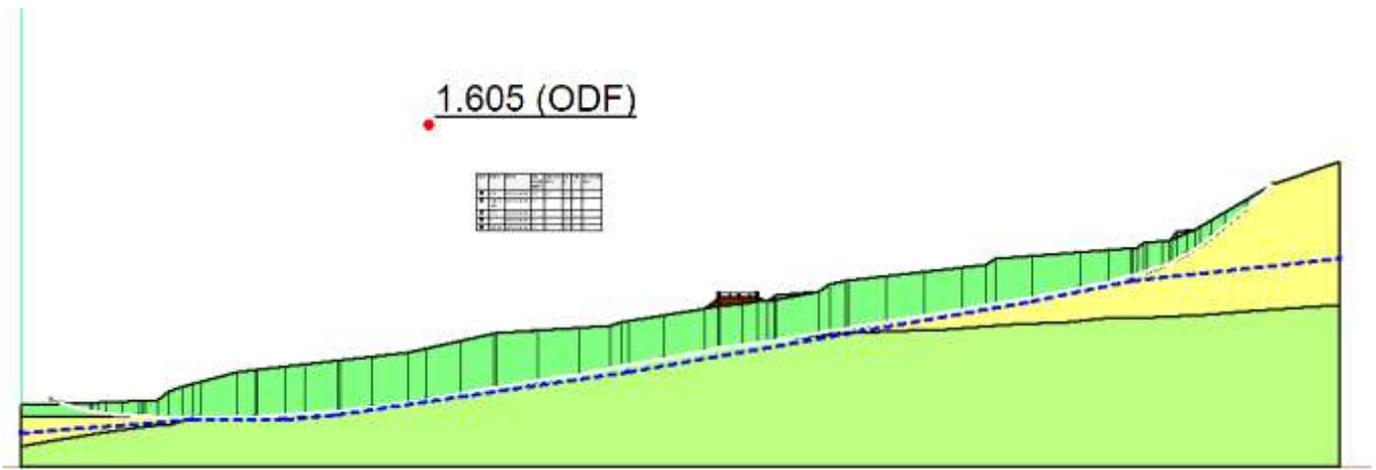


Figura 9 Analisi statica post-intervento

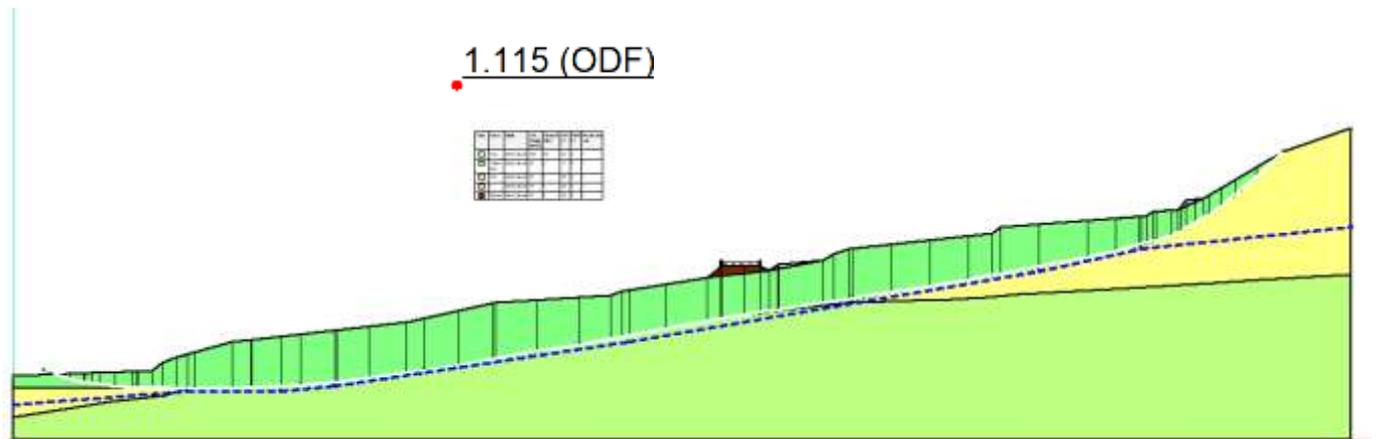


Figura 10 Analisi sismica post-intervento

In coerenza al caso precedente, di seguito i valori di ODF, superiori a 1 e che quindi identificano il pendio post-intervento (esecuzione rilevato stradale) come stabile, nelle condizioni di verifica ipotizzate.

Fase statica ODF = 1.605 > 1

Fase sismica ODF = 1.115 > 1

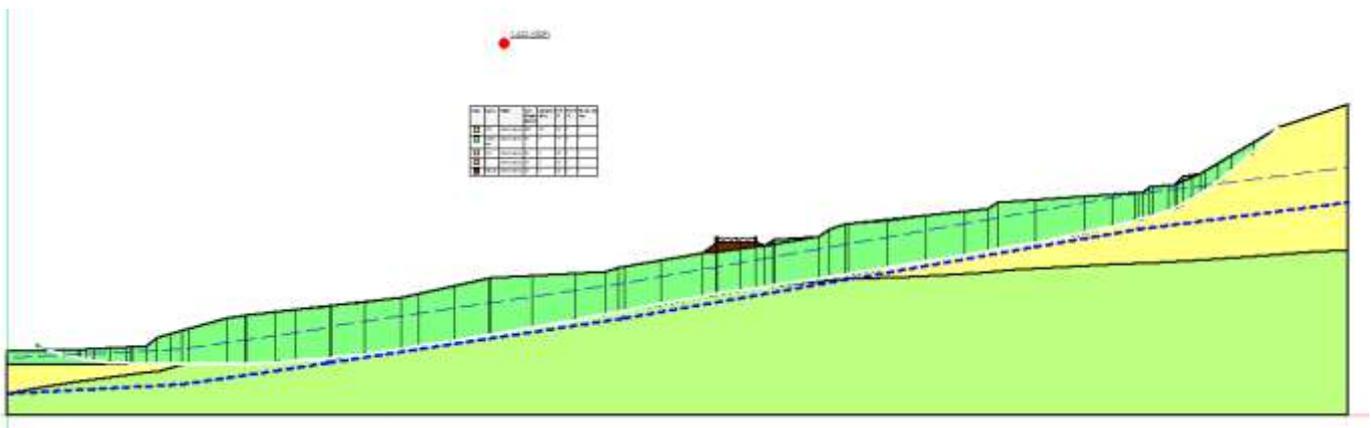
Come dimostrano i risultati delle analisi, la realizzazione dei rilevati incide in modo ininfluente sul coefficiente di sicurezza di stabilità del pendio.

Se ne può dedurre che la presenza del rilevato riferito alla NV07 non costituisce elemento di alterazione della condizione di quiescenza del dissesto, quindi non ne perturba la condizione di stabilità rispetto allo stato di fatto.

6.7 Analisi di sensibilità per variazione della falda post-intervento

A fronte dei risultati precedenti, si è ritenuto opportuno integrare le analisi sviluppate per effettuare valutazioni di sensibilità sul grado di sicurezza globale del versante al variare delle condizioni piezometriche, simulando potenziali risalite del livello di falda in condizioni di piovosità particolarmente abbondanti. Naturalmente tali valutazioni sono state limitate al caso statico per il loro carattere di eccezionalità.

Nella tabella riportata in figura 10 è riportato l'andamento del fattore di sicurezza in dipendenza dalle varie altezze di falda assunte. La condizione estrema in cui la falda è stata innalzata fino al raggiungimento del valore minimo di accettabilità della verifica in caso statico ($F_s=1.2$) corrisponderebbe ad una risalita della stessa di circa 6.8m, quindi estremamente cautelativa. Tale risultato confermerebbe che il dissesto è effettivamente quiescente e in condizioni di stabilità adeguate. Le analisi permettono di avvalorare l'esito dei rilievi geologici di campo che hanno indicato l'assenza di attivazioni recenti.



Run	Description	Offset	Value	F of S (..
0	Base Run	---	---	1.422
1	Piezometric Line 1 Adjus...	0	0 m	1.605
2	Piezometric Line 1 Adjus...	+0.4	0.4 m	1.605
3	Piezometric Line 1 Adjus...	+0.8	0.8 m	1.604
4	Piezometric Line 1 Adjus...	+1.2	1.2 m	1.596
5	Piezometric Line 1 Adjus...	+1.6	1.6 m	1.579
6	Piezometric Line 1 Adjus...	+2	2 m	1.556
7	Piezometric Line 1 Adjus...	+2.4	2.4 m	1.531
8	Piezometric Line 1 Adjus...	+2.8	2.8 m	1.504
9	Piezometric Line 1 Adjus...	+3.2	3.2 m	1.478
10	Piezometric Line 1 Adjus...	+3.6	3.6 m	1.450
11	Piezometric Line 1 Adjus...	+4.4	4.4 m	1.394
12	Piezometric Line 1 Adjus...	+4.8	4.8 m	1.365
13	Piezometric Line 1 Adjus...	+5.2	5.2 m	1.335
14	Piezometric Line 1 Adjus...	+5.6	5.6 m	1.304
15	Piezometric Line 1 Adjus...	+6	6 m	1.273
16	Piezometric Line 1 Adjus...	+6.4	6.4 m	1.241
17	Piezometric Line 1 Adjus...	+6.8	6.8 m	1.208

Figura 11 Analisi di sensibilità per variazione della falda in fase statica

7 CONCLUSIONI SULLE ANALISI DI STABILITÀ E VALUTAZIONE DEGLI INTERVENTI

Dalle analisi effettuate si evince quanto segue:

- In condizioni statiche, la condizione $FS \geq 1.2$ è raggiunta ampiamente considerando sia le attuali condizioni, sia la configurazione post-intervento.
- In condizioni sismiche, la condizione $FS \geq 1.1$ è raggiunta considerando sia le attuali condizioni, sia quelle post-intervento.

Come anticipato nei precedenti paragrafi, tuttavia, al fine di scongiurare possibili locali sconfigurazioni del versante in prossimità della viabilità di progetto, si prevede la realizzazione di una paratia di presidio al piede del rilevato stradale costituita da pali accostati di diametro 1000 mm interasse 1.2m e lunghezza pari a 16 m. Approfondimenti delle analisi eseguite potranno essere effettuate nella successiva fase progettuale sulla base dei risultati del monitoraggio della strumentazione predisposta all'uso lungo il versante.

Di seguito si riporta uno stralcio degli interventi, per un maggiore dettaglio si rimanda all'elaborato grafico di riferimento del progetto (cfr RC1C03R11PZGE0006001A).

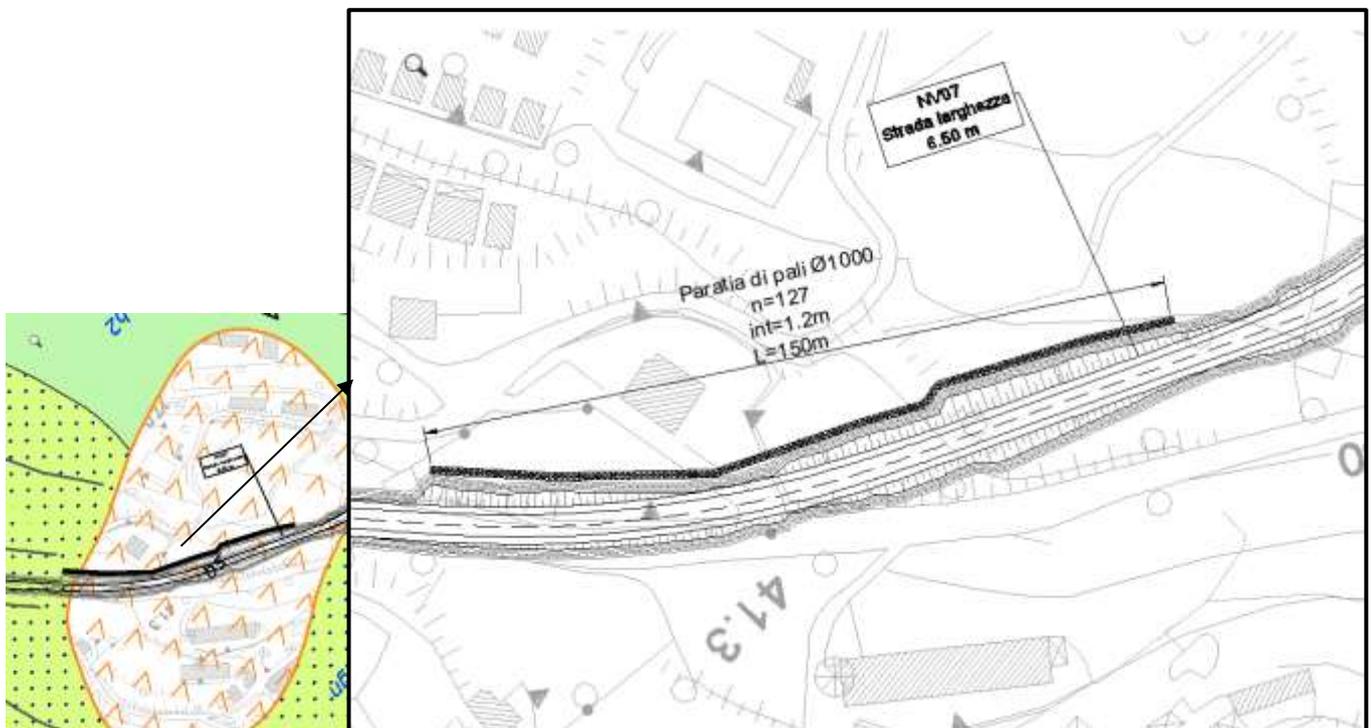


Figura 12 – Planimetria con ubicazione della paratia di presidio della NV07

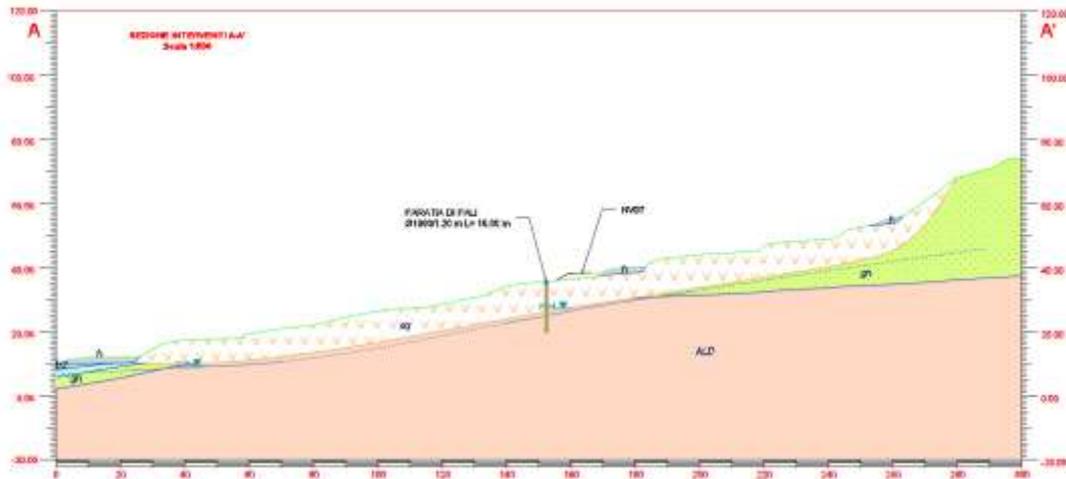


Figura 13 – Sezione estesa con indicazione della paratia di presidio della NV07

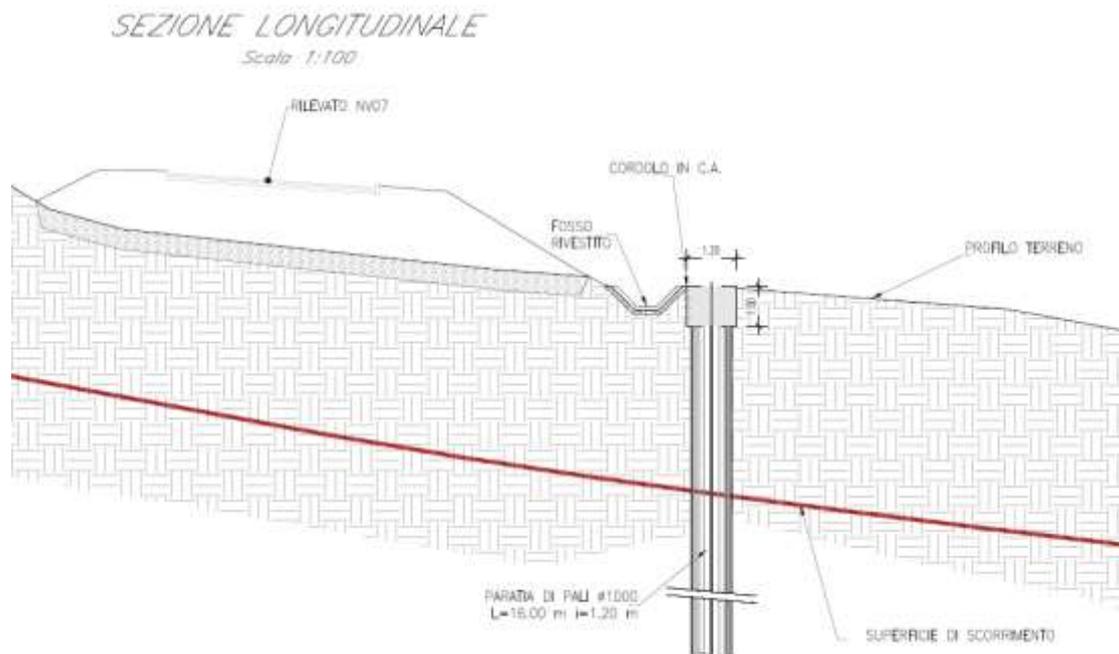


Figura 14 Sezione tipica dell'opera di presidio della NV07