

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA
U.O. OPERE GEOTECNICHE

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA
RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO

GEOTECNICA

Relazione descrittiva e di predimensionamento opere di sostegno Lotto 2

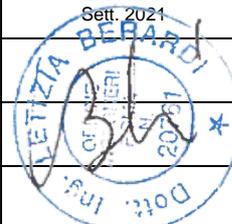
SCALA:

-

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

I R O F 0 2 R 1 1 C L R I 0 0 0 5 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	PRIMA EMISSIONE	P. Cucino	Sett. 2021	G.Meneschincheri M.E.D'Effremo	Sett. 2021	C. Urciuoli	Sett. 2021	L. Berardi Sett. 2021



File: IRF02R11CLRI0005001A

n. Elab.:

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA</p>												
<p>RELAZIONE DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO LOTTO 2</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IR0F</td> <td>02R</td> <td>CL</td> <td>RI0050001</td> <td>A</td> <td>2 di 47</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IR0F	02R	CL	RI0050001	A	2 di 47
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IR0F	02R	CL	RI0050001	A	2 di 47								

INDICE

1	PREMESSA	4
2	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	6
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	7
2.3	BIBLIOGRAFIA.....	7
2.4	SOFTWARE.....	7
3	CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE.....	8
3.1	CRITERI GENERALI DI VERIFICA	8
3.2	VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE DEL COMPLESSO OPERA-TERRENO.....	8
4	INQUADRAMENTO GEOTECNICO E SISMICO.....	11
4.1	UNITÀ GEOTECNICHE	11
4.2	COEFFICIENTI SISMICI PER LA VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE	14
5	CARATTERISTICHE DELLE OPERE.....	15
5.1	MURI DI SOSTEGNO	15
6	CARICHI DI PROGETTO.....	20
7	APPROCCIO METODOLOGICO PER LE VERIFICHE ALLO SLU.....	21
7.1	METODOLOGIA DI VERIFICA ADOTTATA.....	25
7.2	CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI – SLOPE\W	25
7.3	VERIFICHE ALLO SLU.....	26
7.3.1	<i>Modello di calcolo ID1 – Risultati analisi di stabilità globale</i>	<i>26</i>
7.3.2	<i>Modello di calcolo ID2 – Risultati analisi di stabilità globale</i>	<i>29</i>
7.3.3	<i>Modello di calcolo ID3 – Risultati analisi di stabilità globale</i>	<i>32</i>
7.3.4	<i>Modello di calcolo ID4 – Risultati analisi di stabilità globale</i>	<i>36</i>
7.3.5	<i>Modello di calcolo ID5 – Risultati analisi di stabilità globale</i>	<i>40</i>

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA</p>												
<p>RELAZIONE DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO LOTTO 2</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02R</td> <td>CL</td> <td>RI0050001</td> <td>A</td> <td>3 di 47</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IR0F	02R	CL	RI0050001	A	3 di 47
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IR0F	02R	CL	RI0050001	A	3 di 47								

7.3.6 *Modello di calcolo ID6 – Risultati analisi di stabilità globale* 44

	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO LOTTO 2	COMMESSA IROF	LOTTO 02R	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0050001	REV. A	FOGLIO 4 di 47

1 PREMESSA

Nell'ambito del potenziamento infrastrutturale della Linea ferroviaria Orte-Falconara, il presente Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica riguarda il raddoppio della tratta PM228-Castelplanio. Tale progetto è suddiviso nei 3 Lotti Funzionali di seguito elencati:

- Lotto 1: da PM228 a Bivio Nord Albacina, ovvero da progressiva Km 0+00 (pk 228+014 della LS) alla progressiva Km 7+200 di progetto
- Lotto 2: da Bivio Nord Albacina a Serra San Quirico (i) ovvero da progressiva Km 0+00 (pk 237+589 della LS) alla progressiva Km 8+889 (pk 246+958 della LS)
- Lotto 3 da Serra San Quirico (e) a Castelplanio (e) ovvero da progressiva Km 0+00 a progressiva Km 6+272 (pk 252+578 della LS).

Nel 2003 era stato redatto da ITF il progetto preliminare nell'ambito della Legge Obiettivo che già teneva conto dei 3 Lotti Funzionali sopra descritti. Rispetto al tracciato previsto in tale Progetto, il tracciato del PFTE in oggetto è stato aggiornato per tenere conto degli aggiornamenti normativi intersorsi.

Lotto 2

Il tracciato complessivo del Lotto 2 ha uno sviluppo complessivo pari a circa 8.900 m.

L'intervento ha inizio alla pk 7+200=0+47 di progetto, con una sovrapposizione di circa 47 m con i binari del Lotto 1, in corrispondenza dell'imbocco Sud della galleria GN02, galleria "Valtreara".

Ad inizio intervento nei pressi del Bivio Nord Albacina, è prevista una Cabina TE per gestire il corretto assetto delle protezioni della LdC e garantire l'equipotenzialità delle condutture.

Il tracciato prosegue in galleria (Galleria Valtreara di circa 900m); all'uscita dalla galleria è prevista l'opera di scavalco di Via di San Vittore, e dopo un tratto in viadotto (circa 210m) si arriva nella stazione di Genga, dove viene realizzata una nuova stazione su scatolare (in posizione rialzata rispetto all'esistente per problemi di incompatibilità idraulica dell'attuale tracciato), e vengono riorganizzati gli spazi dell'attuale parcheggio e delle attività commerciali previste in funzione della posizione del nuovo tracciato ferroviario. La nuova stazione prevederà marciapiedi H55cm, rampe scale e ascensori. Entrambi i marciapiedi verranno dotati di nuove pensiline ferroviarie.

Nell'area della fermata verrà realizzato un Fabbricato Tecnologico con annesso locale di Consegna ENEL.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA</p>												
<p>RELAZIONE DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO LOTTO 2</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02R</td> <td>CL</td> <td>RI0050001</td> <td>A</td> <td>5 di 47</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IR0F	02R	CL	RI0050001	A	5 di 47
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IR0F	02R	CL	RI0050001	A	5 di 47								

Tra le viabilità di progetto c'è la Nuova Viabilità NV02 che risolve l'interferenza di Via Guglielmo Marconi fra gli abitati di S. Vittore e Genga Stazione, entrambi frazione di Genga, nella zona attorno all'attuale parcheggio per le grotte di Frasassi. In questo tratto la viabilità esistente viene interferita quasi perpendicolarmente dal tracciato della ferrovia di progetto: in progetto viene previsto che la nuova viabilità sottopassi la Linea ferroviaria di progetto; il PL esistente alla progressiva Km 239+600 viene eliminato a seguito dello spostamento della linea ferroviaria in nuova sede.

In uscita dalla nuova stazione di Genga è prevista la nuova galleria "Genga" di circa 570 m, e poi una serie di gallerie (galleria Mogiano 800m, Galleria Chiarodovo 280m, Galleria La Rossa 1.230m e Galleria Murano 1.100 m) alternate a tratti all'aperto, che costituiscono un sistema di gallerie equivalenti, che pertanto sono state attrezzate con le predisposizioni di sicurezza in galleria in ottemperanza al DM del 28.10.2005, con fabbricati di emergenza (PGEP) per la sicurezza in galleria e marciapiedi PES (aventi lunghezza pari a 250m) per gestire l'esodo delle persone in condizioni di sicurezza.

Nei tratti all'aperto in alternanza alle gallerie sono previsti 3 viadotti di circa 240m, 210m e 110m.

Infine è prevista l'adeguamento a fermata dell'impianto di Serra San Quirico, con realizzazione di un nuovo sovrappasso, dei collegamenti perdonali (rampe scale ed ascensori), realizzazione di due nuovi marciapiedi L utile pari a 250 m e H=55 cm. Entrambi i marciapiedi verranno dotati di nuove pensiline ferroviarie.

Nell'area della fermata verrà realizzato un Fabbricato Tecnologico con annesso locale di Consegna ENEL.

E' prevista la soppressione del PL posto alla progressiva Km 246+400 circa, mediante viabilità sostitutiva che sovrappassa la linea ferroviaria in progetto.

Subito dopo la fermata di Serra San Quirico verrà realizzata una Cabina TE provvisoria.

Sono previste barriere antirumore per una lunghezza complessiva pari a circa 1.650 m, tra binario pari e binario dispari, di tipo H4 e H6.

Nella presente relazione sono riassunti i risultati dello studio volto a individuare e dimensionare le opere di sostegno definitive lungo la linea ferroviaria e le viabilità del Lotto 2.

In questa fase di progettazione preliminare verranno presentate le sole verifiche geotecniche di stabilità globale in condizioni di stato limite ultimo.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA</p>												
<p>RELAZIONE DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO LOTTO 2</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02R</td> <td>CL</td> <td>RI0050001</td> <td>A</td> <td>6 di 47</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IR0F	02R	CL	RI0050001	A	6 di 47
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IR0F	02R	CL	RI0050001	A	6 di 47								

2 **NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

2.1 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- [N.1]. Norme Tecniche per le Costruzioni, DM del 17/01/2018.
- [N.2]. Circolare 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.P. Istruzioni per l'applicazione dell'”Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”.
- [N.3]. Legge 02/02/1974 n°64: Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- [N.4]. RFI DTC SI PS MA IFS 001 D: Manuale di progettazione delle opere civili 2020– Parte II – Sezione 2 – Ponti e Strutture.
- [N.5]. RFI DTC SI CS MA IFS 001 D: Manuale di progettazione delle opere civili 2020– Parte II – Sezione 3 – Corpo Stradale.
- [N.6]. RFI DTC SI PS SP IFS 001 D: Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili 2020– Parte II – Sezione 6 – Opere in conglomerato cementizio e in acciaio.
- [N.7]. RFI DTC SI SP IFS 001 C del 21.12.2018- Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – “Opere in terra e scavi” – RFI.
- [N.8]. RFI TCAR ST AR 01 001 D: Standard di qualità geometrica del binario e parametri di dinamica di marcia per velocità fino a 300 km/h
- [N.9]. UNI EN 1991-1-4:2005: Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento.
- [N.10]. STI 2014 –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.
- [N.11]. UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [N.12]. UNI EN 1998-5: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA</p>												
<p>RELAZIONE DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO LOTTO 2</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02R</td> <td>CL</td> <td>RI0050001</td> <td>A</td> <td>7 di 47</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IR0F	02R	CL	RI0050001	A	7 di 47
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IR0F	02R	CL	RI0050001	A	7 di 47								

2.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- E181IR0F02R11GEGE0006001A “Relazione geotecnica generale e suscettibilità a liquefazione Lotto 2”
- E181IR0F02R11F5GE0006001A “Planoprofilo geotecnico di linea Tav.1”
- E181IR0F02R11F5GE0006002A “Planoprofilo geotecnico di linea Tav.2”
- E181IR0F02R11W8GE0006001A “Sezioni geotecniche Tav.1”
- E181IR0F02R11W8GE0006002A “Sezioni geotecniche Tav.2”
- E181IR0F00R11WZRI0005001A “Opere di sostegno – Sezioni tipologiche Tav. 1”
- E181IR0F00R11WZRI0005002A “Opere di sostegno – Sezioni tipologiche Tav. 2”

2.3 BIBLIOGRAFIA

[DC1]. J. Han (2015) “Principles and practice of ground improvement” Wiley Edition.

2.4 SOFTWARE

- Slope/W – GeoSlope (www.geo-slope.com)

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA</p>												
<p>RELAZIONE DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO LOTTO 2</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02R</td> <td>CL</td> <td>RI0050001</td> <td>A</td> <td>8 di 47</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IR0F	02R	CL	RI0050001	A	8 di 47
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IR0F	02R	CL	RI0050001	A	8 di 47								

3 CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE

3.1 CRITERI GENERALI DI VERIFICA

Per le opere in esame sono svolte le seguenti verifiche di sicurezza e delle prestazioni attese (par. 6.2.3. del Doc. Rif. [1]):

- Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU);

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

$$E_d \leq R_d$$

dove:

E_d = valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione;

R_d = valore di progetto della resistenza.

La verifica della condizione $E_d \leq R_d$ deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni ($A1$ e $A2$), per i parametri geotecnici ($M1$ e $M2$) e per le resistenze ($R1$, $R2$ e $R3$). I coefficienti da adottarsi nelle diverse combinazioni sono definiti in funzione del tipo di verifica da effettuare (si vedano i paragrafi seguenti). Si sottolinea che per quanto concerne le azioni di progetto E_d tali forze possono essere determinate applicando i coefficienti parziali di cui sopra alle azioni caratteristiche, oppure, a posteriori, sulle sollecitazioni prodotte dalle azioni caratteristiche (Par. 6.2.3.1 del Doc. Rif.[1]).

3.2 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE DEL COMPLESSO OPERA-TERRENO

In accordo a quanto riportato nella normativa nazionale (Doc. Rif. [1]) e nello specifico, al par. 6.5.3.1 per le opere di sostegno e al par. 6.8.2 per opere di materiali sciolti e fronti di scavo, la stabilità globale dovrà essere esaminata secondo:

- Approccio 1 – Combinazione 2: $A2+M2+R2$

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati in Tab. 6.2.I, Tab. 6.2.II, Tab. 6.8.I del Doc. Rif. [1] e di seguito riportati in Tabella 3-1, 3-2 e 3-3.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO					
	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO LOTTO 2	COMMESSA IROF	LOTTO 02R	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0050001	REV. A	FOGLIO 9 di 47

Le verifiche degli stati limite ultimi in presenza di azioni sismiche devono essere svolte impiegando lo stesso approccio sopra riportato e ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici. In accordo a quanto riportato nel par. 7.11.6.3.2 del Doc. Rif. [1], impiegando per le verifiche le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale pari a $\gamma_R = 1.2$.

In accordo a quanto riportato al par. 7.11.3.5 e 7.11.4 del Doc. Rif. [1] le verifiche di stabilità in condizioni sismiche possono essere condotte mediante analisi pseudostatiche adottando i coefficienti sismici k_h (orizzontale) e k_v (verticale) definiti come segue:

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

$$k_v = \pm k_h/2$$

con β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito. Per le verifiche dei fronti di scavo $\beta_s = 0.38$ (in accordo al par. 7.11.4 del Doc. Rif. [1]), tale valore è stato cautelativamente assunto per tutte le verifiche di stabilità globale.

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

Tabella 3-1 - Coefficienti parziali sulle azioni

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO					
	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO LOTTO 2	COMMESSA IROF	LOTTO 02R	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0050001	REV. A	FOGLIO 10 di 47

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

Tabella 3-2 - Coefficienti parziali sui parametri geotecnici

Tab. 6.8.I - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo

COEFFICIENTE	R2
γ_R	1,1

Tabella 3-3 Coefficienti parziali sulle resistenze (R2)

	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO LOTTO 2	COMMESSA IROF	LOTTO 02R	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0050001	REV. A	FOGLIO 11 di 47

4 INQUADRAMENTO GEOTECNICO E SISMICO

4.1 UNITÀ GEOTECNICHE

Il tracciato della linea PM228 – Castelplanio nei tratti non in galleria si sviluppa per intero nella valle del fiume Esino. Il tracciato corre prevalentemente ai margini della valle. Qui il tracciato ferroviario si trova ad interagire con i depositi alluvionali, Alluvioni Terrazzate, presenti nel fondo valle. In prossimità degli imbocchi delle gallerie viene a contatto diretto con le formazioni che costituiscono i rilievi circostanti. presenti anche a non grande profondità sotto tale copertura alluvionale. Tali rilievi sono costituiti tutti da rocce di tipo sedimentario costituite da calcari e marne. Queste due tipologie di rocce, che si originano da depositi marini di acque profonde, per loro natura possono presentare, a secondo della evoluzione dell’ambiente di deposizione durante il ciclo geologico di deposizione, composizione mineralogica intermedia fra i due estremi oppure talvolta sono presenti intercalazioni arenacee entro una formazione marnosa e viceversa. Nell’ambito del lotto 2 tali formazioni lapidee sono in prevalenza costituite da calcari.

Nel dettaglio:

- Le alluvioni terrazzate appartengono a due formazioni geologiche diverse, il “Sintema di Matelica”, indicato nel seguito con la sigla MTIbn, più antico rispetto al “Sintema del Musone”, indicato con la sigla MUSbn, più recente. Sono entrambi depositi alluvionali antichi che si originano nel medesimo bacino idrografico e caratterizzati da un medesimo ambiente di deposizione e che dal punto di vista geotecnico risultano del tutto equivalenti. Ovviamente come in ogni formazione di tipo alluvionale si incontrano al loro interno livelli costituiti in prevalenza da materiale grossolano ghiaioso sabbioso e livelli con una prevalenza, spesso quasi assoluta, di materiale fine limoso sabbioso mentre è difficile individuare strati prettamente grossolani, depositati dove la velocità della corrente è maggiore, e strati costituiti pressoché unicamente di materiali fini, depositati nelle anse dove la velocità della corrente è minore. Ciò è dovuto ai successivi rimaneggiamenti che in questi materiali hanno prodotto le successive piene del torrente, che nelle fasi iniziali della piena tende ad erodere i materiali presenti in alveo depositandoli più a valle nelle fasi successive al picco della piena, quando l’energia della corrente idraulica diminuisce.
- Come già anticipato le formazioni lapidee di base largamente prevalenti sotto le alluvioni terrazzate e nei rilievi che delimitano la valle sono formazioni calcaree. Queste appartengono a diverse formazioni calcaree elencate nella seguente Tabella 4-1. Tali formazioni sono state tutte raggruppate entro un’unica Unità Geotecnica.

Formazione	Sigla	Tipo
Corniola	COI	calcare
Maiolica	MAI	calcare
Calcare massiccio del M. Nerone (membro inferiore ciclotimico)	MAS2	calcare
Calcari a Posidonia	POD	calcare
Scaglia Rossa (membro inferiore)	SAA1	calcare
Scaglia Rossa (membro intermedio)	SAA2	calcare
Scaglia Rossa (membro superiore)	SAA3	calcare
Scaglia Bianca	SBI	calcare
Scaglia Variegata	VAS	calcare

Tabella 4-1: Formazioni facenti parte della Unità Geotecnica "Calcari"

I parametri geotecnici di resistenza associati alle diverse unità geotecniche, considerati nei modelli di calcolo analizzati, sono riassunti nella Tabella 4-2.

Unità geotecnica	γ (kN/m ³)	ϕ' (°)	c' (kN/m ²)	c_u (kN/m ²)	GSI	σ_c (MPa)	m_i
Dc	20	25÷28	0÷3	130 (z≤4m) 80 (4m<z<8m) 60 (z>8m)	-	-	-
Dg	20	32-34 ^(*) (z≤5m) 37-40 ^(*) (z>5m)	0	-	-	-	-
CL	25	-	-	-	35÷40	40	12
M_f	25	-	-	-	25	40	7
M_alt	21	28÷30	4÷12	250	-	-	-
Aa_L	21	22÷25	3÷15	180	-	-	-

Tabella 4-2: Parametri geotecnici caratteristici associati alle unità geotecniche

^(*) = valori minimi in prevalenza di sabbie, valori massimi in prevalenza di ghiaie

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA</p>												
<p>RELAZIONE DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO LOTTO 2</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IR0F</td> <td>02R</td> <td>CL</td> <td>RI0050001</td> <td>A</td> <td>13 di 47</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IR0F	02R	CL	RI0050001	A	13 di 47
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IR0F	02R	CL	RI0050001	A	13 di 47								

dove

γ = peso specifico

ϕ' = angolo di attrito interno efficace

c' = coesione efficace

GSI = Geological Strength Index

σ_c = resistenza a compressione monoassiale roccia intatta

m_i = coefficiente relativo alla roccia intatta

E = modulo di rigidezza

c_u = coesione non drenata

Nella tabella seguente si riporta la descrizione delle unità geotecniche considerate.

Unità geotecnica	Descrizione
Dc	Depositi alluvionali e di versante con livelli a prevalente componente limoso argillosa
Dg	Depositi alluvionali e di versante con livelli a prevalente componente ghiaioso sabbiosa
CL	Calcari
M_f	Marne (formazione Fucoidi)
M_alt	Fascia di alterazione delle marne
Aa_L	Limo con argilla, sabbiosa o debolmente sabbiosa (formazione Argille Azzurre)

Tabella 4-3: Descrizione unità geotecniche

Per la stratigrafia e la parametrizzazione geotecnica si rimanda ai capitoli 7 relativi alle verifiche delle sezioni di calcolo rappresentative.

La falda si attesta tipicamente al di sotto dei 4m dal piano campagna e quindi non interferisce, in generale, con la stabilità delle trincee e dei rilevati. Per le sezioni di calcolo dove invece risulta significativa o interferente, essa viene specificata nel relativo paragrafo di calcolo.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA</p>												
<p>RELAZIONE DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO LOTTO 2</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IR0F</td> <td>02R</td> <td>CL</td> <td>RI0050001</td> <td>A</td> <td>14 di 47</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IR0F	02R	CL	RI0050001	A	14 di 47
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IR0F	02R	CL	RI0050001	A	14 di 47								

4.2 COEFFICIENTI SISMICI PER LA VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE

La verifica di stabilità globale va condotta mediante il metodo di analisi definito al Par. 7.11.3.5 del Doc. Rif. [1], inerente alla stabilità dei pendii.

Parametri sismici di sito:

$$C_U = 1.5$$

$$V_N = 75 \text{ anni}$$

$$V_R = 112.5 \text{ anni}$$

$$T_r (\text{SLV}) = 1073 \text{ anni}$$

$$a_g = 0.235g \quad \text{accelerazione massima alla base su suolo di riferimento}$$

$$F_o = 2.449$$

$$\beta_s = 0.38 \quad \text{coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.}$$

$$S_s = 1.37 \quad \text{coefficiente di amplificazione stratigrafico per terreno di categoria E}$$

$$S_T = 1.0 \quad \text{coefficiente di amplificazione topografico per categoria T1, per zone pianeggianti}$$

Si ottengono pertanto i seguenti coefficienti sismici

$a_{\max} (g)$	k_h	k_v
0.322	0.122	± 0.061

Tabella 4-4: Coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO					
	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO LOTTO 2	COMMESSA IROF	LOTTO 02R	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0050001	REV. A	FOGLIO 15 di 47

5 CARATTERISTICHE DELLE OPERE

Nei paragrafi seguenti si riporta la descrizione delle caratteristiche delle sezioni tipologiche analizzate delle opere di sostegno.

5.1 MURI DI SOSTEGNO

Nella tabella seguente vengono descritte in maniera sintetica le principali caratteristiche dei muri di sostegno presenti nel Lotto 2.

WBS	Progressiva		Tipologico	Altezza massima (m)
	da (km)	a (km)		
MU01	0+965	0+990	TM-U	10.0
MU02	1+660	1+675	TM-U	10.0
RI02/TR03 (dx)	2+343.5	2+532	TM-C1	6.6
MU03 (dx e sx)	3+776	3+850	TM-G	6.5
MU04	4+120	4+135	TM-U	10.0
RI03 (dx e sx)	4+420	4+441	TM-G	6.5
MU05	5+960	6+010	TM-U	10.0
MU06	6+120	6+160	TM-U	10.0
NV03 (dx)	0+190	0+300	TM-F	8.0
NV06 (dx)	0+000	0+050	TM-A	2.2
NV06 (dx)	0+050	0+145	TM-F	8.0
NV06 (dx)	0+598	0+692	TM-B	4.6
NV07 (dx)	0+269	0+294	TM-C2	11.3
NVP1 (dx)	0+091	0+316	TM-H	10.5
NVP4 (dx)	0+005	0+102	TM-F	8.0

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO					
	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO LOTTO 2	COMMESSA IROF	LOTTO 02R	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0050001	REV. A	FOGLIO 16 di 47

I parametri caratteristici del materiale costituente il riempimento a tergo muro sono riportati nella tabella seguente.

Strato	Legame costitutivo	γ	ϕ'	c'	E'
[-]	[-]	[kN/mc]	[°]	[kPa]	[kN/mq]
Riempimento	Mohr Coulomb	20	35	0	30000

Tabella 5-1 Materiale riempimento muri

I tipologie dei muri di sostegno che verranno analizzati sono presentati nelle seguenti figure.

Per quanto riguarda le sezioni e gli schemi con le geometrie e le altezze di calcolo rappresentativi del lotto in oggetto si rimanda ai capitoli specifici della presente relazione.

Il muro di sostegno tipo TM-A è un muro su fondazione superficiale di larghezza 2.50m e spessore 0.70m, con altezza totale massima di 2.80m.

Il muro di sostegno tipo TM-B è un muro su fondazione superficiale di larghezza 4.00m e spessore 1.00m, con altezza totale massima di 4.60m.

Il muro di sostegno tipo TM-F è un muro su fondazione superficiale di larghezza 5.40m e spessore 1.20m, con altezza totale massima di 8.00m.

Il muro di sostegno tipo TM-C è un muro con fondazione profonda, di altezza totale massima di 6.60m. La fondazione ha larghezza 5.80m e spessore 1.20m, con pali D=1200mm di lunghezza 15.00m.

Il muro di sostegno tipo TM-G è un muro a paramento verticale su fondazione superficiale di larghezza 4.40m e spessore 0.90m, con altezza totale massima di 6.50m.

Il muro di sostegno tipo TM-H è un muro tirantato fondato su una fila di pali che costituiscono di fatto una paratia. La parte in muro ha altezza totale di 4.10m, con un cordolo di fondazione di altezza 1.90m e larghezza 2.20m, in cui alloggiato i tiranti attivi a trefoli (n.4 trefoli 0.6'') inclinati di 30° e interassati di 1.70m, diametro di

perforazione 240mm, lunghezza totale 30.00m e tratto con bulbo di ancoraggio 12.00m. I pali hanno diametro 1500mm, lunghezza 18.00m e interasse 1.70m.

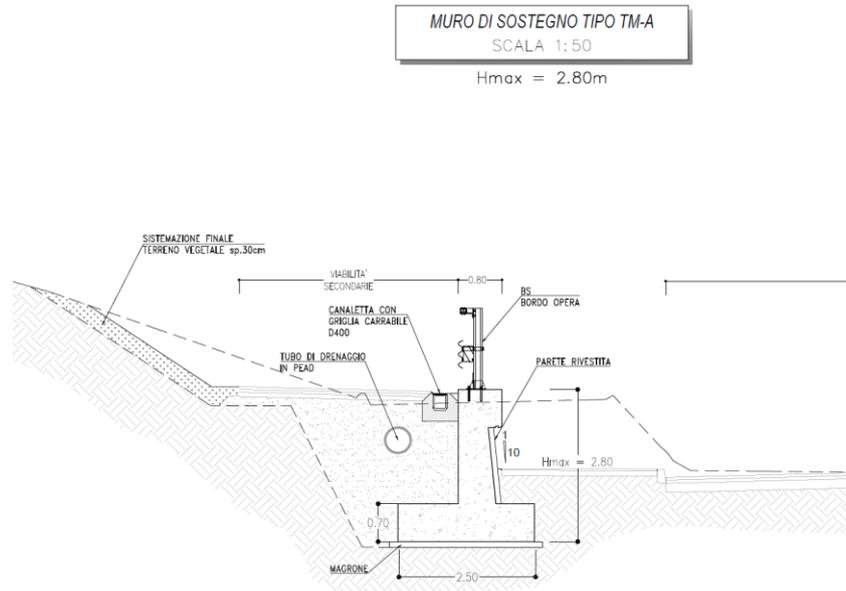


Figura 5.1 Sezione tipo muro di sostegno TM-A

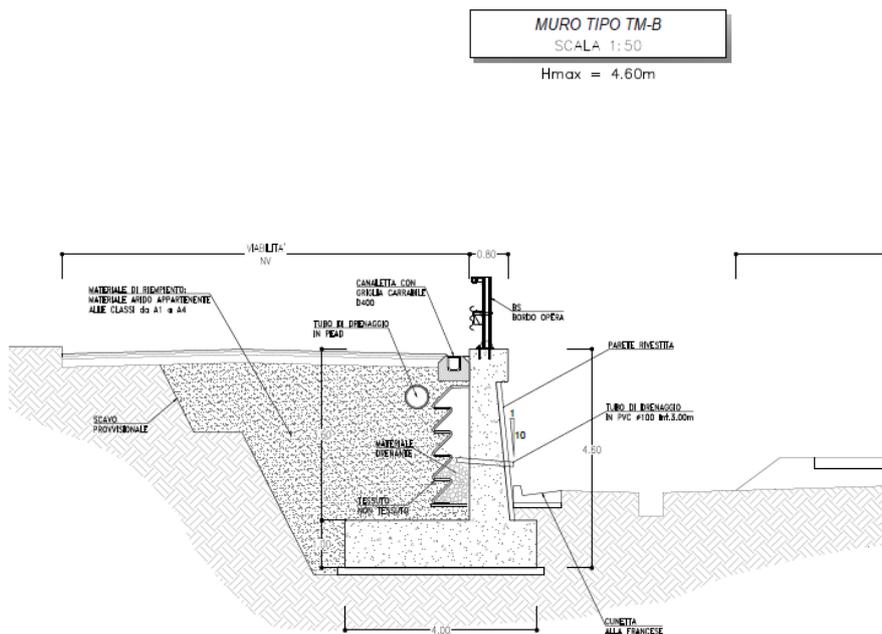


Figura 5.2 Sezione tipo muro di sostegno TM-B

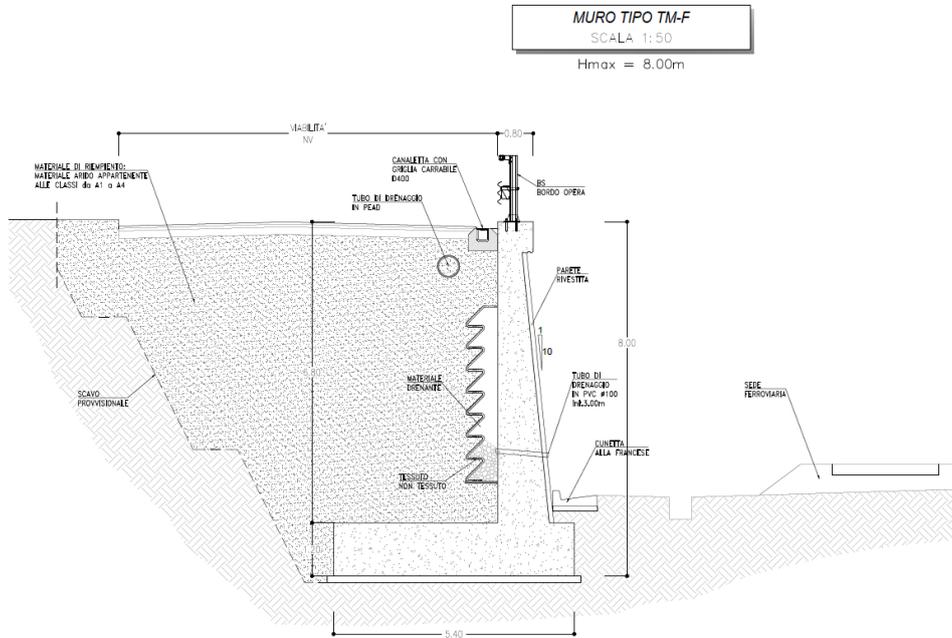


Figura 5.3 Sezione tipo muro di sostegno TM-F

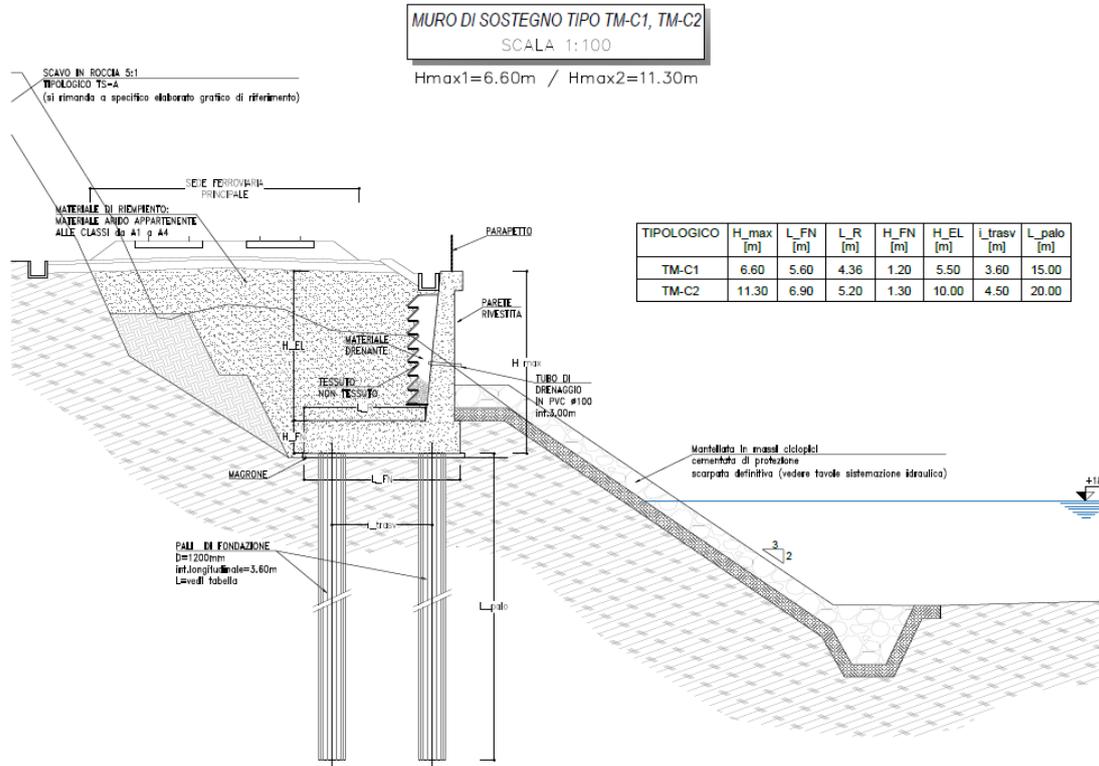


Figura 5.4 Sezione tipo muro di sostegno TM-C

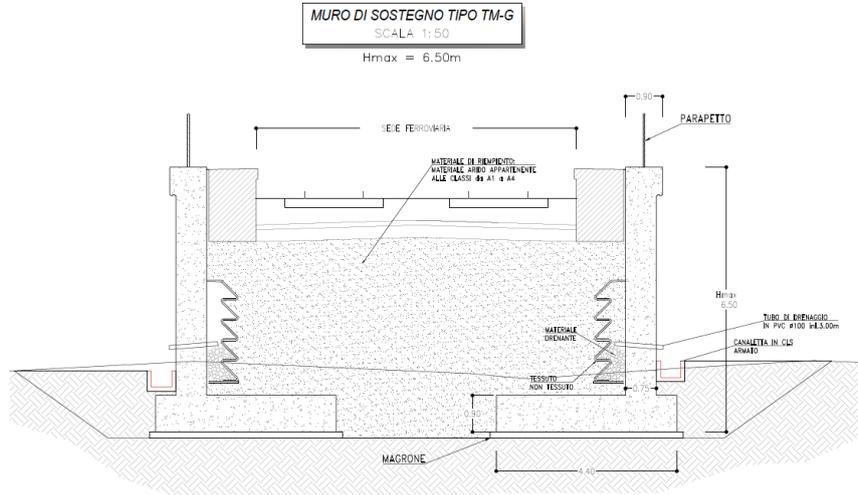


Figura 5.5 Sezione tipo muro di sostegno TM-G

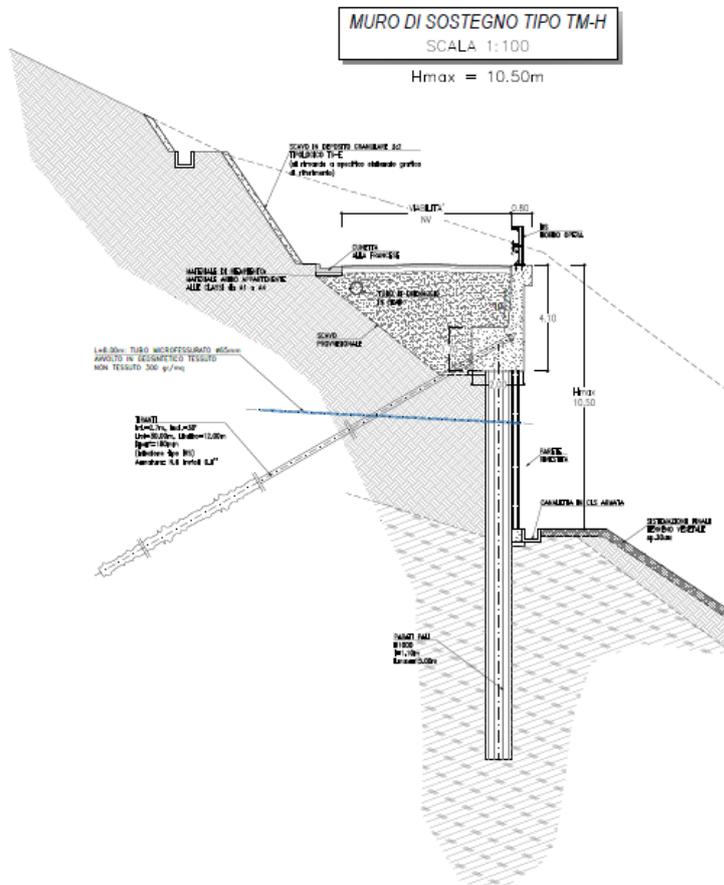


Figura 5.6 Sezione tipo muro di sostegno TM-H

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA</p>												
<p>RELAZIONE DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO LOTTO 2</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IROF</td> <td>02R</td> <td>CL</td> <td>RI0050001</td> <td>A</td> <td>20 di 47</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IROF	02R	CL	RI0050001	A	20 di 47
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IROF	02R	CL	RI0050001	A	20 di 47								

6 CARICHI DI PROGETTO

I carichi di progetto considerati nelle analisi oggetto del presente documento sono i seguenti:

- Carico rappresentativo del pacchetto di armamento ferroviario (ballast, traversine, rotaie)
- Carico rappresentativo del pacchetto stradale
- Sovraccarico rappresentativo del traffico ferroviario
- Sovraccarico rappresentativo del traffico stradale
- Azione sismica per le analisi di stabilità

Per l'armamento ferroviario, come da Manuale di Progettazione [N.5], si è considerato come rappresentativo uno strato di spessore pari a circa 0.80 m con un peso pari a 18.00 kN/m³.

Per quanto riguarda il pacchetto stradale, laddove presente, si considera uno spessore della piattaforma stradale di circa 0.30 m per un peso dell'unità di volume del materiale costituente la piattaforma di 22 kN/m³.

Il sovraccarico da traffico ferroviario è stato valutato in accordo a quanto riportato nel paragrafo 5.2.2.2 del Doc. Rif. [N.1] considerando il treno di carico LM71, più gravoso ai fini delle verifiche di stabilità globale. In particolare, in corrispondenza di ogni traversina si considera una pressione equivalente di 71.5 kPa su una larghezza di 2.4m (ossia $250 \text{ kN/m} \times 1.1 / 1.6 \text{ m} / 2.4 \text{ m} = 71.5 \text{ kPa}$).

Il sovraccarico da traffico stradale è stato valutato come carico uniformemente distribuito pari a 20kPa.

Per la definizione dell'azione sismica di progetto si rimanda al paragrafo 4.2 del presente documento.

Tali carichi e sovraccarichi sono stati inseriti nelle diverse verifiche agli SLU (statiche e sismiche) applicando laddove necessario gli opportuni coefficienti parziali di amplificazione come previsti dalla Normativa vigente.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA</p>												
<p>RELAZIONE DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO LOTTO 2</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IROF</td> <td>02R</td> <td>CL</td> <td>RI0050001</td> <td>A</td> <td>21 di 47</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IROF	02R	CL	RI0050001	A	21 di 47
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IROF	02R	CL	RI0050001	A	21 di 47								

7 APPROCCIO METODOLOGICO PER LE VERIFICHE ALLO SLU

Le verifiche geotecniche allo Stato Limite Ultimo riguardano il calcolo della stabilità globale dei muri di sostegno; sono state condotte verifiche sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche. In presenza di terreni coesivi, le verifiche statiche sono state eseguite sia in condizioni drenate sia in condizioni non drenate, le verifiche sismiche in condizioni non drenate.

Per l'esecuzione delle verifiche sono state selezionate n.6 sezioni di calcolo ritenute le maggiormente rappresentative delle condizioni critiche. Le sezioni di calcolo sono state selezionate all'interno del Lotto 2.

I modelli di calcolo implementati sono i seguenti (con H si intende l'altezza totale del muro o nel caso di paratia l'altezza totale spingente o di scavo):

- Modello ID1: muro tipo TM-A di altezza di calcolo cautelativa $H=2.8$ m (sezione di riferimento NV06 pk 0+050)
- Modello ID2: muro tipo TM-B di altezza di calcolo cautelativa $H=4.6$ m (sezione di riferimento NV06 pk 0+600)
- Modello ID3: muro tipo TM-F di altezza di calcolo $H=8.0$ m (sezione di riferimento viabilità NV03 pk 0+260)
- Modello ID4: muro tipo TM-C di altezza $H=6.6$ m (sezione di riferimento linea ferroviaria pk 2+440)
- Modello ID5: muro tipo TM-G di altezza $H=6.5$ m (sezione di riferimento linea ferroviaria pk 4+432)
- Modello ID6: muro tipo TM-H di altezza $H=10.5$ m (sezione di riferimento viabilità NVP1 pk 0+150)

Gli schemi di calcolo sono presentati nelle seguenti figure.

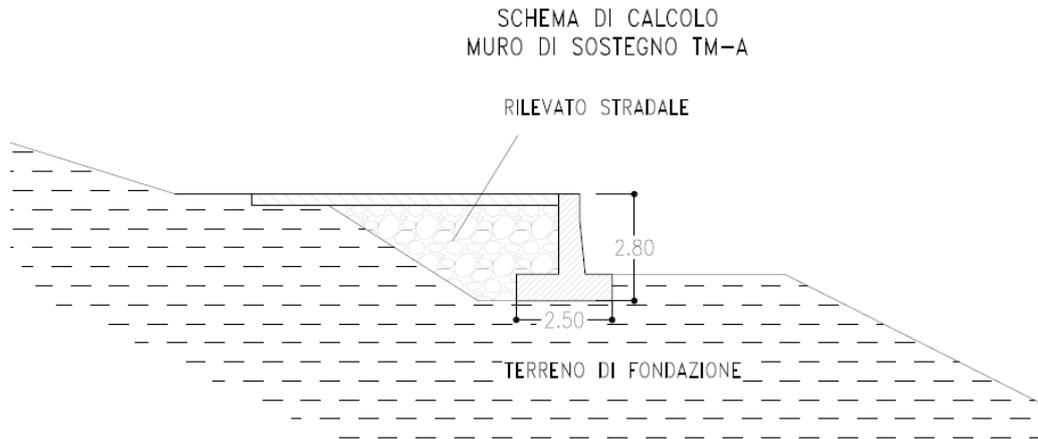


Figura 7.1 Schema di calcolo modello ID1 (muro TM-A)

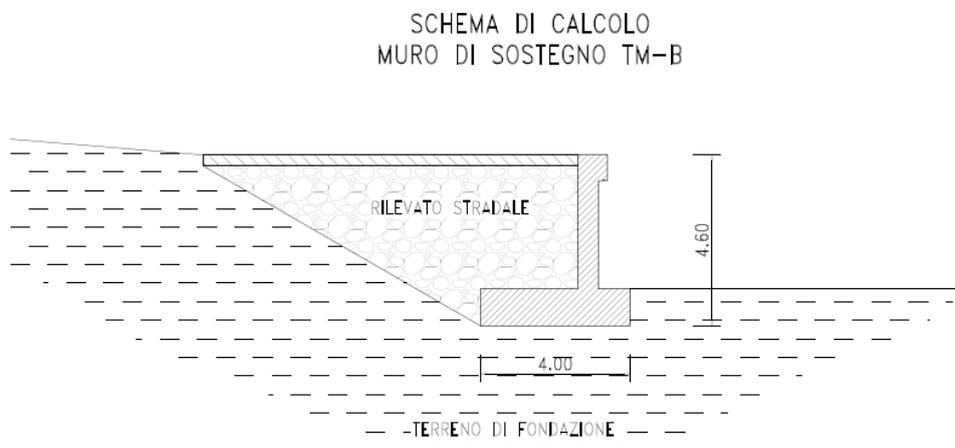


Figura 7.2 Schema di calcolo modello ID2 (muro TM-B)

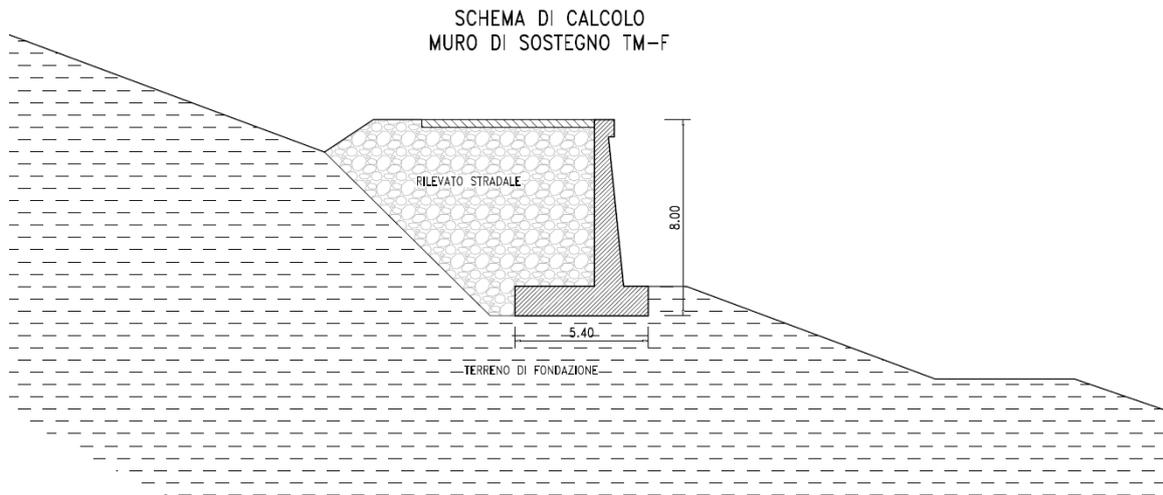


Figura 7.3 Schema di calcolo modello ID3 (muro TM-F)

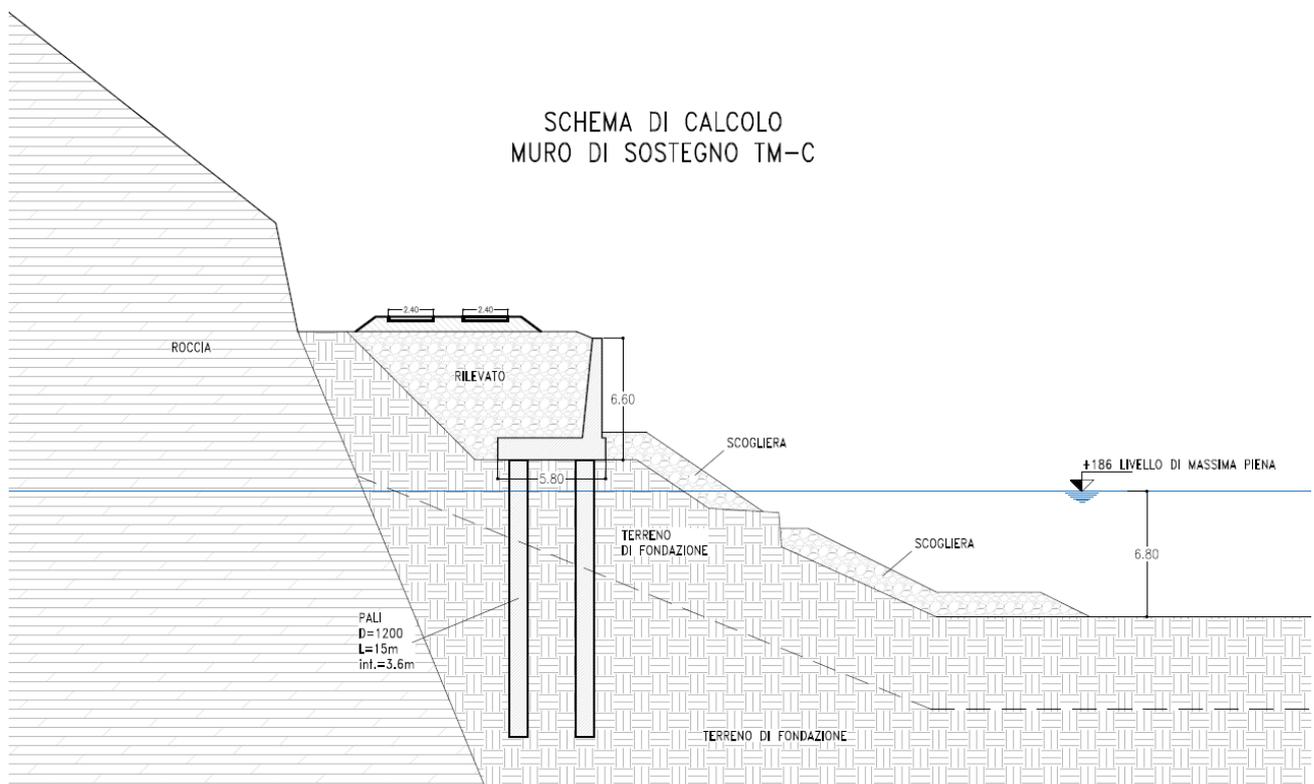


Figura 7.4 Schema di calcolo modello ID4 (muro TM-C)

**SCHEMA DI CALCOLO
MURO DI SOSTEGNO TM-G**

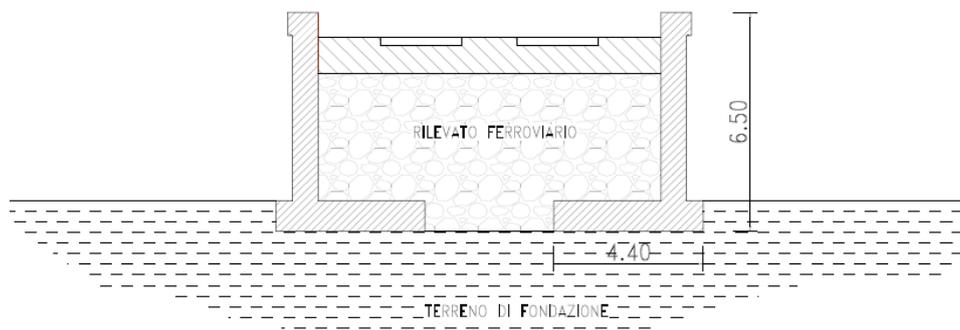


Figura 7.5 Schema di calcolo modello ID5 (muro TM-G)

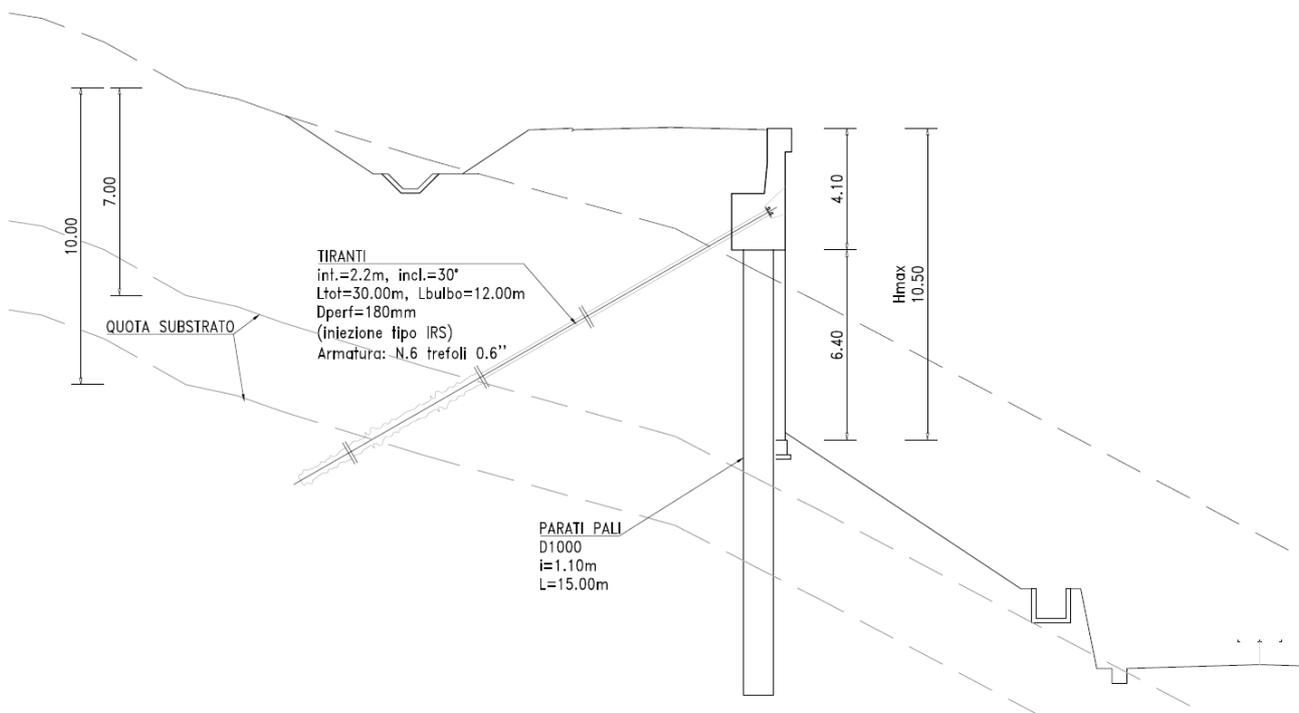


Figura 7.6 Schema di calcolo modello ID6 (muro TM-H)

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA</p>												
<p>RELAZIONE DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO LOTTO 2</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02R</td> <td>CL</td> <td>RI0050001</td> <td>A</td> <td>25 di 47</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IR0F	02R	CL	RI0050001	A	25 di 47
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IR0F	02R	CL	RI0050001	A	25 di 47								

7.1 METODOLOGIA DI VERIFICA ADOTTATA

L'esame delle condizioni di stabilità dei rilevati 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:

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

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 per le opere in terreni sciolti. Per le analisi di stabilità è stato impiegato il metodo di Morgenstern&Price.

Nelle analisi sono state escluse, perché considerate non significative, le superfici di rottura corticali (con profondità minori di 1m ca.). A tal proposito si sottolinea che, nei calcoli, a favore di sicurezza, non è stato preso in conto in alcun modo l'effetto che la finitura delle scarpate darà necessariamente, in termini di coesione efficace, allo strato più superficiale delle scarpate.

Sono stati inoltre considerati i soli meccanismi globali, ovvero quelli che interessano oltre al corpo del rilevato anche il terreno di base sottostante. I meccanismi locali, ovvero legati al solo corpo del rilevato, sono stati considerati intrinsecamente verificati una volta rispettate le prescrizioni di normativa e dei manuali di riferimento per la progettazione degli stessi.

7.2 CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI – 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.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO					
	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO LOTTO 2	COMMESSA IROF	LOTTO 02R	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0050001	REV. A	FOGLIO 26 di 47

7.3 VERIFICHE ALLO SLU

Le verifiche SLU della stabilità globale sono state condotte tramite il codice di calcolo Slope/W. Le combinazioni di carico adottate nelle analisi fanno riferimento, come introdotto al par. 3, rispettivamente ai coefficienti parziali (A2+M2) per le analisi in campo statico e ai valori caratteristici per le analisi sismiche.

Come da NTC 2018, la verifica SLU di stabilità globale è soddisfatta se in condizioni statiche è verificata la relazione:

$$FS \geq R2=1.1$$

In condizioni sismiche deve invece valere:

$$FS \geq R2=1.2$$

7.3.1 MODELLO DI CALCOLO ID1 – RISULTATI ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE

Si analizza la sezione di muro TM-A più rappresentativa.

Per la sezione di calcolo in oggetto si considera la seguente stratigrafia e parametrizzazione geotecnica.

Strato	profondità	Descrizione	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	c_u (kPa)
1	-	Pacchetto stradale	22.0	0	35	-
2	-	Rilevato stradale	19.0	0	35	-
3	-	Deposito granulare ghiaioso (terreno di fondazione)	20.0	0	34	-

Tabella 7-1: Stratigrafia di riferimento e parametri geotecnici adottati

Il pacchetto stradale è stato schematizzato per mezzo di un'area rettangolare ("region") a cui sono state attribuite le caratteristiche sopra riportate. Tale scelta è volta ad evitare l'insorgenza di problematiche riscontrate nel software di calcolo Slope/W nel momento in cui si introduce nella modellazione un doppio carico (pacchetto stradale e traffico) agente su una medesima area di impronta. Il carico in esame è di tipo permanente sfavorevole, pertanto in accordo al coefficiente parziale sulle azioni A2, nell'analisi in condizioni statiche il valore di calcolo del peso per unità di volume è stato assunto pari a:

$$\gamma^*_{(\text{pacchetto})} = \gamma_{(\text{pacchetto})} \times \gamma_{G(A2)} = 22 \text{ kN/m}^3 \times 1.3 = 28.6 \text{ kN/m}^3$$

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA</p>												
<p>RELAZIONE DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO LOTTO 2</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02R</td> <td>CL</td> <td>RI0050001</td> <td>A</td> <td>27 di 47</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IR0F	02R	CL	RI0050001	A	27 di 47
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IR0F	02R	CL	RI0050001	A	27 di 47								

Il carico da traffico stradale (q), assunto pari a 20 kPa, è stato modellato come un carico distribuito applicato cautelativamente su una fascia di larghezza pari a 8.65 m. Tale sovraccarico è di tipo variabile/sfavorevole pertanto, in accordo al coefficiente parziale sulle azioni A2 il valore di calcolo è stato assunto pari a:

$$q_{d2} = q_{k2} \times \gamma_{q[A2]} = 20 \text{ kPa} \times 1.30 = 26 \text{ kPa}.$$

L'analisi di stabilità globale in campo sismico è stata condotta assumendo i carichi e i parametri geotecnici caratteristici.

Il sovraccarico (q) è stato moltiplicato per un coefficiente di combinazione $\psi=0.2$, pertanto:

$$q_{d2} = 0.2q_{k2} = 4 \text{ kPa}.$$

In accordo a quanto riportato in precedenza, la forza sismica è stata modellata tramite i coefficienti sismici:

$$K_H = + 0,122 \text{ (concorde alla direzione di scivolamento)}$$

$$K_V = \pm 0,061 \text{ (verificando la più cautelativa tra le due direzioni)}$$

L'analisi di stabilità globale è stata finalizzata all'individuazione delle superfici di rottura tali da intercettare il corpo del rilevato ed il terreno di base sottostante. Tra esse, è definita critica quella a cui corrisponde il fattore di sicurezza FS minimo.

Di seguito i risultati delle analisi e le immagini del modello con l'individuazione della superficie di scorrimento più critica.

Condizione statica (di breve termine)	$FS = 1,399 > 1,10$
---------------------------------------	---------------------

Condizione sismica	$FS = 1,380 > 1,20$
--------------------	---------------------

Le verifiche risultano soddisfatte.

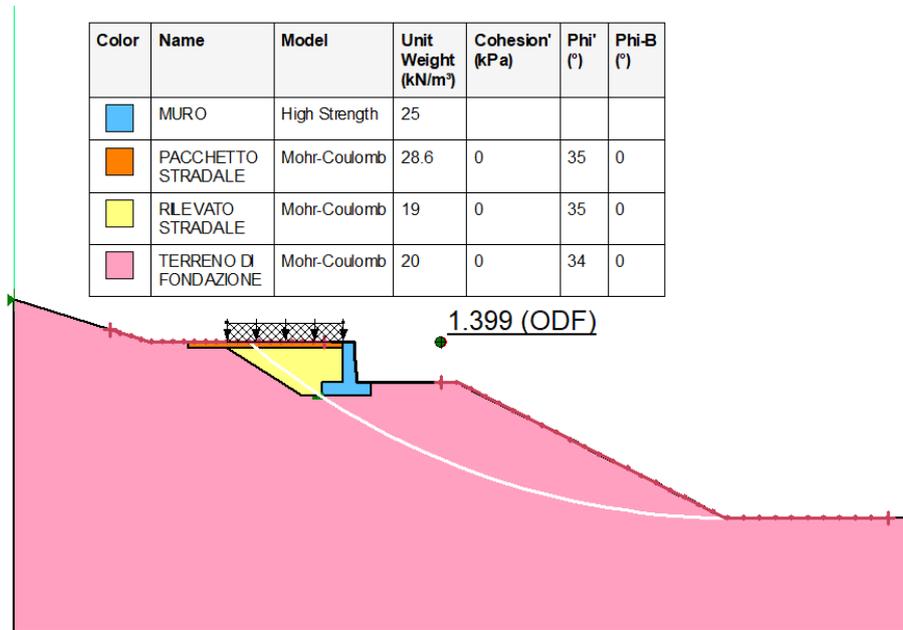


Figura 7.7 Verifica di stabilità del muro in condizioni statiche

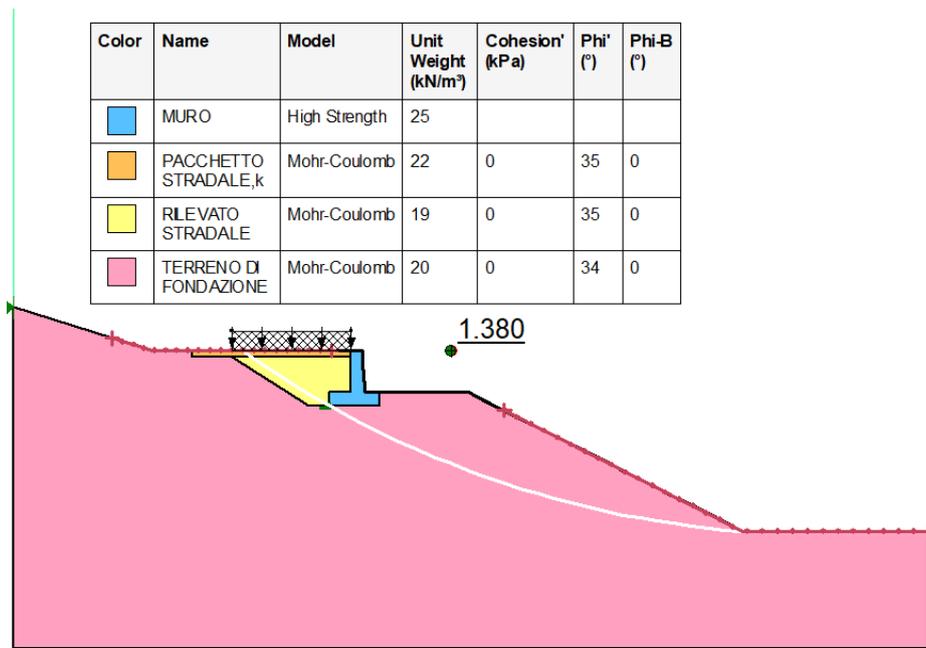


Figura 7.8 Verifica di stabilità del muro in condizioni sismiche (sisma verticale positivo)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO					
	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO LOTTO 2	COMMESSA IROF	LOTTO 02R	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0050001	REV. A	FOGLIO 29 di 47

7.3.2 MODELLO DI CALCOLO ID2 – RISULTATI ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE

Si analizza la sezione di muro TM-B più rappresentativa.

Per la sezione di calcolo in oggetto si considera la seguente stratigrafia e parametrizzazione geotecnica.

Strato	profondità	Descrizione	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	c_u (kPa)
1	-	Pacchetto stradale	22.0	0	35	-
2	-	Rilevato stradale	19.0	0	35	-
3	-	Deposito granulare sabbioso (terreno di fondazione)	20.0	0	32	-

Tabella 7-2: Stratigrafia di riferimento e parametri geotecnici adottati

Il pacchetto stradale è stato schematizzato per mezzo di un'area rettangolare ("region") a cui sono state attribuite le caratteristiche sopra riportate. Tale scelta è volta ad evitare l'insorgenza di problematiche riscontrate nel software di calcolo Slope/W nel momento in cui si introduce nella modellazione un doppio carico (pacchetto stradale e traffico) agente su una medesima area di impronta. Il carico in esame è di tipo permanente sfavorevole, pertanto in accordo al coefficiente parziale sulle azioni A2, nell'analisi in condizioni statiche il valore di calcolo del peso per unità di volume è stato assunto pari a:

$$\gamma^*_{(\text{pacchetto})} = \gamma_{(\text{pacchetto})} \times \gamma_{G(A2)} = 22 \text{ kN/m}^3 \times 1.3 = 28.6 \text{ kN/m}^3$$

Il carico da traffico stradale (q), assunto pari a 20 kPa, è stato modellato come un carico distribuito applicato cautelativamente su una fascia di larghezza pari a 8.65 m. Tale sovraccarico è di tipo variabile/sfavorevole pertanto, in accordo al coefficiente parziale sulle azioni A2 il valore di calcolo è stato assunto pari a:

$$q_{d2} = q_{k2} \times \gamma_{q(A2)} = 20 \text{ kPa} \times 1.30 = 26 \text{ kPa}.$$

L'analisi di stabilità globale in campo sismico è stata condotta assumendo i carichi e i parametri geotecnici caratteristici.

Il sovraccarico (q) è stato moltiplicato per un coefficiente di combinazione $\psi=0.2$, pertanto:

$$q_{d2} = 0.2q_{k2} = 4 \text{ kPa}.$$

In accordo a quanto riportato in precedenza, la forza sismica è stata modellata tramite i coefficienti sismici:

$K_H = + 0,122$ (concorde alla direzione di scivolamento)

$K_V = \pm 0,061$ (verificando la più cautelativa tra le due direzioni)

L'analisi di stabilità globale è stata finalizzata all'individuazione delle superfici di rottura tali da intercettare il corpo del rilevato ed il terreno di base sottostante. Tra esse, è definita critica quella a cui corrisponde il fattore di sicurezza FS minimo.

Di seguito i risultati delle analisi e le immagini del modello con l'individuazione della superficie di scorrimento più critica.

Condizione statica $FS = 1,631 > 1,10$

Condizione sismica $FS = 1,900 > 1,20$

Le verifiche risultano soddisfatte.

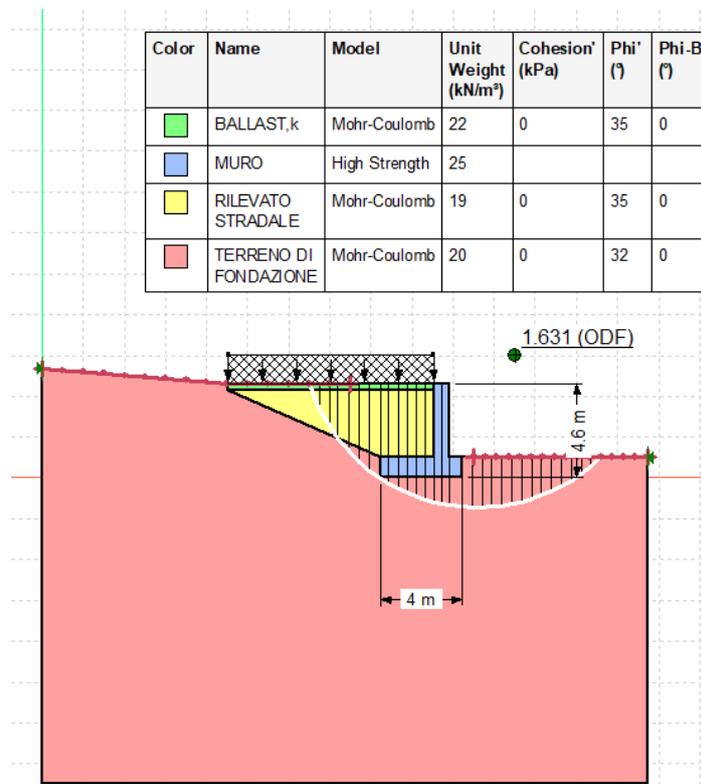


Figura 7.9 Verifica di stabilità del muro in condizioni statiche

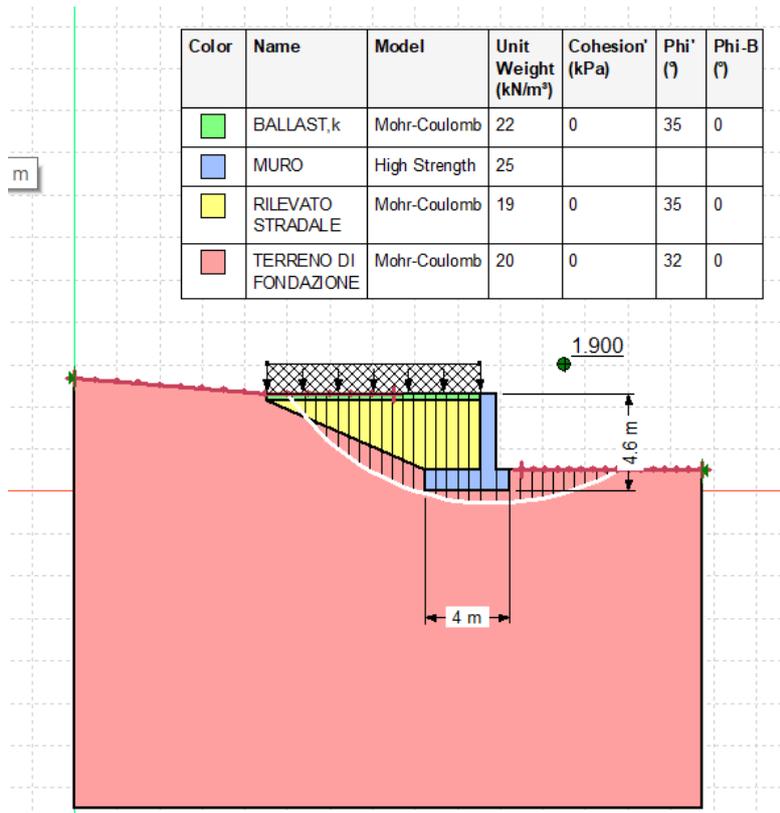


Figura 7.10 Verifica di stabilità del muro in condizioni sismiche (sisma verticale positivo)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO					
	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO LOTTO 2	COMMESSA IROF	LOTTO 02R	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0050001	REV. A	FOGLIO 32 di 47

7.3.3 MODELLO DI CALCOLO ID3 – RISULTATI ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE

Si analizza la sezione di muro TM-F più rappresentativa.

Per la sezione di calcolo in oggetto si considera la seguente stratigrafia e parametrizzazione geotecnica.

Strato	profondità	Descrizione	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	c_u (kPa)
1	-	Pacchetto stradale	22.0	0	35	-
2	-	Rilevato stradale	19.0	0	35	-
3	-	Deposito granulare ghiaioso (terreno di fondazione)	20.0	0	34	-

Tabella 7-3: Stratigrafia di riferimento e parametri geotecnici adottati

Il pacchetto stradale è stato schematizzato per mezzo di un'area rettangolare ("region") a cui sono state attribuite le caratteristiche sopra riportate. Tale scelta è volta ad evitare l'insorgenza di problematiche riscontrate nel software di calcolo Slope/W nel momento in cui si introduce nella modellazione un doppio carico (pacchetto stradale e traffico) agente su una medesima area di impronta. Il carico in esame è di tipo permanente sfavorevole, pertanto in accordo al coefficiente parziale sulle azioni A2, nell'analisi in condizioni statiche il valore di calcolo del peso per unità di volume è stato assunto pari a:

$$\gamma^*_{(\text{pacchetto})} = \gamma_{(\text{pacchetto})} \times \gamma_{G(A2)} = 22 \text{ kN/m}^3 \times 1.3 = 28.6 \text{ kN/m}^3$$

Il carico da traffico stradale (q), assunto pari a 20 kPa, è stato modellato come un carico distribuito applicato cautelativamente su una fascia di larghezza pari a 8.65 m. Tale sovraccarico è di tipo variabile/sfavorevole pertanto, in accordo al coefficiente parziale sulle azioni A2 il valore di calcolo è stato assunto pari a:

$$q_{d2} = q_{k2} \times \gamma_{q(A2)} = 20 \text{ kPa} \times 1.30 = 26 \text{ kPa}.$$

L'analisi di stabilità globale in campo sismico è stata condotta assumendo i carichi e i parametri geotecnici caratteristici.

Il sovraccarico (q) è stato moltiplicato per un coefficiente di combinazione $\psi=0.2$, pertanto:

$$q_{d2} = 0.2q_{k2} = 4 \text{ kPa}.$$

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA</p>												
<p>RELAZIONE DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO LOTTO 2</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02R</td> <td>CL</td> <td>RI0050001</td> <td>A</td> <td>33 di 47</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IR0F	02R	CL	RI0050001	A	33 di 47
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IR0F	02R	CL	RI0050001	A	33 di 47								

In accordo a quanto riportato in precedenza, la forza sismica è stata modellata tramite i coefficienti sismici:

$K_H = + 0,122$ (concorde alla direzione di scivolamento)

$K_V = \pm 0,061$ (verificando la più cautelativa tra le due direzioni)

L'analisi di stabilità globale è stata finalizzata all'individuazione delle superfici di rottura tali da intercettare il corpo del rilevato ed il terreno di base sottostante. Tra esse, è definita critica quella a cui corrisponde il fattore di sicurezza FS minimo.

Di seguito i risultati delle analisi e le immagini del modello con l'individuazione della superficie di scorrimento più critica.

Condizione statica $FS = 1,112 > 1,10$

Condizione sismica $FS = 1,358 > 1,20$

Le verifiche risultano soddisfatte.

Color	Name	Model	Unit Weight (kNm ³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)
■	MURO	High Strength	25		
■	PACCHETTO STRADALE (A2)	Mohr-Coulomb	28.6	0	35
■	RILEVATO STRADALE	Mohr-Coulomb	19	0	35
■	TERRENO DI FONDAZIONE	Mohr-Coulomb	20	0	34

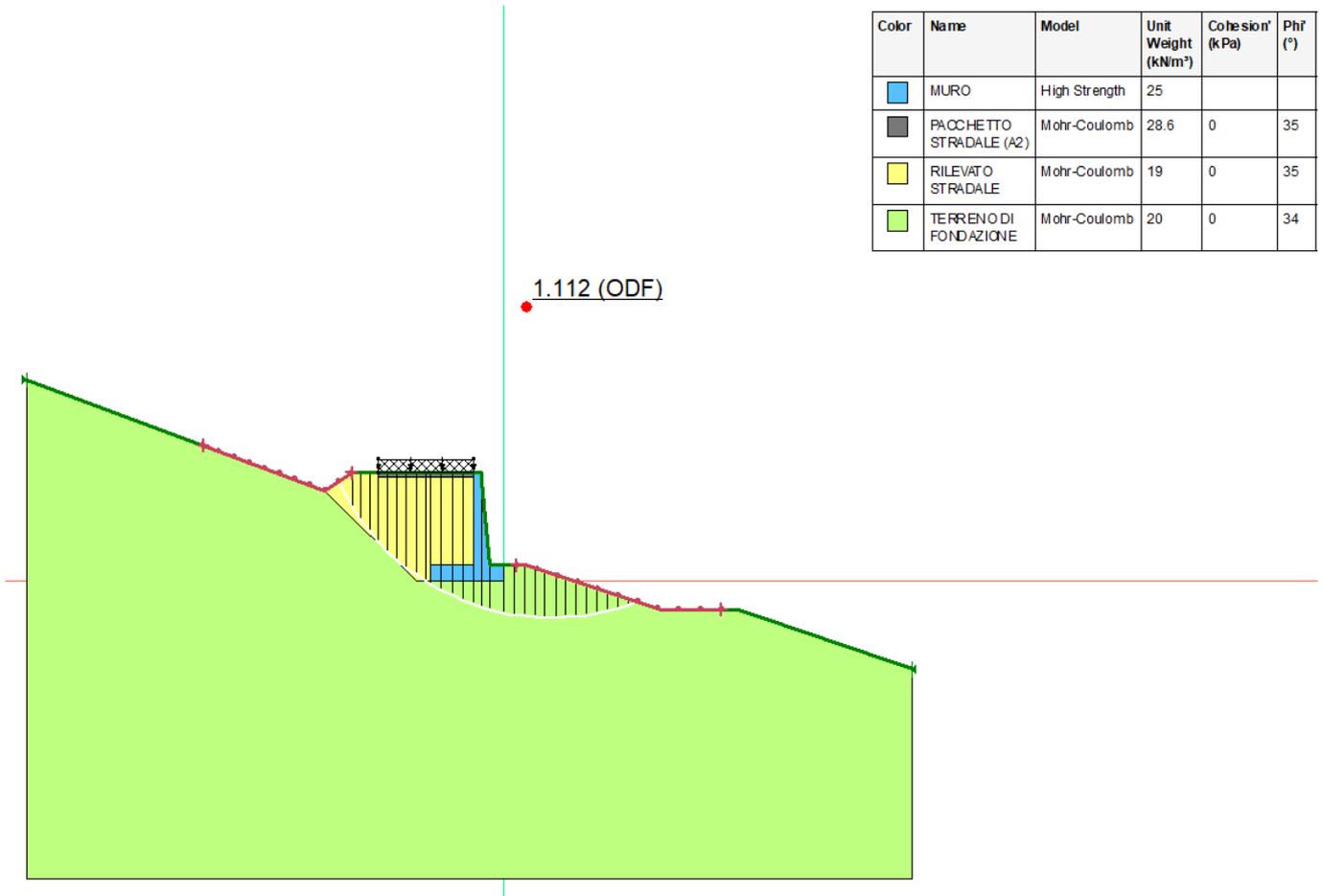


Figura 7.11 Verifica di stabilità del muro in condizioni statiche

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m ³)	Cohesion (kPa)	Phi (°)
■	MURO	High Strength	25		
■	PACCHETTO STRADALE	Mohr-Coulomb	22	0	35
■	RILEVATO STRADALE	Mohr-Coulomb	19	0	35
■	TERRENO DI FONDAZIONE	Mohr-Coulomb	20	0	34

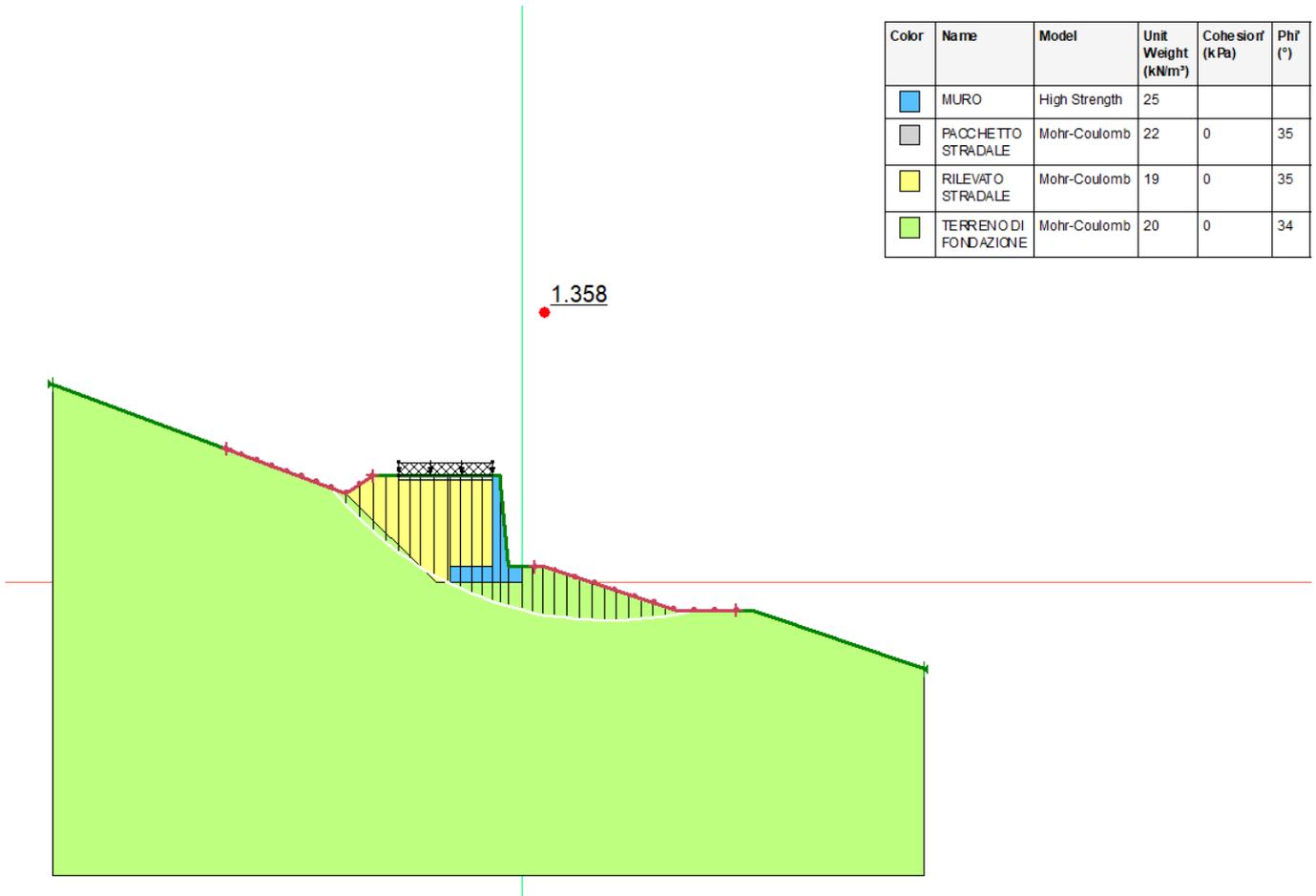


Figura 7.12 Verifica di stabilità del muro in condizioni sismiche (sisma verticale positivo)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO					
	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO LOTTO 2	COMMESSA IROF	LOTTO 02R	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0050001	REV. A	FOGLIO 36 di 47

7.3.4 MODELLO DI CALCOLO ID4 – RISULTATI ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE

Si analizza la sezione di muro TM-C più rappresentativa.

Per la sezione di calcolo in oggetto si considera la seguente stratigrafia e parametrizzazione geotecnica.

Strato	profondità	Descrizione	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	c_u (kPa)
1	-	Ballast	18.0	0	38	-
2	-	Rilevato ferroviario	20.0	0	38	-
3	-	Scogliera	18.0	0	42	-
4	-	Deposito granulare ghiaioso (terreno di fondazione)	20.0	0	34	-

Tabella 7-4: Stratigrafia di riferimento e parametri geotecnici adottati

Non avendo specifici sondaggi in prossimità dell'opera, si considera cautelativamente che i pali siano all'interno del terreno di fondazione per tutta la loro lunghezza e non intercettano il substrato roccioso.

Per i pali si considera una resistenza al taglio di progetto di 1000 kN, corrispondente ad un palo armato a taglio con spirale $\phi 12/25$. Questi vengono modellati in Geoslope mediante l'elemento "pile".

L'armamento ferroviario è stato schematizzato per mezzo di un'area rettangolare ("region") a cui sono state attribuite le caratteristiche del ballast sopra riportate. Tale scelta è volta ad evitare l'insorgenza di problematiche riscontrate nel software di calcolo Slope/W nel momento in cui si introduce nella modellazione un doppio carico (armamento e traffico ferroviario) agente su una medesima area di impronta. Il carico in esame è di tipo permanente sfavorevole, pertanto in accordo al coefficiente parziale sulle azioni A2, nell'analisi in condizioni statiche il valore di calcolo del peso per unità di volume è stato assunto pari a:

$$\gamma_{(Ballast)}^* = \gamma_{(Ballast)} \times \gamma_{G(A2)} = 18 \text{ kN/m}^3 \times 1.3 = 23.4 \text{ kN/m}^3$$

Il carico da traffico ferroviario (q), assunto pari a 71.5 kPa, è stato modellato come un carico distribuito applicato su una fascia di larghezza pari a 2.4 m, in corrispondenza di ogni traversina. Tale sovraccarico è di tipo variabile/sfavorevole pertanto, in accordo al coefficiente parziale sulle azioni A2 il valore di calcolo è stato assunto pari a:

$$q_{d2} = q_{k2} \times \gamma_{q(A2)} = 71,5 \text{ kPa} \times 1.25 = 89,375 \text{ kPa}.$$

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA</p>												
<p>RELAZIONE DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO LOTTO 2</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IROF</td> <td>02R</td> <td>CL</td> <td>RI0050001</td> <td>A</td> <td>37 di 47</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IROF	02R	CL	RI0050001	A	37 di 47
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IROF	02R	CL	RI0050001	A	37 di 47								

L'analisi di stabilità globale in campo sismico è stata condotta assumendo i carichi e i parametri geotecnici caratteristici.

Il sovraccarico (q) è stato moltiplicato per un coefficiente di combinazione $\psi=0.2$, pertanto:

$$q_{d2} = 0.2q_{k2} = 14.3 \text{ kPa.}$$

In accordo a quanto riportato in precedenza, la forza sismica è stata modellata tramite i coefficienti sismici:

$$K_H = + 0,122 \text{ (concorde alla direzione di scivolamento)}$$

$$K_V = \pm 0,061 \text{ (verificando la più cautelativa tra le due direzioni)}$$

L'analisi di stabilità globale è stata finalizzata all'individuazione delle superfici di rottura tali da intercettare il corpo del rilevato ed il terreno di base sottostante. Tra esse, è definita critica quella a cui corrisponde il fattore di sicurezza FS minimo.

Di seguito i risultati delle analisi e le immagini del modello con l'individuazione della superficie di scorrimento più critica.

Condizione statica $FS = 1,331 > 1,10$

Condizione sismica $FS = 1,387 > 1,20$

Le verifiche risultano soddisfatte.

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Strength Function	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
■	BALLAST	Mohr-Coulomb	23.4		0	38	0	1
■	MURO	High Strength	25					1
■	RILEVATO	Mohr-Coulomb	20		0	38	0	1
■	ROCCIA CALCARE	Shear/Normal Fn.	25	HOEK-BROWN			0	1
■	SCOGUERA	Mohr-Coulomb	18		0	42	0	1
■	TERRENO DI FONDAZIONE	Mohr-Coulomb	20		0	34	0	1
■	TERRENO DI FONDAZIONE (2)	Mohr-Coulomb	20		0	40	0	1

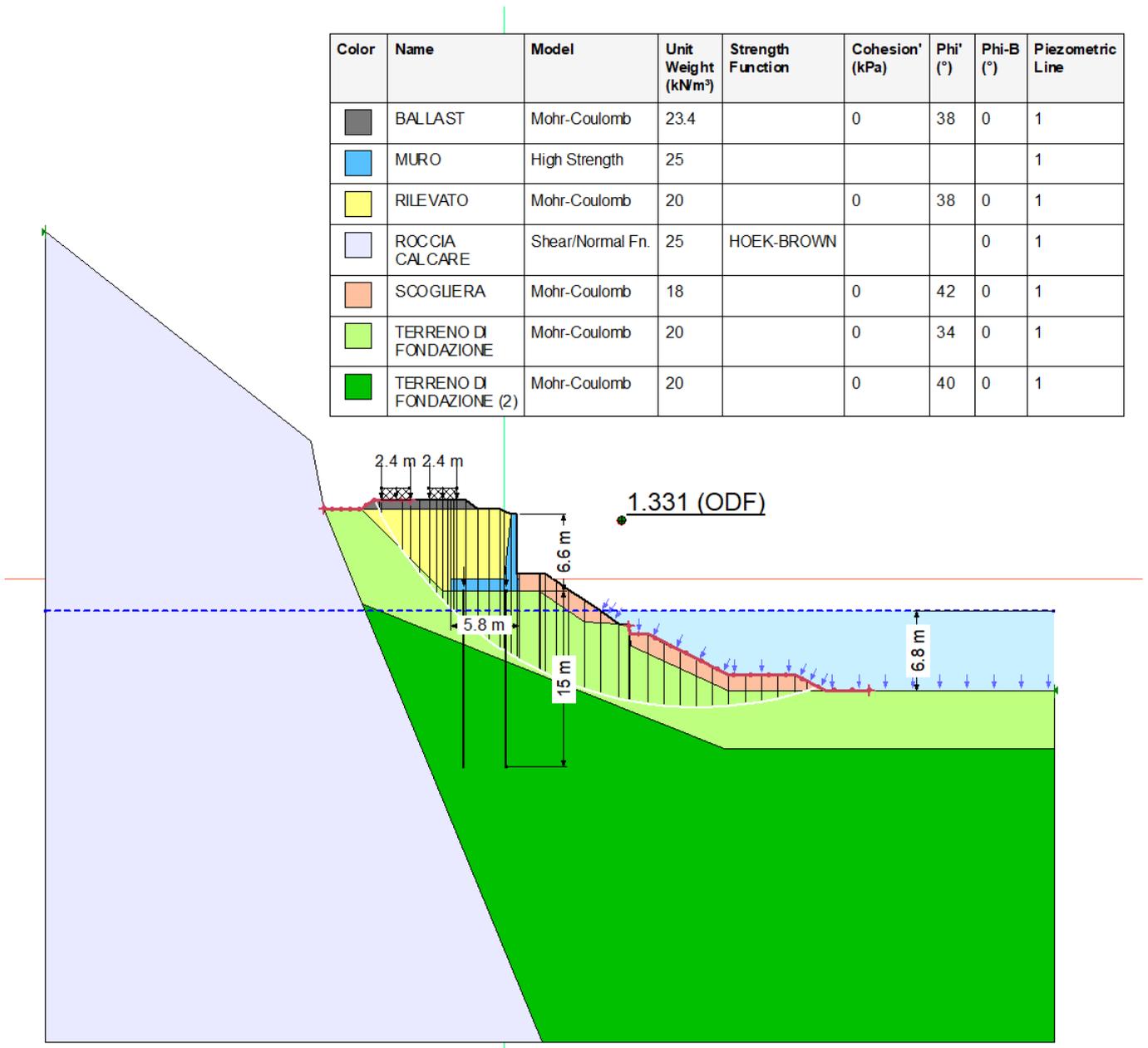


Figura 7.13 Verifica di stabilità del muro in condizioni statiche

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Function	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
Grey	BALLAST,k	Mohr-Coulomb	18		0	38	0	1
Blue	MURO	High Strength	25					1
Yellow	RILEVATO	Mohr-Coulomb	20		0	38	0	1
Light Blue	ROCCIA CALCARE	Shear/Normal Fn.	25	HOEK-BROWN			0	1
Orange	SCOGLIERA	Mohr-Coulomb	18		0	42	0	1
Light Green	TERRENO DI FONDAZIONE	Mohr-Coulomb	20		0	34	0	1
Dark Green	TERRENO DI FONDAZIONE (2)	Mohr-Coulomb	20		0	40	0	1

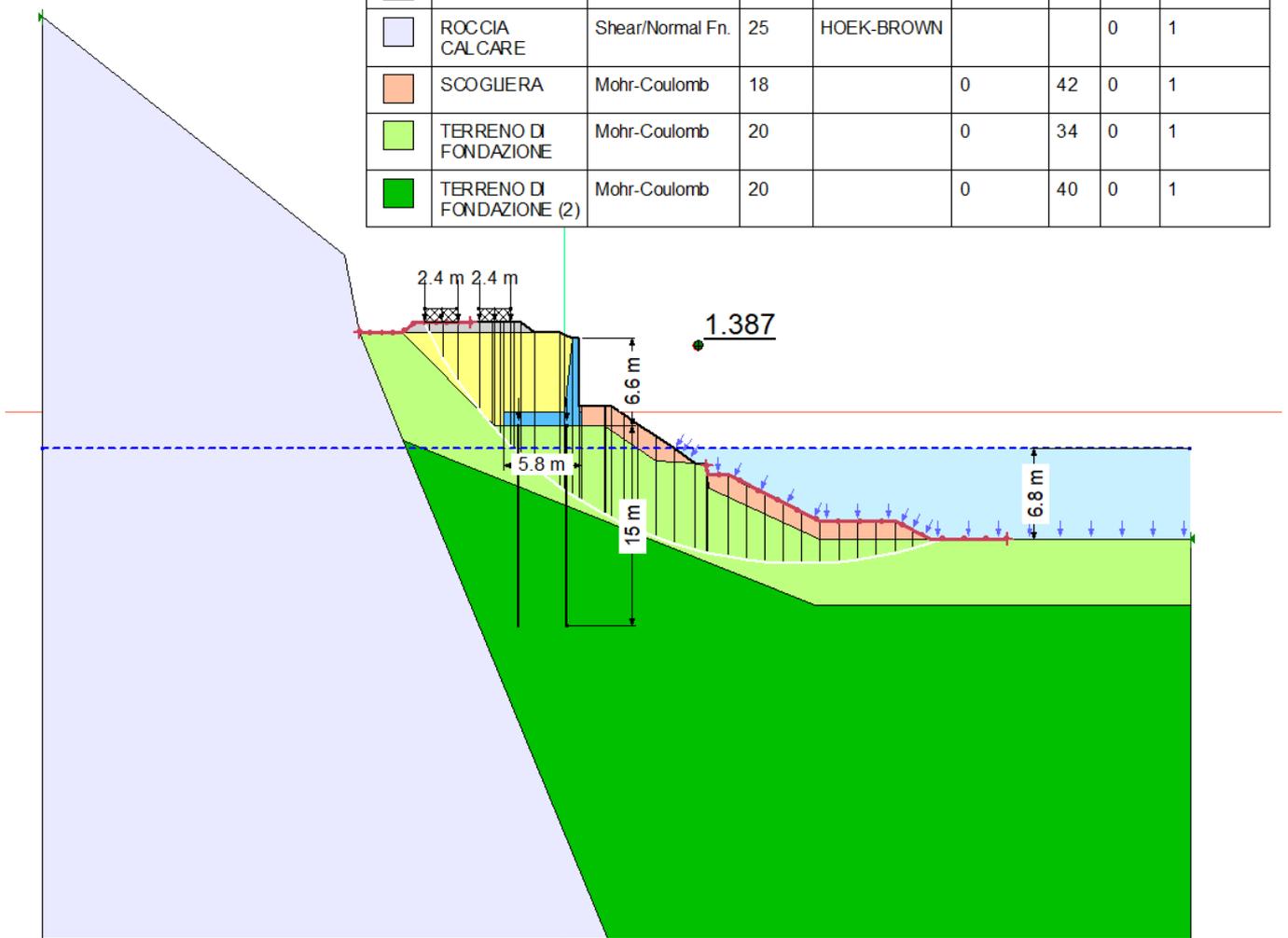


Figura 7.14 Verifica di stabilità del muro in condizioni sismiche (sisma verticale positivo)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO					
	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO LOTTO 2	COMMESSA IROF	LOTTO 02R	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0050001	REV. A	FOGLIO 40 di 47

7.3.5 MODELLO DI CALCOLO ID5 – RISULTATI ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE

Si analizza la sezione di muro TM-G più rappresentativa.

Per la sezione di calcolo in oggetto si considera la seguente stratigrafia e parametrizzazione geotecnica.

Strato	profondità	Descrizione	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	c_u (kPa)
1	-	Ballast	18.0	0	38	-
2	-	Rilevato ferroviario	20.0	0	38	-
3	-	Deposito granulare sabbioso (terreno di fondazione)	20.0	0	32	-

Tabella 7-5: Stratigrafia di riferimento e parametri geotecnici adottati

L'armamento ferroviario è stato schematizzato per mezzo di un'area rettangolare ("region") a cui sono state attribuite le caratteristiche del ballast sopra riportate. Tale scelta è volta ad evitare l'insorgenza di problematiche riscontrate nel software di calcolo Slope/W nel momento in cui si introduce nella modellazione un doppio carico (armamento e traffico ferroviario) agente su una medesima area di impronta. Il carico in esame è di tipo permanente sfavorevole, pertanto in accordo al coefficiente parziale sulle azioni A2, nell'analisi in condizioni statiche il valore di calcolo del peso per unità di volume è stato assunto pari a:

$$\gamma_{(Ballast)}^* = \gamma_{(Ballast)} \times \gamma_{G(A2)} = 18 \text{ kN/m}^3 \times 1.3 = 23.4 \text{ kN/m}^3$$

Il carico da traffico ferroviario (q), assunto pari a 71.5 kPa, è stato modellato come un carico distribuito applicato su una fascia di larghezza pari a 2.4 m, in corrispondenza di ogni traversina. Tale sovraccarico è di tipo variabile/sfavorevole pertanto, in accordo al coefficiente parziale sulle azioni A2 il valore di calcolo è stato assunto pari a:

$$q_{d2} = q_{k2} \times \gamma_{q(A2)} = 71,5 \text{ kPa} \times 1.25 = 89,375 \text{ kPa}.$$

L'analisi di stabilità globale in campo sismico è stata condotta assumendo i carichi e i parametri geotecnici caratteristici.

Il sovraccarico (q) è stato moltiplicato per un coefficiente di combinazione $\psi=0.2$, pertanto:

$$q_{d2} = 0.2q_{k2} = 14.3 \text{ kPa}.$$

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA</p>												
<p>RELAZIONE DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO LOTTO 2</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IROF</td> <td>02R</td> <td>CL</td> <td>RI0050001</td> <td>A</td> <td>41 di 47</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IROF	02R	CL	RI0050001	A	41 di 47
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IROF	02R	CL	RI0050001	A	41 di 47								

In accordo a quanto riportato in precedenza, la forza sismica è stata modellata tramite i coefficienti sismici:

$K_H = + 0,122$ (concorde alla direzione di scivolamento)

$K_V = \pm 0,061$ (verificando la più cautelativa tra le due direzioni)

L'analisi di stabilità globale è stata finalizzata all'individuazione delle superfici di rottura tali da intercettare il corpo del rilevato ed il terreno di base sottostante. Tra esse, è definita critica quella a cui corrisponde il fattore di sicurezza FS minimo.

Di seguito i risultati delle analisi e le immagini del modello con l'individuazione della superficie di scorrimento più critica.

Condizione statica $FS = 1,422 > 1,10$

Condizione sismica $FS = 1,773 > 1,20$

Le verifiche risultano soddisfatte.

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m ³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
	BALLAST	Mohr-Coulomb	23.4	0	38	0
	MURO	High Strength	25			
	RILEVATO FERROVIARIO	Mohr-Coulomb	20	0	38	0
	TERRENO DI FONDAZIONE	Mohr-Coulomb	20	0	32	0

1.422 (ODF)

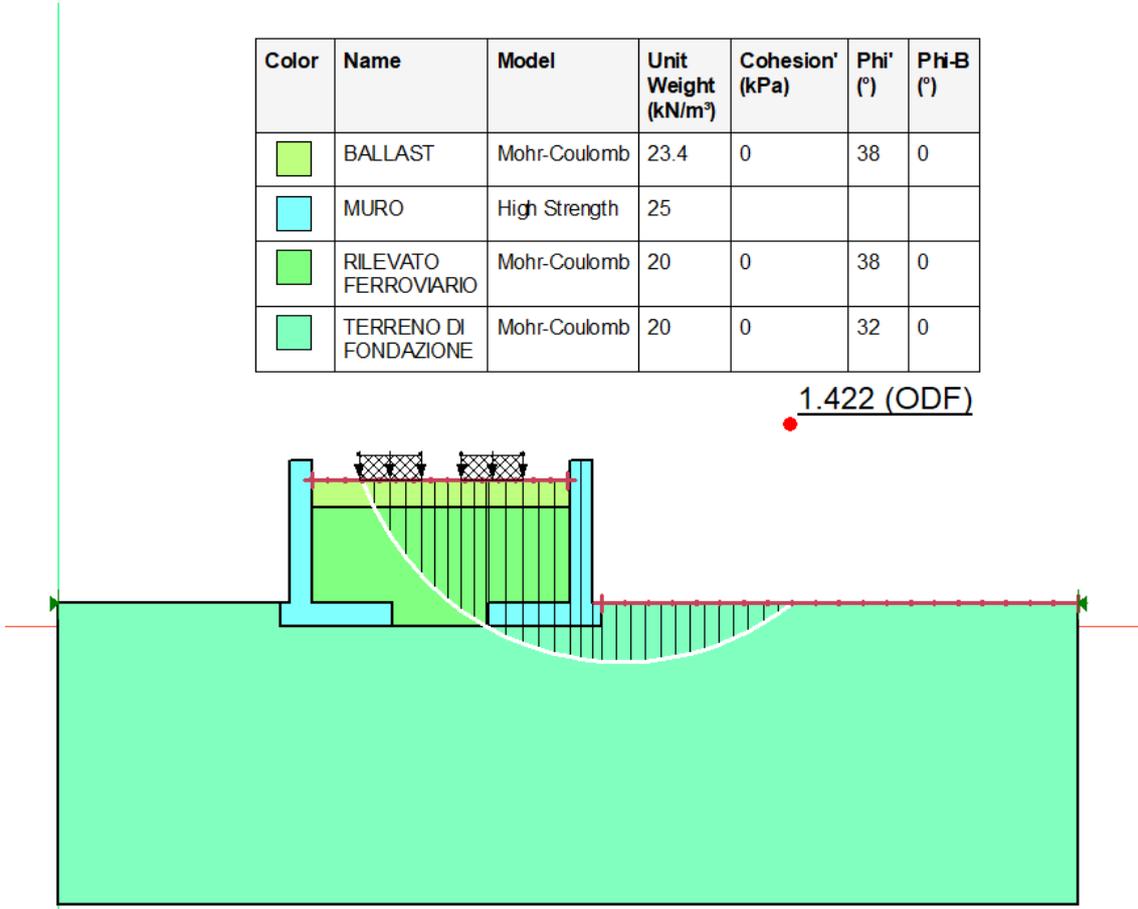


Figura 7.15 Verifica di stabilità del muro in condizioni statiche

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m ³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
	BALLAST,k	Mohr-Coulomb	18	0	38	0
	MURO	High Strength	25			
	RILEVATO FERROVIARIO	Mohr-Coulomb	20	0	38	0
	TERRENO DI FONDAZIONE	Mohr-Coulomb	20	0	32	0

1.773

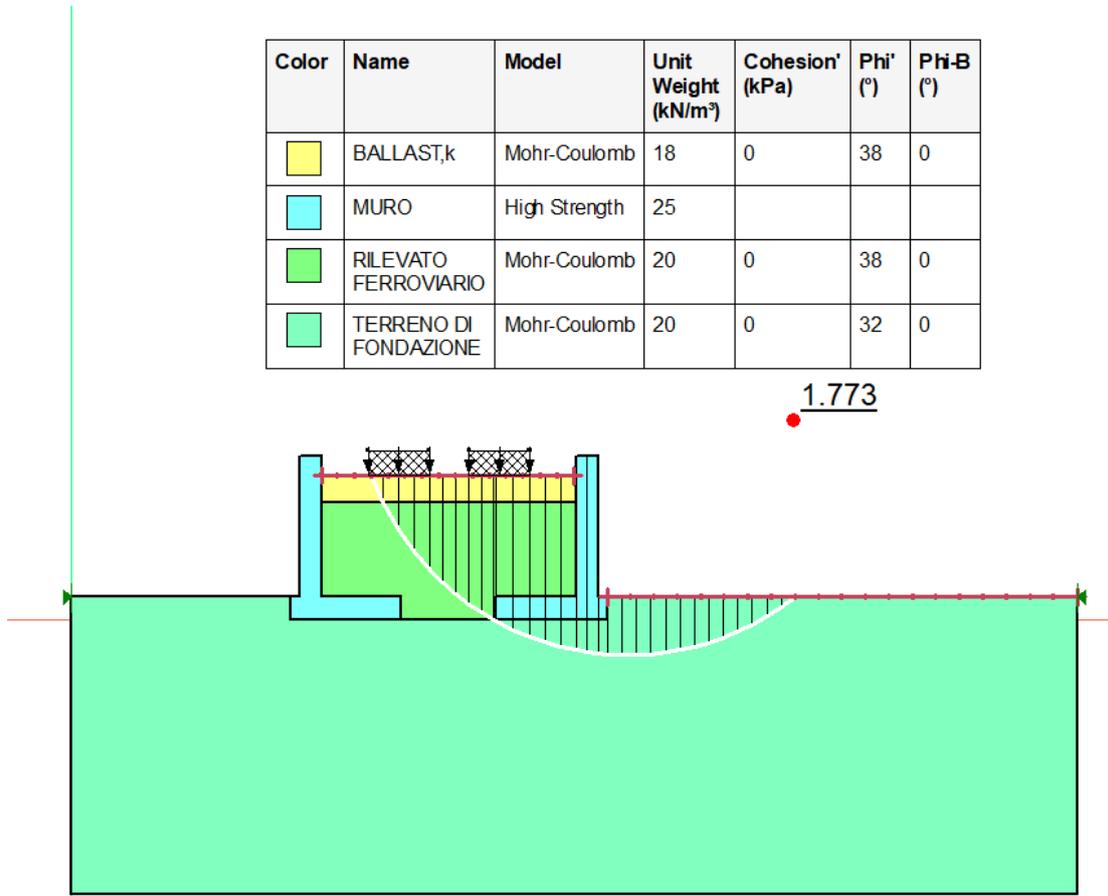


Figura 7.16 Verifica di stabilità del muro in condizioni sismiche (sisma verticale positivo)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO					
	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO LOTTO 2	COMMESSA IROF	LOTTO 02R	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0050001	REV. A	FOGLIO 44 di 47

7.3.6 MODELLO DI CALCOLO ID6 – RISULTATI ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE

Si analizza la sezione di muro TM-H più rappresentativa.

Per la sezione di calcolo in oggetto si considera cautelativamente la seguente stratigrafia e parametrizzazione geotecnica.

Strato	profondità	Descrizione	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	c_u (kPa)
1	-	Pacchetto stradale	22.0	0	35	-
2	-	Rilevato stradale	19.0	0	35	-
3	-	Deposito granulare ghiaioso (terreno di fondazione)	20.0	0	34	-

Tabella 7-6: Stratigrafia di riferimento e parametri geotecnici adottati

Si considera cautelativamente che i pali siano all'interno del terreno di fondazione per tutta la loro lunghezza e non intercettino il substrato roccioso.

Per i pali si considera una resistenza al taglio di progetto di 1005 kN, corrispondente ad un palo armato a taglio con spirale $\phi 14/15$. Questi vengono modellati in Geoslope mediante l'elemento "pile".

Per quanto riguarda i tiranti attivi, essi sono stati modellati mediante l'elemento "anchor" assegnando i seguenti parametri:

Resistenza a trazione trefoli	$F_{yk} = 835 \text{ kN}$
Fattore di riduzione a trazione	$\gamma_m = 1.15$
Diametro di aderenza ancoraggio	$D_e = 240 \text{ mm}$
Lunghezza di ancoraggio	$L_e = 12 \text{ m}$
Tensione di aderenza	$\tau_{lim} = 400 \text{ kPa}$ (in roccia calcarea)
Fattore di riduzione a sfilamento	$\gamma_R = 2.16$ (1.80x1.20)
Interasse orizzontale ancoraggi	$i = 1.7 \text{ m}$

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA</p>												
<p>RELAZIONE DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO LOTTO 2</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IROF</td> <td>02R</td> <td>CL</td> <td>RI0050001</td> <td>A</td> <td>45 di 47</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IROF	02R	CL	RI0050001	A	45 di 47
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IROF	02R	CL	RI0050001	A	45 di 47								

Preliminarmente, il valore di aderenza bulbo-roccia è stato assunto sulla base delle indicazioni fornite in letteratura [DC1]. Tale valore è da intendersi cautelativo e comunque congruente con i valori di resistenza a compressione monoassiale della roccia ed i valori RQD riscontrati.

Il pacchetto stradale è stato schematizzato per mezzo di un'area rettangolare ("region") a cui sono state attribuite le caratteristiche sopra riportate. Tale scelta è volta ad evitare l'insorgenza di problematiche riscontrate nel software di calcolo Slope/W nel momento in cui si introduce nella modellazione un doppio carico (pacchetto stradale e traffico) agente su una medesima area di impronta. Il carico in esame è di tipo permanente sfavorevole, pertanto in accordo al coefficiente parziale sulle azioni A2, nell'analisi in condizioni statiche il valore di calcolo del peso per unità di volume è stato assunto pari a:

$$\gamma_{(\text{pacchetto})}^* = \gamma_{(\text{pacchetto})} \times \gamma_{G(A2)} = 22 \text{ kN/m}^3 \times 1.3 = 28.6 \text{ kN/m}^3$$

Il carico da traffico stradale (q), assunto pari a 20 kPa, è stato modellato come un carico distribuito applicato cautelativamente su una fascia di larghezza pari a 8.65 m. Tale sovraccarico è di tipo variabile/sfavorevole pertanto, in accordo al coefficiente parziale sulle azioni A2 il valore di calcolo è stato assunto pari a:

$$q_{d2} = q_{k2} \times \gamma_{q(A2)} = 20 \text{ kPa} \times 1.30 = 26 \text{ kPa}.$$

L'analisi di stabilità globale in campo sismico è stata condotta assumendo i carichi e i parametri geotecnici caratteristici.

Il sovraccarico (q) è stato moltiplicato per un coefficiente di combinazione $\psi=0.2$, pertanto:

$$q_{d2} = 0.2q_{k2} = 4 \text{ kPa}.$$

In accordo a quanto riportato in precedenza, la forza sismica è stata modellata tramite i coefficienti sismici:

$$K_H = + 0,122 \text{ (concorde alla direzione di scivolamento)}$$

$$K_V = \pm 0,061 \text{ (verificando la più cautelativa tra le due direzioni)}$$

L'analisi di stabilità globale è stata finalizzata all'individuazione delle superfici di rottura tali da intercettare il corpo del rilevato ed il terreno di base sottostante. Tra esse, è definita critica quella a cui corrisponde il fattore di sicurezza FS minimo.

Di seguito i risultati delle analisi e le immagini del modello con l'individuazione della superficie di scorrimento più critica.

Condizione statica $FS = 1,489 > 1,10$

Condizione sismica $FS = 1,508 > 1,20$

Le verifiche risultano soddisfatte.

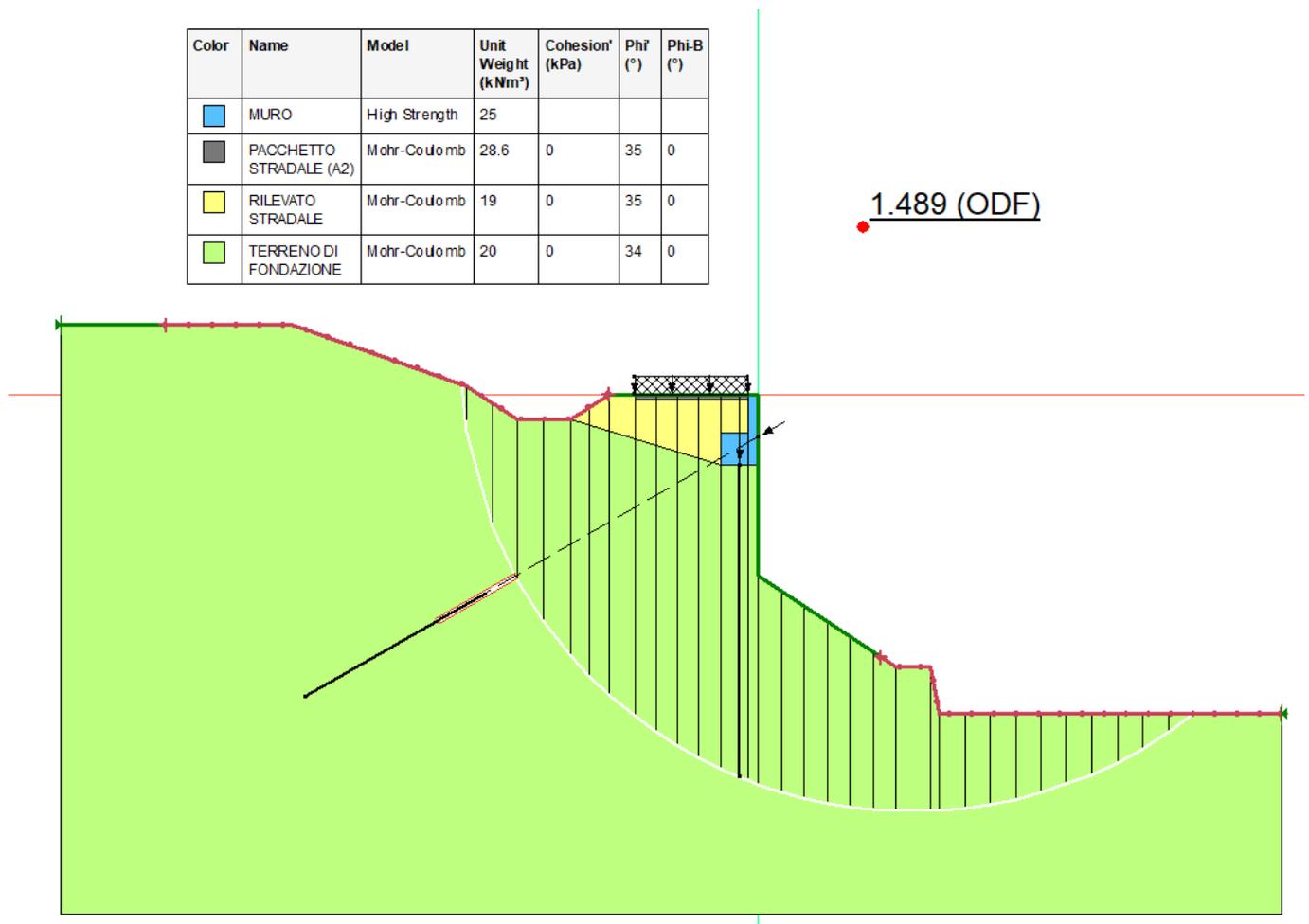


Figura 7.17 Verifica di stabilità del muro in condizioni statiche

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m ³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
■	MURO	High Strength	25			
■	PACCHETTO STRADALE	Mohr-Coulomb	22	0	35	0
■	RILEVATO STRADALE	Mohr-Coulomb	19	0	35	0
■	TERRENO DI FONDAZIONE	Mohr-Coulomb	20	0	34	0

1.508



Figura 7.18 Verifica di stabilità del muro in condizioni sismiche (sisma verticale positivo)