

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



LINEA LAMEZIA T. - CATANZARO L.

U.O. COORDINAMENTO NO CAPTIVE E INGEGNERIA DI SISTEMA

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - SETTINGIANO

VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

GEOTECNICA

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI DISSESTI

SCALA:

-

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

RC0Y 00 R 10 RH GE0006 002 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione definitiva	L. Giannini	Feb 2020	A.Ciavarella	Feb 2020	S. Vanfiori	Feb 2020	L. Berardi
B	Emissione definitiva	S.Corti	Marzo 2021	A.Ciavarella	Marzo 2021	I. D'Amore	Marzo 2021	
C	Emissione per istruttoria RFI	S.Paoloni	Sett. 2021	L. Giannini	Sett. 2021	I. D'Amore	Sett. 2021	

File: RC0Y00R10RHGE0006002C

n. Elab.:



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI
DISSESTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 10	RH GE 0006 002	C	2 di 115

INDICE

1	INTRODUZIONE.....	5
2	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	7
2.1	DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO	7
2.2	NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO	8
2.3	SOFTWARE	8
3	SINTESI DEI DISSESTI E DEGLI INTERVENTI PREVISTI	10
	TRATTA PK 10-13.....	10
	3.1.1 Variante 10 - Dissesto in corrispondenza della curva 8 - pk 10+825 - 11+425.....	10
	TRATTA PK 19-24.....	12
	3.1.2 Variante 5 - Dissesto in corrispondenza della pk 20 circa – nuova viabilità NV01.....	12
	3.1.3 Variante 5 - Dissesto in corrispondenza della curva 20 - pk 20+450 - pk 21+440.....	13
	3.1.4 Tratto extra-variante - Piattaforma cedevole al km 24 circa	14
	TRATTA PK 27-29.....	16
	3.1.5 Variante 8 e tratto extra-variante - Rischio di cavità al di sotto la piattaforma ferroviaria al km 27 circa 16	
	3.1.6 Variante 9 e tratto extra-variante - Dissesto in corrispondenza della pk 27+500 - 28+400 circa e delle curve 28 e 29	16
4	CODICI DI CALCOLO E METODOLOGIE DI VERIFICA.....	18
4.1	VERIFICHE DI STABILITÀ: SLOPE/W	18
4.2	METODOLOGIE DI VERIFICA DI STABILITÀ ADOTTATE.....	18
4.3	STIMA DELLE SOLLECITAZIONI NELLE OPERE DI PRESIDIO: PARATIE PLUS E PLAXIS	19
5	COEFFICIENTI SISMICI PER LA VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE	20
6	ANALISI DI STABILITÀ E PREDIMENSIONAMENTI TRATTA PK 10-13.....	21
6.1	VARIANTE 10 - DISSESTO IN CORRISPONDENZA DELLA CURVA 8 – PK 10+825 – 11+425	21
	6.1.1 Descrizione del dissesto	21



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI
DISSESTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 10	RH GE 0006 002	C	3 di 115

6.1.2	Caratterizzazione geotecnica	23
6.1.3	Stabilità in configurazione attuale	24
6.1.4	Descrizione dell'intervento previsto	24
6.1.5	Stabilità in configurazione post-intervento	25
7	ANALISI DI STABILITÀ E PREDIMENSIONAMENTI TRATTA PK 19-24	28
7.1	VARIANTE 5 - DISSESTO IN CORRISPONDENZA DELLA PK 20 CIRCA - STRADA NV01	28
7.1.1	Verifiche di stabilità globale	40
7.2	VARIANTE 5 - DISSESTO IN CORRISPONDENZA DELLA CURVA 20 - PK 20+450 - PK 21+440	42
7.3	TRATTO EXTRA-VARIANTE - PIATTAFORMA CEDEVOLLE AL KM 24 CIRCA	43
7.3.1	Verifiche SLE – Valutazione del campo degli spostamenti	48
7.3.2	Verifiche SLU – Stabilità globale	48
7.3.3	Analisi della condizione esistente	48
7.3.4	Analisi in condizioni post-intervento.....	53
7.3.5	Dimensionamento dell'opera di presidio	59
7.3.6	Valutazione sollecitazioni e spostamenti	65
8	ANALISI DI STABILITÀ E PREDIMENSIONAMENTI TRATTA PK 27-29	70
8.1	VARIANTE 9 E TRATTO EXTRA-VARIANTE - PK DA 28 A 28+400 CIRCA	70
8.1.1	Descrizione del dissesto	70
8.1.2	Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo	72
8.1.3	Verifiche SLE – Valutazione del campo degli spostamenti	73
8.1.4	Verifiche SLU – Stima delle sollecitazioni nella struttura.....	73
8.1.5	Analisi della condizione esistente	74
8.1.6	Stima delle sollecitazioni nell'opera di presidio (condizione post-intevento)	75
8.2	TRATTO EXTRA-VARIANTE TRA KM 27+500 - KM 28+000 CIRCA - OPERA DI PRESIDIO	81
8.2.1	Descrizione del dissesto	81
8.2.2	Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo	83



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI
DISSESTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 10	RH GE 0006 002	C	4 di 115

8.2.3 *Descrizione e dimensionamento dell'opera di presidio*83

8.2.4 *Valutazione sollecitazioni e spostamenti sulla paratia*.....90

ALLEGATO A – Sollecitazioni di progetto nella struttura a pk 28



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI
DISSESTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 10	RH GE 0006 002	C	5 di 115

1 INTRODUZIONE

Il presente Progetto di Fattibilità Tecnico Economica ha come oggetto la velocizzazione della tratta Lamezia Terme – Settingiano mediante rettifiche di tracciato.

Il collegamento Lamezia Terme – Settingiano ha uno sviluppo complessivo pari a circa 29 km, mentre gli interventi di velocizzazione (oggetto del presente PFTE) sono limitati a tre segmenti compresi tra le progressive chilometriche 10+000 – 13+000, 19+000 - 24+0000 e 27+000 – 29+000 (vedi Tabella).

Nei suddetti segmenti la velocizzazione della tratta è ottenuta o prevedendo varianti plano-altimetriche di tracciato o per mezzo di sole modifiche della sopraelevazione. Nella tabella seguente è indicato, per ogni tratta di intervento, il nome della variante di progetto e il numero della curva della linea storica (LS) interessata dalla variante:

VELOCIZZAZIONE TRAMITE AUMENTO DELLA SOPRAELEVAZIONE				
Tratta di intervento	Nome intervento	Curva LS	Pk LS inizio - fine	Velocità esistente / velocità di progetto (Km/h)
km 10+000 - 13+000	VARIANTE 10	CURVA 7	10+096 - 10+490	80/90
		CURVA8	10+825 - 11+425	
		CURVA9	11+455 – 11+740	
		CURVA 10	12+137 – 12+843	
VELOCIZZAZIONE TRAMITE VARIANTI DI TRACCIATO				
Tratta di intervento	Nome intervento	Curva compresa nell'intervento	Sviluppo intervento (m)	Velocità esistente / velocità di progetto (Km/h)
Km 19+000-24+000	VARIANTE 5	CURVA 20a e 20b	19+888 - 20+068 / 20+156-20+237	30 / 110-140
	VARIANTE 6	CURVA21	21+922 - 22+201	80 / 140
	VARIANTE 7	CURVE 22, 23 e 24	22+894 - 23+802	80 / 140
Km 27+000-29+000	VARIANTE 8	CURVA 27	27+139 - 27+291	80 / 140
	VARIANTE 9	CURVE 28 e 29	28+300 - 29+295	80 / 140

Gli interventi di velocizzazione operati con le modifiche di tracciato di cui alla tabella precedente hanno compreso la valutazione della sicurezza della linea dal punto di vista idraulico, geotecnico e



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI
DISSESTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 10	RH GE 0006 002	C	6 di 115

strutturale anche in tratte esterne a quelle in variante. Nelle tre tratte di progetto sono previsti infatti sia interventi volti ad assicurare la sicurezza della sede ferroviaria rispetto agli incrementi delle sollecitazioni conseguenti alla velocizzazione (rifacimento opere sotto binario) o a fenomeni di dissesto presenti (instabilità versanti / piattaforma cedevole / rischio presenza cavità), sia ad assicurare la compatibilità della linea con riferimento al rischio idraulico esistente.

Scopo della presente relazione sono:

- L'esame delle aree prospicienti la ferrovia interessate da rischio dissesti (così come definite nello studio geologico Doc.[1]) e dei tratti di sede ferroviaria affetti da "piattaforma cedevole" ovvero rischio presenza di cavità al di sotto della sede ferroviaria;
- La definizione degli interventi di stabilizzazione dei dissesti e dei rischi osservati.

Il documento si articola come segue:

- al capitolo 2 sono elencati i documenti, le normative e la bibliografia di riferimento;
- al capitolo 3 è riportata una breve descrizione dei dissesti e degli interventi previsti;
- al capitolo 4 è contenuta una sintesi delle caratteristiche dei codici di calcolo e delle metodologie di verifiche utilizzati;
- al capitolo 5 sono definiti i coefficienti sismici per le analisi pseudostatiche utilizzate nelle verifiche di stabilità;
- nei capitoli da 6 a 8 sono descritte le analisi di stabilità dei versanti e i calcoli di predimensionamento delle opere e degli interventi di stabilizzazione.



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI
DISSESTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 10	RH GE 0006 002	C	7 di 115

2 **NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

2.1 **DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO**

- [1] ITALFERR – Progetto di Fattibilità Tecnico Economica – Collegamento Lamezia Terme– Settingiano velocizzazione mediante rettifiche di tracciato – Relazione Geologica, Geomorfologica, Idrogeologica e sismica (Doc. RC0Y00F69RGGE0005001B)
- [2] ITALFERR – Progetto di Fattibilità Tecnico Economica – Collegamento Lamezia Terme– Settingiano. Velocizzazione mediante rettifiche di tracciato – Profilo geotecnico al 5000 (Doc. da RC0Y00R10F5GE0006001A a RC0Y00R10F5GE0006004A)
- [3] ITALFERR – Progetto di Fattibilità Tecnico Economica – Collegamento Lamezia Terme– Settingiano. Velocizzazione mediante rettifiche di tracciato – Profilo geotecnico al 2000 (Doc. da RC0Y00R10F6GE0006001A a RC0Y00R10F6GE0006002A)
- [4] ITALFERR – Progetto di Fattibilità Tecnico Economica – Collegamento Lamezia Terme– Settingiano. Velocizzazione mediante rettifiche di tracciato – Sezioni geotecniche (Doc. da RC0Y00R10WZGE0006001A a RC0Y00R10WZGE0006004A)
- [5] ITALFERR – Progetto di Fattibilità Tecnico Economica – Collegamento Lamezia Terme– Settingiano. Velocizzazione mediante rettifiche di tracciato – Tipologico interventi di stabilizzazione (Doc. RC0Y00R10PZGE0006001B)
- [6] ITALFERR – Progetto di Fattibilità Tecnico Economica – Collegamento Lamezia Terme– Settingiano. Velocizzazione mediante rettifiche di tracciato – Interventi di stabilizzazione (Doc. da RC0Y00R10PZGE0006002A a RC2Y00R10PZGE0006008A)
- [7] ITALFERR – Progetto di Fattibilità Tecnico Economica – Collegamento Lamezia Terme– Settingiano velocizzazione mediante rettifiche di tracciato – Relazione geotecnica generale (Doc. RC0Y00R10GEGE0006001B)
- [8] ITALFERR – Progetto di Fattibilità Tecnico Economica – Collegamento Lamezia Terme– Settingiano. Velocizzazione mediante rettifiche di tracciato – Relazione della suscettibilità alla liquefazione (Doc. RC0Y00R10RHGE0006001B)



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI
DISSESTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 10	RH GE 0006 002	C	8 di 115

[9] ITALFERR – Progetto di Fattibilità Tecnico Economica – Collegamento Lamezia Terme– Settingiano velocizzazione mediante rettifiche di tracciato – Relazione di predimensionamento fondazioni profonde (Doc. RC0Y00R10RHGE0006003B)

[10] ITALFERR – Progetto di Fattibilità Tecnico Economica – Collegamento Lamezia Terme– Settingiano. Velocizzazione mediante rettifiche di tracciato – Relazione di calcolo rilevati e trincee ferroviarie (Doc. RC0Y00R10RHGE0006004B)

2.2 NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO

[11] 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.

[12] 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”

[13] RFI DTC SI MA IFS 001 E del 2021- “MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI”.

[14] RFI DTC INC CS LG IFS 001 A del 21.12.2011 – “Linee guida per il collaudo statico delle opere in terra”.

[15] RFI DTC SI SP IFS 001 D - Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – “Opere in terra e scavi”– RFI.

[16] Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell'Unione europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;

[17] UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali

[18] UNI EN 1998-5: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

[19] AGI (1977) Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI
DISSESTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 10	RH GE 0006 002	C	9 di 115

[20] AGI (2005) Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica. Linee guida.

2.3 SOFTWARE

[21] SlopeW – GeoSlope (www.geo-slope.com)

[22] Paratie Plus ver 20.0. CEAS srl, Viale Giustiniano 10 - 20129 Milano

[23] PLAXIS B.V.. “Plaxis – Finite Element Code for Soil and Rock Analyses”. Plaxis 2D – AE.02. A.A. Balkema, Rotterdam, Netherland. ([http:// w.plaxis.nl](http://w.plaxis.nl))

3 SINTESI DEI DISSESTI E DEGLI INTERVENTI PREVISTI

Nel seguito si elencano e si descrivono brevemente i dissesti presenti lungo le tre tratte oggetto di velocizzazione, ovvero km 10-13, km 19-24 e km 27-29, evidenziate in blu in figura.

Si osserva che i dissesti descritti sono perlopiù riferibili a fenomeni già cartografati nelle carte tematiche PAI che, nell'ambito del presente Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica, sono stati oggetto di specifici approfondimenti svolti nell'ambito dello studio geologico, sia mediante rilievi di campo, sia mediante l'interpretazione delle indagini geognostiche svolte. Tali evidenze sono raccolte nella Relazione geologica (Doc.[1])

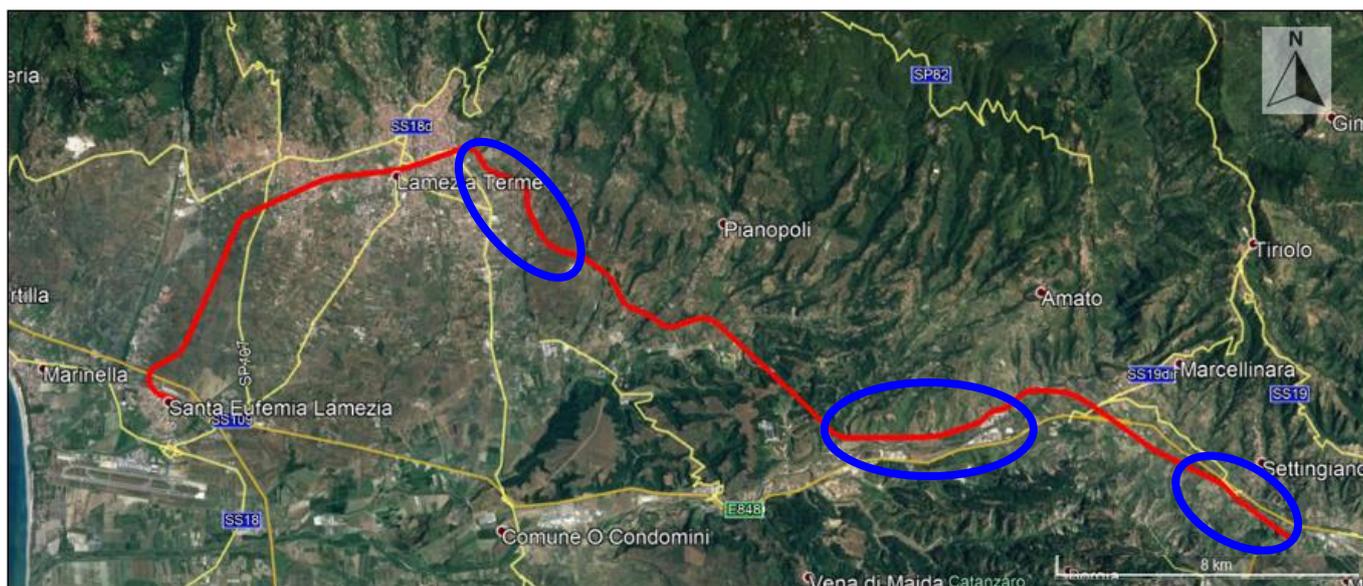


Immagine aerea complessiva tratta ferroviaria Lamezia Terme - Settingiano (Google Earth).

TRATTA PK 10-13

3.1.1 Variante 10 - Dissesto in corrispondenza della curva 8 - pk 10+825 - 11+425

In corrispondenza della curva 8 (pk 10+825 - 11+425), è stata rilevata la presenza di fenomeni di erosione superficiale piuttosto intensa con erosione della scarpata a causa della mancata regimazione delle acque di ruscellamento superficiale, con localizzate zone di accumulo di coltri colluviali

potenzialmente soggette a instabilità superficiale (fig. 2), ma che attualmente non mostrano segni evidenti di importanti movimenti in atto, se non soliflussi superficiali localizzati. Sono state indagate le coltri potenzialmente instabili tramite stendimenti di sismica a rifrazione (R6, R6 trasv.) e tomografia elettrica (ERT 2/L1 e ERT 3/L1). Sono stati inoltre eseguiti in quest'area i sondaggi S06 e S07 per la ricostruzione della stratigrafia locale. L'interpretazione delle indagini ha permesso di definire lo spessore delle coltri eluvio-colluviali interessate localmente da soliflusso, le quali raggiungono uno spessore dell'ordine dei 2/3m lungo lo stendimento ERT2, arrivando localmente a 5m nella parte più alta del pendio, e uno spessore tra i 2m e i 6m lungo lo stendimento ERT3.

Al successivo cap6.1 sono illustrate le analisi di stabilità svolte: in particolare si è presa a riferimento nelle analisi la sezione alla progressiva 10+900 ca, dove il versante si presenta con la massima acclività, ritenendo questa la sezione maggiormente rappresentativa delle condizioni critiche. Tale sezione è ubicata a circa metà tra le ERT di riferimento (ERT 2 e ERT3).

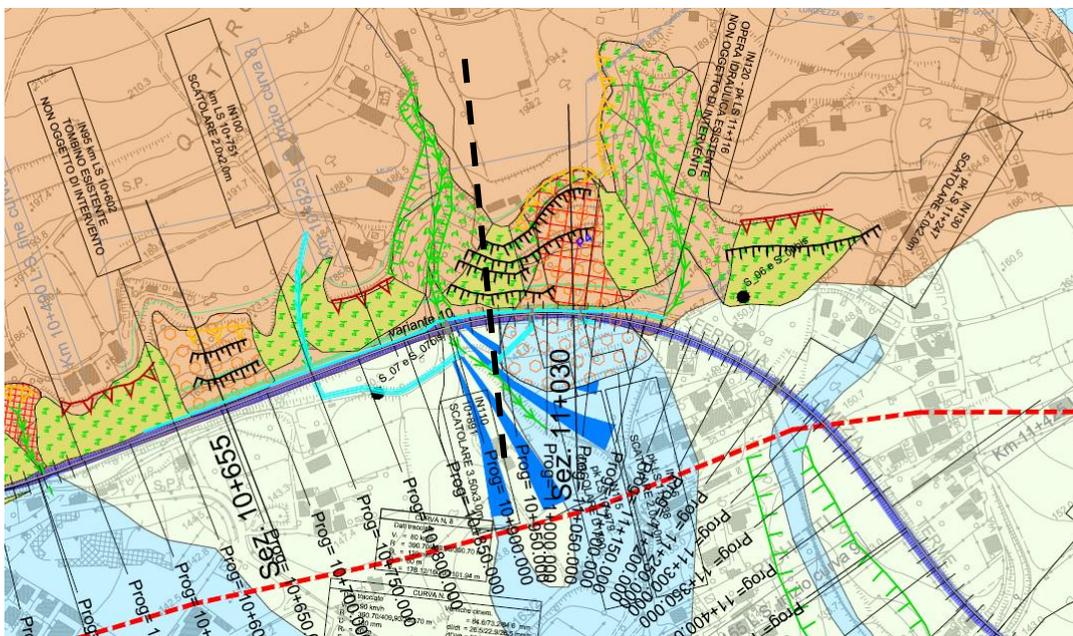


Figura 1 Stralcio geologico della curva 8. Tratteggiata in nero la sezione di analisi, corrispondente alla sezione di maggior acclività del pendio

L'analisi svolta ha tenuto conto degli interventi previsti in progetto costituiti dalla predisposizione di una rete di canalette superficiali che permetta il rapido allontanamento delle acque piovane, limitando in tale modo l'infiltrazione e il ruscellamento incontrollato delle acque lungo il pendio e, inoltre, nella porzione bassa del versante prospiciente la ferrovia, la realizzazione di una batteria di microdreni sub-orizzontali: la falda è stata impostata nella analisi a circa 2 -2.5 m di profondità da pc ritenendo che gli interventi siano in grado di abbattere la formazione di falde sospese a seguito di eventi piovosi intensi.

TRATTA PK 19-24

3.1.2 Variante 5 - Dissesto in corrispondenza della pk 20 circa – nuova viabilità NV01

In tale tratto, associata alla variante planimetrica ferroviaria è prevista la realizzazione di un nuovo tratto di viabilità (NV01) mediante una modifica planimetrica della strada attuale (SS19). Lungo la strada esistente sono visibili accumuli di materiale proveniente dalla scarpata soprastante corrispondenti a materiale eroso dall'azione del ruscellamento delle acque meteoriche (fig 2).



Figura 2 Vista del materiale accumulato sulla sede stradale

Per mitigare il fenomeno riscontrato, si prevede:

- la realizzazione di un fosso di guardia a monte della scarpata (lungo la strada sterrata a monte della SS19),
- la risagomatura della scarpata prevedendo un impianto antiersivo tipo “Prati Armati”, nonché la realizzazione di una batteria di microdreni sub-orizzontali.

Nelle porzioni in cui il tratto di nuova viabilità comporta il taglio e l'arretramento della scarpata esistente è prevista inoltre la realizzazione di due tratti di paratie di pali, di controripa e di presidio, al fine di garantire la stabilità complessiva del versante in seguito alla modifica planimetrica della SS19.

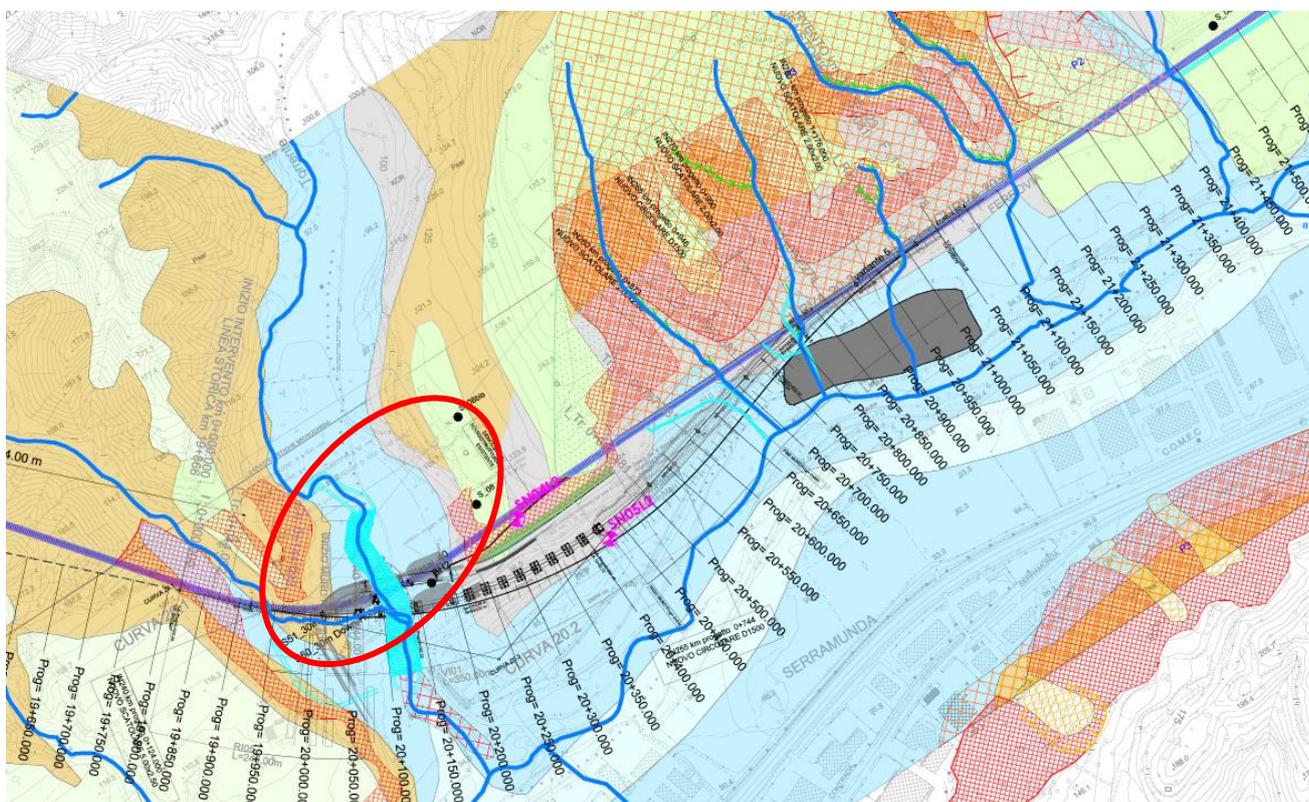


Figura 3 Curva 20: NV01 (estratto da relazione geologica).

3.1.3 Variante 5 - Dissesto in corrispondenza della curva 20 - pk 20+450 - pk 21+440

Anche la porzione di versante prospiciente la ferrovia, tra le pk 20+450 ca - pk 21+440, è caratterizzato dalla presenza di un'area a franosità diffusa, corrispondente alla presenza di piccoli movimenti superficiali (Doc.[1]). I dissesti descritti si ritiene siano innescati, anche in questo caso, principalmente dal ristagno e dell'azione erosiva delle acque meteoriche, in seguito a fenomeni piovosi

intensi. Pertanto, stante le condizioni non critiche di tale porzione del versante, gli interventi di stabilizzazione comprendono la predisposizione di una rete di canalette superficiali che permetta il rapido allontanamento delle acque piovane, limitando in tale modo l'infiltrazione e il ruscellamento incontrollato delle acque lungo il pendio.

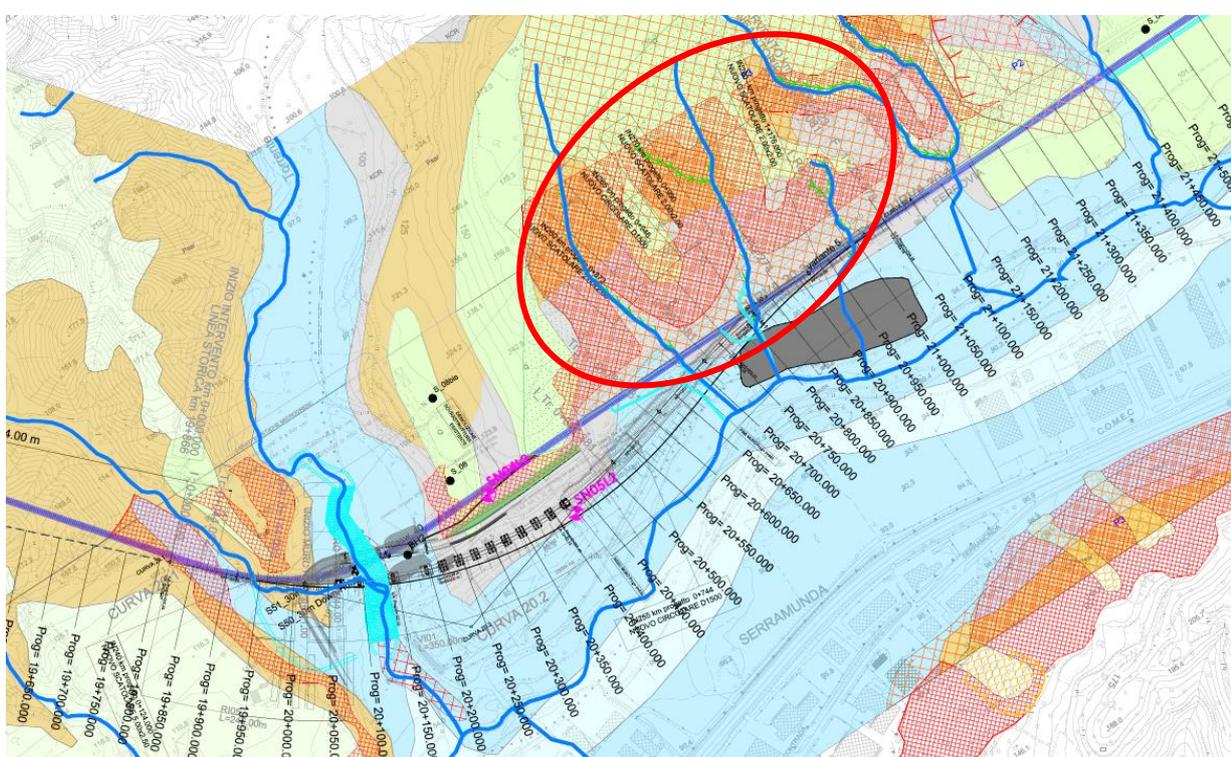


Figura 4 Curva 20: area interessata da dissesti superficiali (estratto da relazione geologica).

3.1.4 Tratto extra-variante - Piattaforma cedevole al km 24 circa

In corrispondenza della pk 24+000, per un tratto di circa 1 km di estensione (pk da 23 a 24 circa) è segnalata nelle schede tecniche di RFI la presenza di “piattaforma cedevole”.

Tale dissesto si ritiene sia dovuto sia alla scarsa qualità dei materiali costituenti il rilevato (ancorché di altezza molto ridotta, inferiore a 1 m), sia e soprattutto dei terreni di fondazione, che, in seguito al prolungato ristagno e alla conseguente infiltrazione delle acque piovane non regimate provenienti dal

versante a monte della SS19, perdono di consistenza producendo i fenomeni osservati. Presumibilmente il passaggio ripetuto del treno amplifica gli effetti di decadimento delle caratteristiche dei terreni costituenti il rilevato e dei terreni di fondazione, imbibiti in seguito alla infiltrazione di acqua. Tra i fenomeni di dissesto osservati è inclusa la rotazione e la sconfigurazione per lesioni del muro di sottoscampa del rilevato, riconducibile sia a un eccesso di spinta per la presenza di acqua, sia al generale decadimento delle caratteristiche del terreno di fondazione per i fenomeni detti.

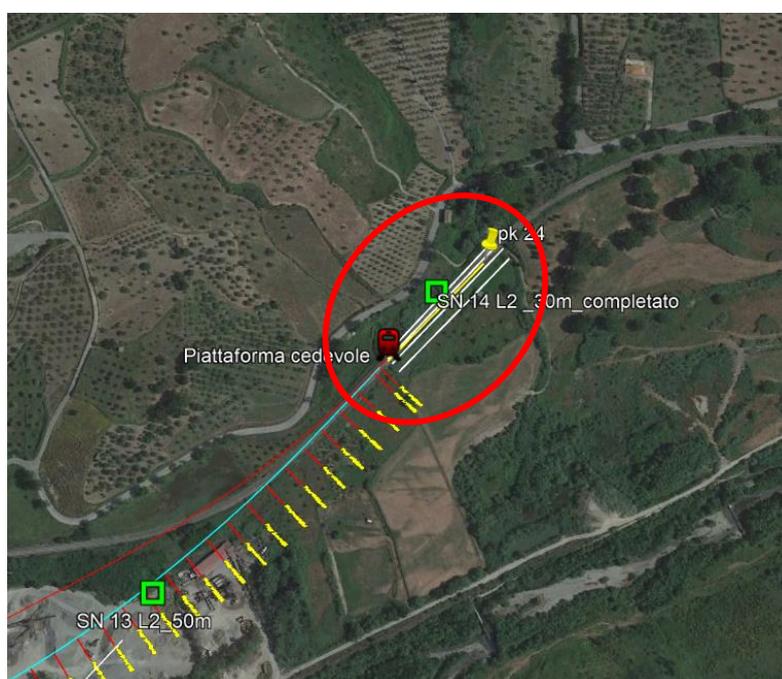


Figura 5 – piattaforma cedevole intorno a pk 24. (Google Earth).

Gli interventi individuati prevedono la bonifica (parziale) del corpo del rilevato attuale e il rifacimento della piattaforma ferroviaria. Per evitare i fenomeni di ristagno e infiltrazione si interviene con la regimazione delle acque meteoriche a partire dalla strada SS19 ubicata a monte della ferrovia, il rimodellamento della superficie del terreno sede di ristagni compreso tra strada e rilevato ferroviario e la realizzazione di una trincea drenante appena a monte del rilevato stesso. Si prevede inoltre la realizzazione di una paratia di pali lungo la scarpata di valle del rilevato, a monte del muro di sottoscampa lesionato e ruotato, in sostituzione dello stesso.



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI
DISSESTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 10	RH GE 0006 002	C	16 di 115

TRATTA PK 27-29

3.1.5 Variante 8 e tratto extra-variante - Rischio di cavità al di sotto la piattaforma ferroviaria al km 27 circa

Tra le pk 27+284 e 27+470 circa, la linea ferroviaria insiste su un'area caratterizzata dalla presenza di gessi con associato rischio di cavità: alcuni segni di sprofondamenti riconoscibili nell'area circostante l'infrastruttura hanno indotto a verificare la stabilità della sede ferroviaria in tale area. Dalle indagini effettuate (tomografie elettriche) è confermata la presenza di anomalie che potrebbero essere riconducibili a zone di dissoluzione con probabile parziale riempimento con materiale argilloso-limoso. Pertanto, nell'ambito del progetto si prevedono interventi in corrispondenza di tale tratto di sede ferroviaria che includono la bonifica (parziale) del corpo del rilevato esistente e il rifacimento integrale della piattaforma, nonché l'esecuzione di iniezioni cementizie a bassa pressione per il trattamento delle cavità eventualmente presenti al di sotto della sede ferroviaria. Ulteriori dettagli sono descritti nell'elaborato grafico di riferimento delle sezioni dei dissesti (Doc. [6]).

3.1.6 Variante 9 e tratto extra-variante - Dissesto in corrispondenza della pk 27+500 - 28+400 circa e delle curve 28 e 29

In corrispondenza della variante 9 e nei tratti immediatamente precedenti, è presente un'ampia area interessata da movimenti franosi superficiali molto lenti, con la tendenza all'attivazione a seguito di eventi pluviometrici significativi. Il tratto interessato, come riportato in relazione geologica (cap 11.11 relazione geologica - Doc.1), è ubicato tra le progressive Km 27+500 e 28+400 circa.

In questa zona sono presenti scivolamenti di spessore dell'ordine di 4m (stabilito sulla base delle evidenze delle ERT e del sondaggio BH3) che si attivano principalmente in seguito ad eventi di pioggia intensa e prolungata, a seguito della creazione di locali falde sospese.

Sempre in questa tratta, in particolare tra le pk 28+100 e 28+500 vi sono segnalazioni nelle schede tecniche di RFI della presenza di "piattaforma cedevole".

L'esame comparato di tutte le informazioni disponibili fa ritenere che i suddetti fenomeni di "piattaforma cedevole" siano collegati sia ai lenti cinematismi del versante, sia soprattutto agli evidenti fenomeni di

erosione al piede/scalzamento operati dal fiume Fallaco a danno del muro di sottoscarpa della sede ferroviaria, che in tale tratto è ubicata a margine del meandro del fiume (Figura 6).

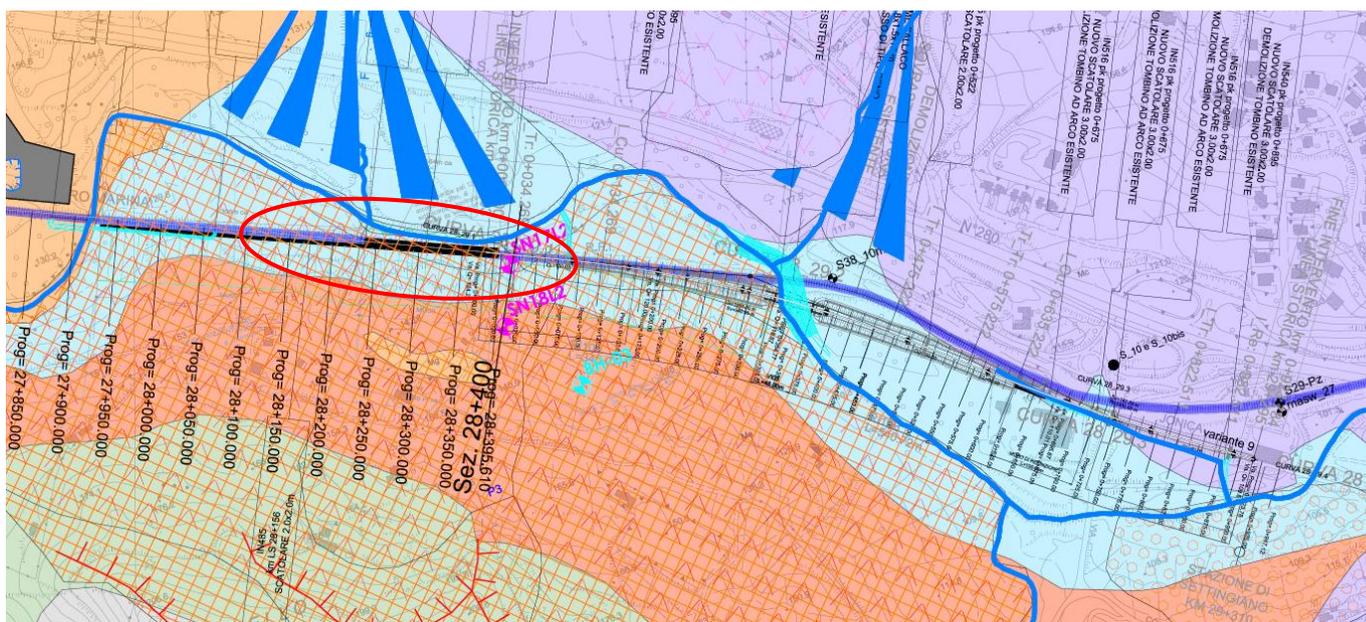


Figura 6 – Stralcio della carta geologica dal km 27+900 a 29+300. In rosso in evidenza il tratto di “piattaforma cedevole” in stretta adiacenza al fiume Fallaco

Pertanto, nel tratto di ferrovia in stretta adiacenza al torrente Fallaco (da pk 28+200 a pk 28+400 circa) si prevede di intervenire con la realizzazione di un’opera che funge sia da presidio nei confronti dello scivolamento della coltre superficiale, sia di sostegno e protezione del corpo ferroviario in sostituzione del muro di sottoscarpa esistente, annullando l’azione di scalzamento del fiume.

Nella zona immediatamente antecedente a tale tratto, da pk 27+900 a pk 28+200 circa, dove il fiume non l’ambisce più l’infrastruttura, si prevede la realizzazione di un’opera di presidio a monte della ferrovia, in sostituzione del muretto esistente ruotato e sconnesso, al fine di contenere i movimenti della coltre instabile.

Lungo tutto il tratto in esame, per impedire l’innalzamento locale della falda (o comunque la creazione di locali falde sospese), si prevede la realizzazione di trincee drenanti a pettine, sia a monte delle opere di presidio, sia nel tratto successivo da pk 27+900 a pk 28+650 circa dove la sede ferroviaria corre in rilevato. Le trincee drenanti sono poste lungo la direzione di massima pendenza.

Le analisi delle opere previste sono riportate al successivo capitolo 8.



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI
DISSESTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 10	RH GE 0006 002	C	18 di 115

4 CODICI DI CALCOLO E METODOLOGIE DI VERIFICA

4.1 VERIFICHE DI STABILITÀ: SLOPE/W

Slope/W è un codice di calcolo dedicato allo studio della stabilità dei pendii che permette di calcolare il fattore di sicurezza dei pendii in terreno e in roccia.

Il codice Slope/W utilizza il metodo dell'equilibrio limite e permette di prendere in considerazione superfici di scorrimento definite in diversi modi, condizioni stratigrafiche e idrostratigrafiche complesse mediante l'utilizzo di diversi modelli costitutivi per i materiali e condizioni di pressioni neutre variabili. Sono inoltre utilizzabili diversi metodi di analisi e possono essere applicate condizioni di carico di vario tipo. Nel caso in esame è stato utilizzato il metodo di Morgenstern e Price.

La versione del software adottata per le verifiche condotte nel presente documento è SlopeW – GeoSlope ver. 7.17 - GEOSTUDIO 2007.

4.2 METODOLOGIE DI VERIFICA DI STABILITÀ ADOTTATE

L'esame delle condizioni di stabilità dei pendii in esame è stato condotto utilizzando gli usuali metodi dell'equilibrio limite.

Il coefficiente di sicurezza a rottura lungo la superficie di scorrimento viene definito come rapporto tra la resistenza al taglio disponibile lungo la superficie e quella effettivamente mobilitata:

$$F_s = \frac{T_{\text{disp}}}{T_{\text{mob}}}$$

Il codice Slope/W è stato utilizzato nel presente documento per condurre le analisi di stabilità sia in campo statico che in campo sismico (adottando il metodo pseudo-statico) costituenti le verifiche SLU richieste dalla Normativa.

Tutte le verifiche sono svolte cautelativamente secondo l'Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M2+R2) delle NTC2018 riferito ai rilevati e fronti di scavo, anche se il calcolo è focalizzato sulla parte di versanti naturali senza considerare l'interferenza diretta con i rilevati.



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI
DISSESTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 10	RH GE 0006 002	C	19 di 115

4.3 STIMA DELLE SOLLECITAZIONI NELLE OPERE DI PRESIDIO: PARATIE PLUS E PLAXIS

Paratie Plus è un codice di calcolo ad elementi finiti specifico per opere di sostegno, dove il terreno è schematizzato mediante molle equivalenti e il modello ad elementi finiti riguarda la sola “struttura”.

Il codice di calcolo permette di stimare le sollecitazioni nell’opera di sostegno, nonché la sua deformata, quando questa viene sollecitata da un certo regime di spinta.

La versione del software adottata per le verifiche condotte nel presente documento è la Paratie Plus ver 20.0.

Per strutture particolari come quella prevista a pk 28, dove è necessario valutare meglio l’interazione terreno struttura, si fa affidamento al codice di calcolo Plaxis 2D. Plaxis 2D è un codice di calcolo agli elementi finiti (sviluppato dalla Delft University of Technology) bidimensionale in grado di tenere conto del comportamento del terreno seguendo la variazione dello stato tensionale e deformativo nei vari punti dell’ammasso considerato e negli eventuali elementi strutturali collegati con i quali interagisce.

È utilizzabile per eseguire analisi di stabilità e di deformazione nell’ambito di molteplici applicazioni geotecniche. Il programma permette di simulare situazioni reali riconducibili a condizioni di deformazione piane (plane strain) o a condizioni assialsimmetriche (axisymmetric).

Plaxis consente di svolgere diversi tipi di calcolo agli elementi finiti distinguendo tra calcoli di tipo Plastico (plastic), Analisi di consolidazione (consolidation), Analisi di stabilità con il metodo della riduzione dei parametri di resistenza (phi-c reduction) e Analisi dinamiche (dynamic).

La versione del software adottata per le analisi condotte nel presente documento è Plaxis 2D AE.02

5 COEFFICIENTI SISMICI PER LA VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE

Come descritto al Par. C7.11.4 del Doc. Rif. [12], la verifica di stabilità globale va condotta mediante il metodo di analisi definito al Par. 7.11.3.5 del Doc. Rif.[11], inerente alla stabilità dei pendii.

Sulla base di quanto definito al Par.7.11.3.5.2 del Doc. Rif.[11], in mancanza di studi specifici, i coefficienti sismici k_h (orizzontale) e k_v (verticale) sono definiti come:

$$k_h = \beta_s a_{\max}/g$$

$$k_v = \pm k_h / 2$$

essendo:

a_{\max} = azione sismica di progetto definita nella Relazione geotecnica (Doc. Rif. [12]).

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

Come chiarito al Par. 7.11.3 del Doc. Rif. [11] il valore del coefficiente β_s da assumere è pari a 0.28 per verifiche SLV per classi di sottosuolo diverse dalla A e per accelerazioni rientranti nell'intervallo $0.2 < a_g \leq 0.4$.

In accordo alle espressioni di cui sopra, si ottengono i seguenti coefficienti per la verifica di stabilità globale allo SLV (Tabella 5.1):

Tabella 5.1: Valori dei coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale

Aree	a_{\max} (g)	k_h	k_v
Var.5 e Var.9	0.396	0.111	± 0.055
Var.10s	0.350	0.098	± 0.049

Per le analisi di stabilità dei pendii naturali di Var 10s – curva 8 e Var 5 – curva 20, i valori di Tabella 5.1 sono stati incrementati considerando il coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1.2$ valido per categoria topografica T2 (pendii con inclinazione media superiore a 15° e altezza superiore a 30 m), in accordo al Par. 7.11.3.5.1 delle NTC 2018.

6 ANALISI DI STABILITÀ E PREDIMENSIONAMENTI TRATTA PK 10-13

6.1 VARIANTE 10 - DISSESTO IN CORRISPONDENZA DELLA CURVA 8 – PK 10+825 – 11+425

6.1.1 Descrizione del dissesto

Come indicato al capitolo 3, la zona in esame è potenzialmente soggetta a soliflussi in condizioni di falda prossima al piano di campagna. Gli spessori sono stati definiti nella relazione geologica sulla base delle prove di resistività elettrica ERT. Per la sezione analizzata, la quale è stata tracciata nella zona in cui il pendio presenta massima pendenza, si considera più rappresentativa la prova ERT 2/L1 / ERT 2/L1bis (di cui si riportano traccia planimetrica e tomografia nelle figure seguenti), che presenta spessori maggiori nella porzione più elevata del pendio e che tendono a ridursi nella zona bassa, in adiacenza alla ferrovia (vedi relazione geologica [1]). Gli spessori sono tipicamente dell'ordine di 2-4m, fino a 5m nella parte alta del pendio (vedi relazione geologica [1]).



Figura 6-1 – Variante 10 – curva 8. ERT 2/L1 – traccia planimetrica

INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA ERT 2/L1

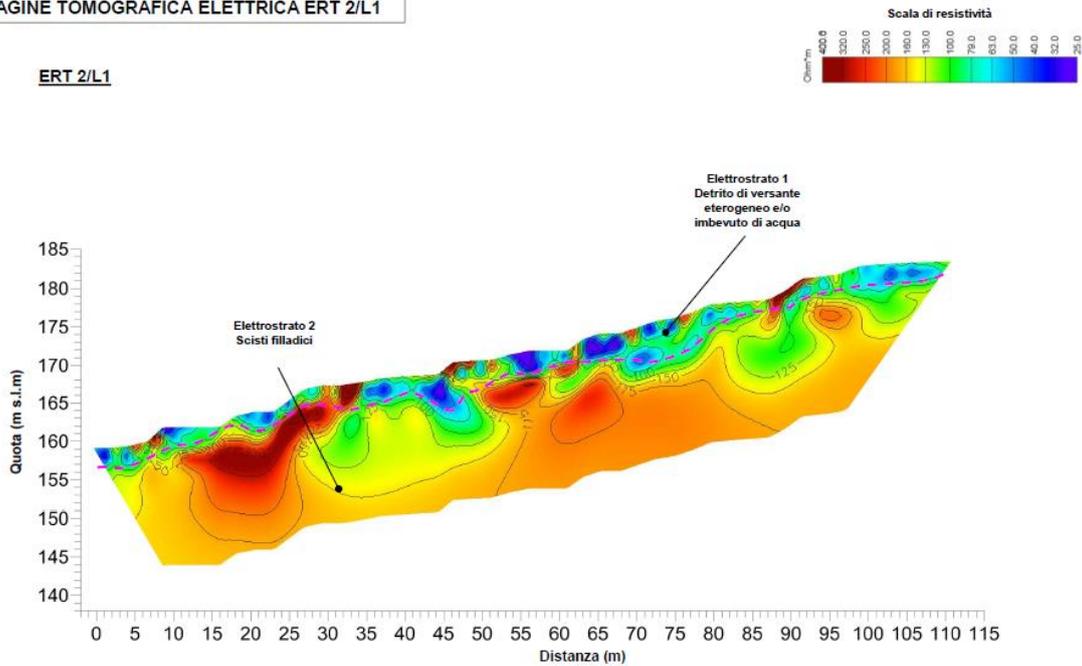


Figura 6-2 – Variante 10 – curva 8. ERT 2/L1

INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA ERT 2bis/L1

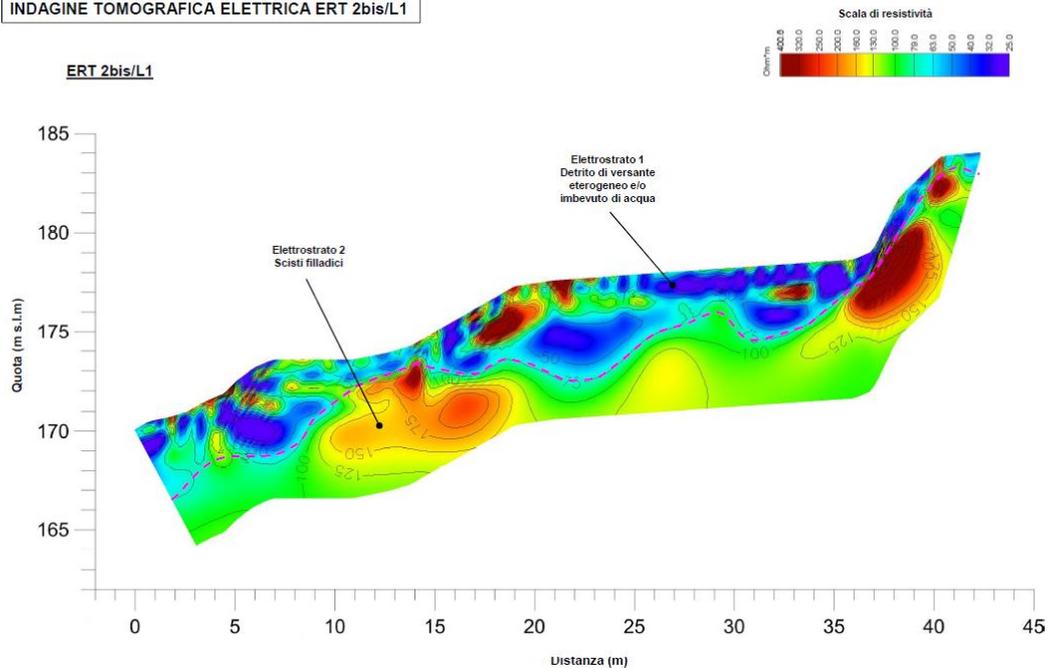


Figura 6-3 – Variante 10 – curva 8. ERT 2/L1 bis

6.1.2 Caratterizzazione geotecnica

La stratigrafia ipotizzata per i calcoli è mostrata nella sezione geotecnica specifica (vedi Doc. [4]). Per quanto riguarda la caratterizzazione geotecnica, i parametri di resistenza sono stati adottati in accordo alla caratterizzazione generale (Doc. [7]).

In quest'area sono presenti depositi di sabbie e ghiaie facenti parte di depositi alluvionali terrazzati che risalgono fino appena a monte della ferrovia. Lungo il pendio e sul terrazzo soprastante sono invece presenti scisti filladici. Il rischio indicato dalla geologia è del tipo erosione/soliflusso superficiale come descritto al paragrafo precedente. Tali coltri sono formate da materiale a grana fine piuttosto consistente, come evidenziato anche dal sondaggio S6, che si sono depositate anche in parte sulle sabbie e ghiaie sottostanti.

La sezione di riferimento è stata tracciata nella zona dove sono più forti le pendenze della scarpata naturale, anche se questa insiste appena al di fuori della zona dove in base ai documenti dello studio geologico si riscontra la presenza di depositi di frana, comunque attualmente non in movimento. Su tali basi, i parametri geotecnici delle coltri dell'unità "SC coltri" sono stati ricavati mediante un'analisi a ritroso, illustrata al paragrafo 6.1.3, tenendo conto che durante le fasi piovose, in cui si possono creare falde sospese o comunque innalzamenti di falda fino in superficie, tale materiale può instabilizzarsi (con coefficiente di sicurezza prossimo all'unità).

I parametri delle tre unità geotecniche individuate, più i parametri del rilevato esistente sono elencati in tabella sotto.

Tabella 6.1: Parametri geotecnici caratteristici e di progetto – variante 10 curva 8

STRATO	Descrizione	Peso di volume	Angolo di resistenza al taglio		Coesione efficace		
			γ_d	ϕ'_k	ϕ'_d M2	c'_k	c'_d M2
			[kN/m ³]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]
RILEVATO	Materiale granulare selezionato	20	38	32	0	0	
GS	Materiale alluvionale sabbioso/ghiaioso	20	33	27.5	0	0	
SC	Scisti filladici	22	30	24.8	50	40	
SC coltri	Coltri degli scisti filladici	20	26	21.3	5	4	

6.1.3 Stabilità in configurazione attuale

Il risultato dell'analisi a ritroso effettuata per la zona con il pendio a maggiore pendenza e utilizzando i valori dei parametri riportati nella tabella precedente (con particolare riferimento a quelli delle coltri degli scisti) è riportata in figura 6.4. In condizioni di innalzamento della falda o creazione di falda sospesa, la stabilità delle coltri risulta al limite, il che è in linea con quanto osservato nell'area in esame.

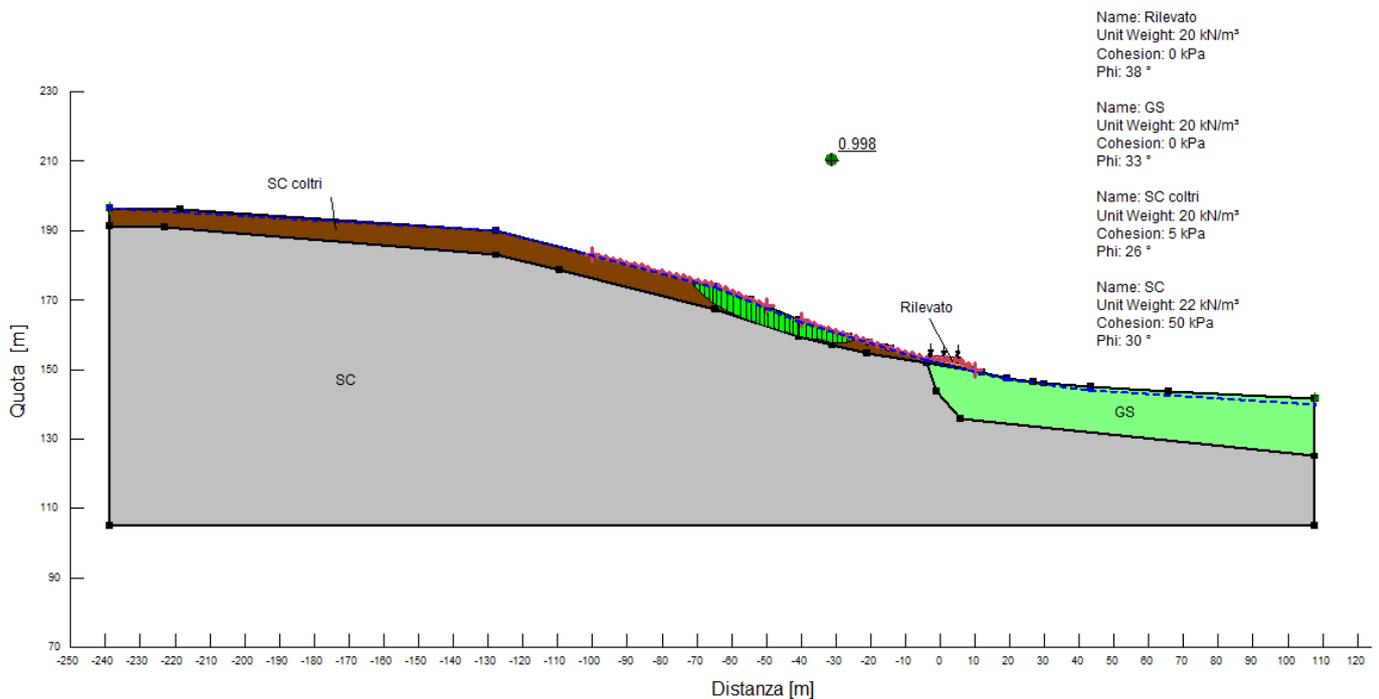


Figura 6-4 – Variante 10 – curva 8. Analisi di stabilità in configurazione attuale

6.1.4 Descrizione dell'intervento previsto

Dato che il pendio si può trovare in condizioni limite in caso di piogge prolungate, per mitigare il rischio di smottamenti superficiali si prevede di intervenire con delle soluzioni atte ad evitare la creazione di falde sospese nello strato più superficiale. L'intervento consisterà nell'installazione di microdreni sub-orizzontali ad interasse di 3m e lunghezza 20m, installati appena a monte del rilevato ferroviario e nella creazione di un reticolo idraulico di regimazione delle acque meteoriche esteso a tutta la scarpata fino al ciglio superiore. In tal modo si prevede di riuscire a evitare innalzamenti di falda, la quale al massimo riceverà parziale di carica solo dalla zona a monte dell'intervento. I dettagli, compresa l'estensione

dell'area di intervento, sono riportati negli elaborati grafici dei dissesti e degli interventi. In Figura 6.5 vengono mostrati in sezione gli interventi previsti per facilità di lettura.

In via preliminare, per i successivi calcoli di stabilità, si considera di poter riuscire a produrre un abbassamento permanente della falda nell'area di intervento e ritenerla posizionata a - 2.5 m di profondità dalla superficie.

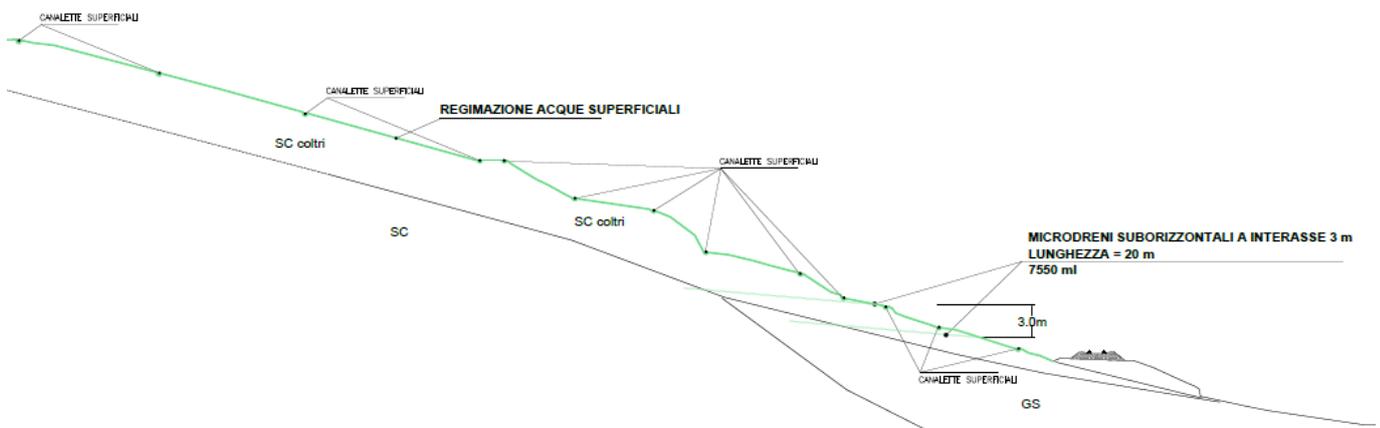


Figura 6-5 – Variante 10 – curva 8. Interventi previsti

6.1.5 Stabilità in configurazione post-intervento

La verifica di stabilità in configurazione post-intervento, considerando la falda abbattuta come detto, è riportata in Figura 6.6. In questo modo si ottiene un coefficiente di sicurezza di 1.273, ritenuto sufficientemente elevato per una superficie critica che tra l'altro rimane piuttosto lontana dal rilevato ferroviario.

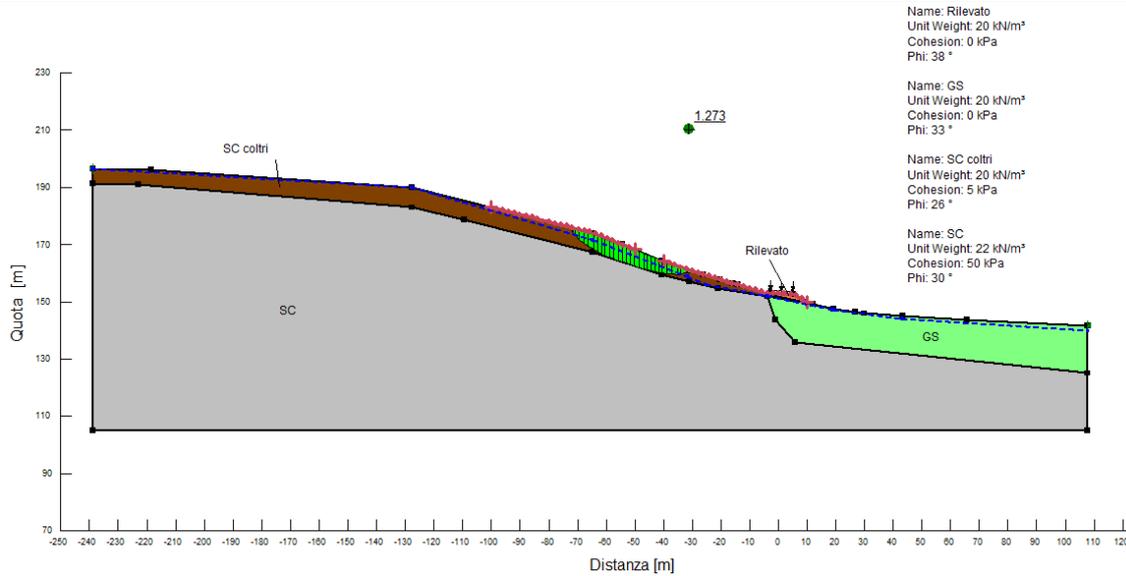


Figura 6-6 – Variante 10 – curva 8. Analisi di stabilità in configurazione post-intervento (condizione statica)

Per quanto riguarda la condizione sismica, nella configurazione post-intervento, il risultato è riportato in forma grafica in figura 6.7 ed è relativo all'applicazione di un'azione pseudo-statica $k_h = 0.118$ e $k_v = \pm 0.059$ (coefficienti di accelerazione pseudostatica maggiorati per tenere in conto della categoria topografica T2). L'analisi sismica è stata effettuata in condizioni di falda "standard".

Ne risulta un coefficiente di sicurezza $FS=1.174$, quindi maggiore dell'unità, che può essere considerato più che soddisfacente per il caso specifico di pendii naturali, tenendo anche conto del fatto che la massa potenzialmente instabile individuata dall'analisi rimane anche in questo caso piuttosto lontana dal rilevato ferroviario.

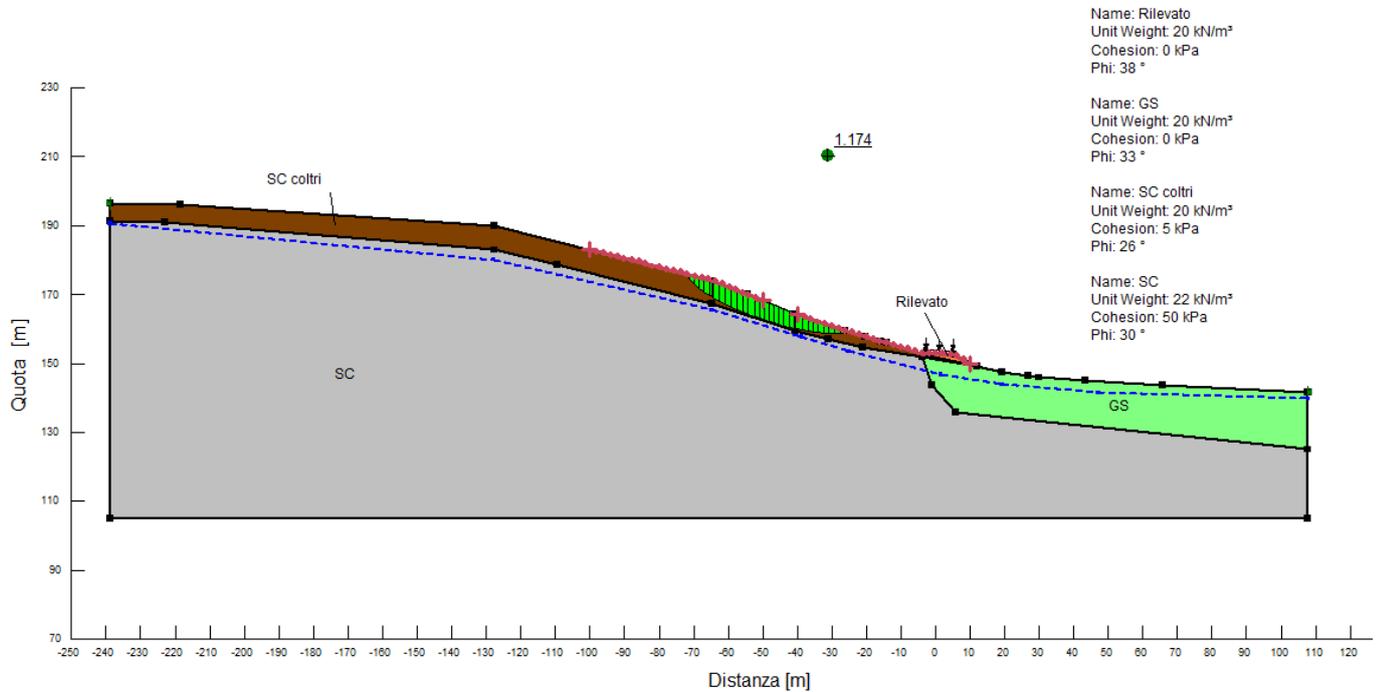


Figura 6-7 – Variante 10 – curva 8. Analisi di stabilità in configurazione post-intervento (condizione sismica)

Le verifiche sopra riportate, compresi gli interventi, andranno approfonditi nelle successive fasi della progettazione e dopo opportune campagne di indagine integrative.



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI
DISSESTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 10	RH GE 0006 002	C	28 di 115

7 ANALISI DI STABILITÀ E PREDIMENSIONAMENTI TRATTA PK 19-24

7.1 VARIANTE 5 - DISSESTO IN CORRISPONDENZA DELLA PK 20 CIRCA - STRADA NV01

Nell'ambito della velocizzazione del tracciato ferroviario è compresa la modifica della viabilità SS19 (NV01) con la realizzazione di un nuovo viadotto VI01 nei pressi del torrente Cancellò. Dato che risulterà necessario incrementare la larghezza della strada, dove questa passa a mezza costa sul versante sarà necessario realizzare un'opera di controripa per sostenere il terreno del pendio a monte, considerando che l'allargamento avverrà per la gran parte da quel lato. L'opera prevista è costituita da una paratia di pali D800 mm accostati di lunghezza 20 m, collegati in testa da una trave di coronamento di dimensioni indicative in sezione pari a 1.2 x 1.0 m. La paratia lavorerà a sbalzo con altezza dello stesso dell'ordine di 4 m. Lo schema dell'opera è rappresentato in via preliminare lungo la sezione con le massime pendenze in Figura 7-1. Il dimensionamento dell'opera di controripa è stato effettuato mediante un'analisi con codice di calcolo Paratie [22] per determinare le sollecitazioni nella struttura.

Nella stessa Figura 7-1 vengono rappresentati anche gli altri interventi previsti, ovvero l'installazione di una fila di microdreni sub orizzontali di lunghezza 20 m e interasse 3m e la semina di specie erbacee a radicamento profondo tipo Prati Armati, con funzione antierosiva, per limitare il fenomeno evidenziato in Figura 2. Si prevede inoltre di installare una paratia di sottoscarpa con le dimensioni indicate in Figura 7.1 per aumentare la stabilità complessiva del versante in tale tratto in seguito alla modifica della strada, anche se nella zona di valle del versante non sono segnalati dissesti.

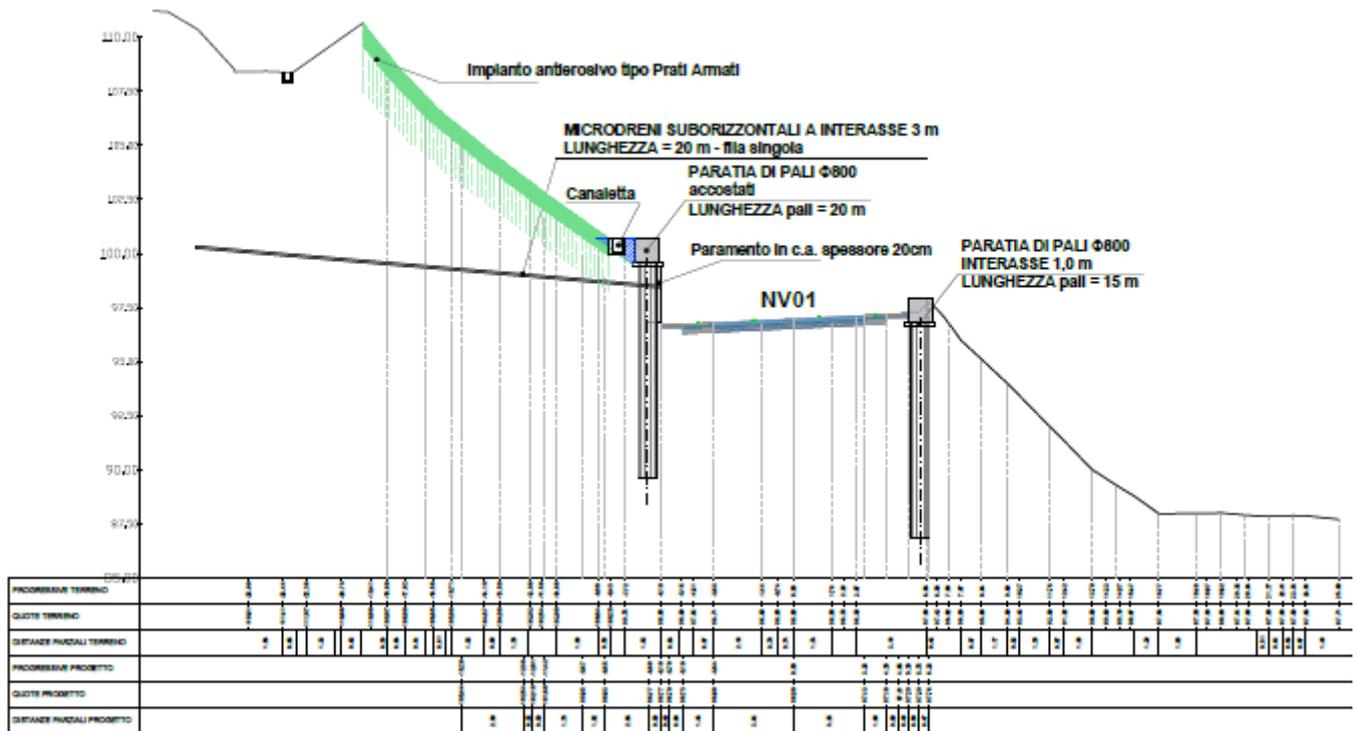


Figura 7-1 – Schema dell’opera di controripa prevista per la sistemazione della viabilità NV01. Viene anche rappresentata l’opera di presidio sul ciglio di valle della strada

In accordo a quanto riportato nella Relazione Geotecnica), nella tabella sono riportati i valori dei parametri geotecnici caratteristici e di progetto, fattorizzati utilizzando i coefficienti M2 di normativa (vedi Doc. Rif. [11]).

La stratigrafia lungo la sezione analizzata per il predimensionamento della paratia di presidio prevista sul ciglio di valle della strada NV01 (quella dove le scarpate sono più alte) è riportata nella sezione geotecnica di riferimento. I parametri nominali dell’unità di superficie sono stati valutati mediante analisi a ritroso delle due scarpate a monte e a valle della strada. Tuttavia, per la stima delle sollecitazioni nella struttura, il termine di coesione efficace nei depositi sabbiosi viene cautelativamente trascurato.

Tabella 7.1: Parametri geotecnici di calcolo per la sezione 00+300– Materiali in sito

STRATO	Descrizione strato	Peso di volume	Angolo di resistenza al taglio		Coesione efficace		Resistenza al taglio non drenata		Modulo di Young operativo	Permeabilità
		γ_d	ϕ'_k	ϕ'_d	c'_k	c'_d	c_u	c_u	$E_{op.}$	k
		[kN/m ³]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[m/s]
GS	Sabbie di depositi terrazzati	20	33	27	3*	2.4*	-	-	25	5.0E-05
A	Argille sovraconsolidate	20	24	19	10	8	120	86	20	5.0E-09

* $c' = 0$ kPa nelle analisi per la stima delle sollecitazioni nella struttura di controripa

Anche la falda di progetto è riportata nella sezione geotecnica rappresentata nel Doc 4.

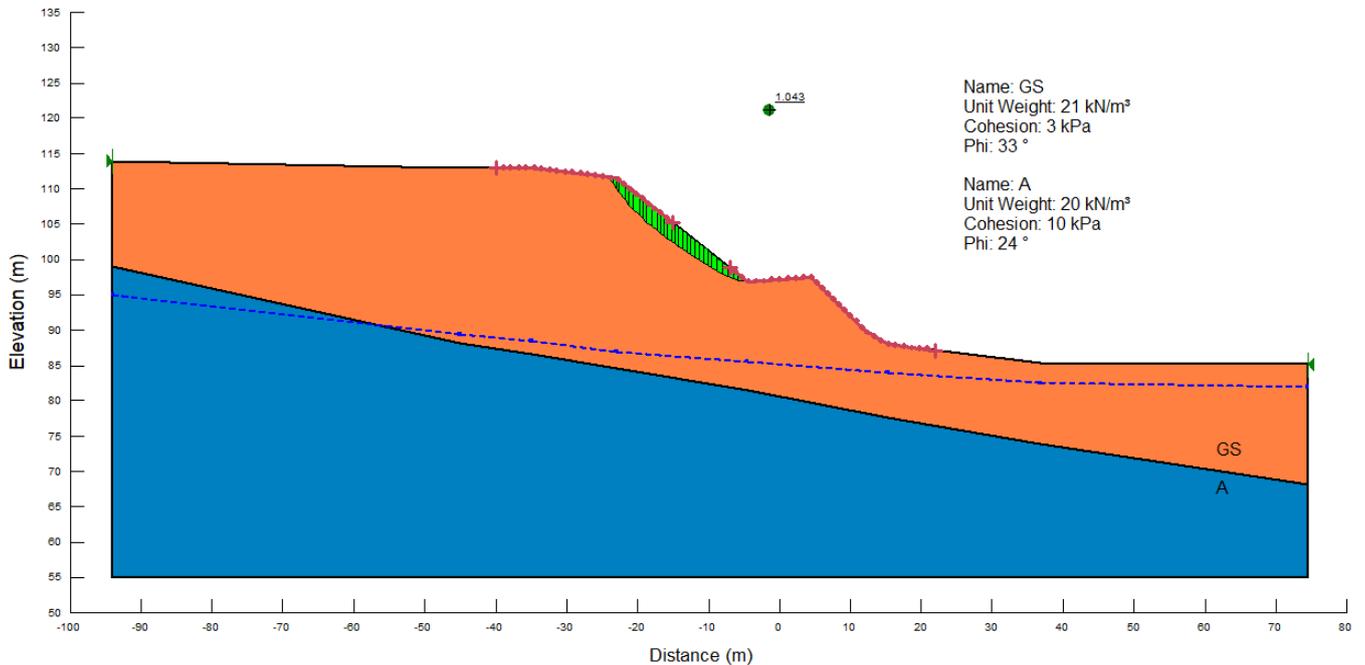


Figura 7-2 – Analisi a ritroso a parametri nominali della stabilità della scarpata a monte della strada

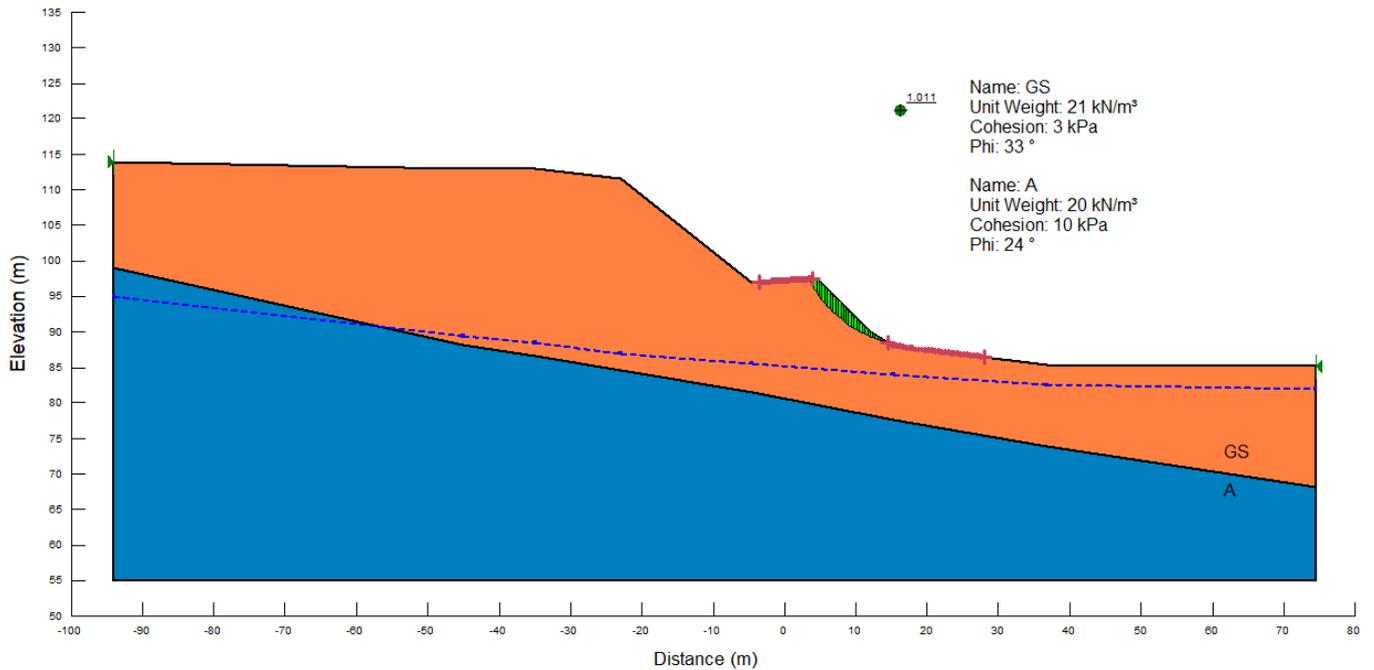


Figura 7-3 – Analisi a ritroso a parametri nominali della stabilità della scarpata a valle della strada

Le verifiche sono condotte:

- Agli SLU in condizioni statiche;
- Agli SLV in condizioni sismiche;
- Agli SLE per la valutazione degli spostamenti.

Per gli SLU si effettuano le seguenti verifiche:

- Valutazione delle sollecitazioni nella paratia: Approccio 1 – Combinazione 1 Cap. 6.5.3.1.2 NTC2018 (A1+M1+R1, con R1 = 1).
- Valutazione delle sollecitazioni nella paratia: Approccio 1 – Combinazione 2 Cap. 6.5.3.1.2 NTC2018 (A2+M2+R1, con R1 = 1).
- Verifica sulla spinta mobilitata al piede della paratia: Approccio 1 – Combinazione 2 Cap. 6.5.3.1.2 NTC2018 (A2+M2+R1, con R1 = 1).
- Verifica di stabilità globale dell'insieme opera terreno: Approccio 1 – Combinazione 2 Cap. 6.5.3.1.2 NTC2018 (A2+M2+R2). Per la stabilità globale si tratta cautelativamente l'insieme opera terreno come fosse un fronte di scavo.



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI
DISSESTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 10	RH GE 0006 002	C	32 di 115

Le stesse verifiche di cui sopra si presentano anche agli SLV, considerando che sia i coefficienti sulle azioni, sia quelli sui parametri geotecnici vanno posti pari all'unità. Per la stima delle sollecitazioni in condizioni sismiche si farà riferimento al coefficiente di accelerazione pseudostatica valido per opere di sostegno, determinato come descritto al successivo paragrafo. Per le verifiche di stabilità globale in condizioni sismiche si fa riferimento al coefficiente riduttivo per la determinazione del coefficiente di accelerazione pseudostatica relativo ai fronti di scavo, quindi $k_h = \beta \cdot a_{max}/g$ con $\beta = 0.38$ e $a_{max} = 0.396$ g, quindi $k_h = 0.15$. Di conseguenza $k_v = \pm 0.075$.

Le analisi sono state svolte considerando quanto segue:

- Stato piano nelle deformazioni, quindi paratia di lunghezza infinita con le caratteristiche di rigidità a metro lineare fuori piano basate sulla geometria dell'opera (pali D800mm a interasse 800mm). Il palo è stato considerato di lunghezza totale pari a 21 m, includendo un metro di trave di collegamento in testa.
- Modello con superficie inclinata. La spinta del terreno a monte e la resistenza di valle è stata calcolata lasciando calcolare i coefficienti di spinta direttamente al codice di calcolo Paratie sulla base dell'inclinazione media del pendio di monte e di valle (si veda il manuale del codice di calcolo per i dettagli [22]). La falda è disegnata come da sezione geotecnica.

L'azione sismica da impiegarsi per il calcolo delle spinte sull'opera di controripa per le analisi in condizioni sismiche viene espressa con riferimento ai "coefficienti sismici" di cui al seguito (NTC – paragrafo n.7.11.6.3.1, vedi anche [11]):

$$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max} \geq 0.2 \cdot a_{max}$$

$$k_v = 0$$

dove:

a_{max} = accelerazione massima di progetto al suolo = 0.396

H = altezza complessiva della paratia = 21 m

$u_s \leq 0.005 \times H$ = spostamento tollerato dalla paratia ≈ 0.1 m;

α = coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni = 0.72 per classe C e H 21 m;

β = coefficiente che tiene conto della deformabilità dell'opera = 0.52 per $u_s = 0.1$ m;

k_h = coefficiente sismico orizzontale = 0.158;

k_v = coefficiente sismico verticale = non considerato come da NTC2018;

Il modello di calcolo considerato è rappresentato a titolo di esempio sotto.

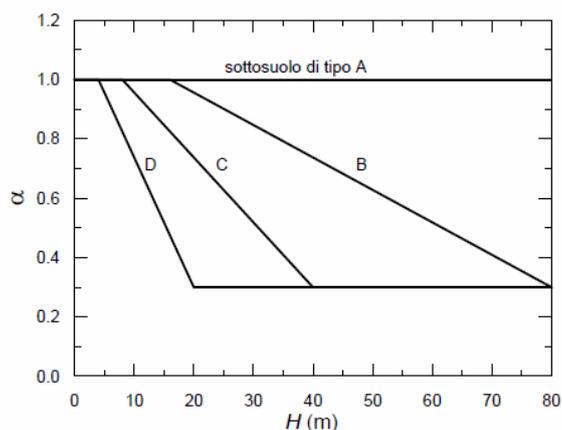


Fig. 7.11.2 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità α

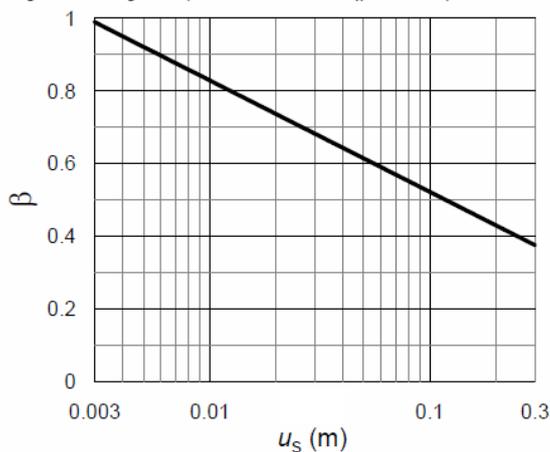


Fig. 7.11.3 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento β .

Figura 7-4 – NTC2018. Diagrammi per la valutazione dei coefficienti α e β specifici per paratie



Figura 7-5 – Modello di calcolo paratie

I risultati completi relativi alle analisi svolte sono riportati nelle figure che seguono (output grafico del programma PARATIE-PLUS). Le sollecitazioni sono da moltiplicare per l'interasse degli elementi (0.8 m). Lo spostamento orizzontale stimato, dell'ordine di 38 mm, si ritiene accettabile. Le verifiche sulla resistenza mobilitata alla piede della paratia risultano soddisfatte.

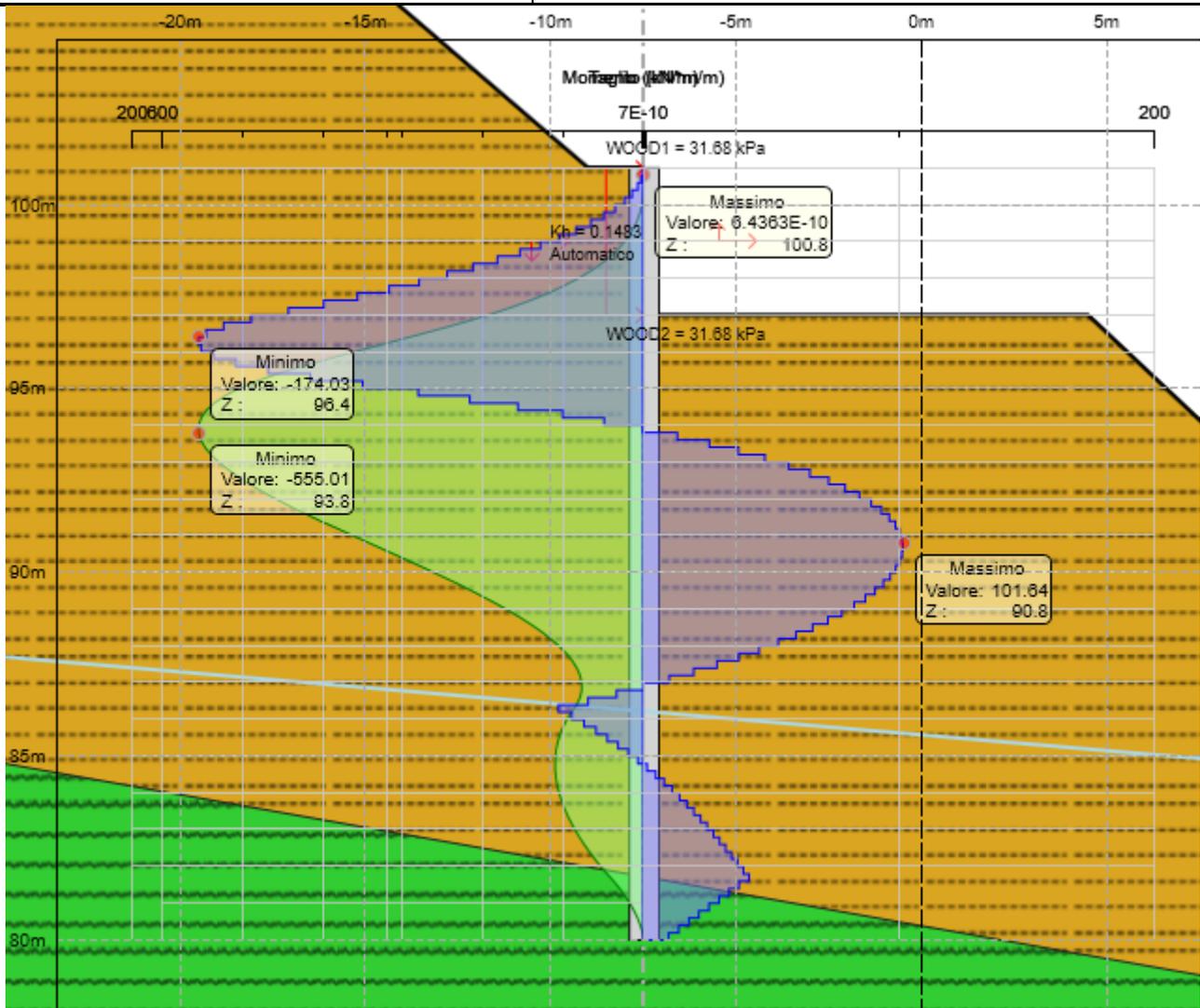


Figura 7-6 – SLU A1+M1 – momento e taglio nel palo

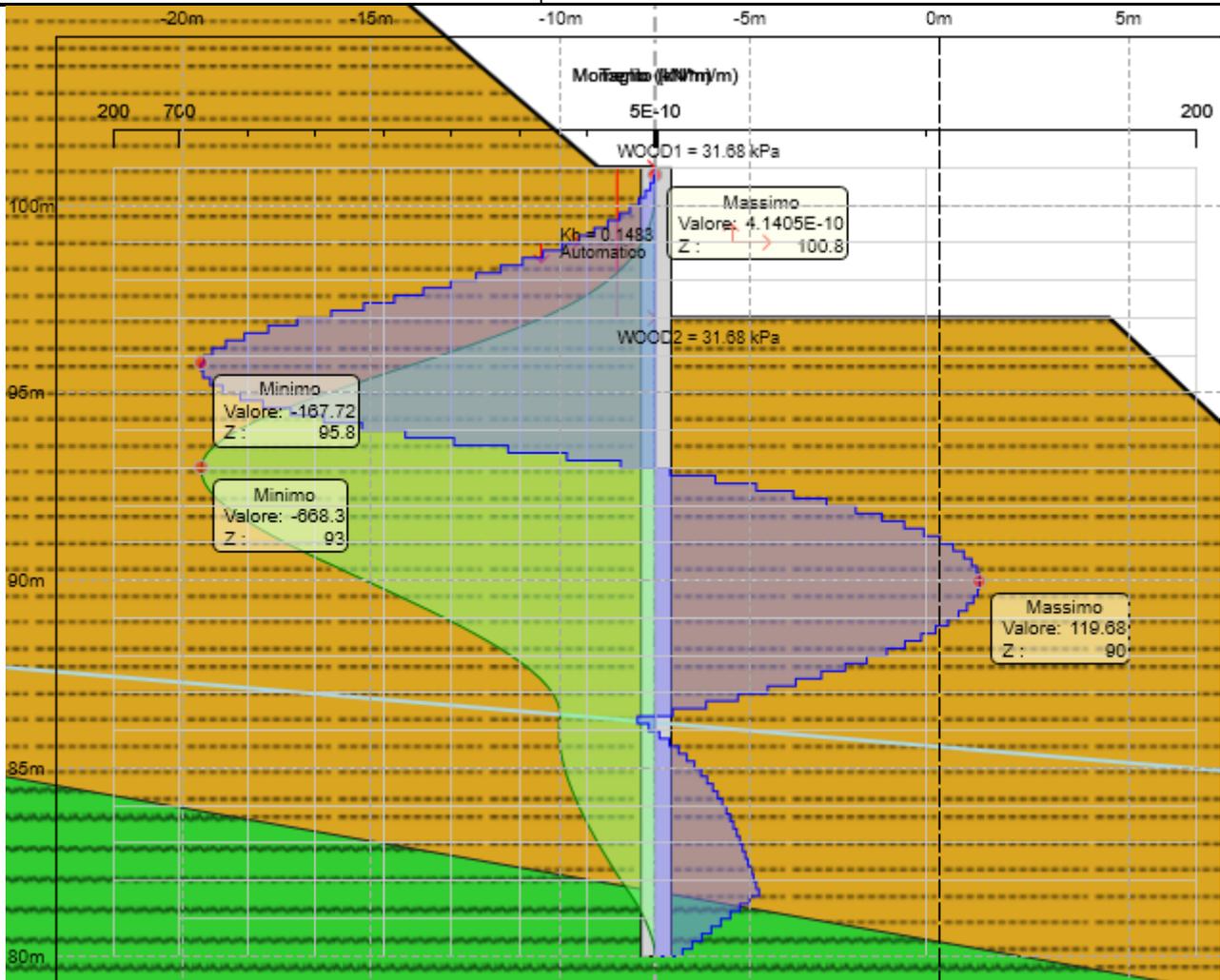


Figura 7-7 – SLU A2+M2 – momento e taglio nel palo

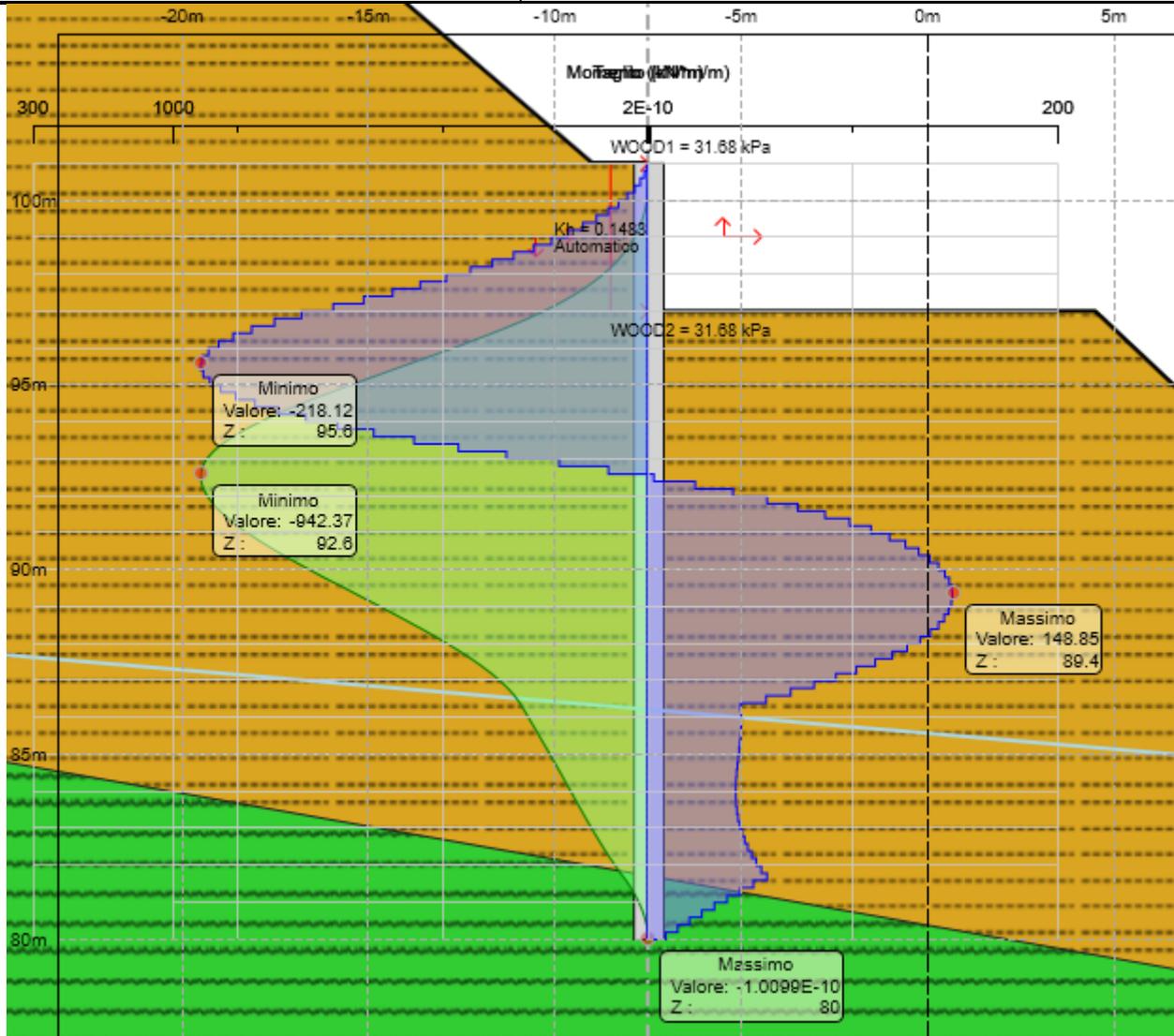


Figura 7-8 – SLV – momento e taglio nel palo

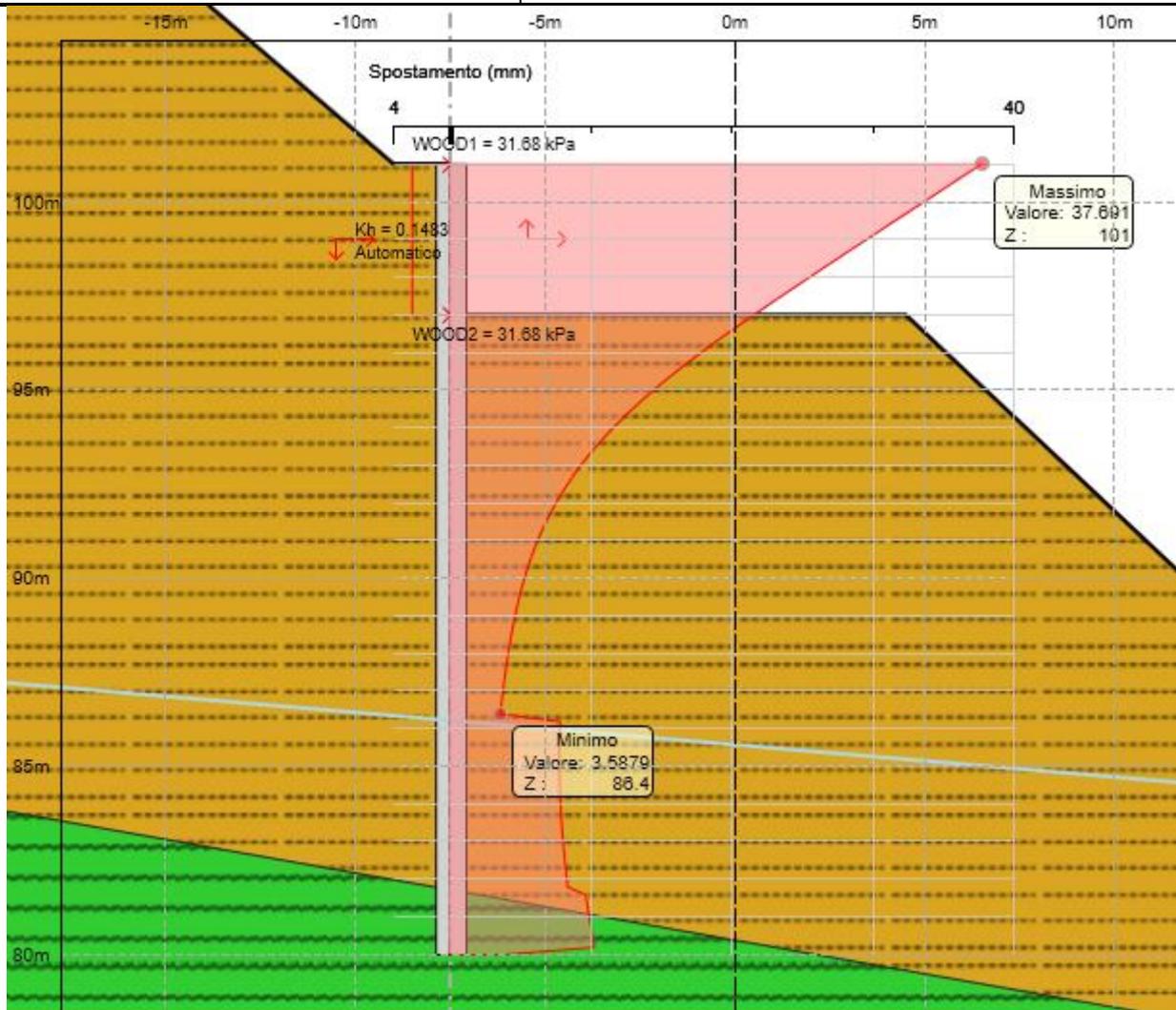


Figura7-9 – SLE – stima spostamenti

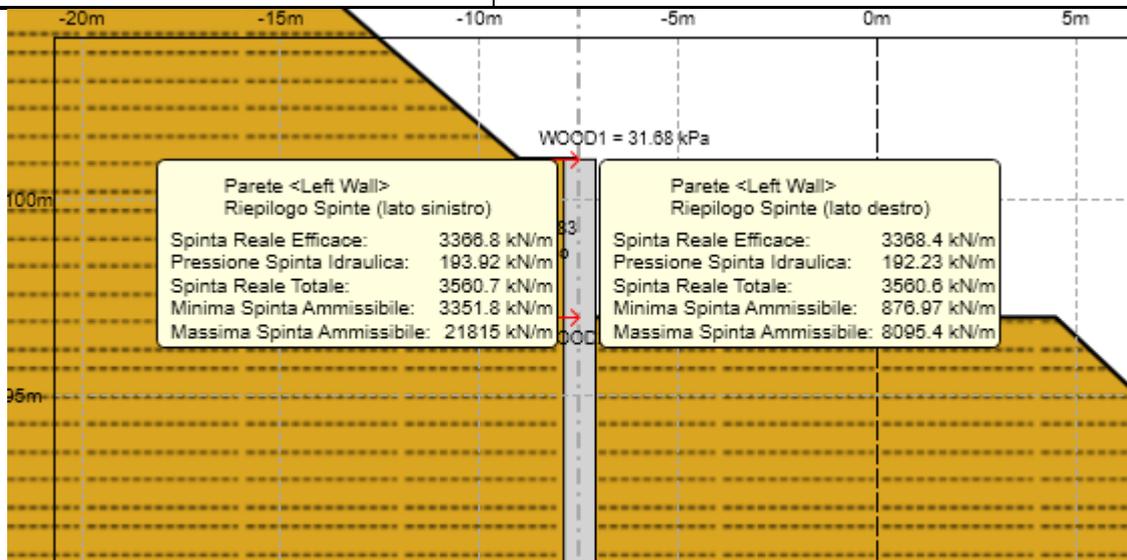


Figura 7-10 – SLU A2+M2 – verifica sulla resistenza mobilitata al piede della paratia

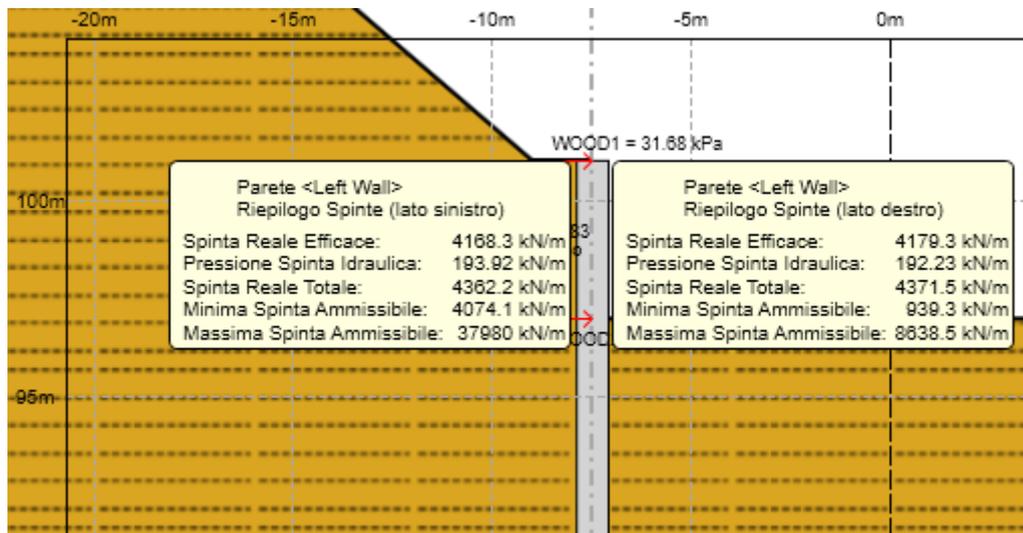


Figura 7-11 – SLV – verifica sulla resistenza mobilitata al piede della paratia

7.1.1 Verifiche di stabilità globale

Le verifiche di stabilità globale vengono effettuate come descritto al precedente paragrafo: le verifiche risultano soddisfatte.

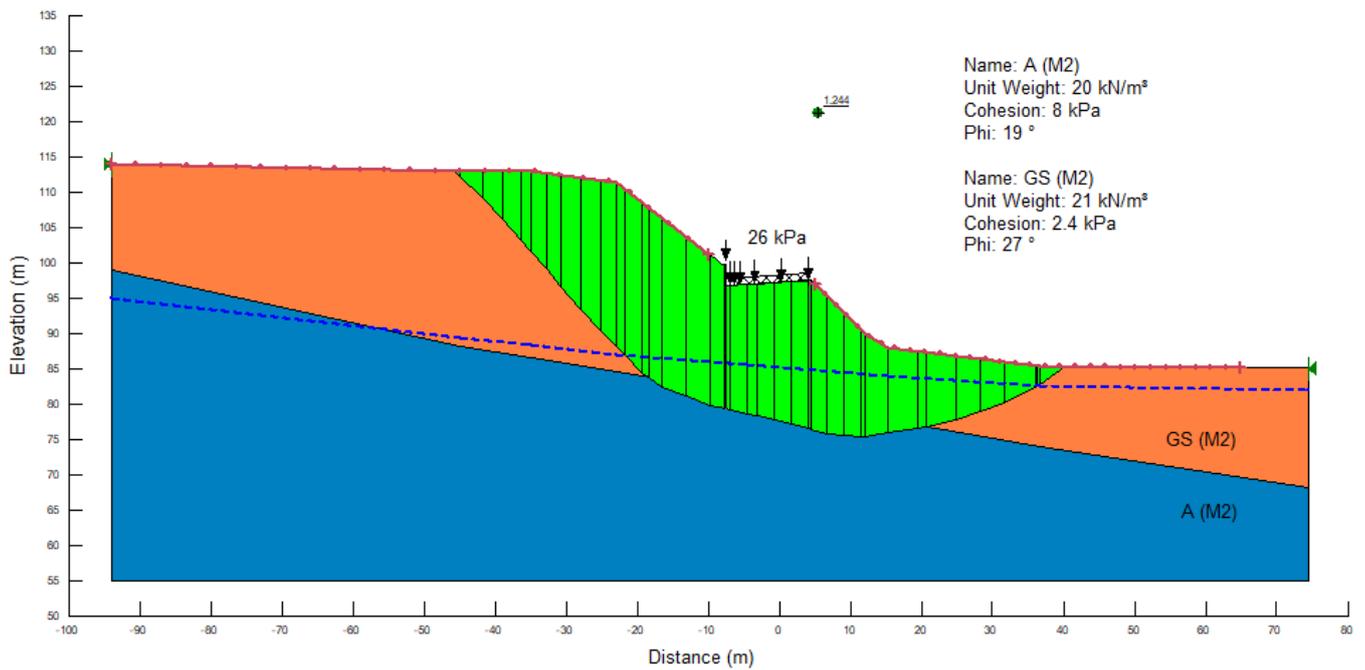


Figura 7.12 –Condizioni statiche A2+M2+R2 – analisi di stabilità globale

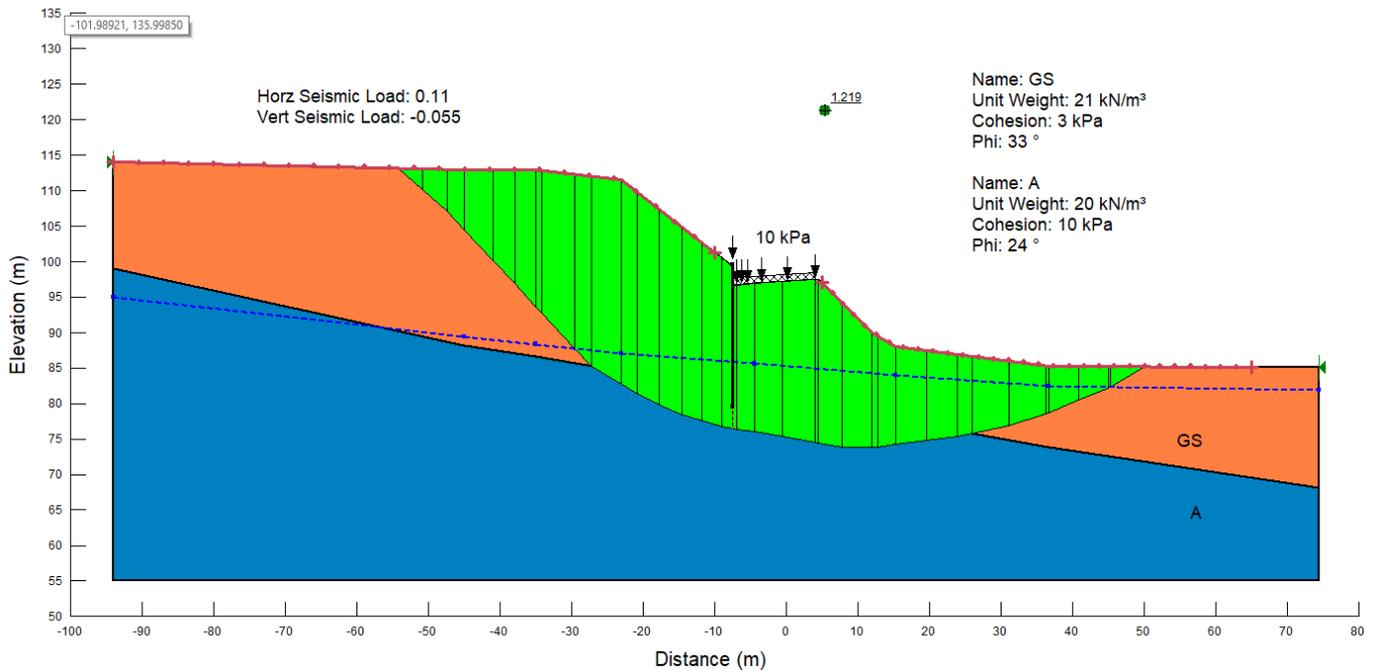


Figura 7.13 – Condizioni sismiche – analisi di stabilità globale

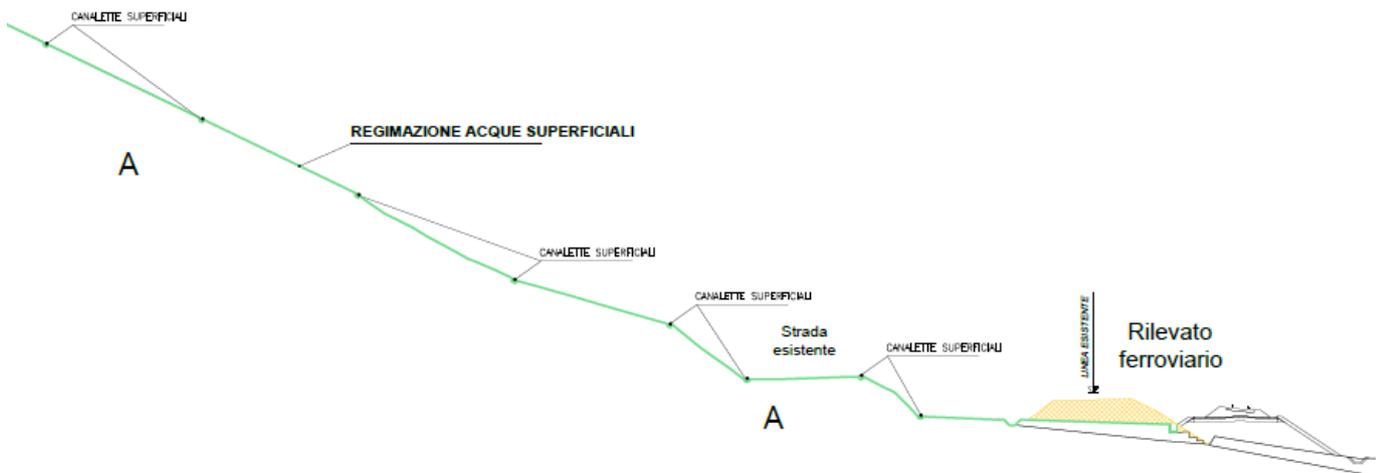
Le analisi di stabilità illustrate al paragrafo precedente sono relative al complesso terreno opera, in quanto non sono emerse evidenze di fenomeni di instabilità della scarpata né a monte dell'opera di controripa, né tantomeno della stabilità della scarpata a valle della strada.

Tuttavia, per garantire maggiore stabilità alla sede stradale di progetto, si inserisce un'opera di presidio appena a valle della strada, costituita da pali D 800 m a interasse 1.0 m, di lunghezza 15 m.

7.2 VARIANTE 5 - DISSESTO IN CORRISPONDENZA DELLA CURVA 20 - PK 20+450 - PK 21+440

Per mitigare il rischio di smottamenti superficiali si prevede di intervenire con soluzioni atte ad evitare la creazione di falde sospese nello strato più superficiale. L'intervento consisterà nella creazione di un reticolo idraulico di regimazione superficiale delle acque meteoriche esteso a tutta la scarpata fino al ciglio superiore. In tal modo si prevede di riuscire a evitare la creazione di falde sospese.

I dettagli, compresa l'estensione dell'area di intervento, sono riportati sui disegni dei dissesti e degli interventi. Nella figura successiva vengono mostrati in sezione gli interventi previsti per facilità di lettura.



Variante 5. Interventi previsti



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI
DISSESTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 10	RH GE 0006 002	C	43 di 115

7.3 TRATTO EXTRA-VARIANTE - PIATTAFORMA CEDEVOLLE AL KM 24 CIRCA

In un lungo tratto di linea storica, intorno al km 24+000 circa, viene osservato, allo stato attuale dell'infrastruttura, un cedimento non trascurabile della piattaforma ferroviaria, che impone lo studio del ripristino della funzionalità dell'infrastruttura esistente. Si osserva inoltre che il muretto di contenimento a valle del rilevato ferroviario risulta localmente lesionato (vedi Figura 7-14).

Nella zona sono state effettuate due prove di resistività elettrica ERT 10/L2 e ERT 11/L2 direttamente sulla piattaforma ferroviaria ai due lati del binario (vedi Figura 7-15). I risultati (vedi Figura 7-16) mostrano che il rilevato è costituito da materiale scadente poco resistivo presumibilmente derivante dagli scavi di materiale in posto in zone vicine, all'interno del quale sono presenti "sacche" più resistenti presumibilmente dovute a ballast localmente "sprofondato" all'interno del rilevato.

Tale dissesto si ritiene sia dovuto sia alla scarsa qualità dei materiali costituenti il rilevato (ancorché di altezza molto ridotta, inferiore a 1 m), sia e soprattutto dei terreni di fondazione, che, in seguito al prolungato ristagno e alla conseguente infiltrazione delle acque piovane non regimate provenienti dal versante a monte della SS19, perdono di consistenza producendo i fenomeni osservati. Presumibilmente il passaggio ripetuto del treno amplifica gli effetti di decadimento delle caratteristiche dei terreni costituenti il rilevato e dei terreni di fondazione, imbibiti in seguito alla infiltrazione di acqua. Tra i fenomeni di dissesto osservati è inclusa la rotazione e la sconfigurazione per lesioni del muro di sottoscampa del rilevato, riconducibile sia a un eccesso di spinta per la presenza di acqua, sia al generale decadimento delle caratteristiche del terreno di fondazione per i fenomeni detti.



Figura 7-14 – Muro di contenimento esistente lesionato

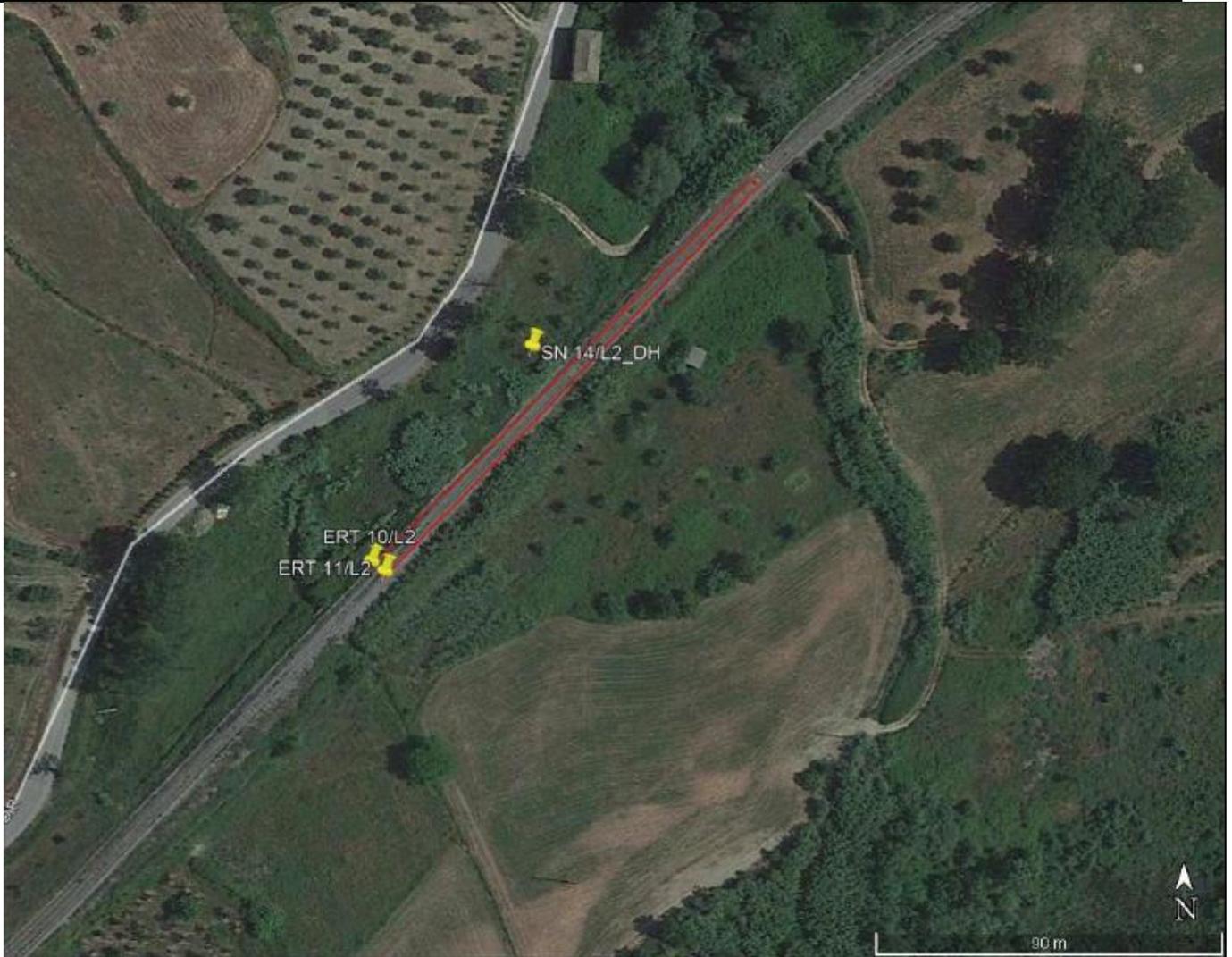


Figura 7-15 – ERT 10/L2 e ERT 11/L2 – traccia planimetrica

INDAGINI TOMOGRAFICHE ELETTRICHE ERT 10/L2 ED ERT 11/L2

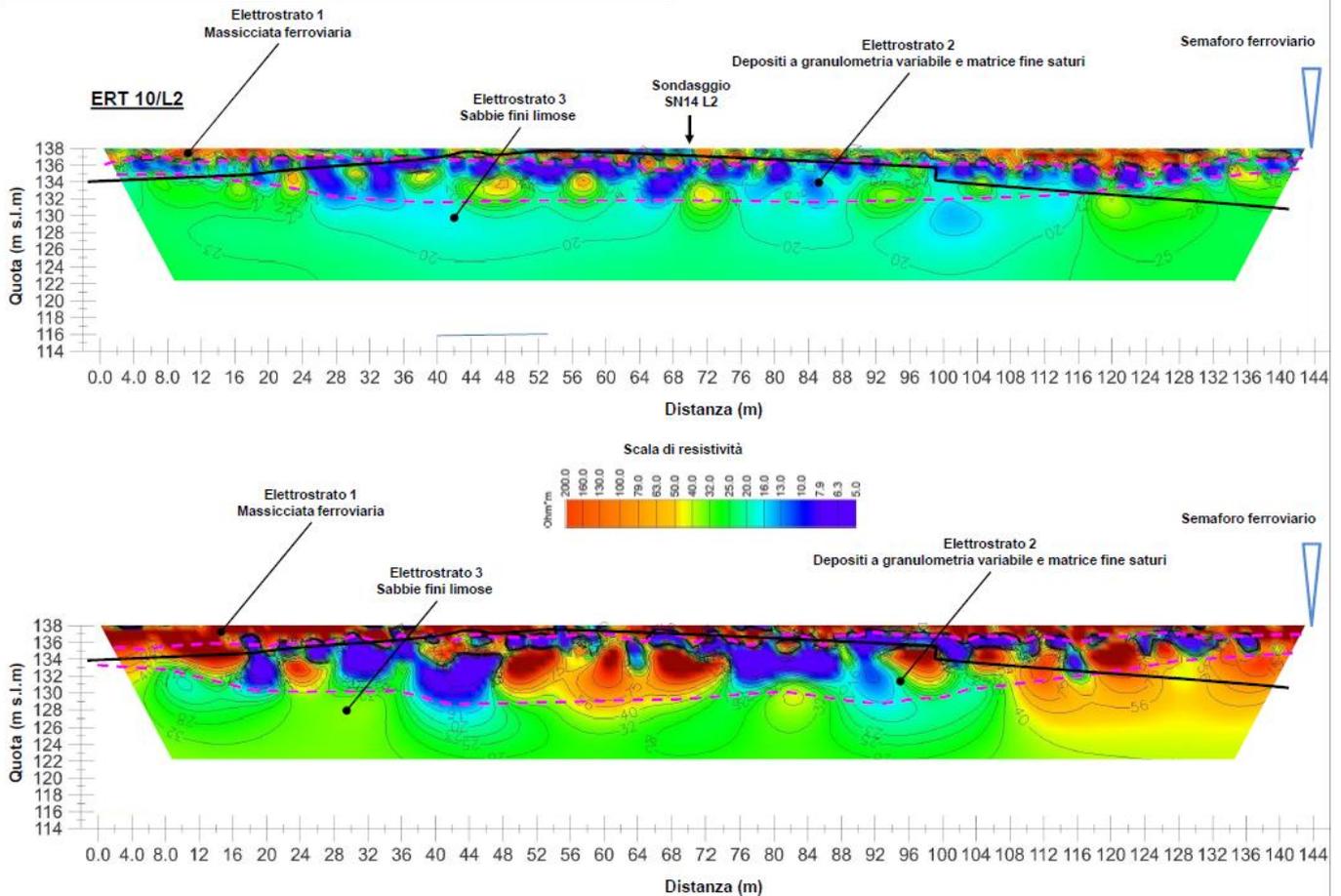


Figura 7-16 – ERT 10/L2 e ERT 11/L2

In accordo a quanto riportato nella Relazione Geotecnica, nella Tabella 7.2 sono riportati i valori dei parametri geotecnici caratteristici e di progetto, fattorizzati utilizzando i coefficienti M2 di normativa. Per semplicità, viste le caratteristiche geotecniche simili che si riscontrano nelle argille plioceniche A e nelle argille contenenti strati di gesso e gessoarenite A_{GES} che sarebbero presenti al di sotto delle argille plioceniche, si trascurano cautelativamente queste ultime nella stratigrafia di calcolo.

La stratigrafia lungo la sezione analizzata per il predimensionamento della paratia prevista a valle del corpo del rilevato è riportata nel sezione geotecnica corrispondente degli elaborati grafici. Per questo caso particolare, visti i risultati delle prove ERT effettuate sul corpo del rilevato e le osservazioni di piattaforma cedevole, si associano al rilevato ferroviario gli stessi parametri geotecnici della coltre,

tenendo così conto che il rilevato attuale può essere stato costruito con i materiali di risulta degli scavi in sito (vedi Tabella 7.3).

La falda di progetto è stata assunta a circa 4 m al di sotto del piano campagna (più superficiale verso valle), come riportata nella sezione geotecnica rappresentata nel Doc [4].

Tabella 7.2: Parametri geotecnici di calcolo per la sezione a pk 24 circa – Materiali in sito

STRATO	Descrizione strato	Peso di volume		Angolo di resistenza al taglio		Coesione efficace		Resistenza al taglio non drenata		Modulo di Young operativo	Permeabilità
		γ_d	ϕ'_k	ϕ'_d	c'_k	c'_d	c_u	c_u	$E_{op.}$	k	
		[kN/m ³]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[m/s]	
c	Coltri delle argille plioceniche	20	23	18	5	4	-	-	6	5.0E-09	
A	Argille plioceniche	20	24	19	10	8	120	86	20	5.0E-09	

Tabella 7.3: Parametri geotecnici di calcolo – materiali costituenti il rilevato

STRATO	Spessore	Peso di volume	Angolo di resistenza al taglio		Coesione efficace		Modulo di Young operativo	Permeabilità	
			γ_d	ϕ'_k	ϕ'_d	c'_k	c'_d	$E_{op.}$	k
			[m]	[kN/m ³]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]
RILEVATO	Variabile	20	38	32	0	0	40	1.0E-05	
RILEVATO ESISTENTE	Variabile	20	23	18	5	4	6	5.0E-09	



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI
DISSESTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 10	RH GE 0006 002	C	48 di 115

7.3.1 Verifiche SLE – Valutazione del campo degli spostamenti

La valutazione del campo degli spostamenti del rilevato è stata condotta tramite il codice di calcolo Plaxis 2d (Doc. Rif. [23]).

Come da NTC 2018 (Doc. Rif. [11]), la valutazione del campo degli spostamenti è stata condotta con riferimento ai valori caratteristici dei parametri di resistenza e dei carichi agenti.

7.3.2 Verifiche SLU – Stabilità globale

Le verifiche della stabilità globale del rilevato (sia in condizioni statiche che sismiche) sono state condotte tramite il codice di calcolo Plaxis 2d (Doc. Rif. [23]).

Il metodo di analisi utilizzato è il metodo “c-φ reduction” in cui i parametri di resistenza del terreno vengono progressivamente ridotti fino a raggiungere l’instabilità del modello.

In accordo alle NTC 2018 (Doc. Rif. [11]), le analisi di stabilità in condizioni statiche devono essere svolte secondo l’Approccio 1 Combinazione 2 (A2+M2+R2) ricercando un coefficiente γ_R sulle resistenze pari a 1.1, mentre le analisi in condizioni sismiche devono essere svolte a carichi e parametri di resistenza non fattorizzati ricercando un coefficiente γ_R sulle resistenze pari a 1.2. Il fattore di sicurezza globale da ricercare nelle analisi di tipo “c-φ reduction” risulta quindi:

$$FS \geq \gamma_{M2} \times \gamma_{R2} = 1.25 \times 1.1 = 1.375 \text{ (condizione statica)}$$

$$FS \geq \gamma_{M2} \times \gamma_{Ri} = 1.0 \times 1.2 = 1.2 \text{ (condizione sismica)}$$

7.3.3 Analisi della condizione esistente

Il modello utilizzato per le analisi è mostrato in Figura 7-17 e rappresenta il rilevato di progetto alla progressiva km 24 circa.

La stratigrafia di calcolo è mostrata nella stessa Figura 7-17. Come detto sopra, il rilevato è stato caratterizzato con gli stessi parametri della coltre C, in quanto si suppone che sia stato realizzato con materiali scadenti provenienti dagli scavi di aree limitrofe.

La falda in condizioni “standard” è stata assunta come dichiarato sopra in questo capitolo, ai profili geotecnici e alla sezione geotecnica dedicata [4].

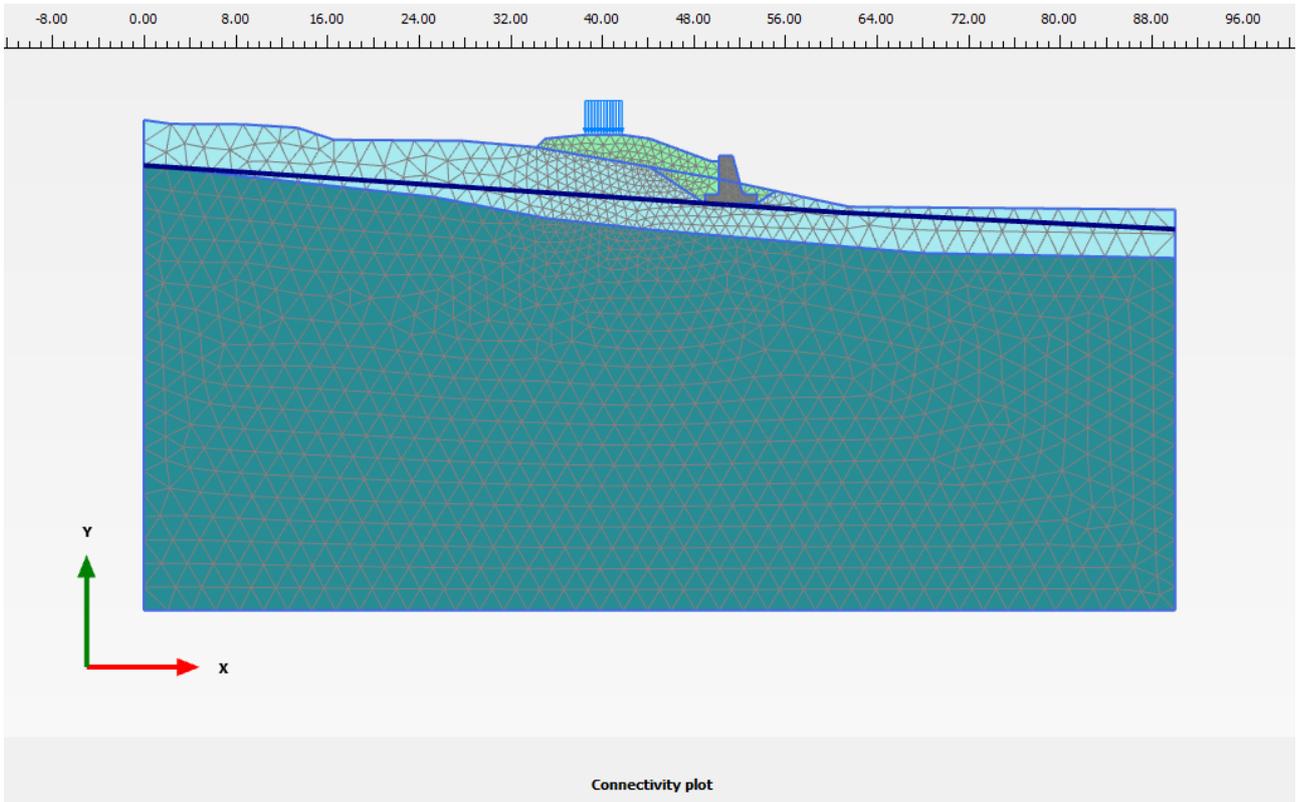


Figura 7-17: Modello del rilevato con falda “standard” come da sezione geotecnica [4]

Per tutti gli strati è stato utilizzato un modello costitutivo “Mohr-Coulomb” elastico lineare perfettamente plastico. I parametri geotecnici caratteristici in termini di resistenza e deformabilità sono quelli riportati in Tabella 7.2.

Il carico da traffico ferroviario (q) viene preso pari a 53.7 kPa distribuito sull’impronta della base dell’armamento ferroviario.

L’armamento ferroviario è stato schematizzato per mezzo di una pressione uniformemente distribuita pari a 14.4 kPa, rappresentativo di uno strato di spessore pari a circa 0.80 m con un peso pari a 18.00 kN/m³.

Il carico totale è quindi pari a circa 68 kPa, distribuito su una striscia di larghezza pari a 3.2 m, rappresentativa della base dell’armamento ferroviario.



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI
DISSESTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 10	RH GE 0006 002	C	50 di 115

Le condizioni al contorno sono quelle “standard” automaticamente impostate nel codice di calcolo, ovvero spostamenti orizzontali bloccati ai bordi verticali del modello e spostamenti verticali bloccati alla base del modello.

Le condizioni idrauliche al contorno sono quelle “standard” automaticamente impostate nel codice di calcolo, ovvero moto di filtrazione consentito ai bordi verticali e bloccato alla base del modello.

Le fasi di calcolo simulate sono le seguenti:

1. Generazione dello stato tensionale iniziale con piano campagna attuale;
2. Costruzione del rilevato;
3. Sovraccarico generato dal passaggio del treno;
4. Innalzamento del livello di falda;

Per questo caso particolare, il campo di spostamenti si valuta considerando il carico da traffico ferroviario, in quanto si presume che la deformazione segnalata della piattaforma ferroviaria dipenda dall'effetto del ripetuto passaggio del treno in condizioni di innalzamento locale della falda all'interno del rilevato durante periodi di pioggia intensi e prolungati. Tale valutazione deve essere intesa solamente come analisi del fenomeno di dissesto in atto.

Per quanto riguarda la fase 4, è stato modellato l'innalzamento di falda mantenendo invariato il carico da traffico ferroviario. L'innalzamento del livello di falda simula una possibile infiltrazione all'interno del rilevato durante periodi di piogge prolungate, a causa della mancanza di regimazione delle acque superficiali a monte del rilevato. L'innalzamento di falda considerato è quello rappresentato in Figura 7-18.

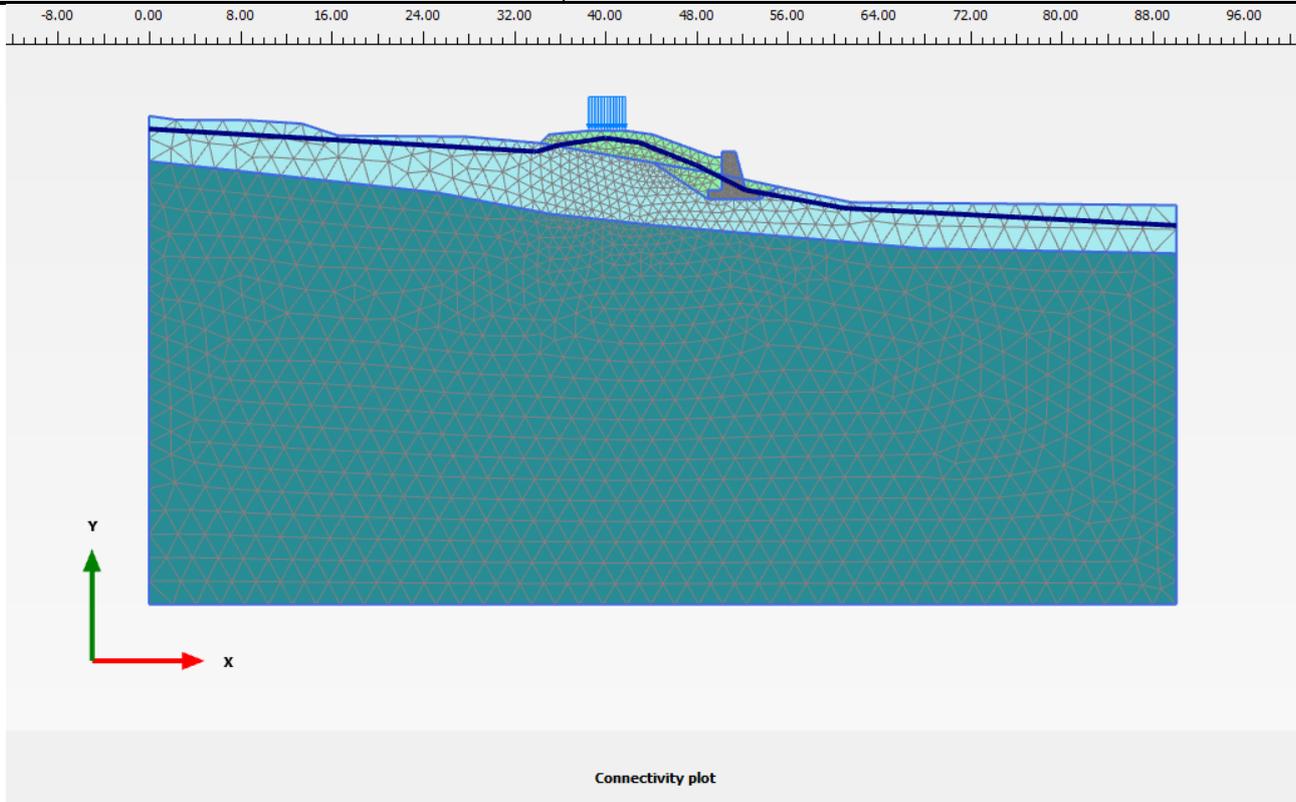


Figura 7-18: Modello del rilevato con innalzamento del livello della falda all'interno del rilevato

Nel momento in cui si verifica l'innalzamento del livello della falda (vedi linea blu spessa nelle figure dei risultati), mantenendo invariato il carico da traffico ferroviario si ottengono cedimenti dell'ordine di 8-9 cm al di sotto del binario e spostamenti orizzontali dell'ordine di 9-10 cm in testa al muro di contenimento (vedi Figura 7-19 e Figura 7-20). Tali spostamenti sono valutati azzerandoli rispetto alla fase precedente e avvengono sostanzialmente per la locale plasticizzazione del materiale del rilevato con la diminuzione delle tensioni efficaci sotto l'effetto del carico da traffico ferroviario. Tali ordini di grandezza sono compatibili con quanto osservato, ovvero il cedimento progressivo della piattaforma ferroviaria e le lesioni sul muro di contenimento.

I risultati di questa analisi vanno sostanzialmente a confermare la bontà dei parametri di caratterizzazione e la necessità di intervenire evitando l'innalzamento della falda all'interno del rilevato.

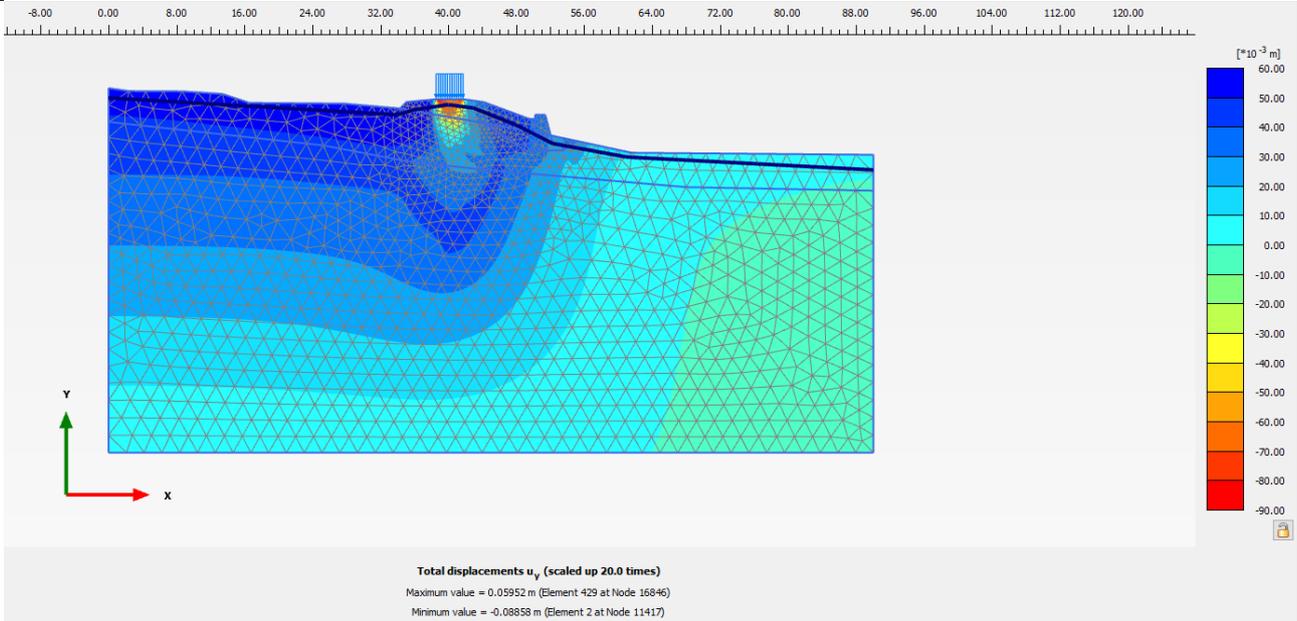


Figura 7-19: Spostamenti verticali dovuti all'innalzamento della falda a carico da traffico ferroviario costante

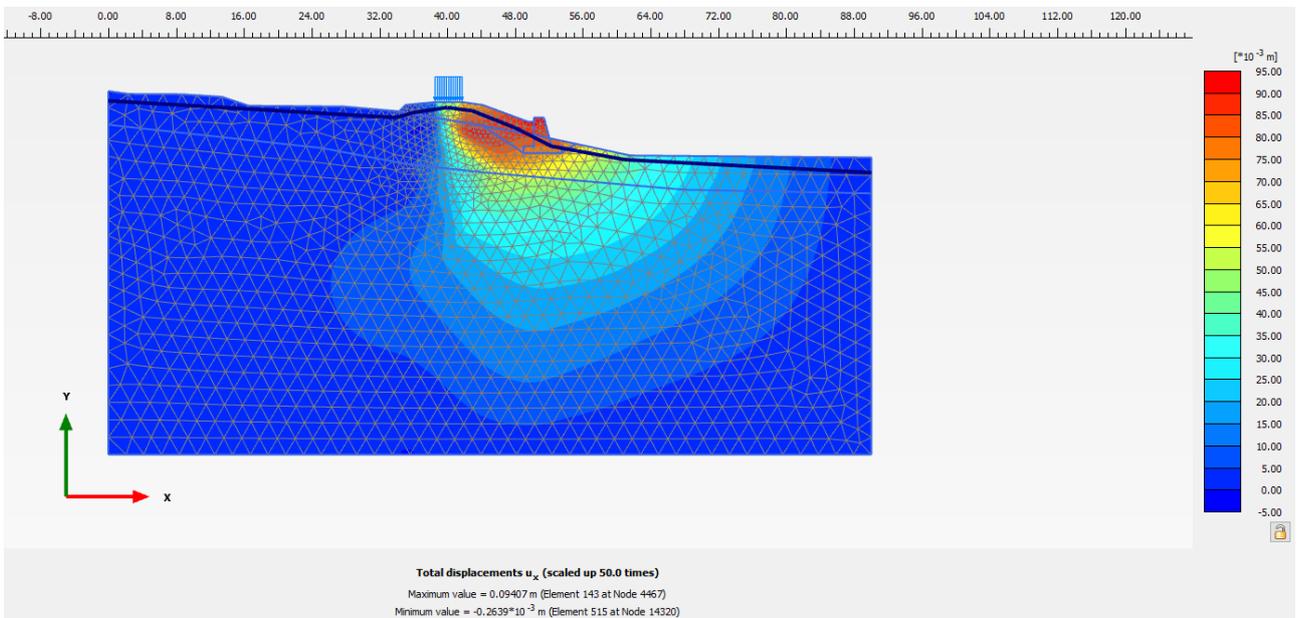


Figura 7-20: Spostamenti orizzontali dovuti all'innalzamento della falda a carico da traffico ferroviario costante



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI
DISSESTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 10	RH GE 0006 002	C	53 di 115

7.3.4 Analisi in condizioni post-intervento

Visto la tipologia di dissesto del tutto locale che viene evidenziata dall'analisi dello stato di fatto, si considera di intervenire con una bonifica di 50 cm dello strato superiore del rilevato esistente con posa in successione del pacchetto costituito da supercompattato e sub ballast. Per impedire l'innalzamento locale della falda (o comunque la creazione di locali falde sospese), si prevedono interventi per la regimazione delle acque piovane nell'area a monte del rilevato stesso. In particolare, la sistemazione prevede la predisposizione di una canaletta idraulica al bordo della viabilità ubicata a monte della ferrovia, atta a raccogliere le acque provenienti dal versante a monte, il rimodellamento del terreno compreso tra viabilità e ferrovia, attualmente sede di ristagni, la realizzazione di una trincea drenante a monte della ferrovia, prevedendo il recapito di tutte le acque raccolte nei tombini esistenti ubicati a margine del tratto di ferrovia in esame.

La mesh e la stratigrafia sono le stesse utilizzate per il modello descritto al precedente paragrafo 7.3.3. In questo modello è stato tenuto in conto della bonifica della parte superficiale del rilevato (intesa come bonifica + supercompattato + sub ballast per un totale di circa 90 cm, vedi Figura 7-21). Il resto dell'intervento, che consisterà nel rifacimento della piattaforma e nella regimazione, raccolta e scarico delle acque piovane nell'area a monte del rilevato, viene considerato mantenendo la falda in condizioni "standard", circa 3 m al di sotto del piano di campagna a monte del rilevato.

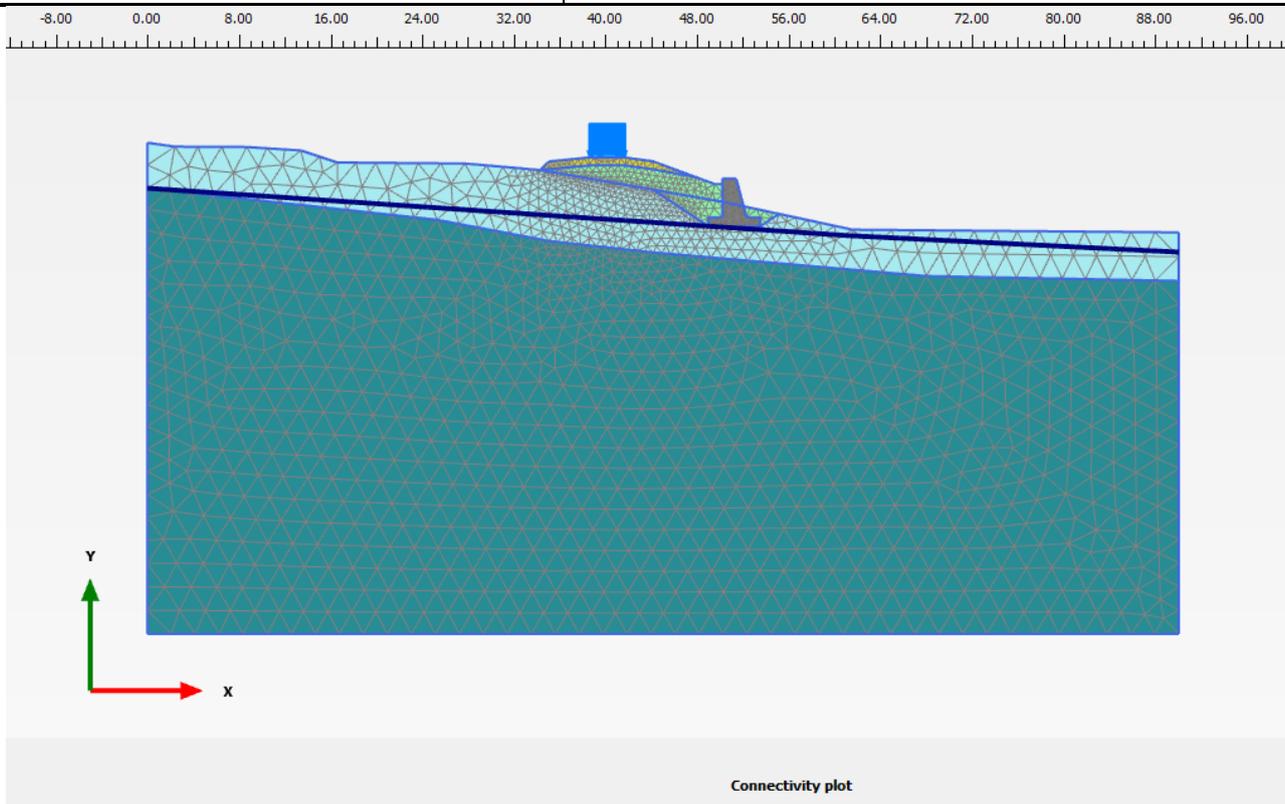


Figura 7-21: Modello con rifacimento dei primi 0.90 m del rilevato ferroviario

Per tutti gli strati è stato utilizzato un modello costitutivo “Mohr- Coulomb” elastico lineare perfettamente plastico. I parametri geotecnici caratteristici in termini di resistenza e deformabilità sono quelli riportati in Tabella 7.2. Lo strato di bonifica, supercompattato e sub ballast è stato modellato per semplicità come un unico strato con i parametri riportati in Tabella 7.3 validi per i nuovi rilevati.

Il sovraccarico è lo stesso utilizzato nell’analisi precedente, descritto al paragrafo 7.3.3.

Per le verifiche SLU in condizioni statiche il sovraccarico è stato amplificato per il coefficiente $\gamma_{Qi [A2]}$ pari a 1.3, quindi $q = 68 \times 1.3 = 88.4$ kPa.

Per le analisi SLU in condizioni sismiche il sovraccarico ferroviario (q) pari a 53.7 kPa, è stato moltiplicato per un coefficiente $\psi=0.2$ in accordo alle NTC2018 (Doc. Rif. [11]), quindi $q_d = 0.2 \times q_k = 10.7$ kPa. Il carico totale per le condizioni sismiche risulta quindi pari a $10.7+14.4 \approx 25$ kPa.



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI
DISSESTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 10	RH GE 0006 002	C	55 di 115

Come descritto al Par. C7.11.4 del Doc. Rif. [12], la verifica di stabilità globale va condotta mediante il metodo di analisi definito al Par. 7.11.3.5 del Doc. Rif.[11], inerente alla stabilità dei pendii.

Sulla base di quanto definito al Par.7.11.3.5.2 del Doc. Rif.[11], in mancanza di studi specifici, i coefficienti sismici k_h (orizzontale) e k_v (verticale) sono definiti come:

$$k_h = \beta_s a_{max}/g$$

$$k_v = \pm k_h / 2$$

essendo:

a_{max} = azione sismica di progetto definita nella Relazione geotecnica (Doc. Rif. [7]).

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

Come chiarito al Par. 7.11.4 del Doc. Rif. [11] il valore del coefficiente β_s da assumere è pari a 0.38 per verifiche allo SLV su fronti di scavo o rilevati, come nel caso in oggetto. Per le paratie di presidio, esse vengono trattate cautelativamente come opere di sostegno, quindi il coefficiente invece dipende dalla lunghezza totale della paratia come specificato al Par. 7.11.6 del Doc. Rif. [11].

In accordo alle espressioni di cui sopra, si ottengono i seguenti coefficienti per la verifica di stabilità globale allo SLV. In generale, per le opere si farà riferimento al valore massimo di accelerazione $a_{max}(g)$ pari a 0.396.

I coefficienti di accelerazione pseudostatica per le verifiche in condizioni sismiche sono come segue

$$K_H = + 0.150 \quad (\text{concorde alla direzione di scivolamento})$$

$$K_V = \pm 0.075 \quad (\text{verificando la più cautelativa tra negativo e positivo})$$

Le condizioni al contorno sono quelle "standard" automaticamente impostate nel codice di calcolo, ovvero spostamenti orizzontali bloccati ai bordi verticali del modello e spostamenti verticali bloccati alla base del modello.

Le condizioni idrauliche al contorno sono quelle "standard" automaticamente impostate nel codice di calcolo, ovvero moto di filtrazione consentito ai bordi verticali ma impedita alla base del modello.

Le fasi di calcolo simulate sono le seguenti:



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI
DISSESTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 10	RH GE 0006 002	C	56 di 115

1. Generazione dello stato tensionale iniziale con piano campagna attuale;
2. Costruzione del rilevato con bonifica dello strato superficiale del rilevato esistente per uno spessore di 90 cm;
3. Sovraccarico generato dal passaggio del treno (sia in condizioni statiche che sismiche);
4. Valutazione del coefficiente di sicurezza con analisi $c-\phi$ reduction;

Lo scopo dell'analisi post-intervento è quello di valutare le condizioni di sicurezza del rilevato ferroviario allo stato limite ultimo.

Per quanto riguarda le condizioni statiche, si riporta in Figura 7-22 il campo di spostamenti orizzontali (senza scala, in quanto non di interesse) relativo alla superficie di rottura critica; il fattore di sicurezza globale FS relativo a tale meccanismo può essere valutato in funzione dell'andamento della curva di spostamento orizzontale di un punto di monitoraggio a testa muro di contenimento in funzione della riduzione dei parametri di resistenza del terreno (Figura 7-23). FS risulta pari a circa 1.33.

La verifica di stabilità globale in condizioni statiche non risulta soddisfatta, in quanto il fattore di sicurezza globale minimo da normativa è $FS = 1.375$ (vedi paragrafo 7.3.2).

Per quanto riguarda le condizioni sismiche, si riporta in Figura 7-24 il campo di spostamenti orizzontali (senza scala, in quanto non di interesse) relativo alla superficie di rottura critica; il fattore di sicurezza globale FS relativo a tale meccanismo, valutato come descritto sopra per le condizioni statiche (Figura 7-25), risulta dell'ordine di 1, con un massimo di circa 1.04.

La verifica di stabilità globale in condizioni sismiche non risulta soddisfatta, in quanto il fattore di sicurezza globale minimo da normativa è $FS = 1.2$ (vedi paragrafo 7.3.2).

Dato che le analisi di stabilità del rilevato mostrano che non sono garantiti i coefficienti di sicurezza minimi prescritti dalla normativa, sarà necessario realizzare un'opera di presidio a valle del rilevato per migliorarne la stabilità, oltre a quanto già previsto per stabilizzare il rilevato ferroviario e impedire innalzamenti di falda durante periodi piovosi.

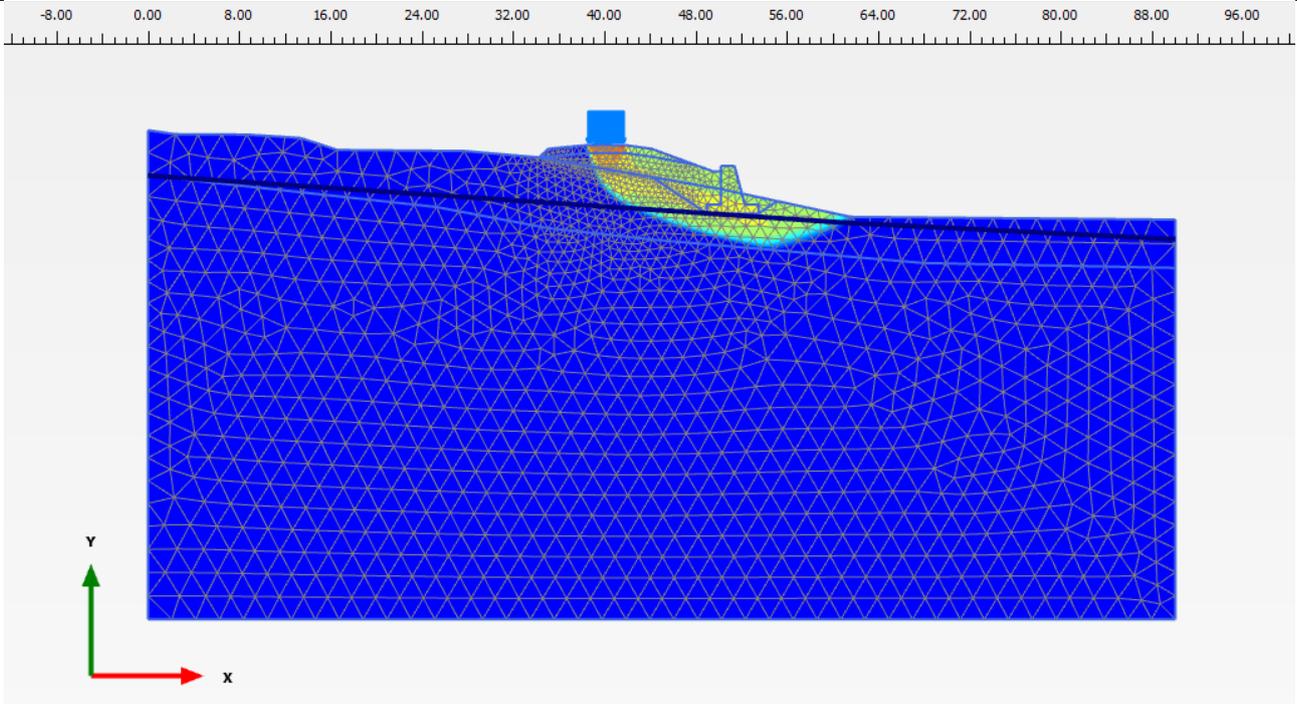


Figura 7-22: Analisi di stabilità globale condizioni statiche – campo di spostamenti orizzontali (senza scala) per l'individuazione della superficie di rottura critica.

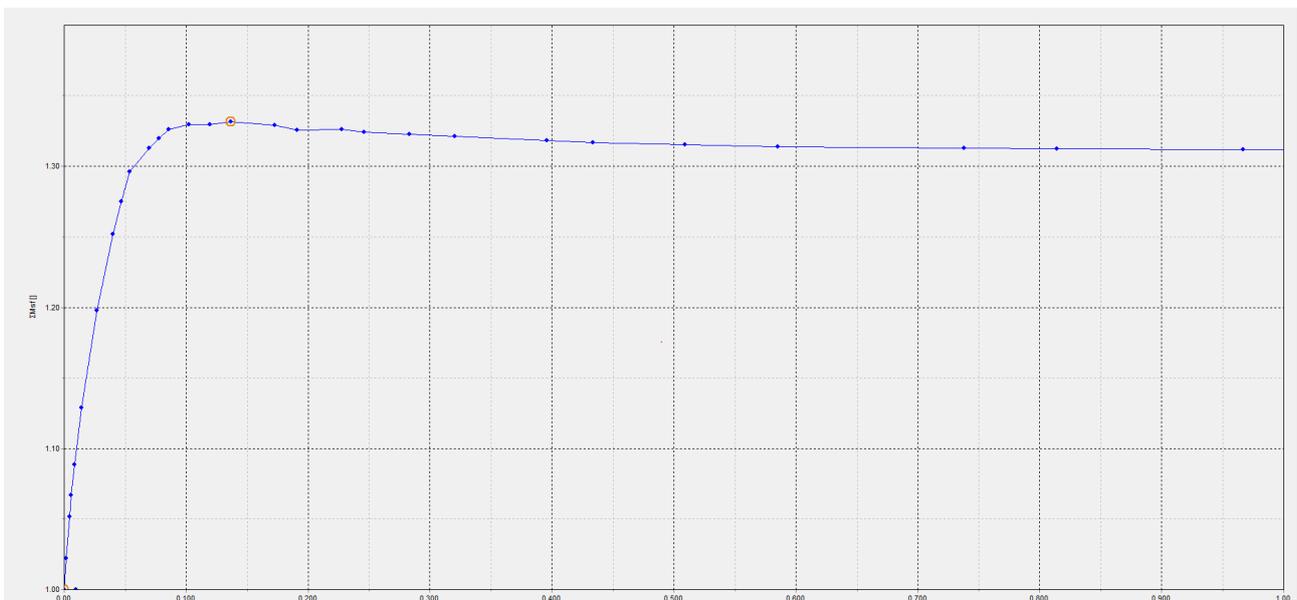


Figura 7-23: FS globale in condizioni statiche – andamento dello spostamento orizzontale (in m) di un punto di monitoraggio a testa muro di contenimento in funzione della riduzione dei parametri di resistenza del terreno

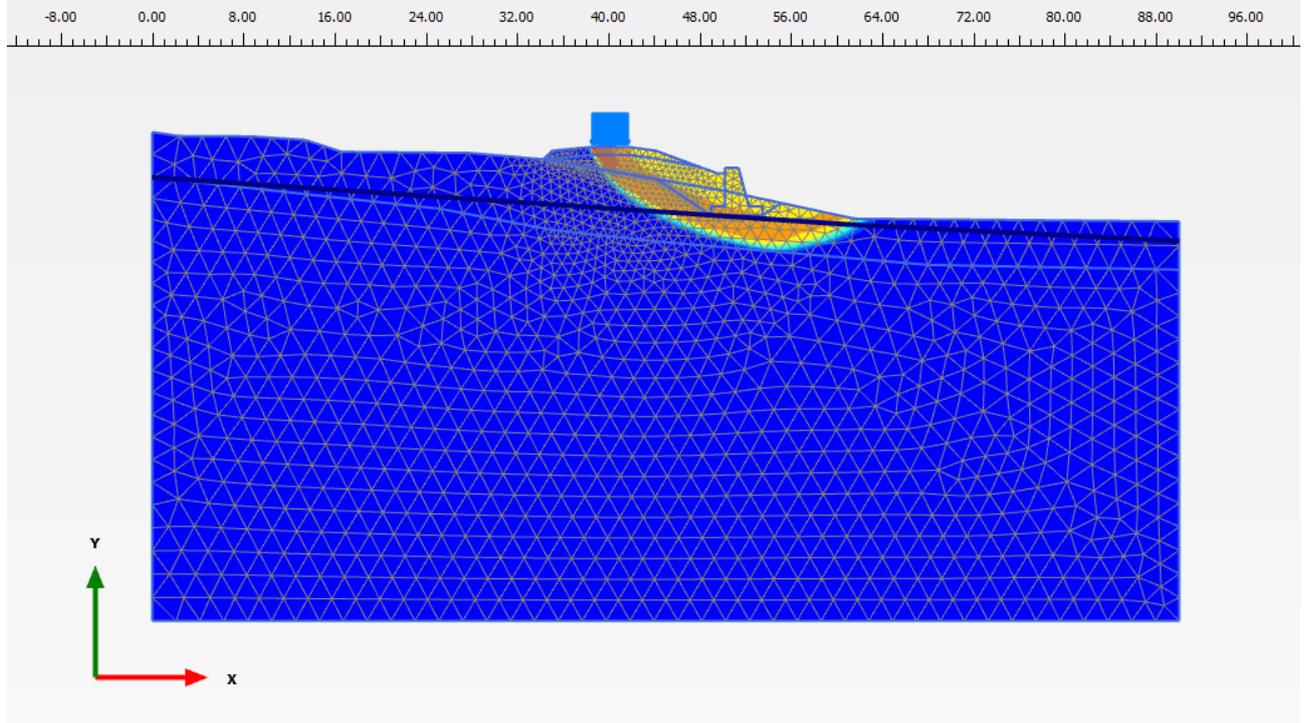


Figura 7-24: Analisi di stabilità globale in condizioni sismiche – campo di spostamenti orizzontali (senza scala) per l'individuazione della superficie di rottura critica.

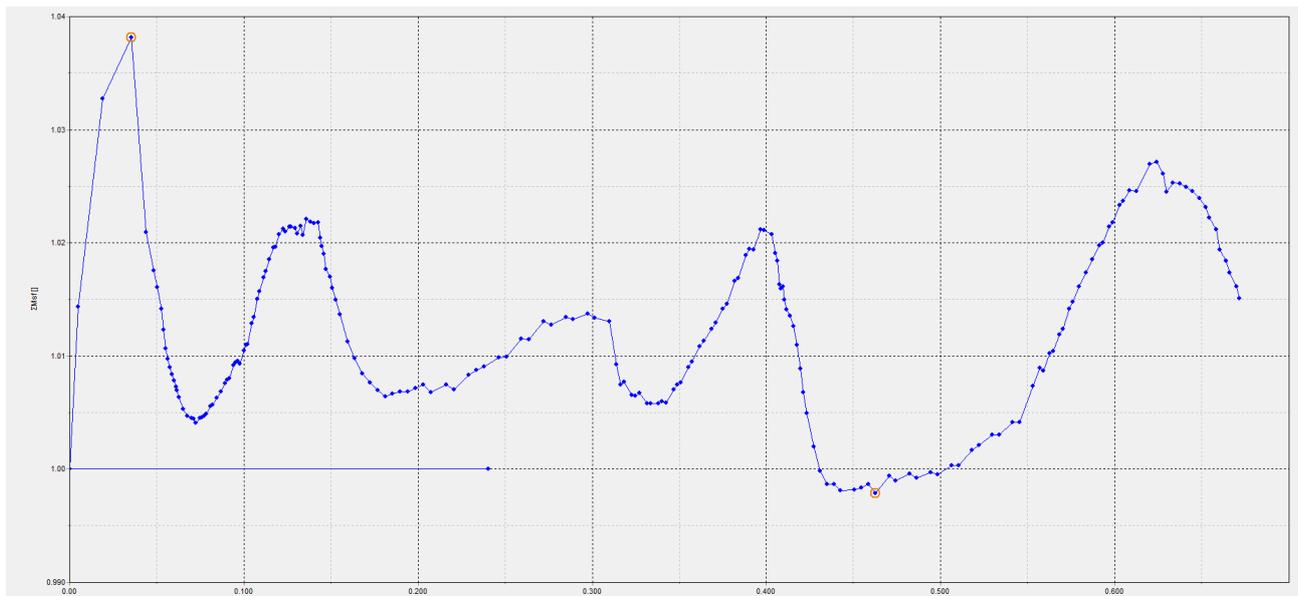


Figura 7-25: FS globale in condizioni sismiche – andamento dello spostamento orizzontale di un punto di monitoraggio a testa muro di contenimento (in m) in funzione della riduzione dei parametri di resistenza del terreno

7.3.5 Dimensionamento dell'opera di presidio

Il dimensionamento dell'opera di presidio avviene mediante doppia analisi, stimando dapprima la spinta equivalente della coltre sull'opera di presidio, successivamente eseguendo un'analisi per determinare le sollecitazioni su quest'ultima sulla base della spinta determinata in precedenza. L'opera di presidio sarà costituita da una paratia di pali accostati di diametro D1200mm, lunghezza L 20m, posizionati appena a monte del muro di contenimento esistente.

I coefficienti di spinta "equivalenti" della coltre vengono definiti mediante analisi di stabilità del rilevato eseguite con il codice di calcolo SlopeW. La massima altezza sostenuta dalla paratia è stata considerata pari a 4.2m (tenendo conto di una paratia posta appena a tergo del muro esistente, intercettante la superficie critica individuata nell'analisi plaxis passante sotto la base del muro esistente, con eventuale resistenza passiva trascurata, in caso il muro esistente fosse smantellato).

Le verifiche sono condotte:

- Agli SLE per verifica degli spostamenti orizzontali
- Agli SLU in condizioni statiche;
- Agli SLV in condizioni sismiche;

Per quanto riguarda gli SLU (SLV) si ricerca la forza che:

- Garantisce FS pari a 1.1 a parametri di resistenza fattorizzati con i coefficienti del gruppo M2 per gli SLU;
- Garantisce FS pari a 1.2 a parametri di resistenza caratteristici per gli SLV.

In condizioni sismiche, sia i coefficienti sulle azioni, sia quelli sui parametri geotecnici vanno posti pari all'unità.



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI
DISSESTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 10	RH GE 0006 002	C	60 di 115

L'azione sismica da impiegarsi per il calcolo delle spinte sulle opere di sostegno viene espressa con riferimento ai parametri e coefficienti sismici di cui al seguito (NTC – paragrafo n.7.11.6.3.1, vedi anche Figura 7-26):

$$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot a_{\max} \geq 0.2 \cdot a_{\max}$$

$$k_v = 0$$

dove:

a_{\max} = accelerazione massima di progetto al suolo = 0.395g

H = altezza complessiva della paratia = 20 m

$u_s \leq 0.005 \times H$ = spostamento tollerato dalla paratia = 0.1 m;

α = coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni = 0.75 per classe C e H 20 m;

β = coefficiente che tiene conto della deformabilità dell'opera = 0.52 per $u_s = 0.1$ m;

k_h = coefficiente sismico orizzontale = 0.154;

k_v = coefficiente sismico verticale = non considerato come da NTC2018;

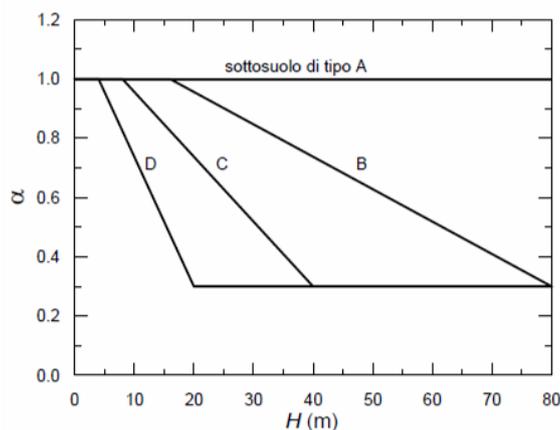


Fig. 7.11.2 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità α

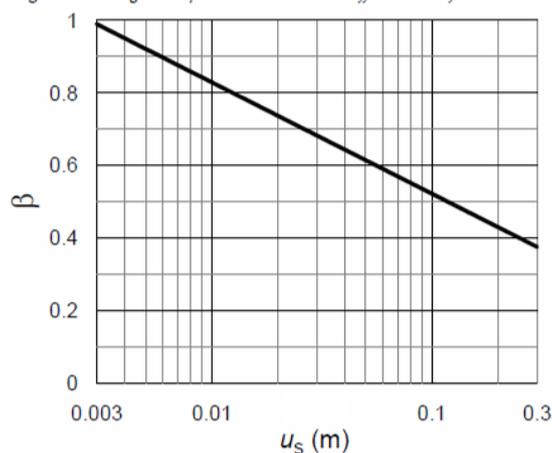


Fig. 7.11.3 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento β .

Figura 7-26: NTC2018. Diagrammi per la valutazione dei coefficienti α e β specifici per paratie

Come già anticipato, le analisi per valutare le spinte equivalenti sull'opera di presidio sono state svolte con l'ausilio del codice SlopeW, implementando il metodo di Morgenstern e Price.

I coefficienti di spinta equivalenti vengono definiti in base al valore della forza orizzontale necessaria a stabilizzare il "cuneo" di monte definito applicando un taglio verticale alla morfologia in corrispondenza dell'allineamento della paratia. Il punto di applicazione delle forze viene posizionato ad 1/3 dalla base dell'altezza totale di spinta.

La forza risultante di stabilizzazione è già comprensiva di tutti i sovraccarichi, compreso il sisma.

I risultati in termini di spinta della coltre da analisi Slope sono mostrati nelle figure da Figura 7-27 a Figura 7-29.

Le forze orizzontali, determinate dalle analisi di stabilità precedenti, consentono di calcolare i coefficienti di spinta attiva equivalenti della coltre. Le forze orizzontali ricavate dalle analisi di stabilità eseguite risultano, per i diversi casi analizzati:

Spinta netta in condizioni statiche allo stato limite di esercizio

$$H = 50 \text{ kN/m}$$

$$k_A \text{ equivalente} = 0.283 \text{ (} H_{\text{spinta}} = 4.2\text{m, falda a 4.5 m di profondità)}$$

Spinta netta in condizioni statiche SLU

$$H = 210 \text{ kN/m}$$

$$k_A \text{ equivalente} = 1.190 \text{ (} H_{\text{spinta}} = 4.2\text{m, falda a 4.5 m di profondità)}$$

Spinta netta in condizioni sismiche SLV

$$H = 145 \text{ kN/m}$$

$$k_A \text{ equivalente} = 0.822 \text{ (} H_{\text{spinta}} = 4.2\text{m, falda a 4.5 m di profondità)}$$

Rispetto a testa opera, l'altezza di spinta totale e la profondità della falda risultano come dichiarato sopra. Il coefficiente di spinta attiva equivalente è stato ricavato in modo tale che, moltiplicandolo per l'integrale delle tensioni verticali efficaci sull'altezza del cuneo di spinta in corrispondenza dell'opera, considerando la falda alla profondità dichiarata e piano campagna a tergo opera orizzontale, restituisca la spinta ricavata sopra.

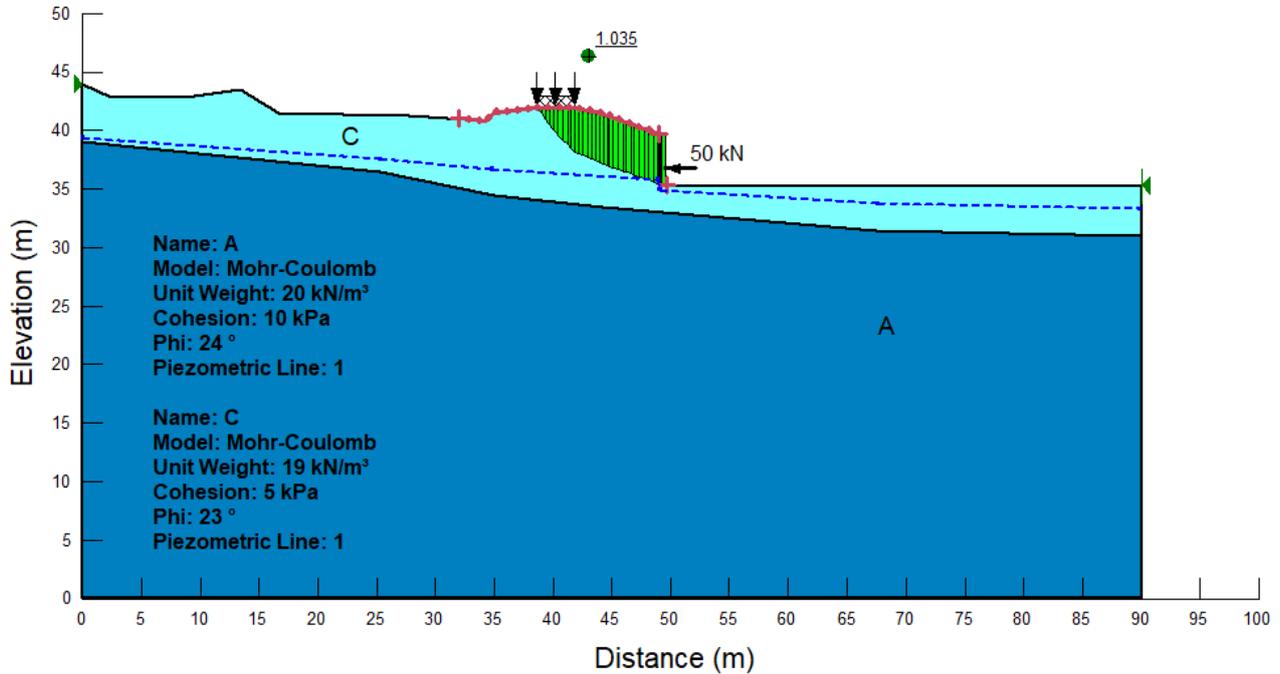


Figura 7-27: SLE – Valutazione della forza che stabilizza il cuneo di monte

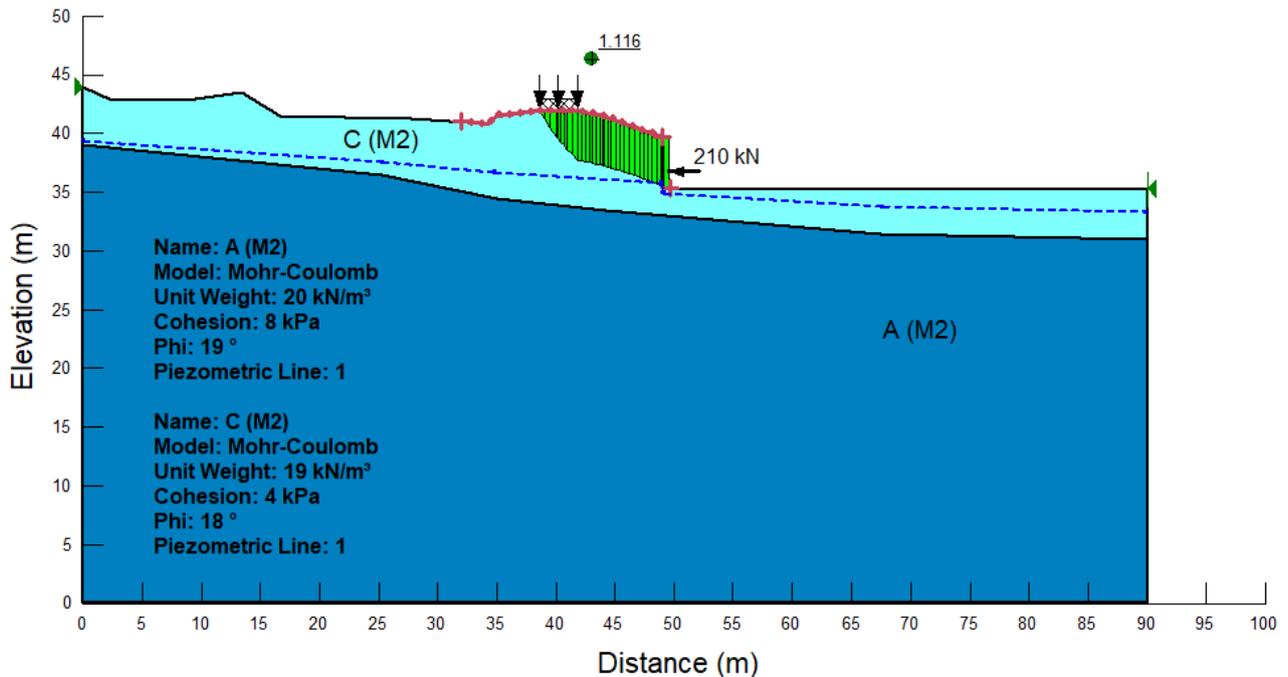


Figura 7-28: SLU – Valutazione della forza che stabilizza il cuneo di monte

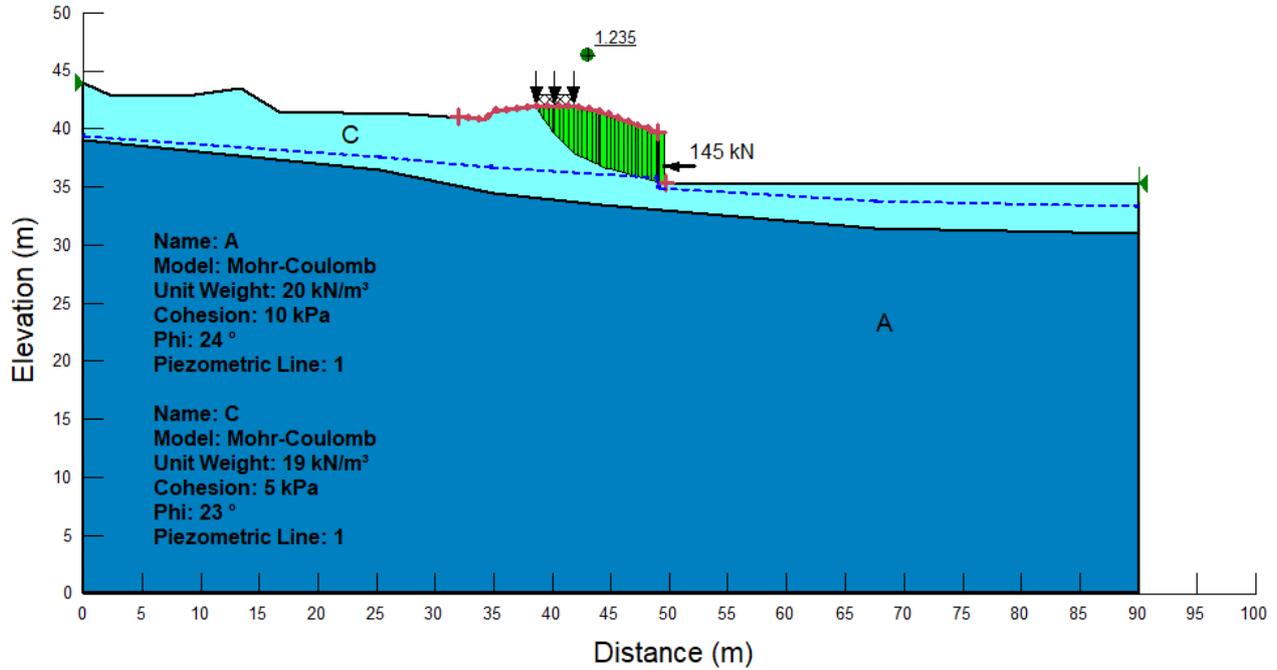


Figura 7-29: SLV – Valutazione della forza che stabilizza il cuneo di monte



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI
DISSESTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 10	RH GE 0006 002	C	65 di 115

7.3.6 Valutazione sollecitazioni e spostamenti

L'analisi tenso-deformativa della paratia è stata svolta con l'ausilio del codice PARATIE PLUS in grado di simulare in maniera verosimile (anche se semplificata) l'interazione tra terreno e struttura di sostegno (si rimanda ai manuali per i dettagli sul codice di calcolo).

Le analisi sono state svolte considerando quanto segue:

Stato piano nelle deformazioni, quindi paratia di lunghezza infinita fuori piano, con le caratteristiche di rigidità a metro lineare fuori piano basate sulla geometria dell'opera (pali D1200mm accostati). Il palo è stato considerato di lunghezza totale pari a 20 m.

- Modello a superficie orizzontale in condizioni iniziali, con scavo su un lato alla profondità dichiarata al paragrafo precedente per la stima delle azioni sui pali. La spinta del terreno a monte è stata calcolata imponendo i coefficienti di spinta (che tengono conto di tutti i sovraccarichi), così come stimati al paragrafo precedente. Dato che tali coefficienti sono stati calcolati considerando i vari approcci normativi, i calcoli con Paratie vengono effettuati senza amplificazione dei carichi. Per le argille di base i coefficienti di spinta attiva e passiva sono valutati sulla base di quanto proposto da Muller-Breslau. La falda rispetto a testa opera viene presa come dichiarato al paragrafo 7.3.3.
- Anche le condizioni sismiche sono già incluse nel coefficiente di spinta stimato al paragrafo 7.3.3.. Tali condizioni vengono prese in conto ponendo nell'argilla di base coefficienti di spinta attiva e passiva calcolati alla Mononobe Okabe.

Il modello di calcolo considerato è rappresentato a titolo di esempio nella sottostante Figura 7-30.

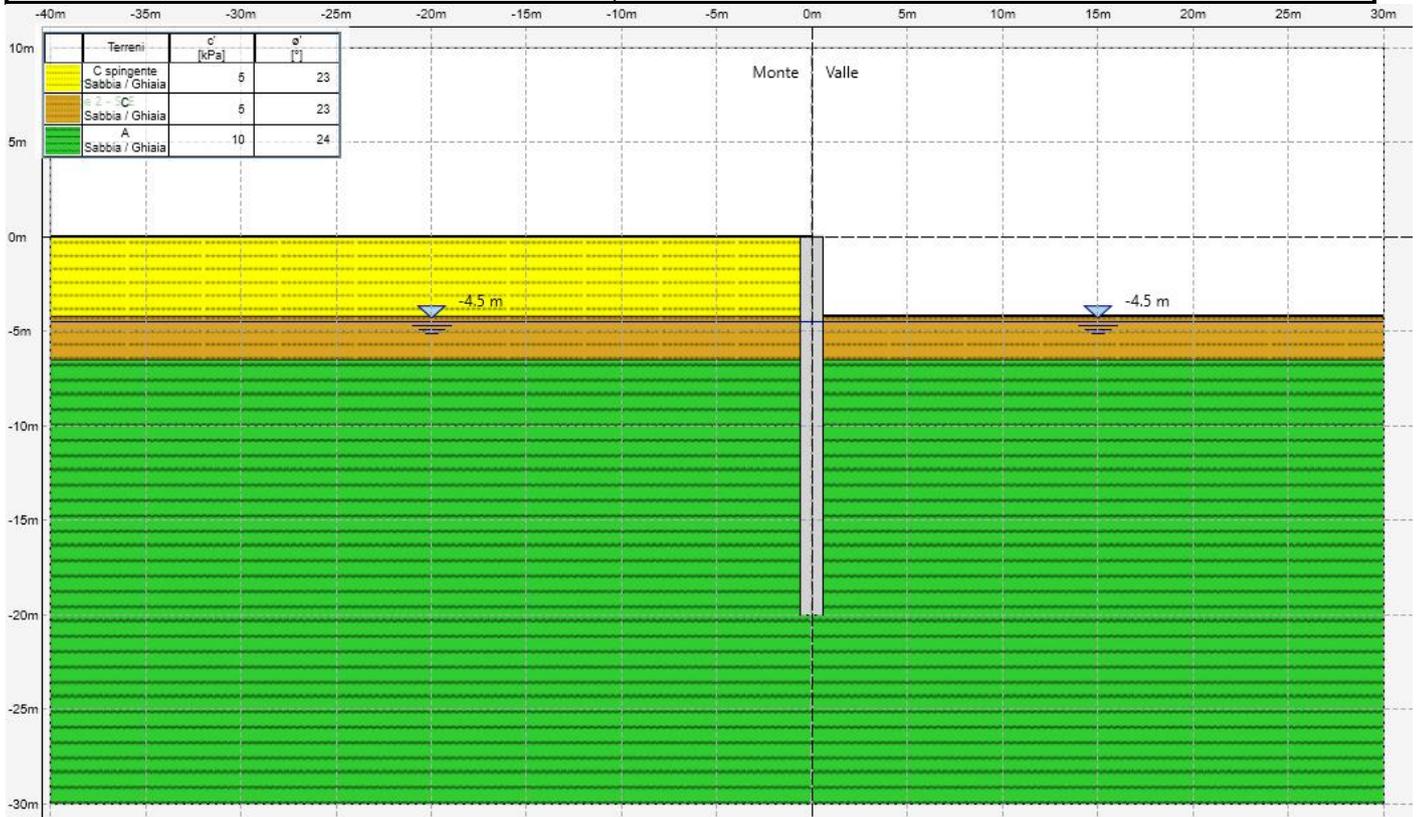


Figura 7-30: Modello di calcolo paratie

I risultati completi relativi alle analisi svolte sono riportati nelle figure da Figura 7-31 a Figura 7-33 (output grafico del programma PARATIE-PLUS). Le sollecitazioni sono da moltiplicare per l'interasse degli elementi (1.2 m).

Le sollecitazioni agenti sugli elementi strutturali sono compatibili con quantitativi di armatura a pressoflessione e taglio rispondenti ai criteri individuati nelle norme vigenti. Il dimensionamento di dettaglio dell'armatura sarà effettuato nelle successive fasi progettuali.

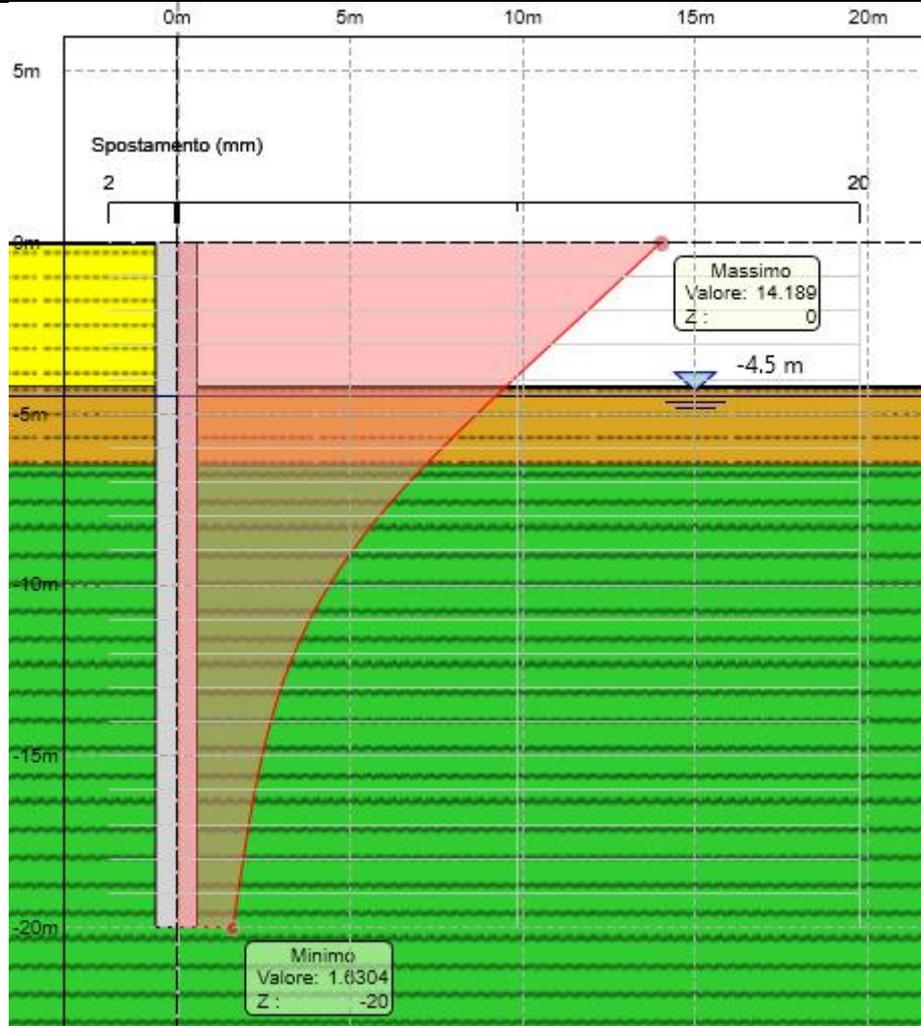


Figura 7-31: SLE – spostamenti orizzontali

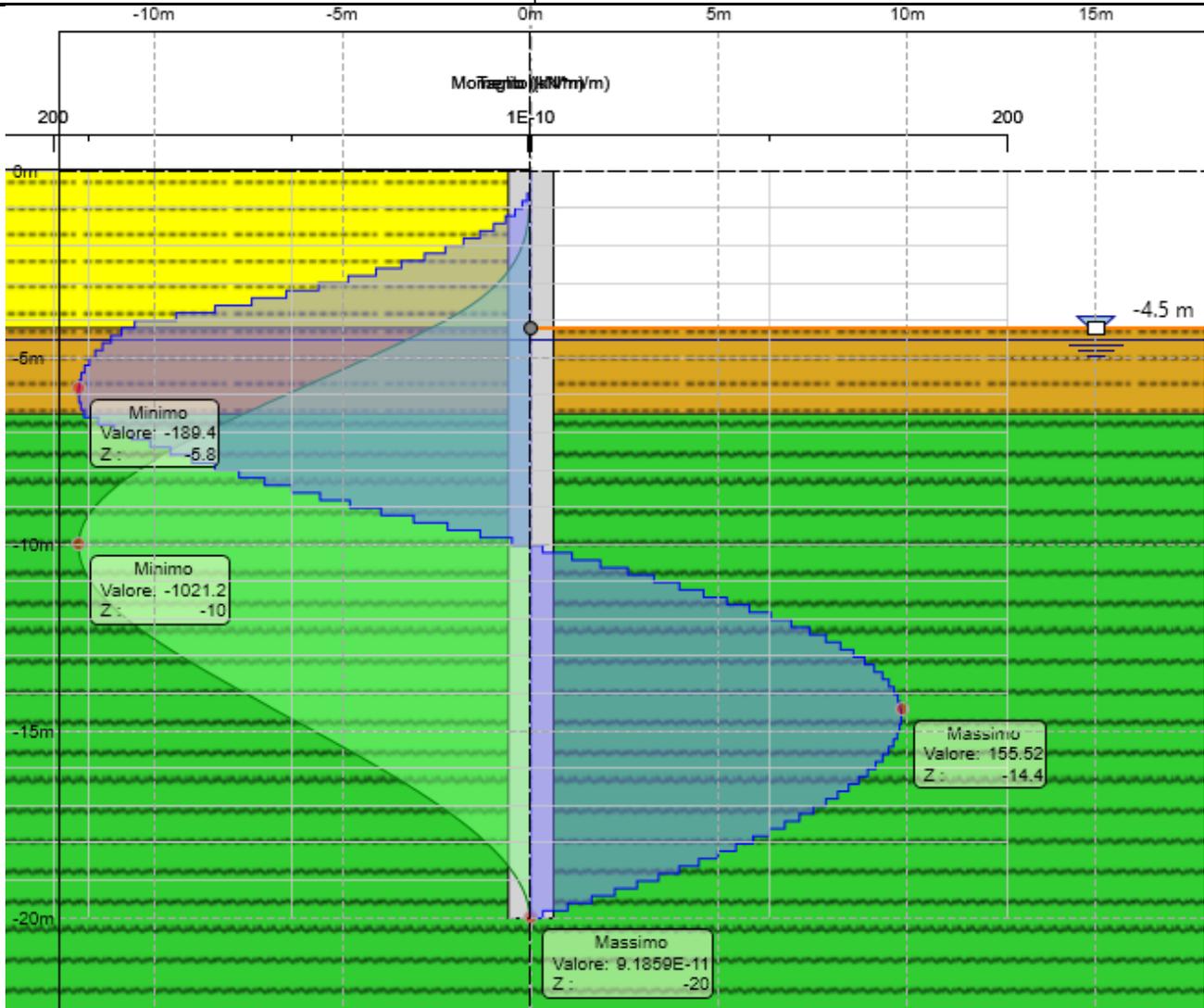


Figura 7-32: SLU – momento e taglio nel palo

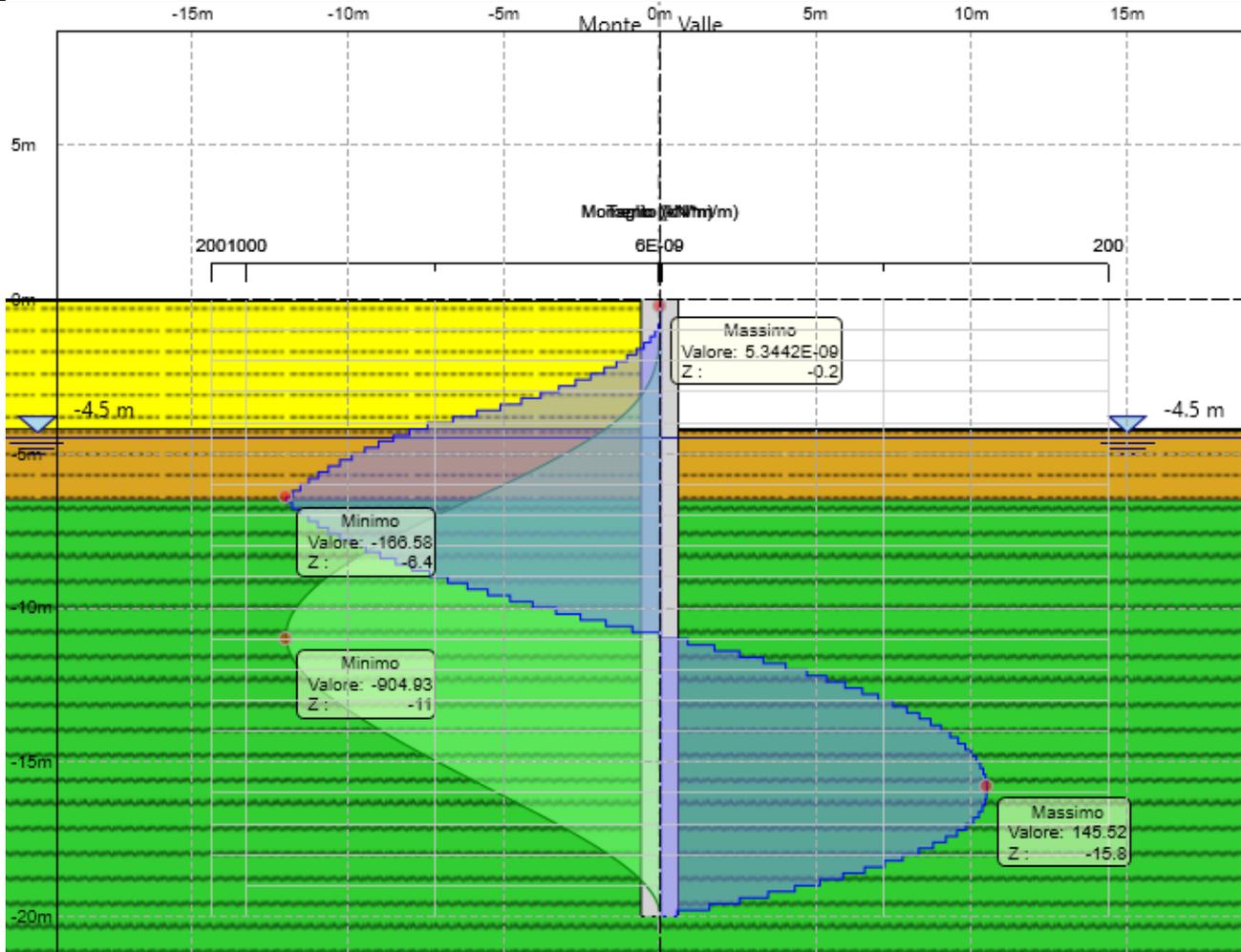


Figura 7-33: SLV – momento e taglio nel palo

8 ANALISI DI STABILITÀ E PREDIMENSIONAMENTI TRATTA PK 27-29

8.1 VARIANTE 9 E TRATTO EXTRA-VARIANTE - PK DA 28 A 28+400 CIRCA

8.1.1 Descrizione del dissesto

Nel tratto di ferrovia intorno al km 28+000, il torrente Fallaco scorre in stretta adiacenza alla sede ferroviaria, la quale è sostenuta da un muro di sottoscarpa in muratura (vedi Figura 8-1) che presenta localmente delle lesioni. Nella stessa tratta vi sono segnalazioni, nelle schede tecniche di RFI, di piattaforma cedevole. Lungo il segmento in esame sono inoltre evidenti segni di scivolamento della coltre instabile costituente il versante a monte.



Figura 8-1 – Muro di sottoscarpa esistente al km 28 circa

L'esame comparato di tutte le informazioni disponibili fa ritenere che i suddetti fenomeni di piattaforma cedevole siano collegati sia ai cinematismi del versante, sia a fenomeni di erosione al



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI
DISSESTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 10	RH GE 0006 002	C	71 di 115

piede/scalzamento operati dal fiume Fallaco del muro di sottoscarpa che in tale segmento sorregge la sede ferroviaria, ubicata a margine dell'ansa del fiume

Pertanto, si prevede di intervenire con un'opera che fungerà sia da presidio nei confronti dello scivolamento della coltre superficiale, sia di sostegno del corpo ferroviario in sostituzione del muro di sottoscarpa esistente

Si prevede anche di realizzare un sistema di trincee drenanti lungo il pendio con geometria indicativa di lunghezza L 40 m, profondità 3-4 m, interasse 15 m con contestuale riprofilatura del terreno ove necessario.

Per cautela si propone di seguito il dimensionamento della sola opera di sostegno/presidio trascurando il contributo delle trincee drenanti. Oltretutto si trascurerà anche il contributo delle strutture esistenti, le quali saranno considerate non collaboranti. Preliminarmente al predimensionamento dell'opera, è presentata un'analisi delle condizioni di stabilità del versante nelle condizioni attuali, finalizzata alla determinazione, tramite back analysis, dei valori dei parametri geotecnici costituenti la coltre instabile.

Relativamente alle opere di presidio in progetto, è prevista la realizzazione di paratie di pali D1200mm (interasse $i=1.3m$, lunghezza indicativa pari a $L=25m$); i setti murari e la soletta di collegamento hanno uno spessore medio di 1.2 m.

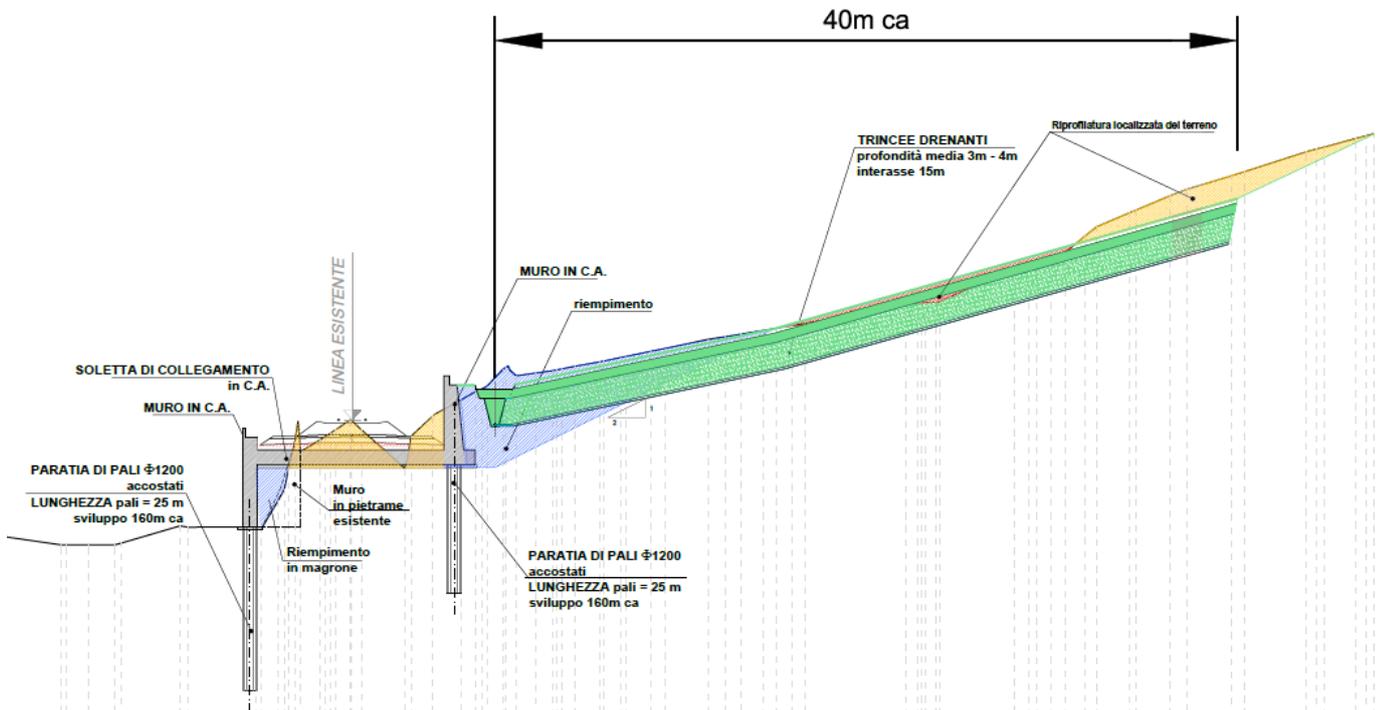


Figura 8-2 – Opera di sostegno/presidio al km 28 circa – sezione schematica

8.1.2 Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo

In accordo a quanto riportato nella Relazione Geotecnica, nella tabella seguente sono riportati i valori dei parametri geotecnici caratteristici e di progetto, fattorizzati utilizzando i coefficienti M2 di normativa (vedi Doc. Rif. [11]). A favore di sicurezza, la presenza più in profondità delle argille litoidi AL viene trascurata nelle analisi svolte.

Il modello geotecnico di riferimento per il predimensionamento dell'opera di presidio è riportato nel Doc [4]). Per questo caso particolare, viste anche le evidenze lamentate di "piattaforma cedevole", si associano al rilevato ferroviario esistente gli stessi parametri geotecnici della coltre, tenendo così conto che il rilevato attuale può essere stato costruito con i materiali di risulta degli scavi in sito.

Tabella 8.1: Parametri geotecnici di calcolo per la sezione a pk 28 circa – Materiali in sito

STRATO	Descrizione strato	Peso di volume	Angolo di resistenza al taglio		Coesione efficace		Resistenza al taglio non drenata		Modulo di Young operativo	Permeabilità
		γ_d	ϕ'_k	ϕ'_d	c'_k	c'_d	c_u	c_u	$E_{op.}$	k
		[kN/m ³]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[m/s]
C	Coltri delle argille sovraconsolidate	20	23	18	5	4	-	-	6	5.0E-05
A	Argille sovraconsolidate	20	24	19	10	8	120	86	20	5.0E-09

8.1.3 Verifiche SLE – Valutazione del campo degli spostamenti

La valutazione del campo degli spostamenti è stata condotta tramite il codice di calcolo Plaxis 2d (Doc. Rif. [23]).

Come da NTC 2018 (Doc. Rif. [11]), la valutazione del campo degli spostamenti è stata condotta con riferimento ai valori caratteristici dei parametri di resistenza e dei carichi agenti.

8.1.4 Verifiche SLU – Stima delle sollecitazioni nella struttura

La stima delle sollecitazioni nella struttura (sia in condizioni statiche che sismiche) è stata effettuata tramite il codice di calcolo Plaxis 2d (Doc. Rif. [23]). Le sollecitazioni vengono fornite sia secondo l'Approccio 1 - Combinazione 1 per le condizioni statiche, sia agli SLV per le condizioni sismiche.

Le analisi sono condotte sempre a parametri caratteristici. Per le condizioni statiche viene poi moltiplicato per l'opportuno coefficiente del gruppo A1 (vedi Doc. Rif. [11]) l'effetto delle azioni, ovvero direttamente le sollecitazioni ricavate dall'analisi.

8.1.5 Analisi della condizione esistente

I parametri geotecnici caratteristici delle coltri sono stati dedotti da analisi di stabilità della coltre in condizioni di equilibrio limite, mediante due modelli Slope/W distincti, rappresentativi della configurazione del versante in corrispondenza della progressiva al Km 28: un primo modello teso ad indagare la specificatamente la porzione di versante più a monte (fig. 8.3) ed un secondo finalizzato a studiare il comportamento della parte bassa del versante, dove le coltri interessano il muretto di controripa esistente (fig. 8.4). Si osserva che nel primo modello non è ricostruita la reale configurazione della parte bassa del versante solo al fine cogliere meglio con la simulazione il comportamento della porzione del versante in esame.

I risultati delle analisi a ritroso sono rappresentati nelle due figure citate di seguito riportate, che evidenziano che, con i parametri caratteristici considerati ($c'=5$ KPa e $\phi'=23^\circ$), le zone più pendenti del versante (primo modello) e la zona del muretto di controripa (secondo modello) risultano prossime alla instabilità nel caso dell'instaurarsi di una falda sospesa all'interno delle coltri (vedi figure seguenti).

Tale risultato è in linea con quanto descritto e osservato nella relazione geologica [1], ovvero circa la creazione di superfici di scorrimento locali e di profondità limitata (dell'ordine dei 4 metri), a seguito di periodi di pioggia prolungati, che verosimilmente inducono l'instaurarsi di falde transitorie sospese.

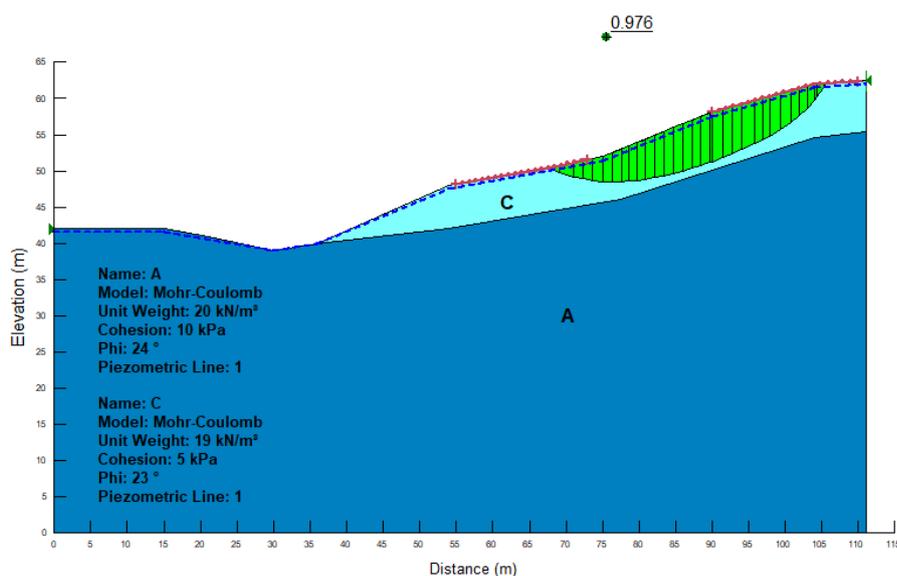


Figura 8-3 – Back analysis per la determinazione dei parametri caratteristici: parte alta del versante

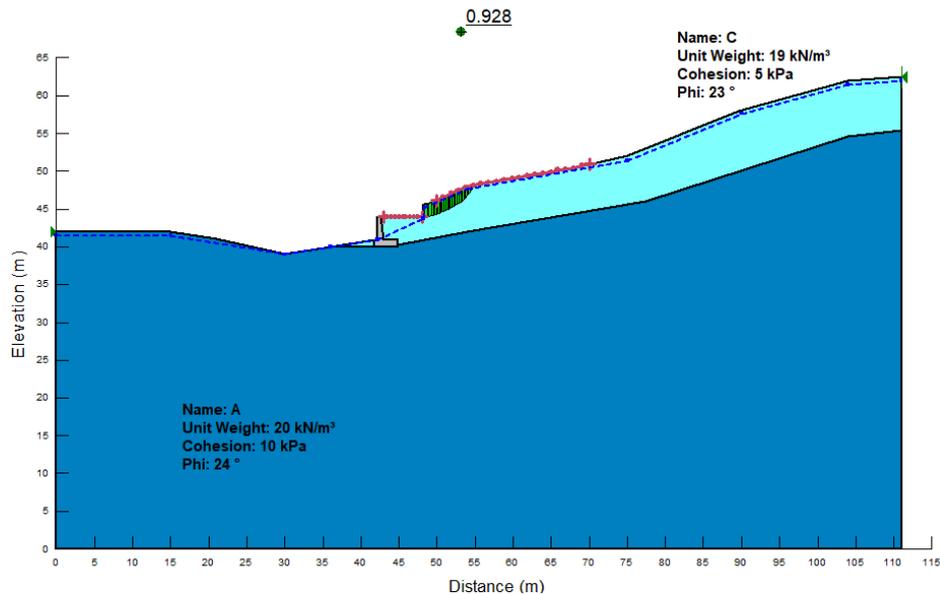


Figura 8-4 – Back analysis per la determinazione dei parametri caratteristici: parte bassa del versante in adiacenza alla ferrovia

8.1.6 *Stima delle sollecitazioni nell'opera di presidio (condizione post-intevento)*

Il modello utilizzato per le analisi è mostrato in Figura 8-5. A favore di sicurezza si è considerata è considerata l'instaurarsi di una falda sospesa nelle coltri a monte della ferrovia, prossima al piano di campagna, lungo tutto lo sviluppo del versante, sebbene gli interventi prevedano la realizzazione di un sistema di trincee a pettine (L=40 m circa) che a regime nella porzione bassa del versante garantiranno l'abbattimento delle pressioni interstiziale nei primi 2-3 metri di coltre. La falda relativa all'unità di base delle argille sovraconsolidate è stata posta corrispondente all'incirca con il tetto delle argille stesse, come da sezione geotecnica dedicata [4]. Per il caso sismico non è stata considerata la presenza di falda sospesa, in quanto condizione considerata di per sé transitoria.

Nel modello sono rappresentate (indicativamente) anche le strutture di sostegno e controripa esistenti in quanto necessarie per la fasistica di analisi. Tali strutture però si considerano non collaboranti nel momento in cui saranno effettuati la stima degli spostamenti e delle sollecitazioni nella nuova opera.



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI
DISSESTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 10	RH GE 0006 002	C	76 di 115

Le condizioni al contorno sono quelle automaticamente impostate nel codice di calcolo, ovvero spostamenti orizzontali bloccati ai bordi verticali del modello e spostamenti verticali bloccati alla base del modello.

Le fasi di calcolo simulate sono le seguenti:

1. Generazione dello stato tensionale iniziale con ipotesi di pendio originale precedente alla costruzione della ferrovia;
2. Costruzione del rilevato attuale;
3. Sostituzione del rilevato attuale con la presenza della nuova opera di sostegno/presidio, compreso il sovraccarico dato dal corpo del rilevato ferroviario e dal passaggio del treno;
4. Creazione della falda sospesa;

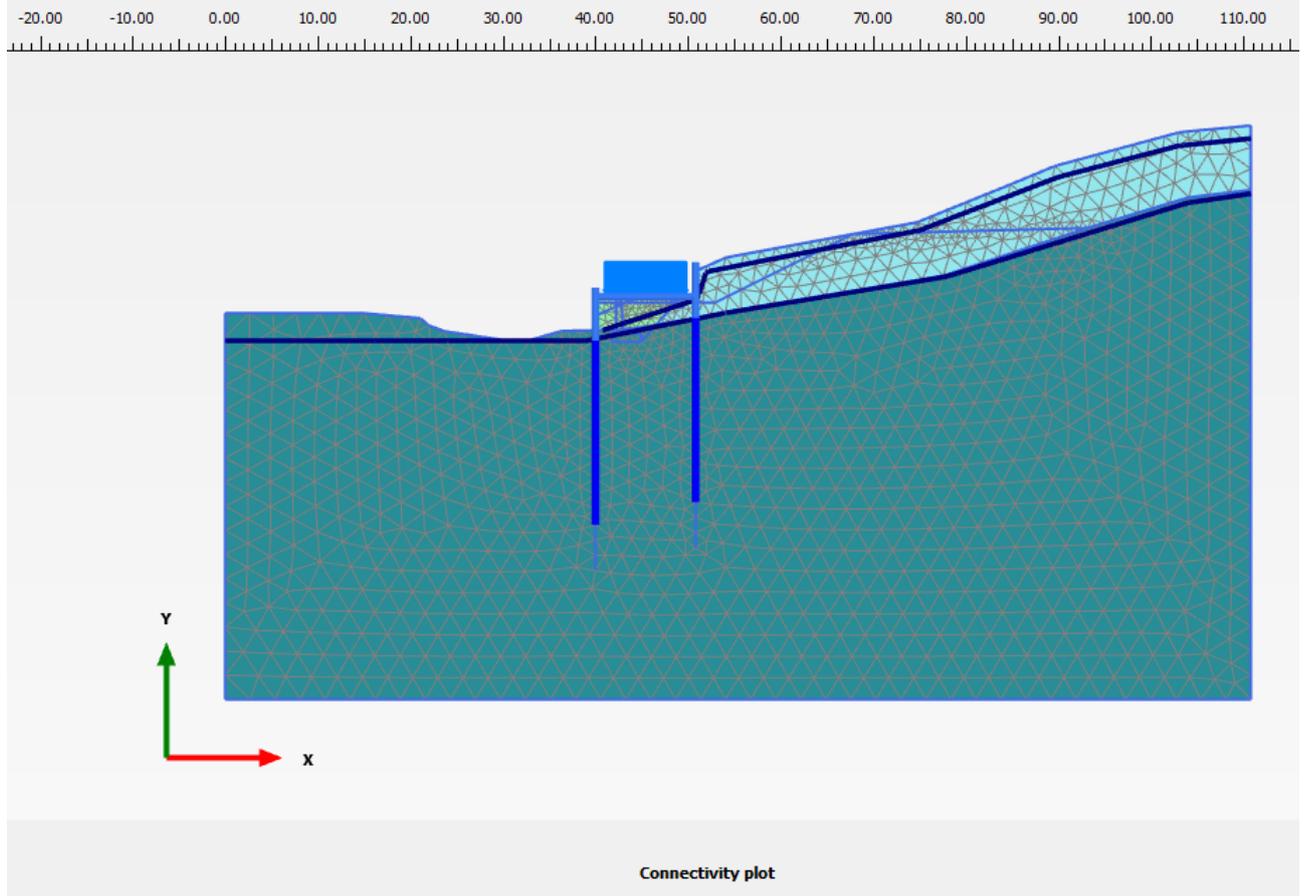


Figura 8-5 – Modello di calcolo con falda sospesa nelle coltri a monte della ferrovia.

Il carico da traffico ferroviario (q) viene preso pari a 53.7 kPa distribuito sull'impronta della base dell'armamento ferroviario.

L'armamento ferroviario è stato schematizzato per mezzo di una pressione uniformemente distribuita pari a 14.4 kPa, rappresentativo di uno strato di spessore pari a circa 0.80 m con un peso pari a 18.00 kN/m³.

I carichi permanenti corrispondenti all'armamento e alla sede ferroviaria, secondo la configurazione rappresentata in -2, viene schematizzato come un carico applicato al di sopra della soletta di collegamento tra i due muri.

In particolare, risulta:



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI
DISSESTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 10	RH GE 0006 002	C	78 di 115

- Carico globale in condizioni SLE: 14.4 kPa applicato su una larghezza di 8.8 m (carico da traffico ferroviario trascurato)
- Carico globale in condizioni SLU statiche: 36.3 kPa applicato su una larghezza di 8.8 m;
- Carico globale in condizioni SLV: 22.0 kPa applicato su una larghezza di 8.8 m;

Nel caso delle condizioni SLU, la quota parte di carico variabile è stata moltiplicata per un coefficiente $1.5/1.3 = 1.15$ per tenere correttamente in conto degli effetti del carico variabile dopo la moltiplicazione per 1.3 degli effetti delle azioni.

Nel caso delle condizioni SLV, la quota parte di carico variabile è stata presa pari al 20% di quella considerata per gli SLU (22.0 kPa).

Le strutture sono state modellate tramite elementi “beam”, quindi adimensionali, dotati di rigidità assiale e flessionale calcolata sulla base delle dimensioni dichiarate al paragrafo precedente. Il modulo di rigidità del calcestruzzo è stato posto pari a 25.000 MPa.

I coefficienti di accelerazione pseudostatica per le verifiche in condizioni sismiche sono come segue (valutati come se l’opera fosse un rilevato, quindi con $\beta = 0.38$ come da NTC 2018 [11])

$$K_H = + 0.150 \quad (\text{concorde alla direzione di scivolamento})$$

$$K_V = \pm 0.075 \quad (\text{verificando la più cautelativa tra negativo e positivo})$$

In Figura 8-6 sono riportati gli spostamenti orizzontali u_x . Si nota come gli spostamenti maggiori vadano a concentrarsi nella zona dove sono presenti le maggiori pendenze, in accordo a quanto mostrato nel modello SlopeW di Figura 8-3. In Figura 8-7 e Figura 8-8 invece sono mostrati gli spostamenti orizzontali nel muro di controripa e nella soletta di collegamento, all’incirca dell’ordine di 2 cm: si osserva che tali spostamenti corrispondono ad un limite superiore coincidente alla condizione di “falda alta” lungo tutto il versante, condizione che nella realtà, in virtù della presenza delle trincee drenanti, ragionevolmente non dovrebbe verificarsi. Per quanto detto, il valore determinato si ritiene accettabile in ragione delle cautele insite nelle analisi svolte.

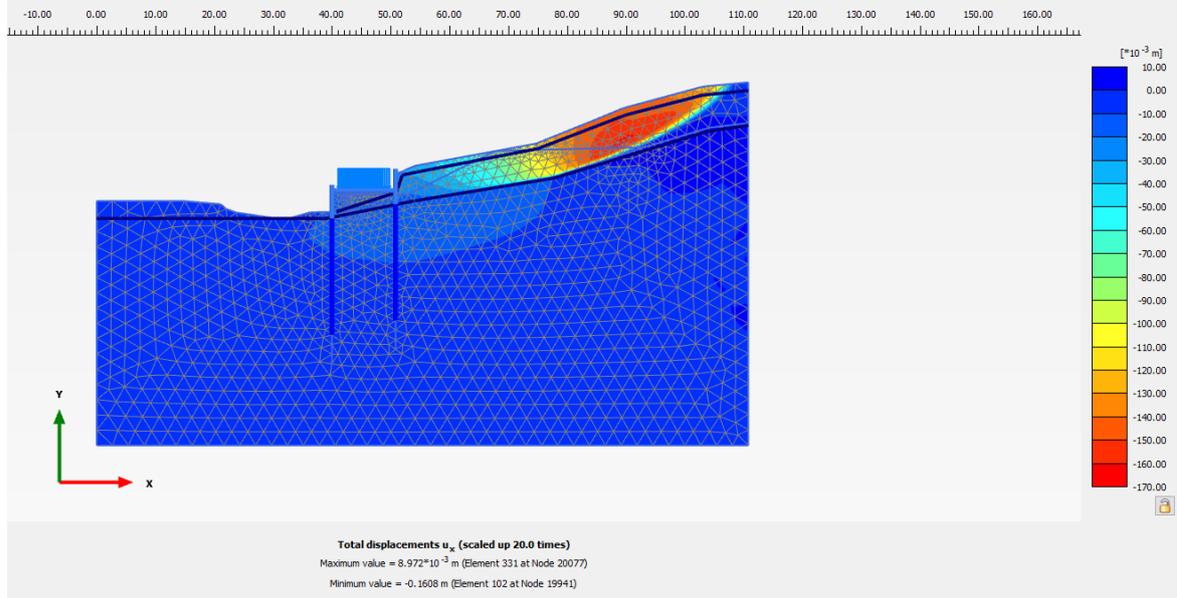


Figura 8-6 – Spostamenti orizzontali dovuti alla creazione della falda sospesa – modello completo

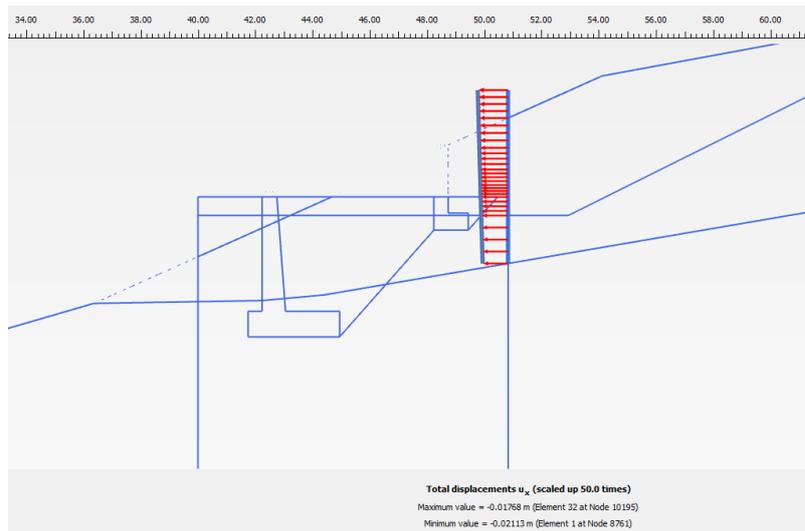


Figura 8-7 – Spostamenti orizzontali sulla struttura di sostegno a monte

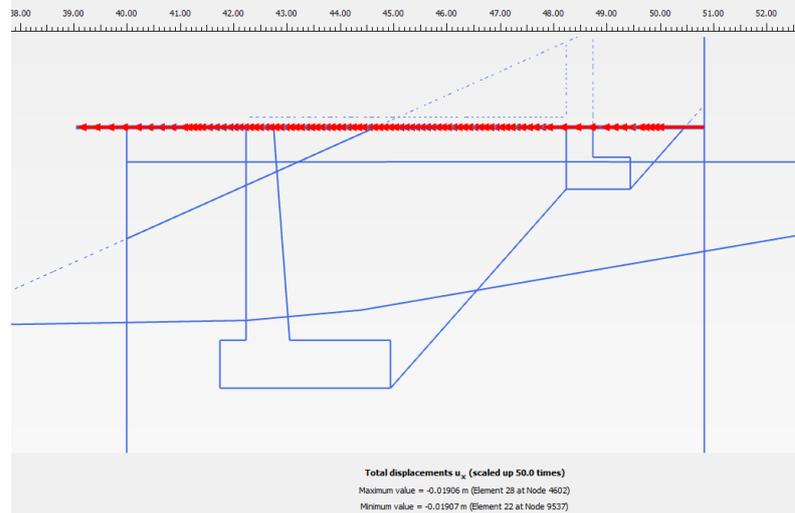


Figura 8-8 – Spostamenti orizzontali sulla soletta di collegamento

Nella successiva Tabella 8.2 sono riportate le sollecitazioni massime nelle varie porzioni della struttura agli stati limite ultimi (il valore di azione assiale riportata è quello corrispondente al massimo momento flettente). Le sollecitazioni sono restituite per unità di lunghezza fuori piano, quindi vanno moltiplicate per l'interasse ove necessario (pali). Per i dettagli si può fare riferimento alle figure riportate in Allegato A.

Le sollecitazioni agenti sugli elementi strutturali sono compatibili con quantitativi di armatura a pressoflessione e taglio rispondenti ai criteri individuati nelle norme vigenti. Il dimensionamento di dettaglio dell'armatura sarà effettuato nelle successive fasi progettuali.

Tabella 8.2: Sollecitazioni massime agenti nelle varie parti della struttura

SLU A1+M1 - valle	SLU A1+M1 - monte	SLU A1+M1 - soletta	SLV - valle	SLV - monte	SLV - soletta
Nmuro=499.84 kN/m	Nmuro=128.48 kN/m	N=131.59 kN/m	Nmuro=323.23 kN/m	Nmuro=32.99 kN/m	N=137.99 kN/m
Tmuro=188.55 kN/m	Tmuro=164.94 kN/m	T=467.76 kN/m	Tmuro=249.17 kN/m	Tmuro=103.52 kN/m	T=295.86 kN/m
Mmuro=991.10 kNm/m	Mmuro=222.92 kNm/m	M=991.10 kNm/m	Mmuro=1026.22 kNm/m	Mmuro=199.10 kNm/m	M=1028.03 kNm/m
Npalo=646.52 kN/m	Npalo=333.08 kN/m		Npalo=224.11 kN/m	Npalo=76 kN/m	
Tpalo=144.21 kN/m	Tpalo=21.24 kN/m		Tpalo=121.16 kN/m	Tpalo=19.02 kN/m	
Mpalo=317.41 kNm/m	Mpalo=83.51 kNm/m		Mpalo=210.63 kNm/m	Mpalo=164.04 kNm/m	

8.2 TRATTO EXTRA-VARIANTE TRA KM 27+500 - KM 28+000 CIRCA - OPERA DI PRESIDIO

8.2.1 *Descrizione del dissesto*

Nella zona in esame la ferrovia corre a mezza costa. Verso monte, la ferrovia risulta protetta da un piccolo muro di controripa, il quale risulta ruotato e lesionato, nonché localmente parzialmente scavalcato dal colamento delle coltri superficiali (vedi Figura 8-9 e relazione geologica [1] per i dettagli).

Nella zona sono state realizzate diverse prove di resistività elettrica ERT. La più significativa è quella realizzata trasversalmente alla ferrovia denominata ERT 21/L2 (vedi Figura 8-10 e Figura 8-11), in base a cui si nota la presenza di substrato argilloso al di sopra del quale (considerando il versante di interesse) sono presenti potenziali intercalazioni gessose con in superficie la presenza di materiale di coltre rimaneggiata con spessori di qualche metro.



Figura 8-9 – Pk 28 circa – muretto di controripa scavalcato dalle coltri superficiali



Figura 8-10 – Pk 28 circa – prova ERT 21/L2 – traccia planimetrica

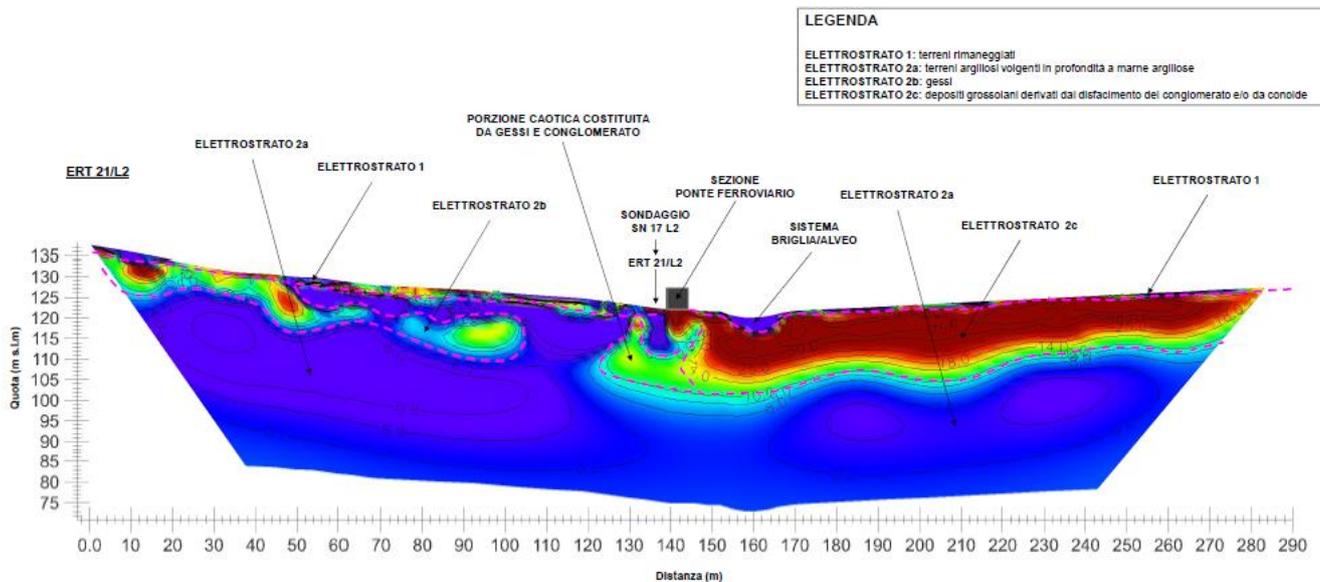


Figura 8-11 – Pk 28 circa – prova ERT 21/L2

8.2.2 Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo

In accordo a quanto riportato nella Relazione Geotecnica (Doc. Rif. [4]), nella Tabella successiva, sono riportati i valori dei parametri geotecnici caratteristici e di progetto, fattorizzati utilizzando i coefficienti M2 di normativa (vedi Doc. Rif. [11]).

La stratigrafia lungo la sezione analizzata per il predimensionamento della paratia di presidio prevista a monte della ferrovia è riportata nel Doc [7]). Per le finalità del calcolo, vista anche la similitudine dei parametri geotecnici caratteristici di resistenza tra le argille sovraconsolidate di origine pliocenica e quelle della formazione gessoso solfifera, non si opera distinzione tra le due formazioni.

Tabella 8.3: Parametri geotecnici di calcolo per la sezione al km 27+500/28+000 – Materiali in sito

STRATO	Descrizione strato	Peso di volume	Angolo di resistenza al taglio		Coesione efficace		Resistenza al taglio non drenata		Modulo di Young operativo	Permeabilità
		γ_d	ϕ'_k	ϕ'_d	c'_k	c'_d	c_u	c_u	$E_{op.}$	k
		[kN/m ³]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[m/s]
C	Coltri delle argille plioceniche e/o della formazione gessoso solfifera	20	23	18	5	4	-	-	6	5.0E-05
A	Argille sovraconsolidate e/o argille della formazione gessoso solfifera	20	24	19	10	8	120	86	20	5.0E-09

Anche la falda di progetto è riportata nella sezione rappresentata nell'elaborato grafico di progetto corrispondente.

8.2.3 Descrizione e dimensionamento dell'opera di presidio

Vista la presenza del muro di controripa danneggiato a causa dei colamenti superficiali, si prevede di intervenire con la realizzazione di un'opera di presidio a monte. Si prevede anche di realizzare un sistema di trincee drenanti a pettine lungo il pendio con geometria indicativa di lunghezza $L = 40$ m, profondità 3-4 m, interasse 15 m con contestuale riprofilatura del terreno ove necessario. Lo schema di

intervento è riportato nelle tavole dei dissesti e degli interventi; si riporta uno stralcio per facilità di lettura in Figura 8-12. Per cautela si propone di seguito il dimensionamento dell'opera di presidio trascurando il gli effetti delle trincee drenanti sulla falda.

Il dimensionamento dell'opera di presidio avviene mediante doppia analisi, prima stimando la spinta equivalente della coltre sull'opera in condizioni di equilibrio limite ($FS=1$, movimento incipiente), poi eseguendo un'analisi per determinare le sollecitazioni agenti sulla struttura sulla base della spinta determinata in precedenza.

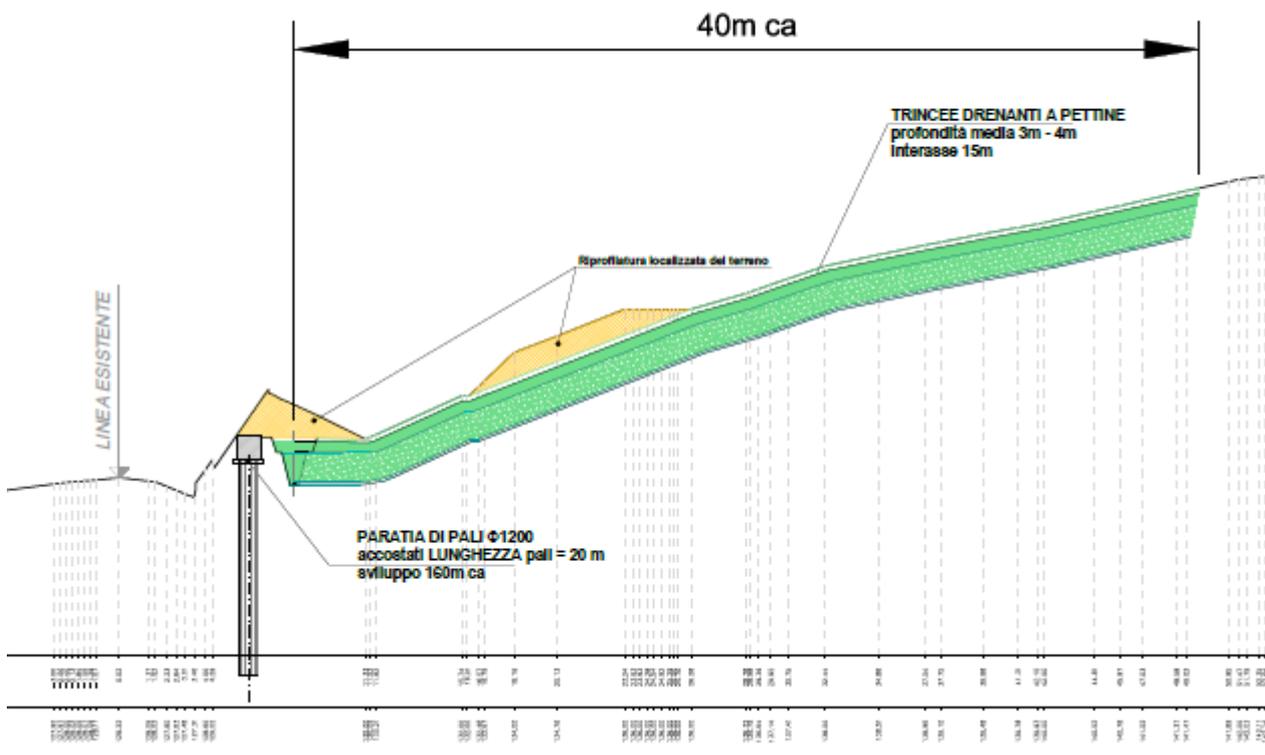


Figura 8-12 – Pk 28 circa – Dettagli intervento

I coefficienti di spinta "equivalenti" della coltre vengono definiti mediante analisi di stabilità del versante eseguite con il codice di calcolo SlopeW. La massima altezza sostenuta dalla paratia è stata



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI
DISSESTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 10	RH GE 0006 002	C	85 di 115

considerata pari a 3.5m. La valutazione della spinta viene effettuata considerando cautelativamente la superficie che passa alla base dello “scavo”, dato che gli spessori interessati dal possibile movimento sono dell’ordine dei 3-4 m (vedi inclinometro in BH3). Il calcolo è stato effettuato considerando inoltre la creazione di una falda sospesa che è la condizione per cui il movimento si può innescare.

Le verifiche sono condotte:

- Agli SLE per verifica degli spostamenti orizzontali
- Agli SLU in condizioni statiche;
- Agli SLV in condizioni sismiche;

Dato che l’interesse per gli SLU (SLV) è focalizzato sulla stabilità del versante a monte della ferrovia, si ricerca la forza che:

- Garantisce FS pari a 1.1 a parametri di resistenza fattorizzati con i coefficienti del gruppo M2 per gli SLU;
- Garantisce FS pari a 1.2 a parametri di resistenza caratteristici per gli SLV.

In condizioni sismiche sia i coefficienti sulle azioni, sia quelli sui parametri geotecnici vanno posti pari all’unità.

L’azione sismica da impiegarsi per il calcolo delle spinte sulle opere di sostegno viene espressa con riferimento ai “*coefficienti sismici*” di cui al seguito (NTC – paragrafo n.7.11.6.3.1)

$$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot a_{\max} \geq 0.2 \cdot a_{\max}$$

$$k_v = 0$$

dove:

$$a_{\max} = \text{accelerazione massima di progetto al suolo} = 0.395$$

$$H = \text{altezza complessiva della paratia} = 20 \text{ m}$$

$$u_s \leq 0.005 \times H = \text{spostamento tollerato dalla paratia} = 0.1 \text{ m};$$

$$\alpha = \text{coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni} = 0.75 \text{ per classe C e H } 20 \text{ m};$$

$$\beta = \text{coefficiente che tiene conto della deformabilità dell’opera} = 0.52 \text{ per } u_s = 0.1 \text{ m};$$

$$k_h = \text{coefficiente sismico orizzontale} = 0.154;$$

k_v = coefficiente sismico verticale = non considerato come da NTC2018;

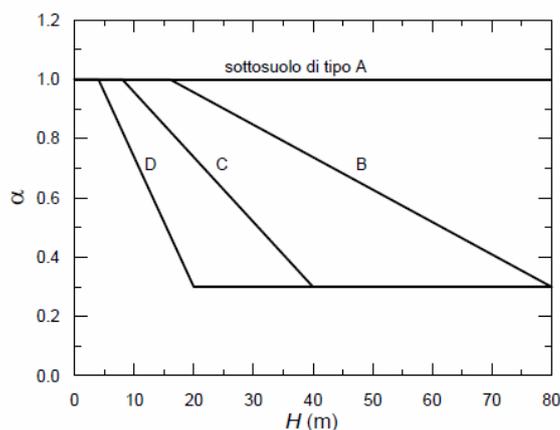


Fig. 7.11.2 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità α

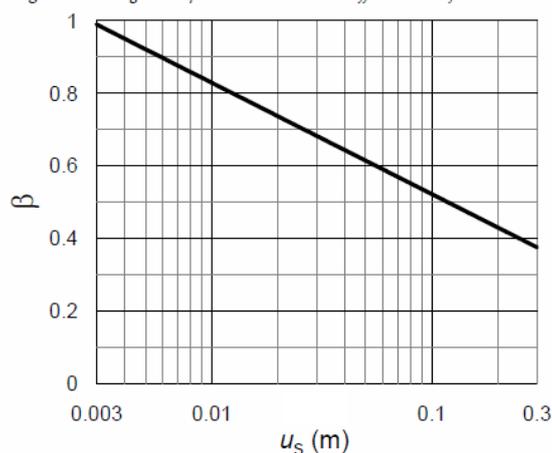


Fig. 7.11.3 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento β .

Figura 8-13 – NTC2018. Diagrammi per la valutazione dei coefficienti α e β specifici per paratie

Come già anticipato, le analisi per valutare le spinte equivalenti sull'opera di presidio sono state svolte con l'ausilio del codice SlopeW, implementando il metodo di Morgenstern e Price.

I coefficienti di spinta equivalenti vengono definiti in base al valore della forza orizzontale necessaria a stabilizzare il "cuneo" di monte definito applicando un taglio verticale alla morfologia in corrispondenza dell'allineamento della paratia. Il punto di applicazione delle forze viene posizionato ad 1/3 dalla base dell'altezza totale di spinta.

Tutte le analisi vengono svolte considerando la presenza di una falda sospesa prossima al piano di campagna per le condizioni SLE e SLU, e di una falda a -5m da pc (periodo non piovoso) in corrispondenza di un evento sismico (SLV). La forza risultante di stabilizzazione è quindi già comprensiva degli effetti dovuti alla presenza della falda sospesa (SLE e SLU), e alla presenza delle azioni sismiche (SLV).

I risultati delle analisi a ritroso in condizioni di equilibrio limite ($F=1$) sono rappresentati nelle tre figure di seguito riportate; per le coltri, come detto, sono stati i parametri caratteristici $c'=5$ kPa e $\phi'=23^\circ$ determinati con le analisi al paragrafo 8.1.5.

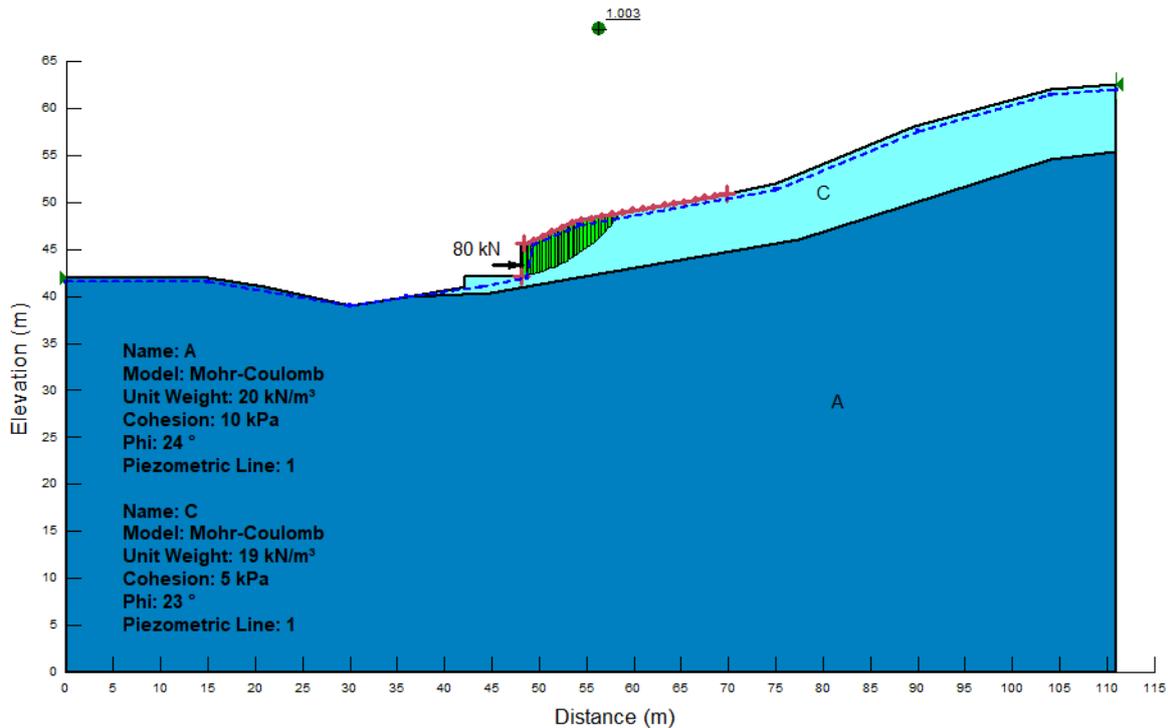


Figura 8-14 – SLE – Valutazione della forza che stabilizza il cuneo di monte

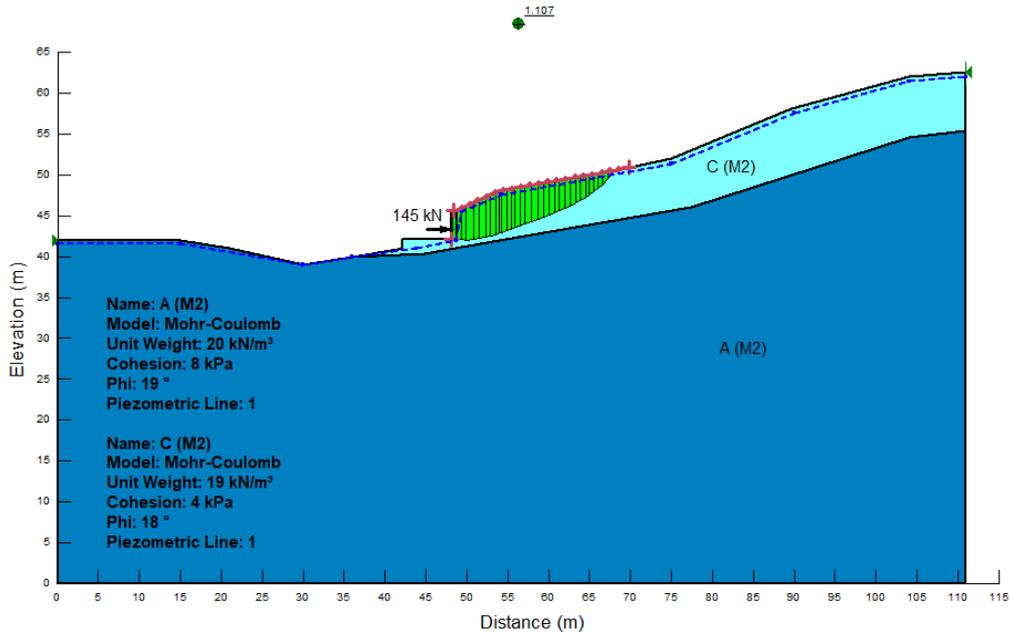


Figura 8-15 – SLU – Valutazione della forza che stabilizza il cuneo di monte

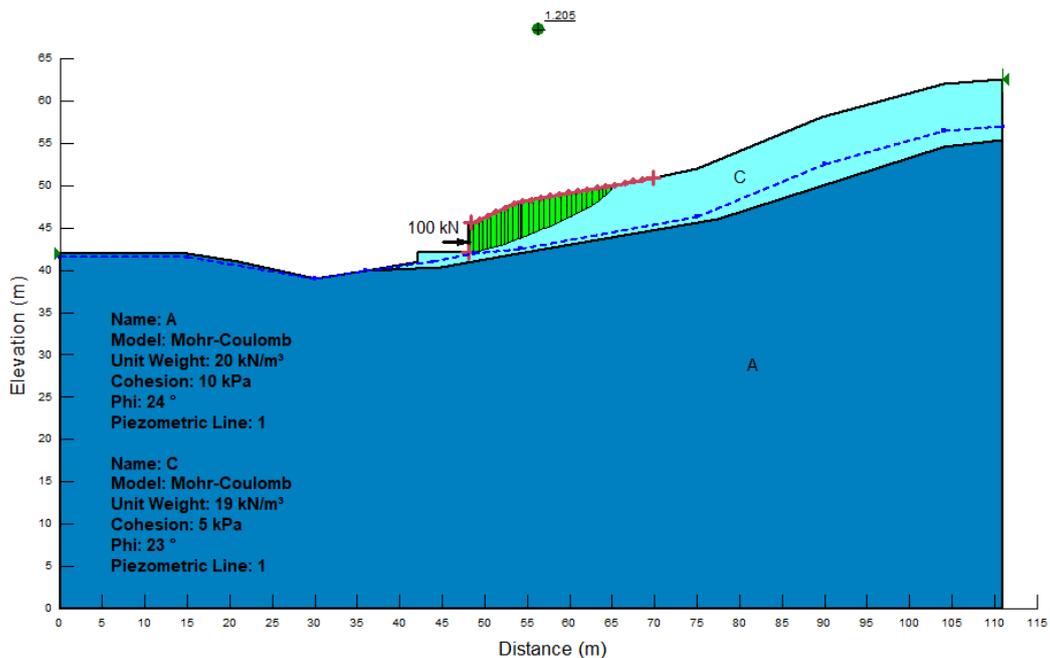


Figura 8-16 – SLV – Valutazione della forza che stabilizza il cuneo di monte



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI
DISSESTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 10	RH GE 0006 002	C	89 di 115

Le forze orizzontali, determinate dalle analisi di stabilità precedenti, consentono di calcolare i coefficienti di spinta attiva equivalenti della coltre. Le forze orizzontali ricavate dalle analisi di stabilità eseguite risultano, per i diversi casi analizzati:

Spinta netta in condizioni statiche allo stato limite di esercizio

$$H = 80 \text{ kN/m}$$

$$k_{A \text{ equivalente}} = 0.653 \text{ (} H_{\text{spinta}} = 3.5\text{m, falda a 5.0 m di profondità)}$$

Spinta netta in condizioni statiche SLU

$$H = 145 \text{ kN/m}$$

$$k_{A \text{ equivalente}} = 1.184 \text{ (} H_{\text{spinta}} = 3.5\text{m, falda a 5.0 m di profondità)}$$

Spinta netta in condizioni sismiche SLV

$$H = 100 \text{ kN/m}$$

$$k_{A \text{ equivalente}} = 0.816 \text{ (} H_{\text{spinta}} = 3.5\text{m, falda a 5.0 m di profondità)}$$

Rispetto a testa opera, l'altezza di spinta totale e la profondità della falda si considerano come dichiarato sopra, considerando che l'effetto dell'innalzamento della falda a monte dell'opera è già incluso nel coefficiente di spinta equivalente stesso.

Il coefficiente di spinta attiva equivalente è stato ricavato in modo tale che, moltiplicandolo per l'integrale delle tensioni verticali efficaci sull'altezza del cuneo di spinta in corrispondenza dell'opera, restituisca la spinta ricavata sopra anche in condizioni di piano campagna a monte orizzontale.

8.2.4 Valutazione sollecitazioni e spostamenti sulla paratia

Le analisi sono state svolte considerando quanto segue:

- Stato piano nelle deformazioni, quindi paratia di lunghezza infinita con le caratteristiche di rigidezza a metro lineare fuori piano basate sulla geometria dell'opera (pali D1200mm accostati). Il palo è stato considerato di lunghezza totale pari a 20 m.
- Piano di campagna a monte orizzontale e falda secondo le assunzioni descritte al paragrafo precedente.
- Contributo dovuto alle azioni sismiche nella coltre incluse nel coefficiente di spinta stimato al paragrafo precedente. I contributi sismici nell'argilla di base sono valutati considerando coefficienti di spinta attiva e passiva calcolati alla Mononobe-Okabe.

Il modello di calcolo considerato è rappresentato nella figura seguente



Figura 8-17 – Modello di calcolo paratie

I risultati completi relativi alle analisi svolte sono riportati nelle figure che seguono (output grafico del programma PARATIE-PLUS). Le sollecitazioni sono da moltiplicare per l'interasse degli elementi (1.2 m).

Le sollecitazioni agenti sugli elementi strutturali sono compatibili con quantitativi di armatura a pressoflessione e taglio rispondenti ai criteri individuati nelle norme vigenti. Il dimensionamento di dettaglio dell'armatura sarà effettuato nelle successive fasi progettuali.

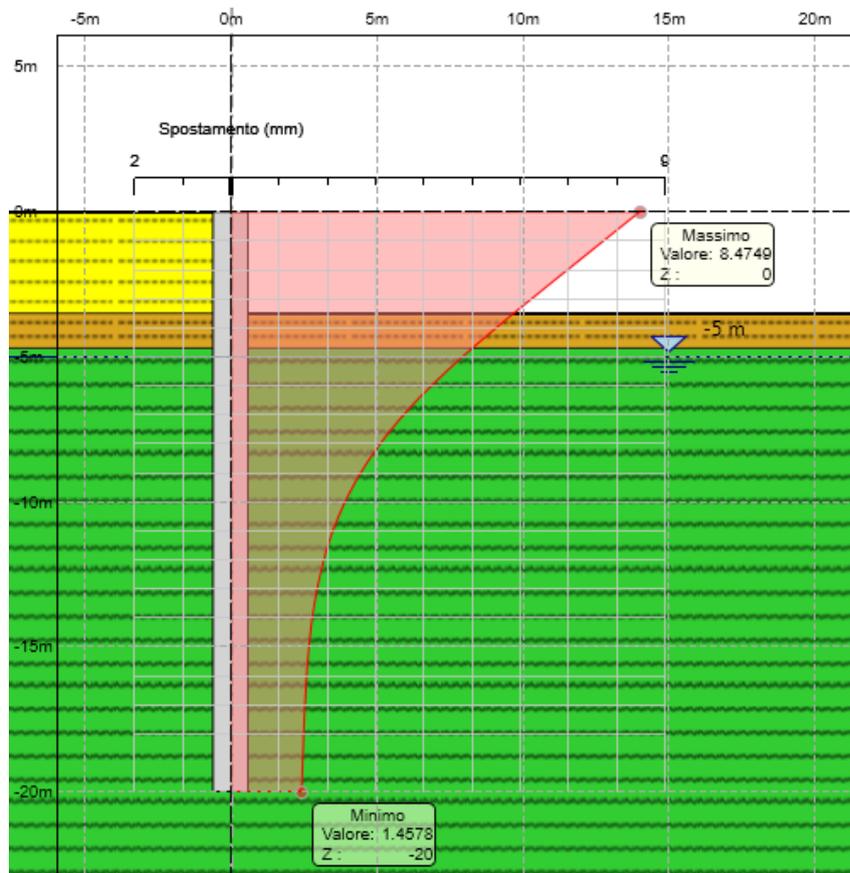


Figura 8-18 – SLE – spostamenti orizzontali

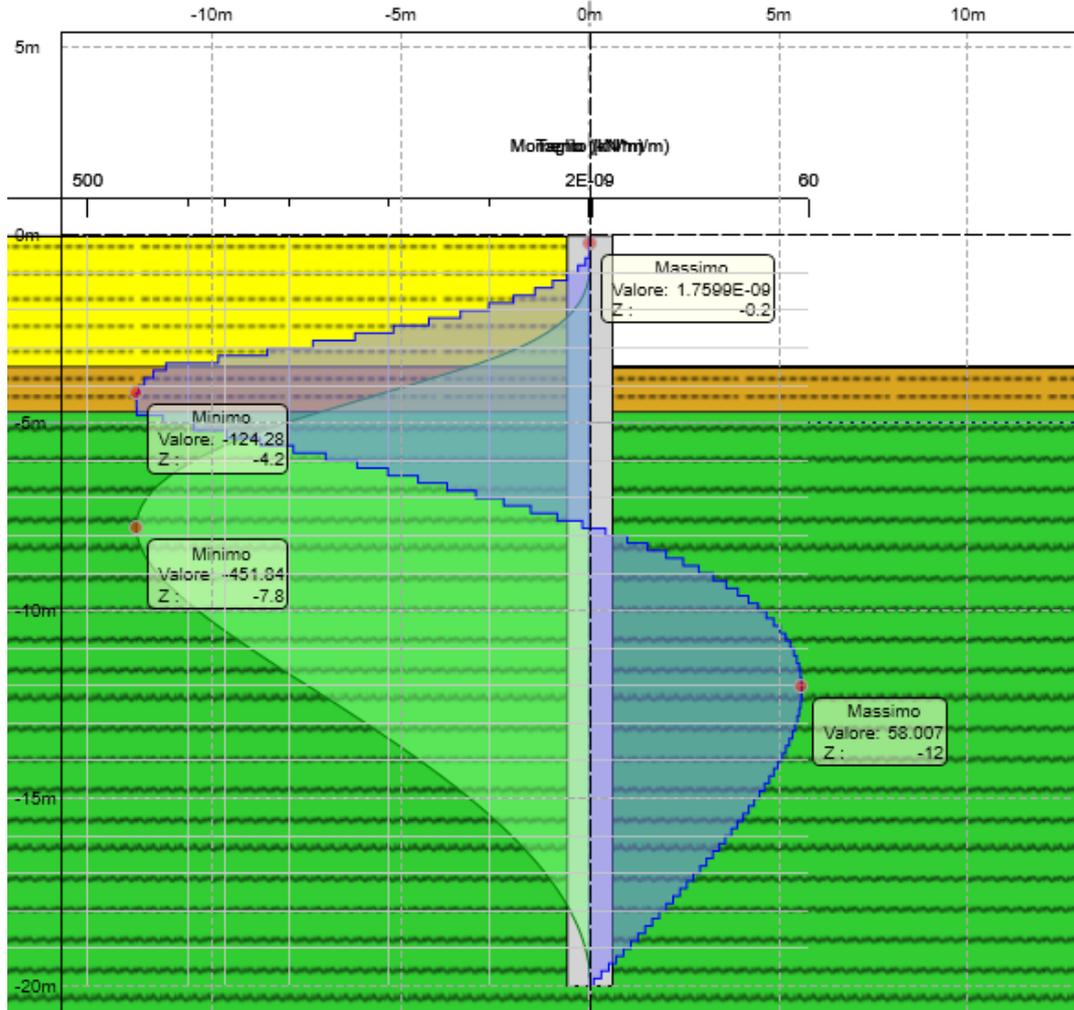


Figura 8-19 – SLU – momento e taglio nel palo

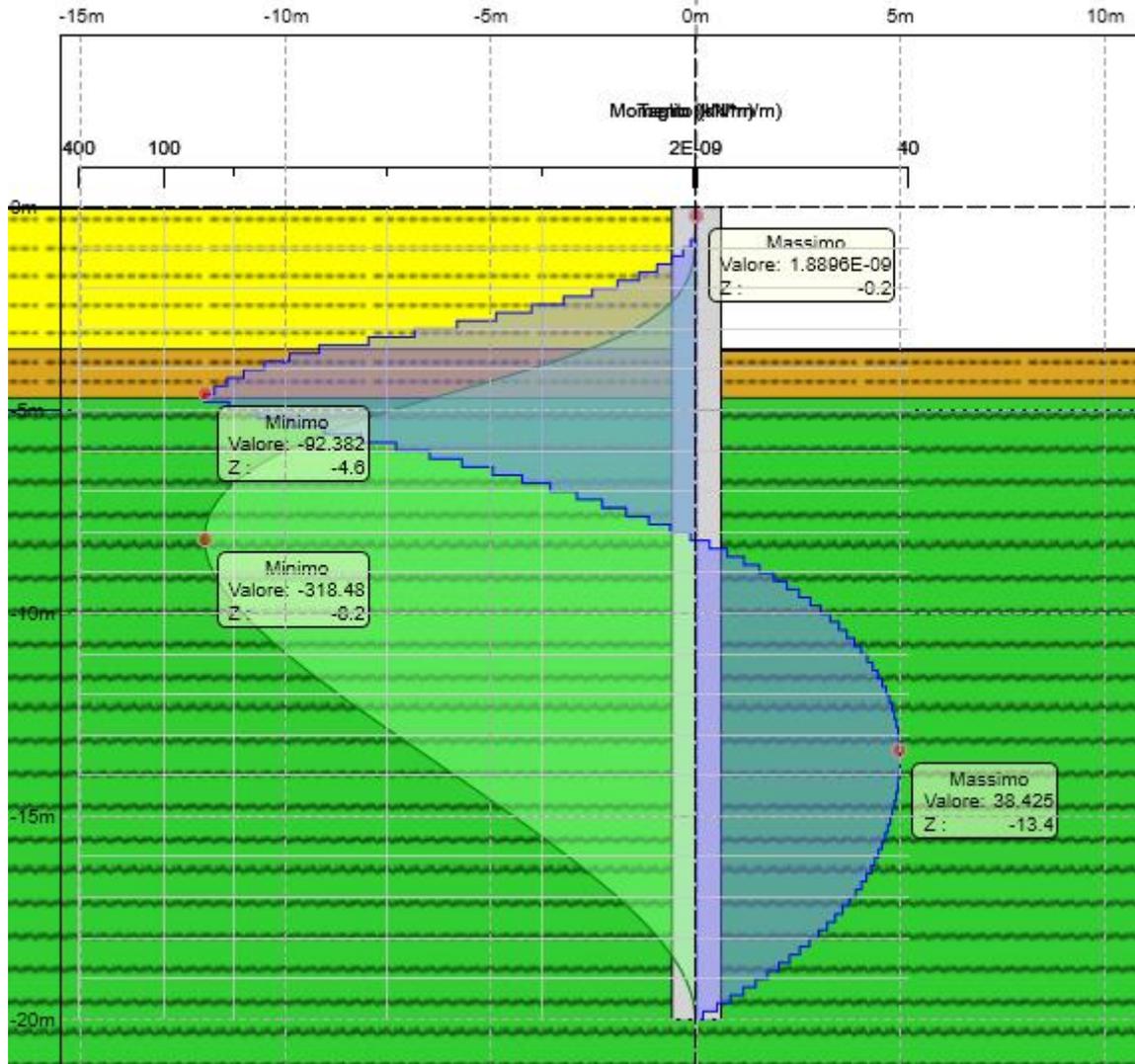


Figura 8-20 – SLV – momento e taglio nel palo



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

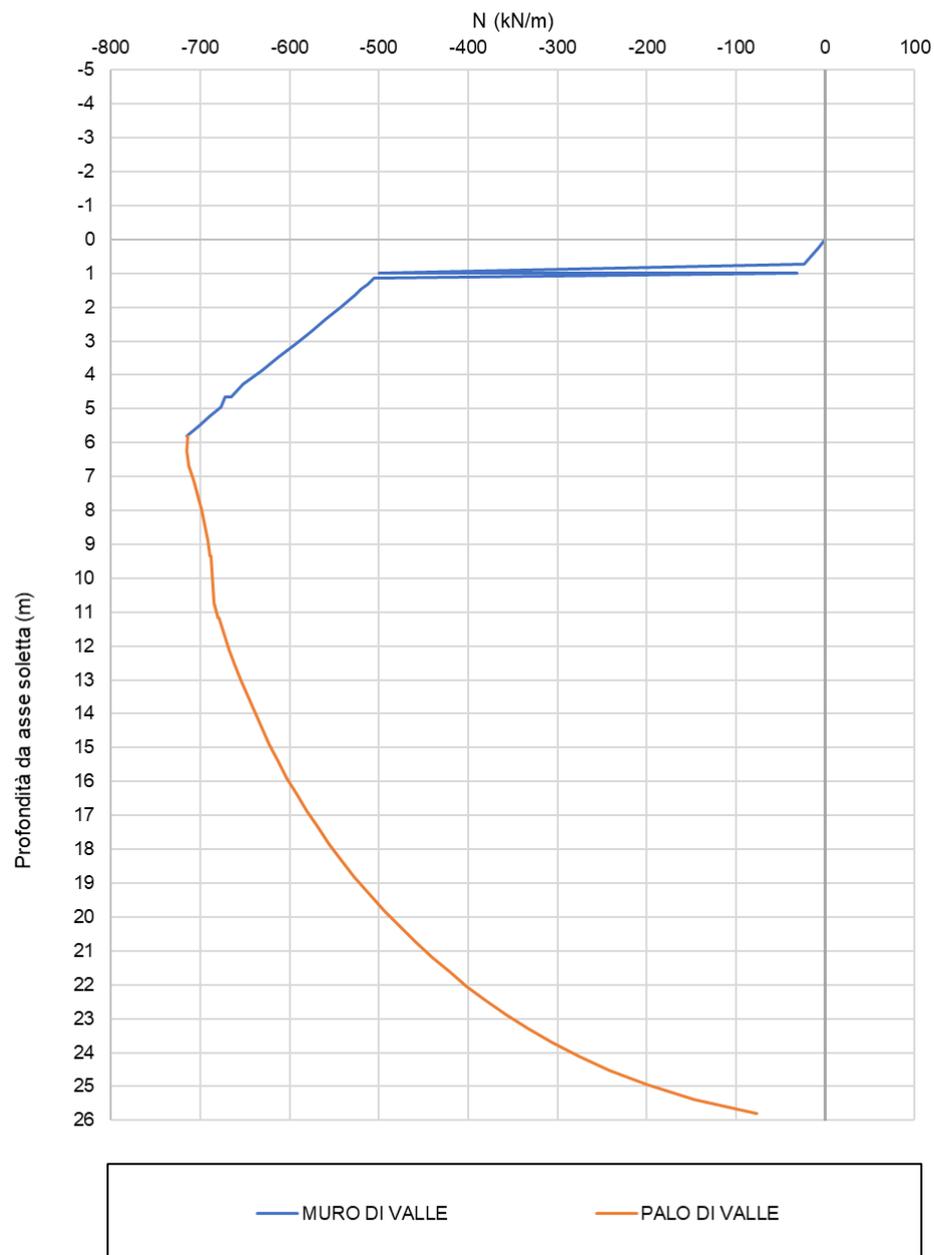
**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI
DISSESTI

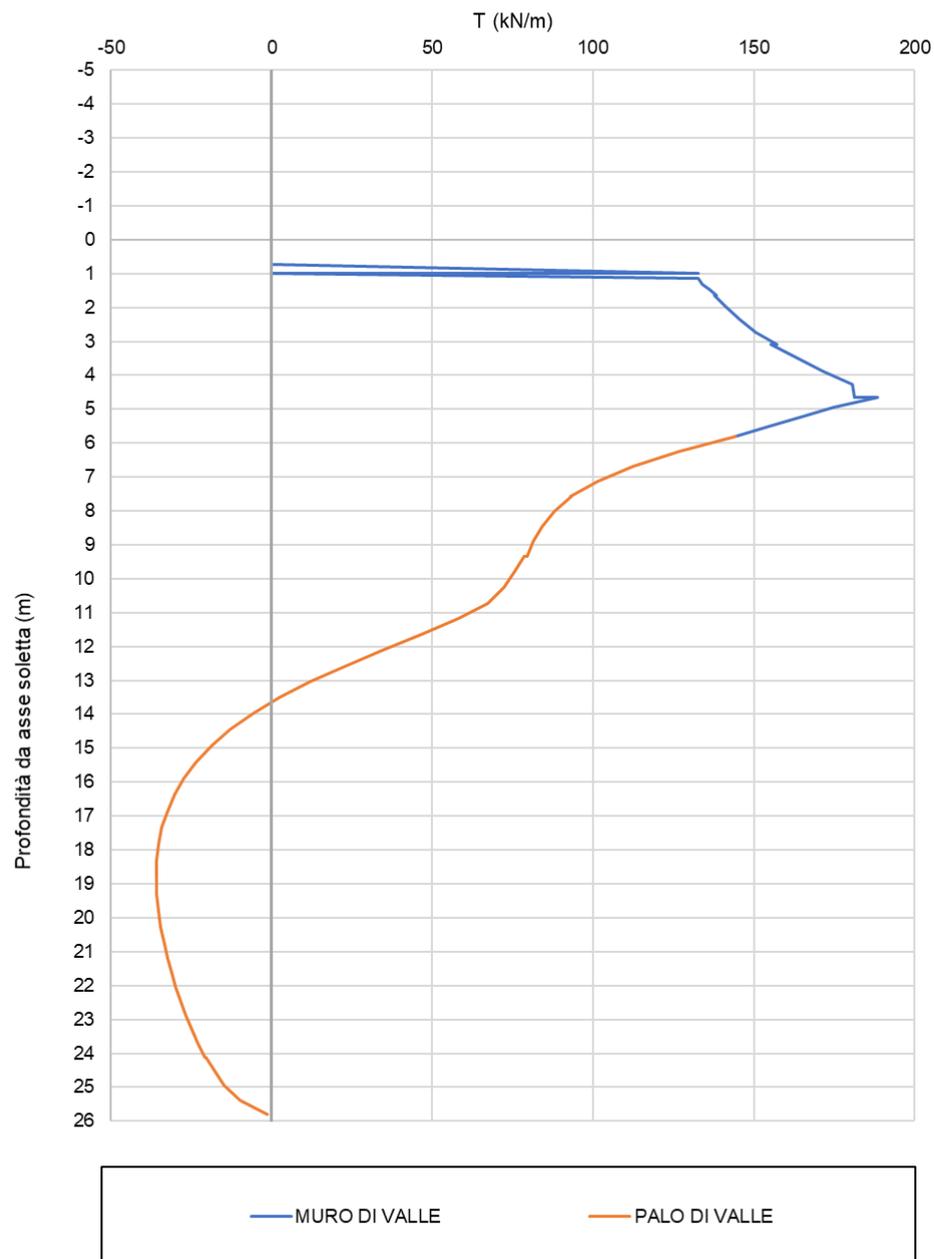
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 10	RH GE 0006 002	C	94 di 115

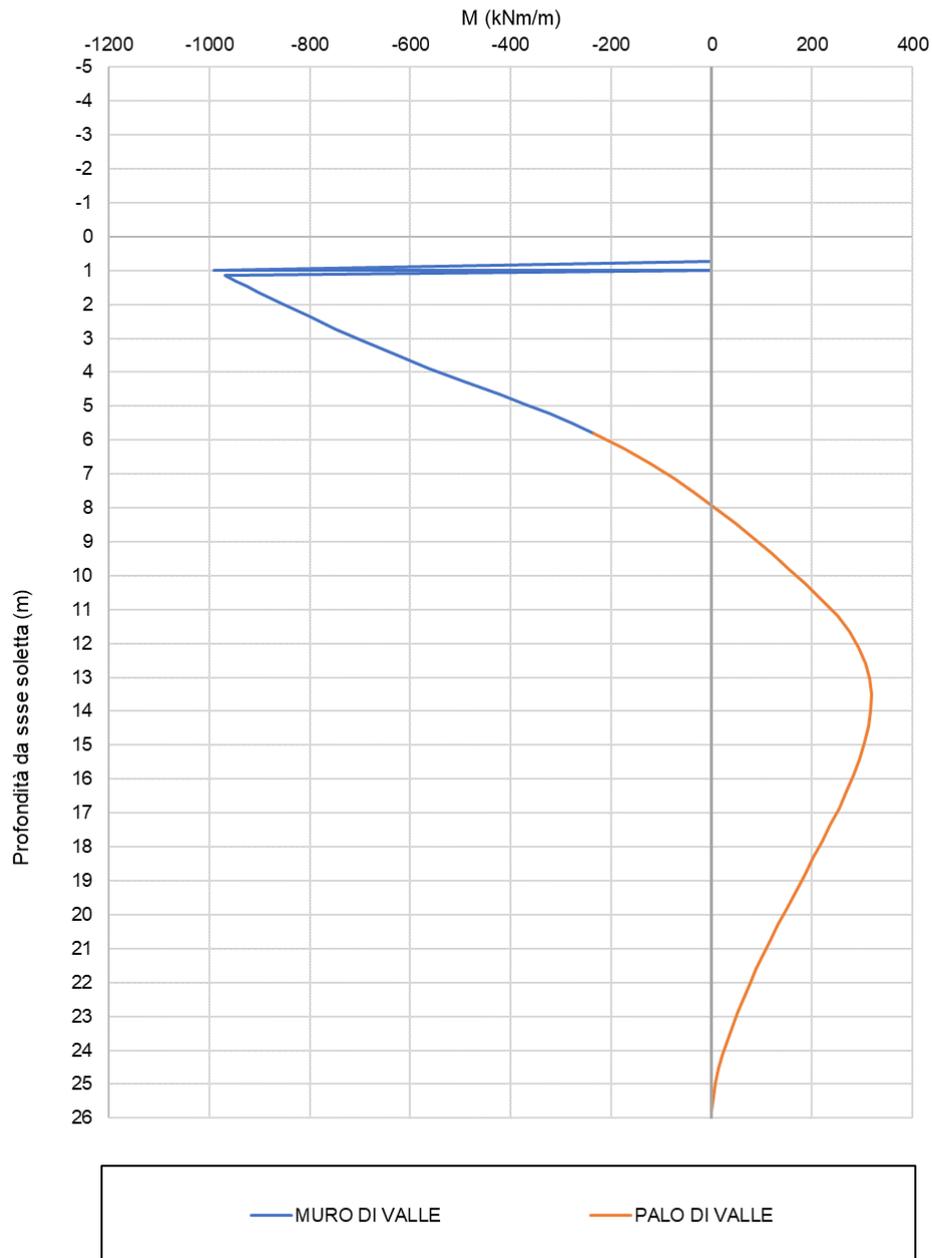
ALLEGATO A

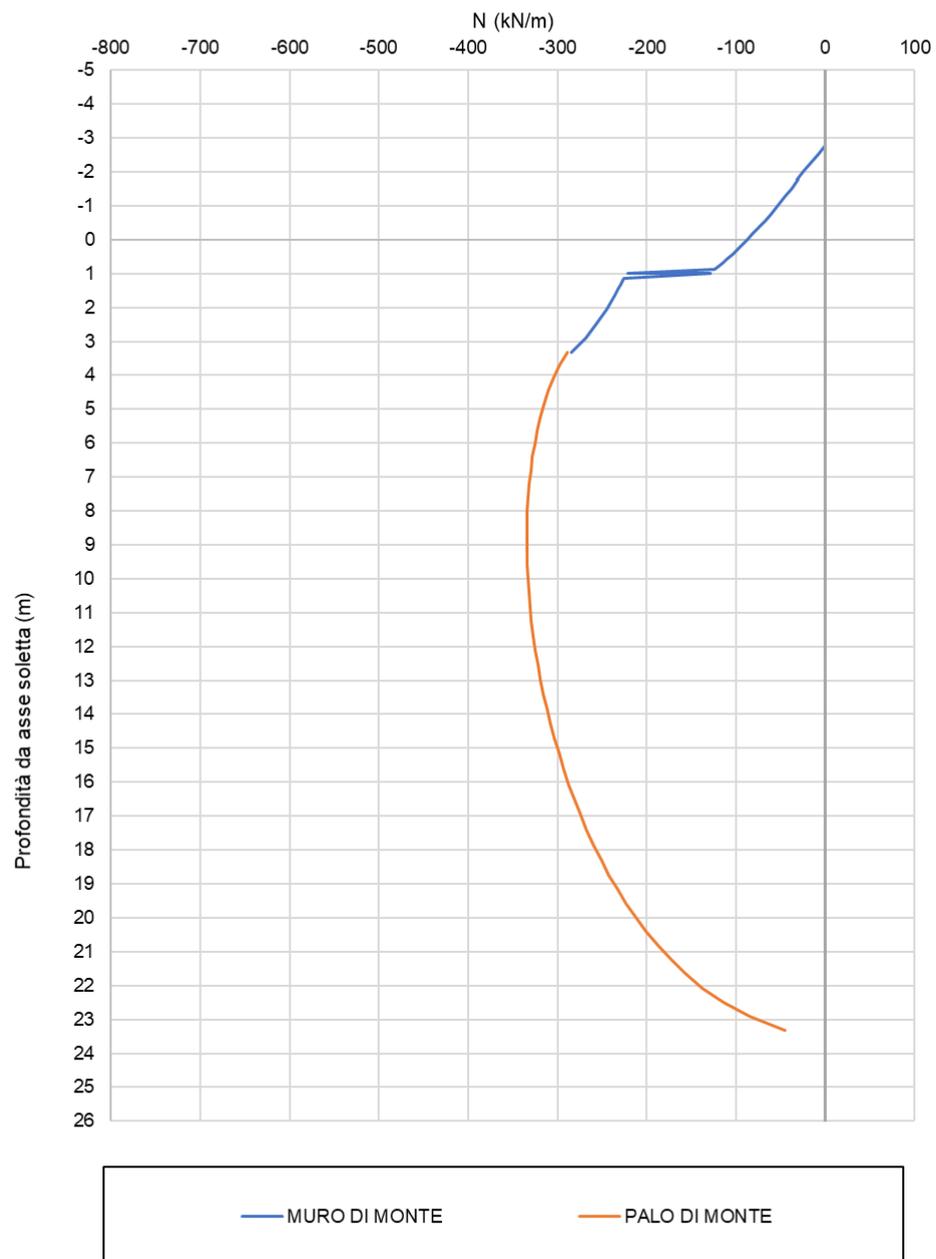
SOLLECITAZIONI DI PROGETTO NELLA STRUTTURA A PK 28

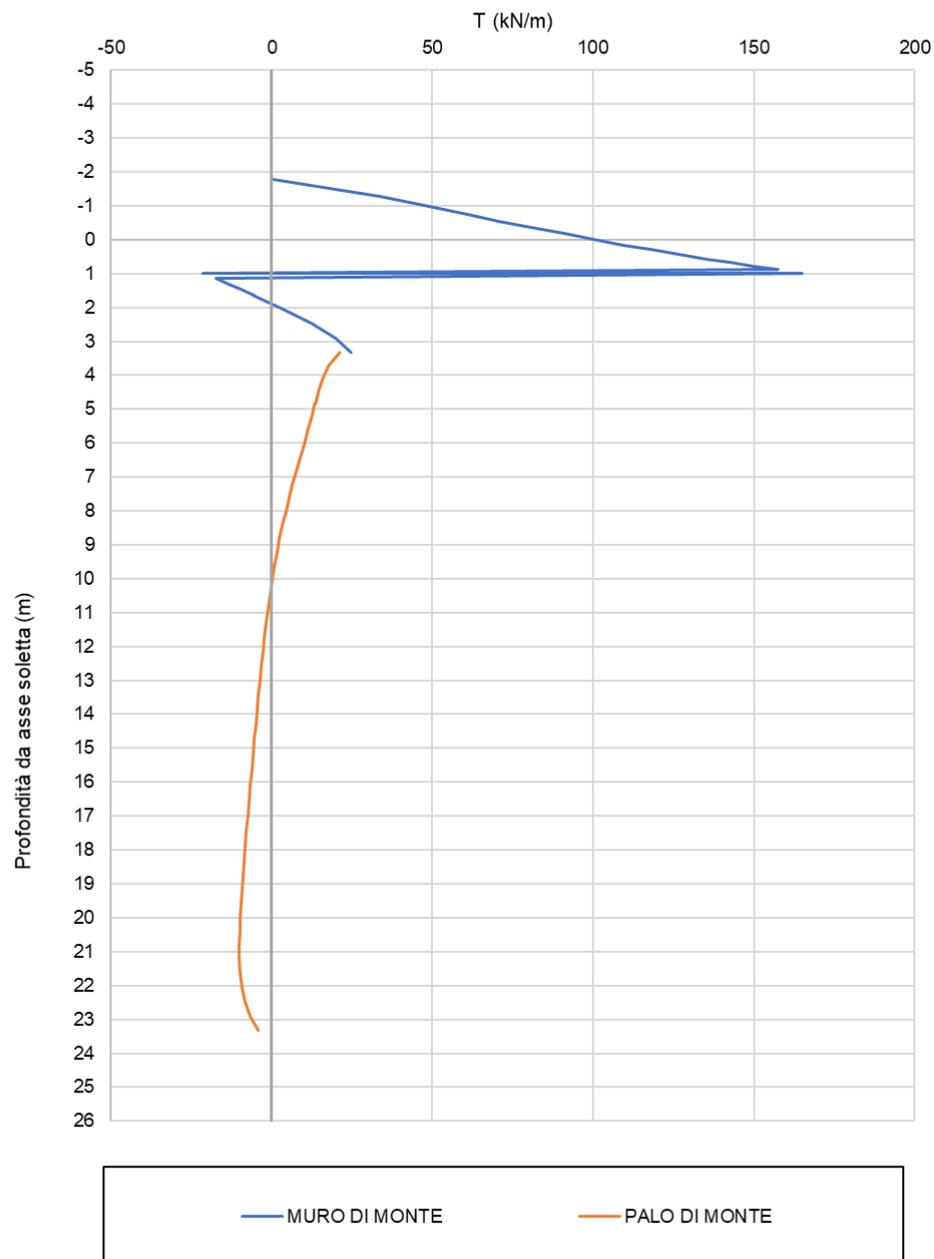


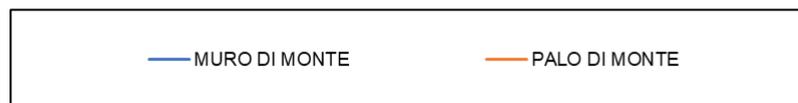
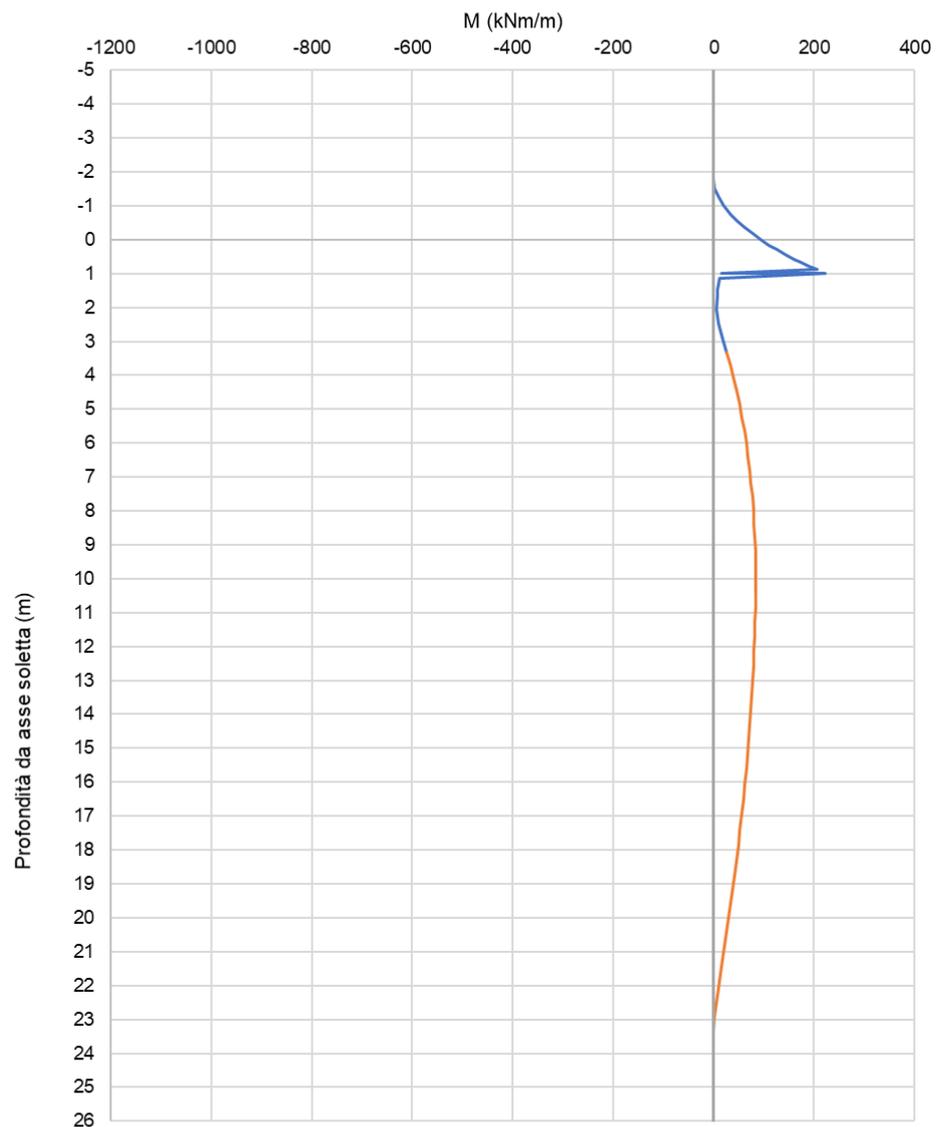
SLU A1+M1 - Sollecitazioni nel palo e nel muro di valle – Azione assiale N



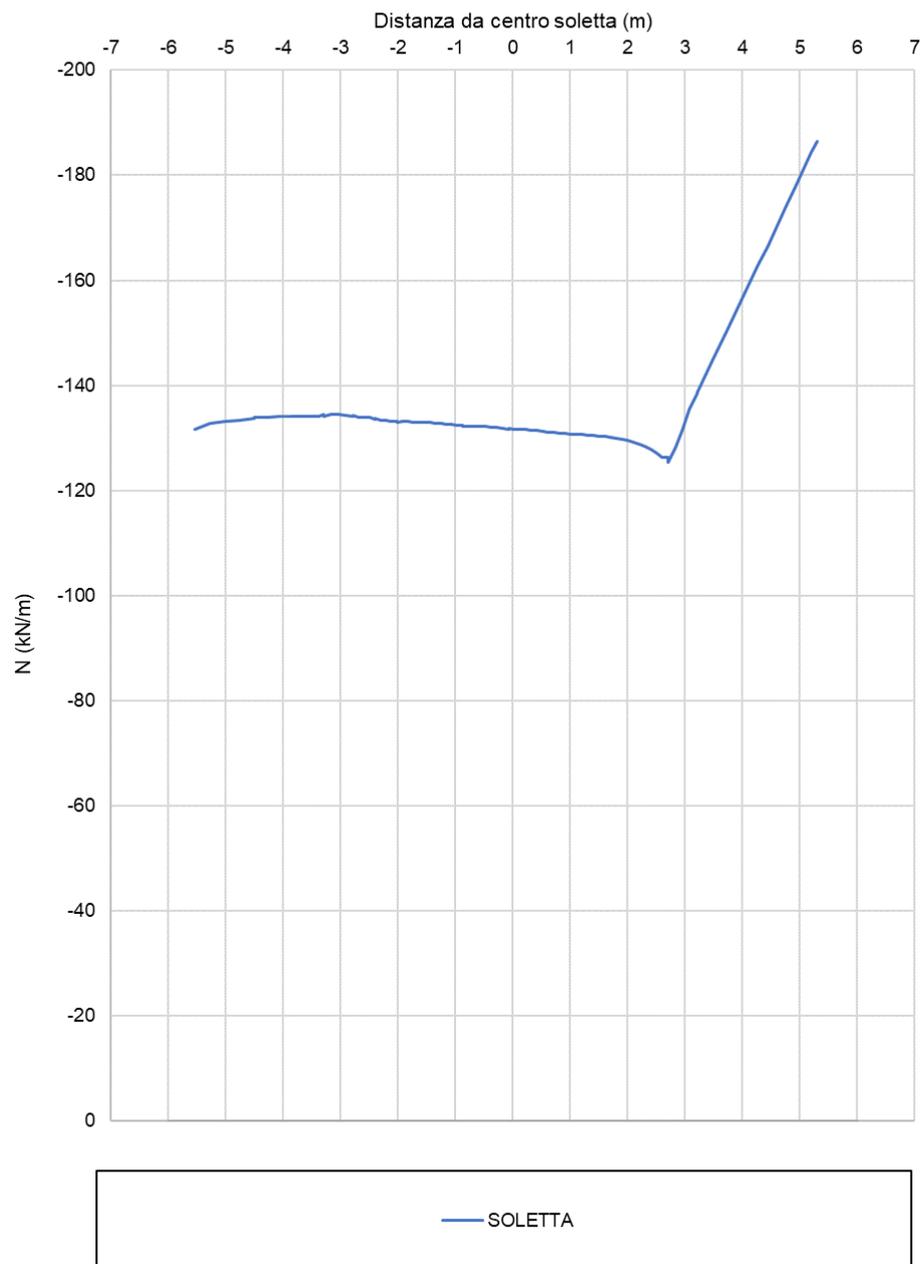




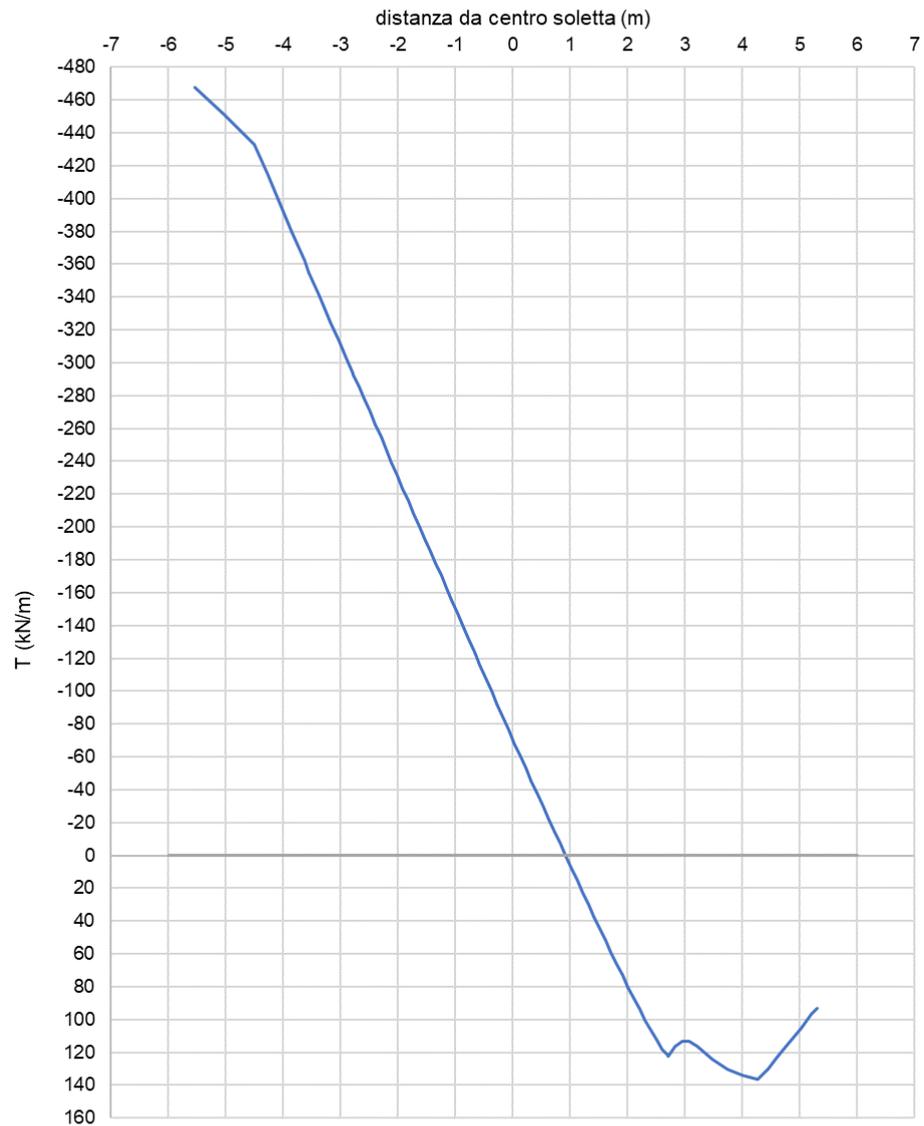


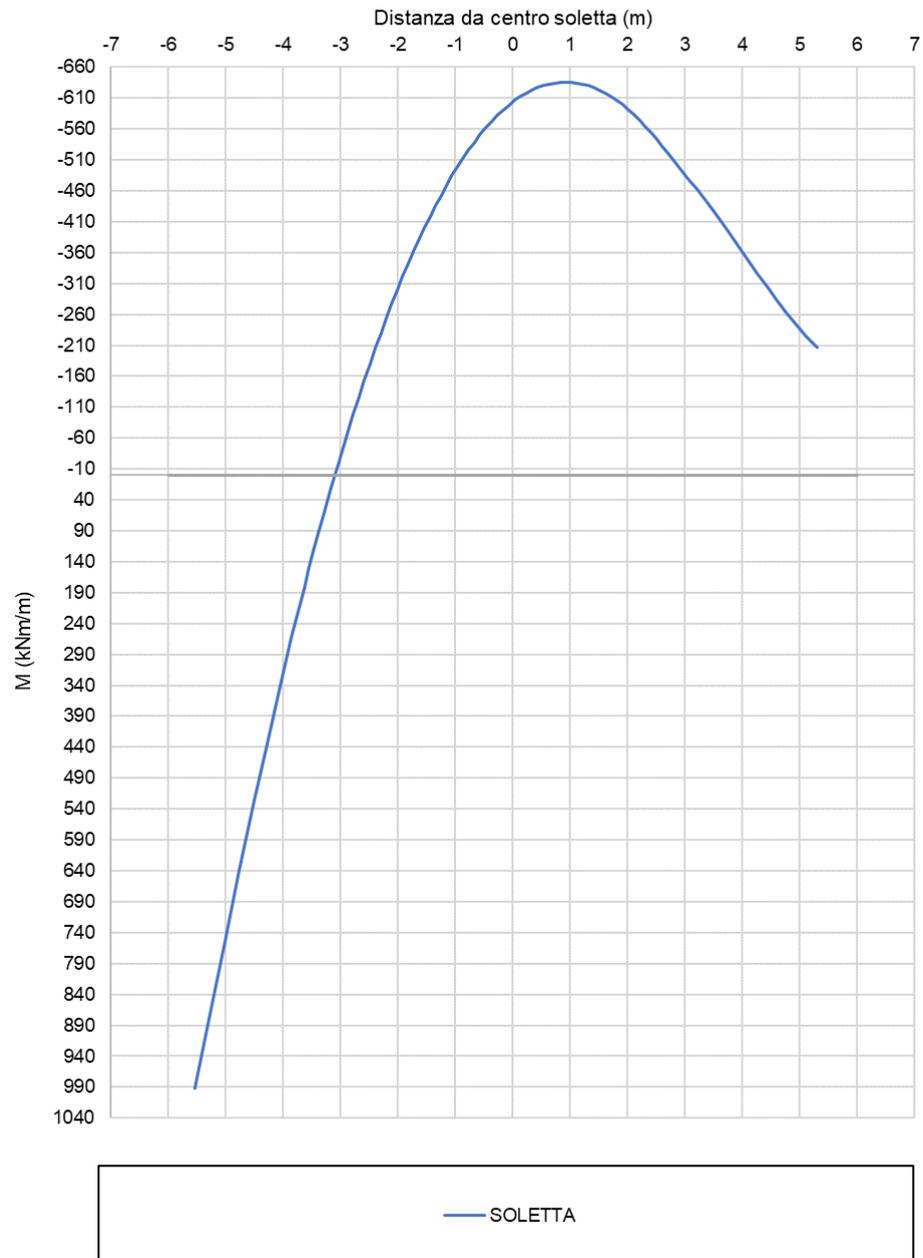


SLU A1+M1 - Sollecitazioni nel palo e nel muro di monte – Momento flettente M

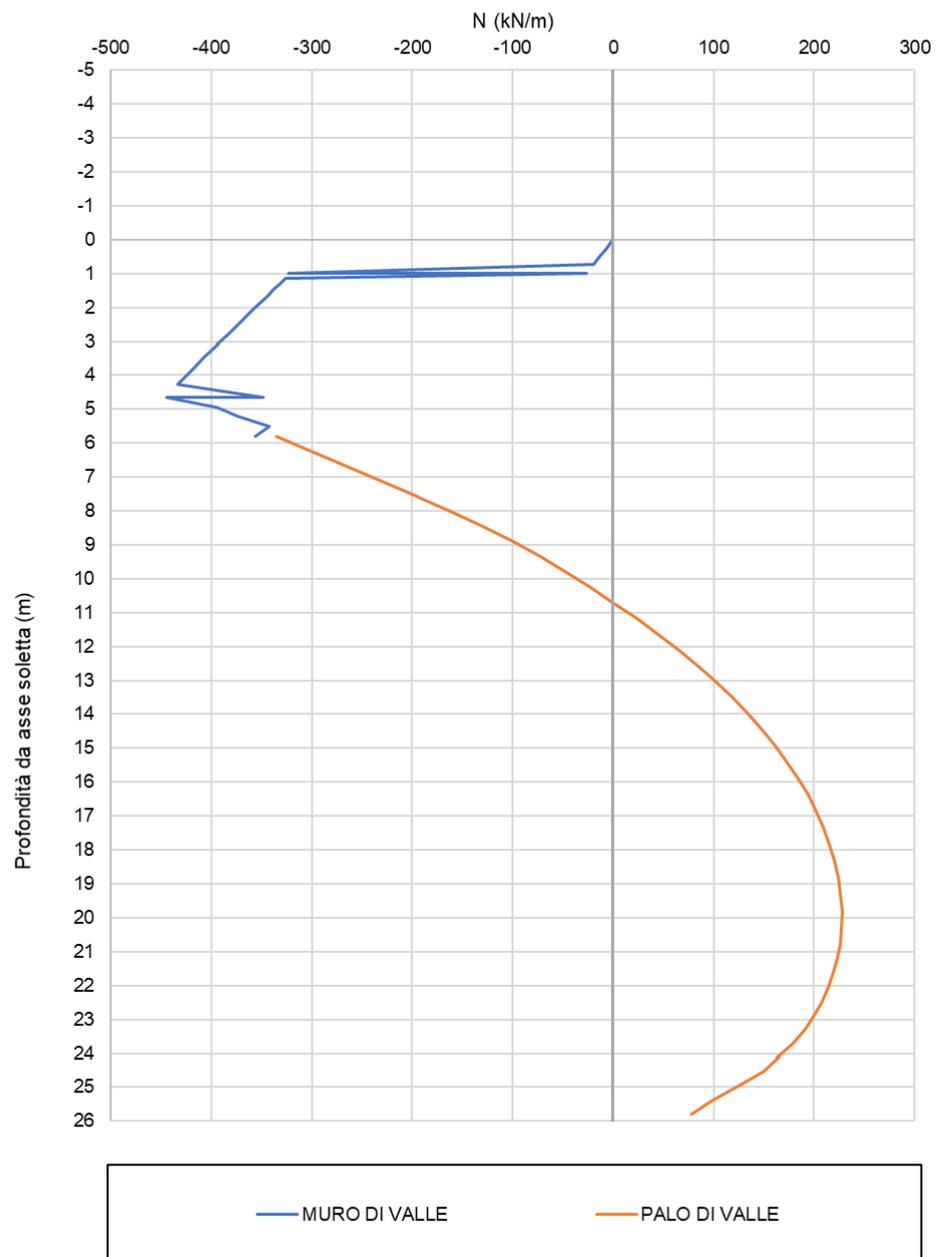


SLU A1+M1 - Sollecitazioni nella soletta – Azione assiale N

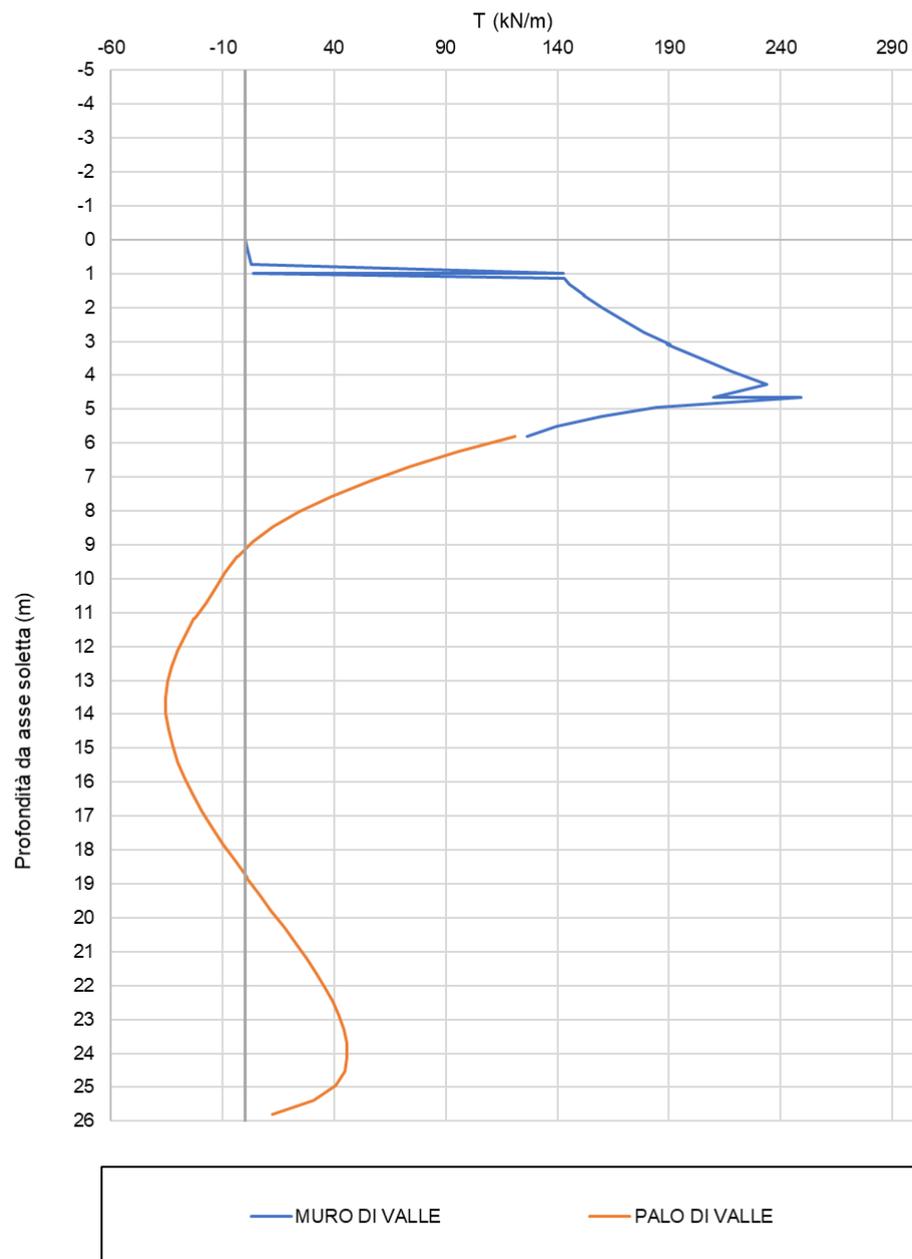




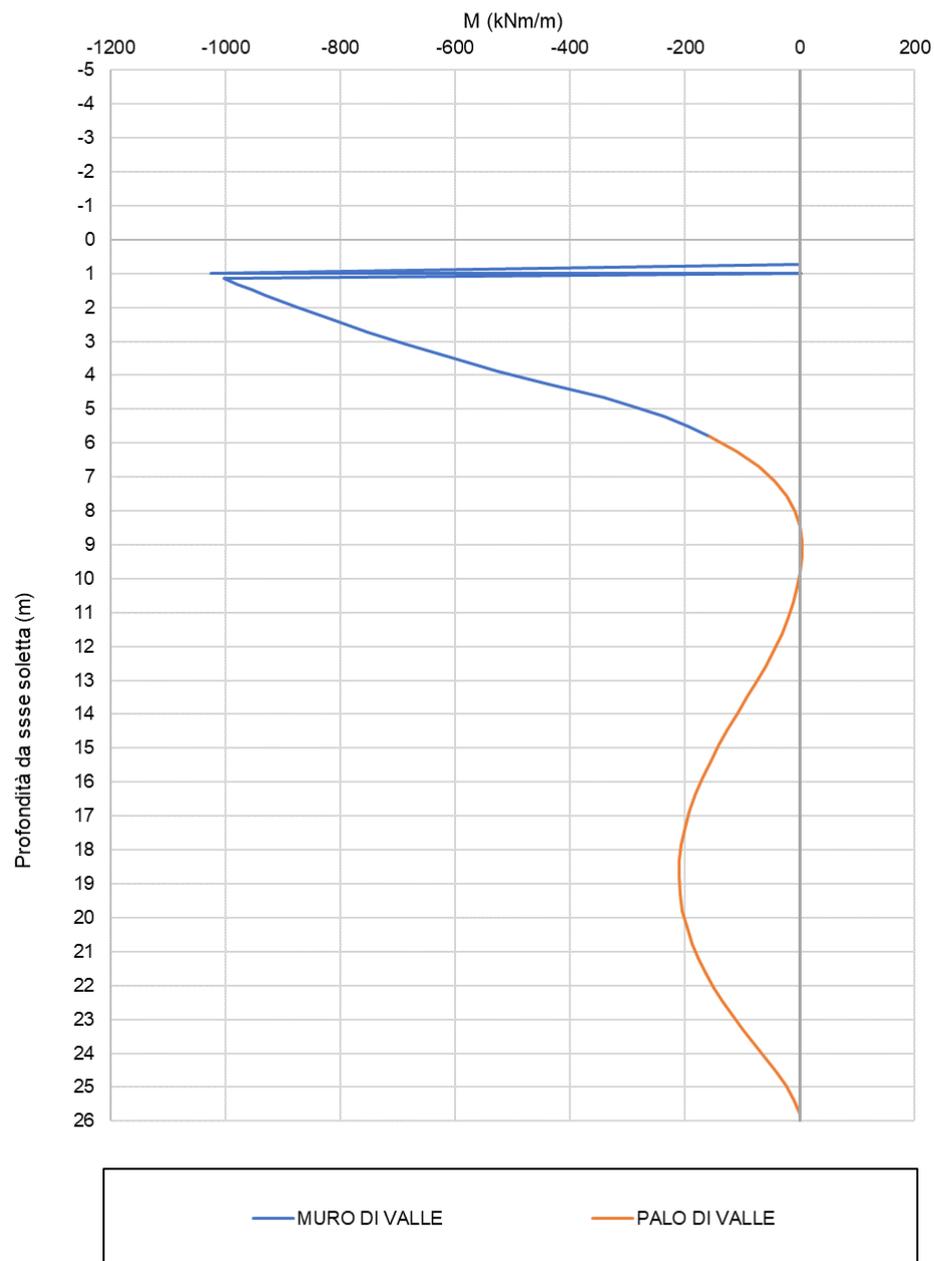
SLU A1+M1 - Sollecitazioni nella soletta – Momento flettente M



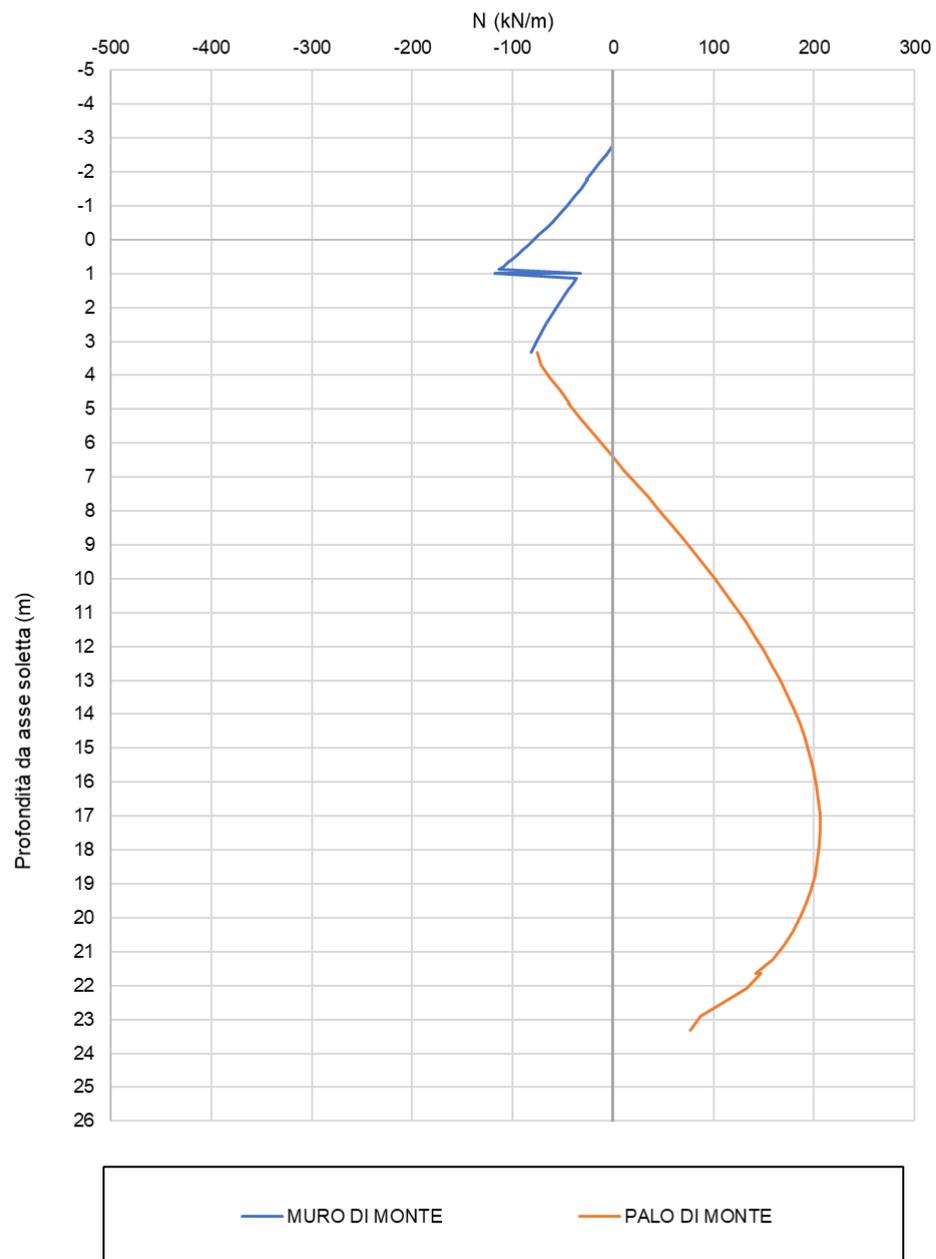
SLV - Sollecitazioni nel palo e nel muro di valle – Azione assiale N



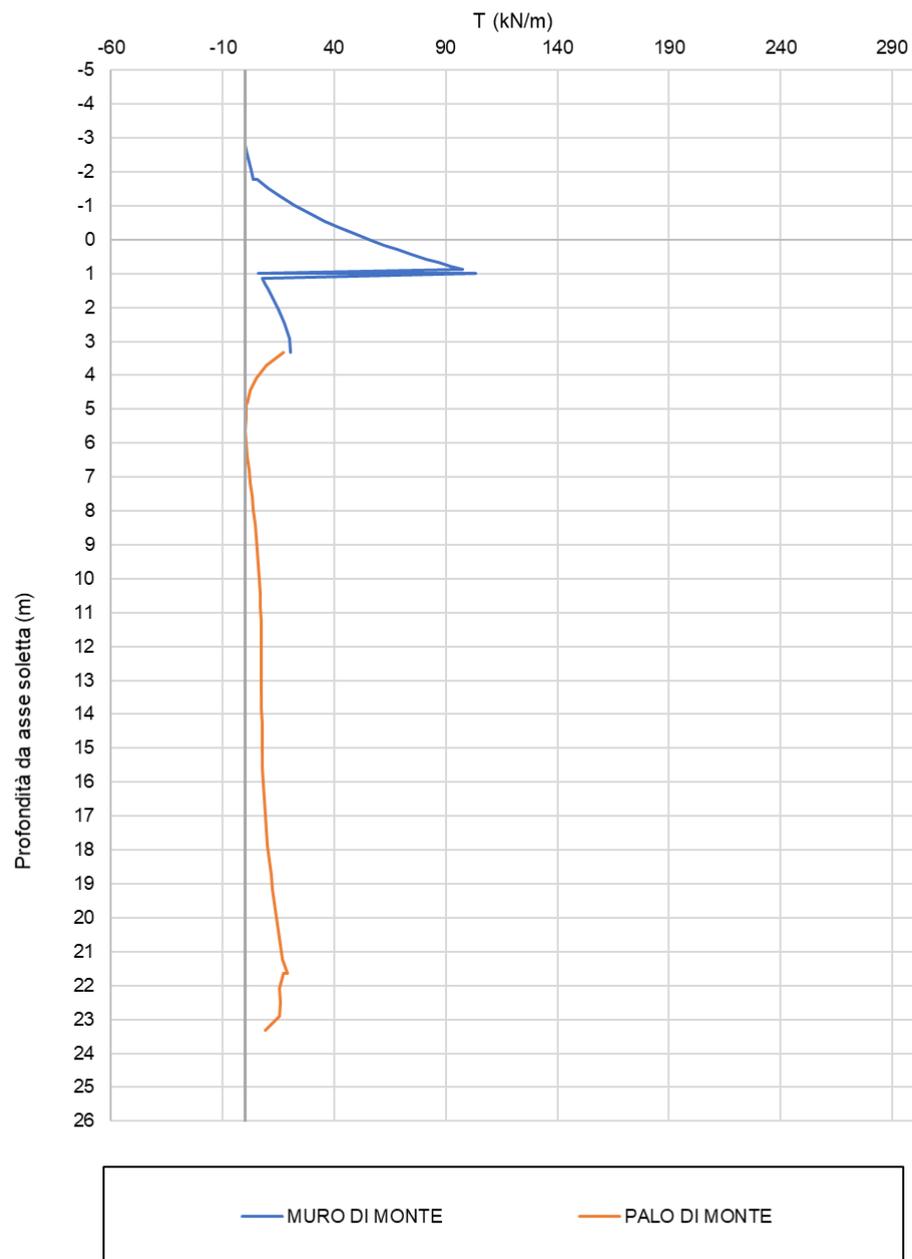
SLV - Sollecitazioni nel palo e nel muro di valle – Azione di taglio T

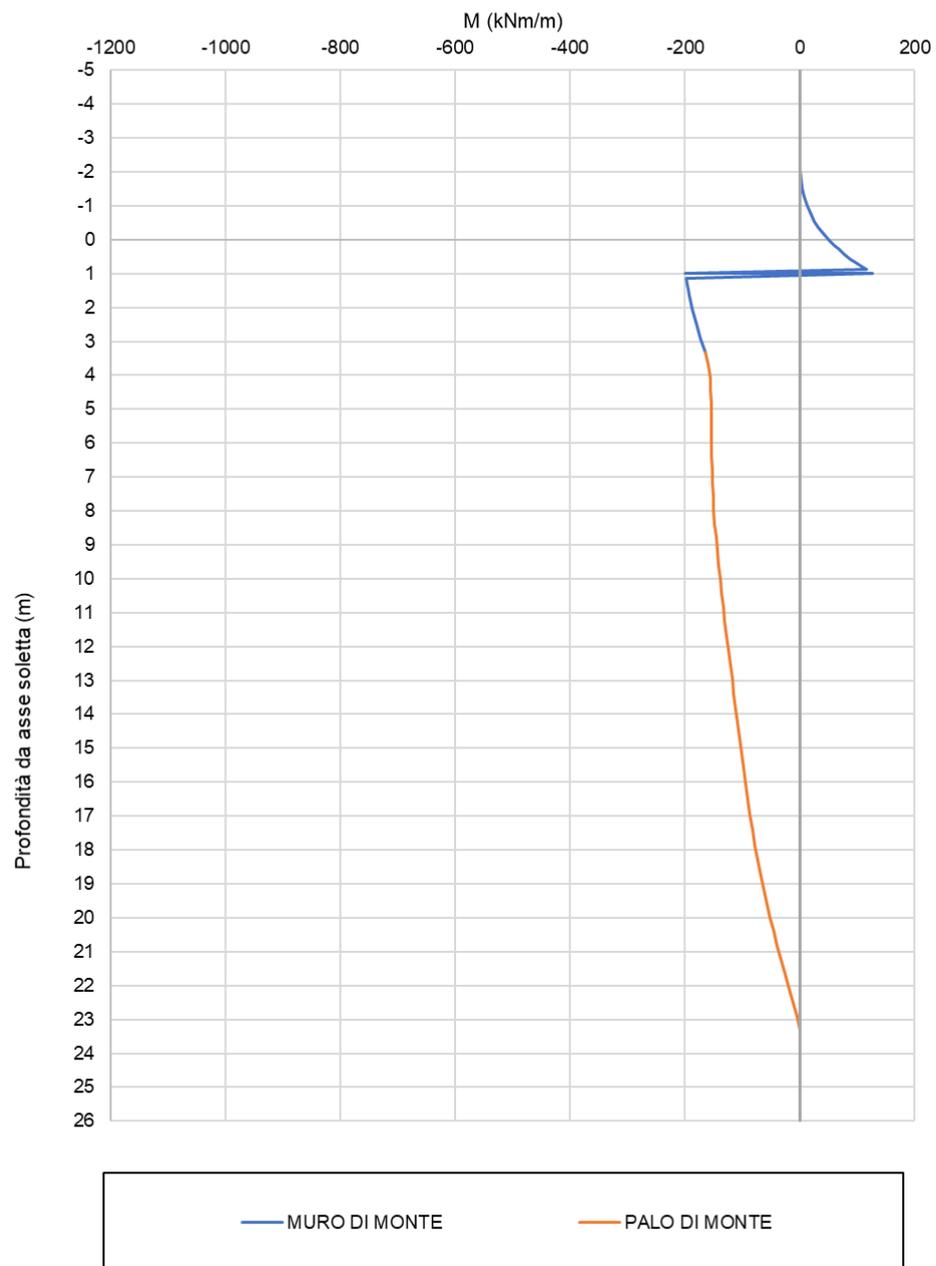


SLV - Sollecitazioni nel palo e nel muro di valle – Momento flettente M

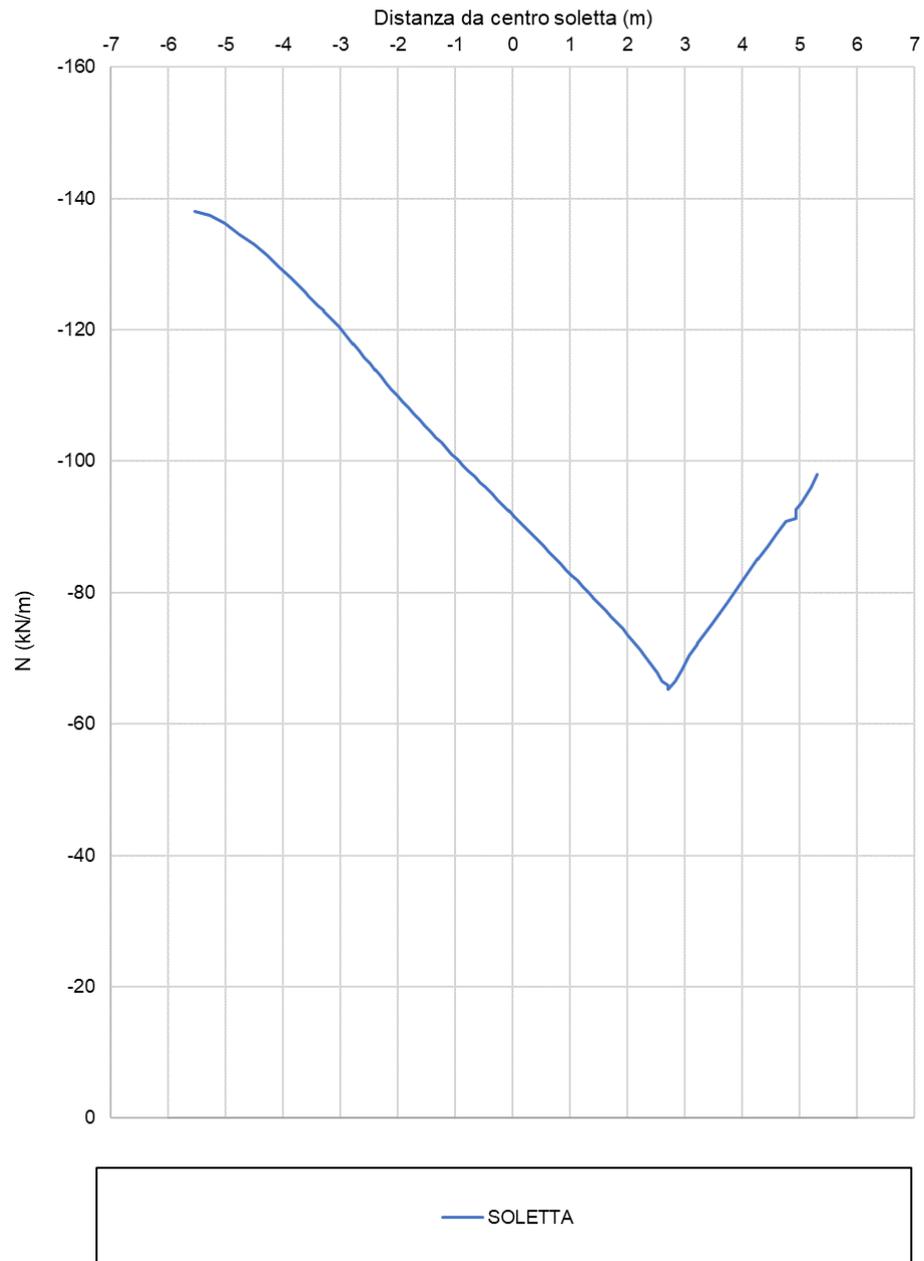


SLV - Sollecitazioni nel palo e nel muro di monte – Azione assiale N

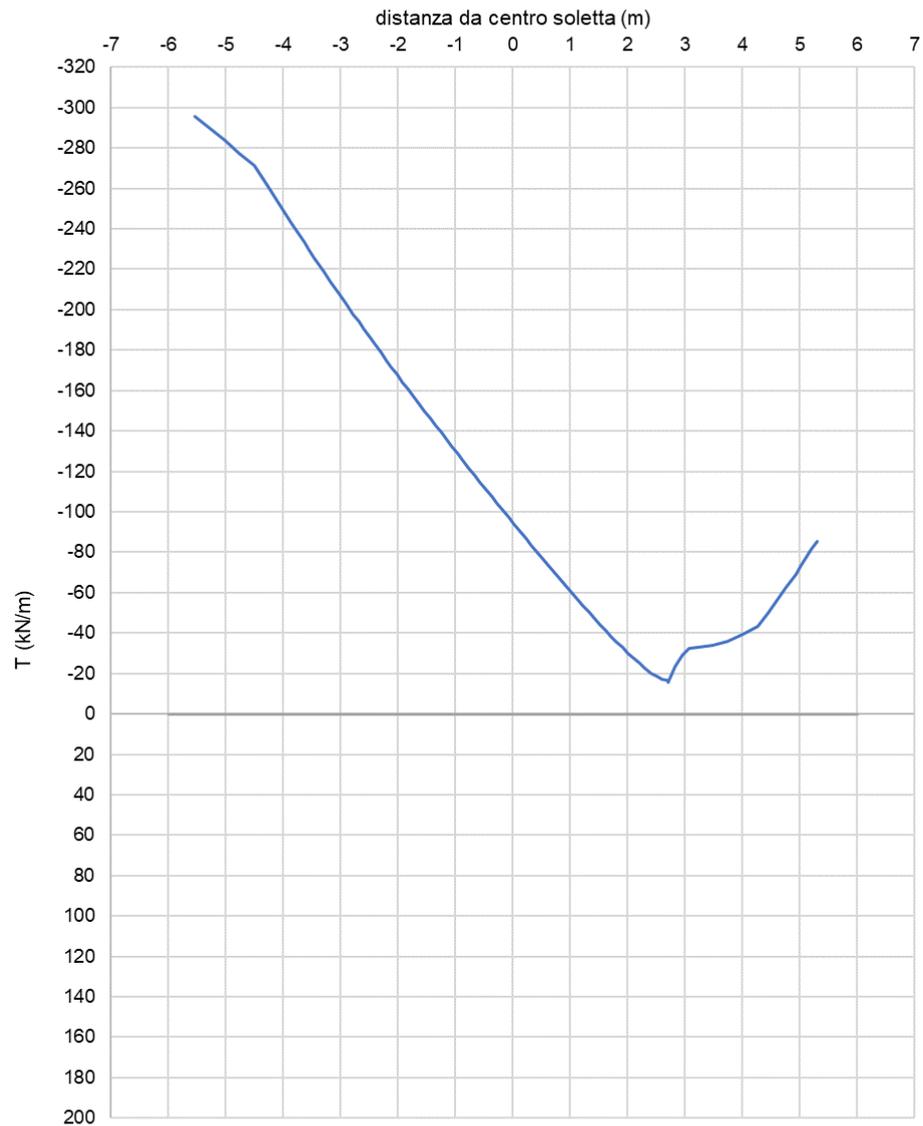




SLV - Sollecitazioni nel palo e nel muro di monte – Momento flettente M

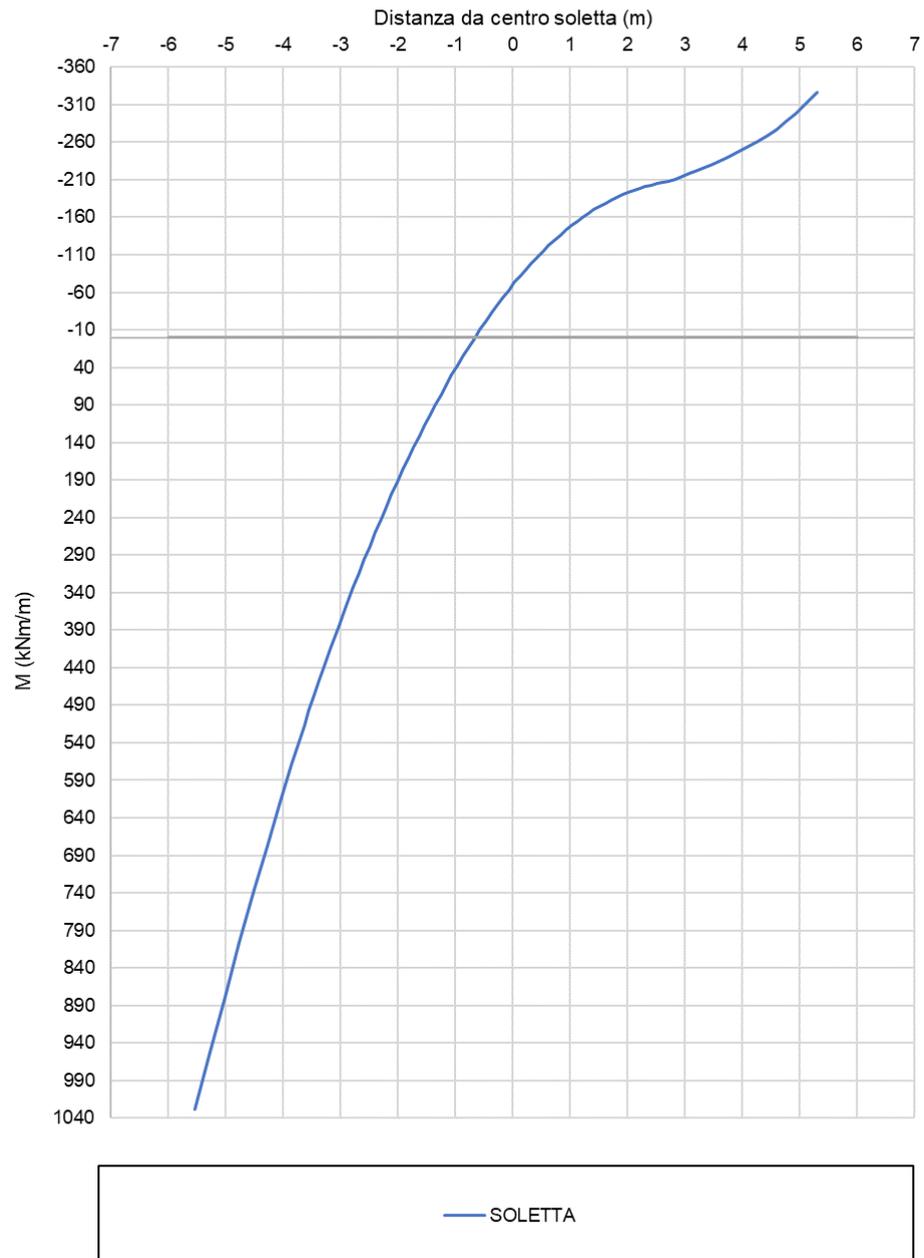


SLV - Sollecitazioni nella soletta – Azione assiale N



— SOLETTA

SLV - Sollecitazioni nella soletta – Azione di taglio T



SLV - Sollecitazioni nella soletta – Momento flettente M



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI
DISSESTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 10	RH GE 0006 002	C	113 di 115



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI
DISSESTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 10	RH GE 0006 002	C	114 di 115

9 INDICAZIONI PER IL MONITORAGGIO RELATIVO ALLE SUCCESSIVE FASI

Il monitoraggio dei versanti attualmente in atto, messo in opera durante la campagna di indagine propedeutica al presente PFTE, dovrà essere proseguito e integrato propedeuticamente allo sviluppo della successiva fase progettuale.

Si ritiene opportuno evidenziare che si ritiene necessario predisporre uno specifico piano di monitoraggio da eseguirsi anche durante l'esecuzione dei lavori, nonché nelle fasi successive di esercizio dell'infrastruttura (post-operam), mediante l'installazione di ulteriori inclinometri e piezometri e di capisaldi per misure topografiche.

Per ciò che concerne il piano di monitoraggio propedeutico alla successiva fase di progettazione questo dovrà, in linea generale, comprendere l'integrazione della strumentazione attualmente presente, con un adeguato numero di verticali strumentate (si ritiene opportuno suggerire minimo 2 verticali) in aggiunta a quelle presenti attualmente, nonché la prosecuzione delle letture e la loro interpretazione. I dettagli delle integrazioni necessarie dovranno essere definite dal Progettista della successiva fase progettuale.

Relativamente al piano di monitoraggio da prevedere in corso d'opera e nella fase post-operam, per le diverse tipologie di dissesto ad oggi note, si delinea di seguito una prima configurazione in termini di tipologia di strumentazione da installare e di durata dei controlli:

Inclinometri:

1. Per i dissesti individuati in corrispondenza della variante 10 e della variante 9: posa in opera di un adeguato numero di inclinometri propedeuticamente alla realizzazione dei lavori. Il numero sarà funzione dell'estensione del dissesto (geometria che dovrà essere confermata all'avvio dei lavori con un rilievo geologico di campo). Si ritiene opportuno prevedere un ciclo di letture minimo 8 all'anno durante la realizzazione degli interventi, e un ciclo di minimo 10 - 12 e minimo 6 letture all'anno dopo la fine dei lavori (per un minimo di 2 anni).

Celle piezometriche:

2. Per tutti i dissesti: posa in opera, prima della realizzazione degli interventi di alcuni piezometri in corrispondenza degli inclinometri indicati al punto 1, avendo cura che parte delle celle



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO SUI
DISSESTI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 10	RH GE 0006 002	C	115 di 115

piezometriche siano disposte lungo la massima pendenza del dissesto, in modo da confermare l'andamento piezometrico lungo la sezione analizzata;

3. Per tutti i dissesti: nel caso di interventi con trincee drenanti, due delle celle piezometriche previste al punto precedente devono essere collocate nelle verticali ubicate nell'area di impronta delle trincee, per verificare l'abbassamento indotto dai drenaggi.

Per tutte le celle piezometriche prevedere un ciclo di letture corrispondente a quelle indicate nel punto 1 per gli inclinometri, ovvero: minimo 8 all'anno durante la realizzazione degli interventi di versante, e minimo 6 letture all'anno dopo la fine dei lavori (per un minimo di 2 anni).

Caposaldi

Per tutti gli inclinometri si prevede la lettura topografica a testa inclinometro.

Devono essere previsti non meno di 1 caposaldo ogni 100m, e verranno installati in prossimità di opere e/o viabilità in prossimità degli interventi, a monte e valle degli stessi, nonché attraverso mire ottiche installate direttamente sulle opere.

Prevedere per i capisaldi un ciclo di letture corrispondente a quelle indicate nel punto 1 per gli inclinometri, ovvero: minimo 8 all'anno durante la realizzazione degli interventi di versante, e minimo 6 letture all'anno dopo la fine dei lavori (per un minimo di 2 anni).

Si ritiene opportuno prevedere inoltre, sia per in corso d'opera, sia nella fase post operam, l'acquisizione dei dati di monitoraggio tramite interferometria satellitare.