

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE:

Ing. Paolo Cucino

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO
Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche
Dot. Ing. Paolo Cucino
ISCRIZIONE ALBO N° 2216

PROGETTO ESECUTIVO

PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"

RELAZIONE

07 – PROGETTO DEPOSITI

DEPOSITI DEFINITIVI

C - PLATTNER

Relazione di stabilità e cedimenti versante

APPALTATORE		SCALA:
IL DIRETTORE TECNICO 		-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I B O U	1 B	E	Z Z	C L	R I O 3 4 0	0 0 2	B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	M.Ingianni	26/01/2022	A.Valente	27/01/2022	D.Buttafoco (Dolomiti)	28/01/2022	
B	Emissione a seguito di indicazioni Committenza	L. Di Vittorio	01/12/2022	P. Fontana	02/12/2022	D.Buttafoco (Dolomiti)	05/12/2022	

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 2 di 45

Sommario

1. PREMESSA	4
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	7
4. SOFTWARE	8
5. INQUADRAMENTO GENERALE	9
6. CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE	10
6.1 CRITERI GENERALI DI VERIFICA	10
6.2 VERIFICA DI SICUREZZA IN CAMPO STATICO.....	11
6.2.1 Stati limite ultimi (SLU).....	11
6.2.2 Stati limite esercizio (SLE)	12
6.3 VERIFICA DI SICUREZZA IN CAMPO SISMICO	12
6.3.1 Stati limite di riferimento per le verifiche sismiche	12
6.3.2 Stati limite ultimi (SLU).....	14
6.3.3 Stati limite di esercizio (SLE).....	14
7. DEFINIZIONE DELL’AZIONE SISMICA	15
7.1 VITA NOMINALE, COEFFICIENTE D’USO E PERIODO DI RIFERIMENTO	15
7.2 ACCELERAZIONE DI RIFERIMENTO SU SUOLO RIGIDO	15
7.3 RISPOSTA SISMICA LOCALE	17
7.4 AZIONI SISMICA EQUIVALENTE	19
8. CODICI DI CALCOLO E METODOLOGIE DI VERIFICA	20
8.1 CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI	20
8.1.1 Slide2	20
8.1.2 Plaxis 2D	20
8.2 METODOLOGIE DI VERIFICA ADOTTATE.....	21
8.2.1 Verifica di stabilità.....	21
8.2.2 Analisi dei cedimenti	21
9. CARATTERISTICHE GENERALI DELLA SEZIONE DI CALCOLO	22
9.1 DESCRIZIONE DELLA SEZIONE DI CALCOLO PER ANALISI DI STABILITA’ E DEI CEDIMENTI.	22
9.2 PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO	25

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatari:	SWS Engineering S.p.A. PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 - OPERE CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0340002	B	3 di 45

9.3	APPLICAZIONE DEI CARICHI.....	26
10.	ANALISI DI STABILITA	27
10.1.1	Sezione 1-1 – Verifiche in condizioni statiche e sismiche	27
10.1.2	Sezione 2-2 – Verifiche in condizioni statiche e sismiche	32
11.	ANALISI DEI CEDIMENTI.....	37
11.1.1	Modello di calcolo	37
11.1.2	Risultati.....	41
12.	ALLEGATI.....	45

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST					
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 4 di 45

1. PREMESSA

Il progetto in esame riguarda l'asse ferroviario Monaco – Verona, accesso sud alla galleria di base del Brennero e in particolare il quadruplicamento della linea Fortezza – Verona (linea Fortezza – Ponte Gardena - Lotto 1A).

Nell'ambito di tale progetto si prevede anche la sistemazione dei depositi comunemente indicati come depositi in Val Riga. Tali depositi sono stati definiti come: deposito Forch I e Forch II, deposito Plattner e deposito di Hinterrigger. Per il deposito di Forch I e II si prevede uno sfruttamento nella prima fase del progetto per cavare il materiale utile alle lavorazioni e in seconda fase si prevede il ripristino e la sistemazione dell'area mediante un rinterro per recuperare la quota topografica; nel deposito di Hinterrigger si prevede l'abbancamento al di sopra di un precedente abbancamento realizzato da BBT; per tutti gli altri depositi si prevede un abbancamento direttamente sulla attuale superficie topografica previo uno scotico di 50cm, i primi 30cm di terreno vegetale proveniente dalle operazioni di scotico verrà utilizzato per ricoprire al termine dei lavori l'abbancamento stesso.

Il presente elaborato, redatto ai sensi del D.M. 14/01/2008, ha per oggetto l'analisi di stabilità delle scarpate definitive realizzate per la sistemazione finale del Deposito Plattner, oltre che la stima dei cedimenti indotti dal rilevato al piede dello stesso.

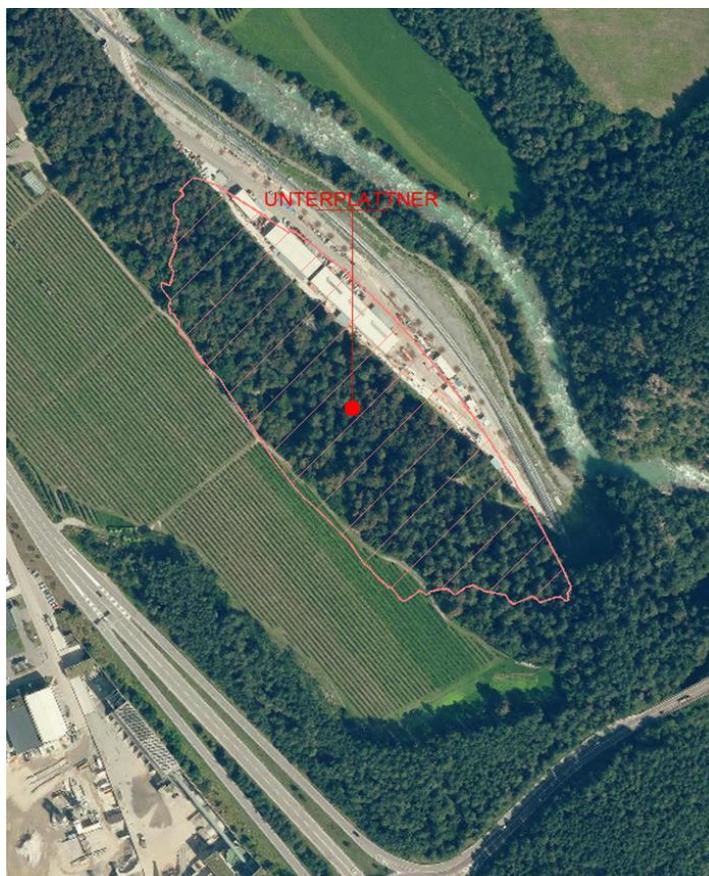


Figura 1-1 - Ubicazione dei depositi all'interno del territorio del Comune di Varna

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> <u>Mandanti:</u> SWS Engineering S.p.A. PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">COMMESSA</th> <th style="text-align: left;">LOTTO</th> <th style="text-align: left;">CODIFICA</th> <th style="text-align: left;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: left;">REV.</th> <th style="text-align: left;">FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">IBOU</td> <td style="text-align: center;">1BEZZ</td> <td style="text-align: center;">CL</td> <td style="text-align: center;">RI0340002</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">5 di 45</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	RI0340002	B	5 di 45
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1BEZZ	CL	RI0340002	B	5 di 45													
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante																		

Nella relazione sono descritti i criteri di verifica redatte ai sensi del D.M. 14/01/2008 nonché i risultati ottenuti. Il documento è così articolato:

- Nei Cap.2, 3 e 4 si riportano la normativa, i documenti di riferimento citati nel testo ed i software utilizzati.
- Nel Cap.5 si riporta l'inquadramento generale dell'opera in questione.
- nel Cap.6 si descrivono i criteri generali di progettazione in accordo alla Normativa vigente (Doc. Rif. [1] e Rif. [2]).
- Nel Cap. 7 si definisce l'azione sismica di progetto.
- Nel Cap. 8 si descrivono i codici di calcolo adottati ed i criteri di verifica.
- Nel Cap.9 si riporta la descrizione del versante da un punto di vista geometrico e dal punto di vista stratigrafico e geotecnico.
- Nel Cap. 10 e 11 sono invece riportate le descrizioni delle verifiche di stabilità e cedimenti condotte e i risultati ottenuti.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> <u>Mandanti:</u> SWS Engineering S.p.A. PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria							<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>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>RI0340002</td> <td>B</td> <td>6 di 45</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1BEZZ	CL	RI0340002	B	6 di 45													
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante																		

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Si riportano nel seguito le leggi ed i regolamenti cui si è fatto riferimento nella progettazione delle opere trattate in questa relazione:

Rif. [1] Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008: "Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", G.U. n.29 del 04.2.2008, Supplemento Ordinario n.30.

Rif. [2] Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

Rif. [3] UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.

Rif. [4] UNI EN 1998-5: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 7 di 45

3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Sono stati utilizzati come input per il presente documento i seguenti elaborati:

- Rif. [5] Tratta Fortezza-Ponte Gardena - Lotto 1 - Progetto Definitivo di dettaglio - Geotecnica dei tratti all'aperto – Relazione geotecnica dei tratti all'aperto - IBL110D11RBGE0005001;
- Rif. [6] Tratta Fortezza-Ponte Gardena – Lotto 1 - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – C - Plattner – Relazione tecnico-descrittiva– IBOU1BEZZCLRI0340001B;
- Rif. [7] Tratta Fortezza-Ponte Gardena – Lotto 1 - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – C - Plattner – Relazione geotecnica – IBOU1BEZZCLRI0340004A;
- Rif. [8] Tratta Fortezza-Ponte Gardena – Lotto 1 - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – C - Plattner – Relazione di monitoraggio – IBOU1BEZZRHRI0340002A;
- Rif. [9] Tratta Fortezza-Ponte Gardena – Lotto 1 - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – C - Plattner – Relazione idraulica e opere di difesa (smaltimento acque) – IBOU1BEZZCLRI0340003B;
- Rif. [10] Tratta Fortezza-Ponte Gardena – Lotto 1 - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – C - Plattner – Relazione di rispondenza tecnico-funzionale del PE, comparativa con PD e di ottemperanza alle prescrizioni – IBOU1BEZZRHRI0340001B;
- Rif. [11] Tratta Fortezza-Ponte Gardena – Lotto 1 - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – C - Plattner – Planimetria stato di fatto – IBOU1BEZZP7RI0340001B;
- Rif. [12] Tratta Fortezza-Ponte Gardena – Lotto 1 - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – C - Plattner – Planimetria di progetto fase finale – IBOU1BEZZP7RI0340002B;
- Rif. [13] Tratta Fortezza-Ponte Gardena – Lotto 1 - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – C - Plattner – Sezioni geotecniche – IBOU1BEZZWZRI0340002B;
- Rif. [14] Tratta Fortezza-Ponte Gardena – Lotto 1 - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – C - Plattner – Sezioni trasversali fase finale – IBOU1BEZZWZRI0340001B;
- Rif. [15] Tratta Fortezza-Ponte Gardena – Lotto 1 - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – C - Plattner – Planimetria sistema drenante superficiale – fase finale – IBOU1BEZZP7RI0340003B;
- Rif. [16] Tratta Fortezza-Ponte Gardena – Lotto 1 - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – C - Plattner – Particolari e dettagli realizzativi – IBOU1BEZZBBRI0340001B;
- Rif. [17] Tratta Fortezza-Ponte Gardena – Lotto 1 - Progetto Esecutivo - Progetto Depositi – Depositi definitivi – C - Plattner – Particolari opere idrauliche – opera di scarico – IBOU1BEZZBZRI0340001B;

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 8 di 45

4. SOFTWARE

- Slide2 – Rocscience V9.0;
- PLAXIS 2D V22.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> <u>Mandanti:</u> SWS Engineering S.p.A. PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">COMMESSA</th> <th style="text-align: center;">LOTTO</th> <th style="text-align: center;">CODIFICA</th> <th style="text-align: center;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: center;">REV.</th> <th style="text-align: center;">FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">IBOU</td> <td style="text-align: center;">1BEZZ</td> <td style="text-align: center;">CL</td> <td style="text-align: center;">RI0340002</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">9 di 45</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	RI0340002	B	9 di 45
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1BEZZ	CL	RI0340002	B	9 di 45													
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante																		

5. INQUADRAMENTO GENERALE

Per il deposito di Plattner, oggetto della presente relazione, si prevede l'abbancamento del materiale di scavo direttamente sulla superficie topografica previo scotico di 50cm (Rif. [12]).

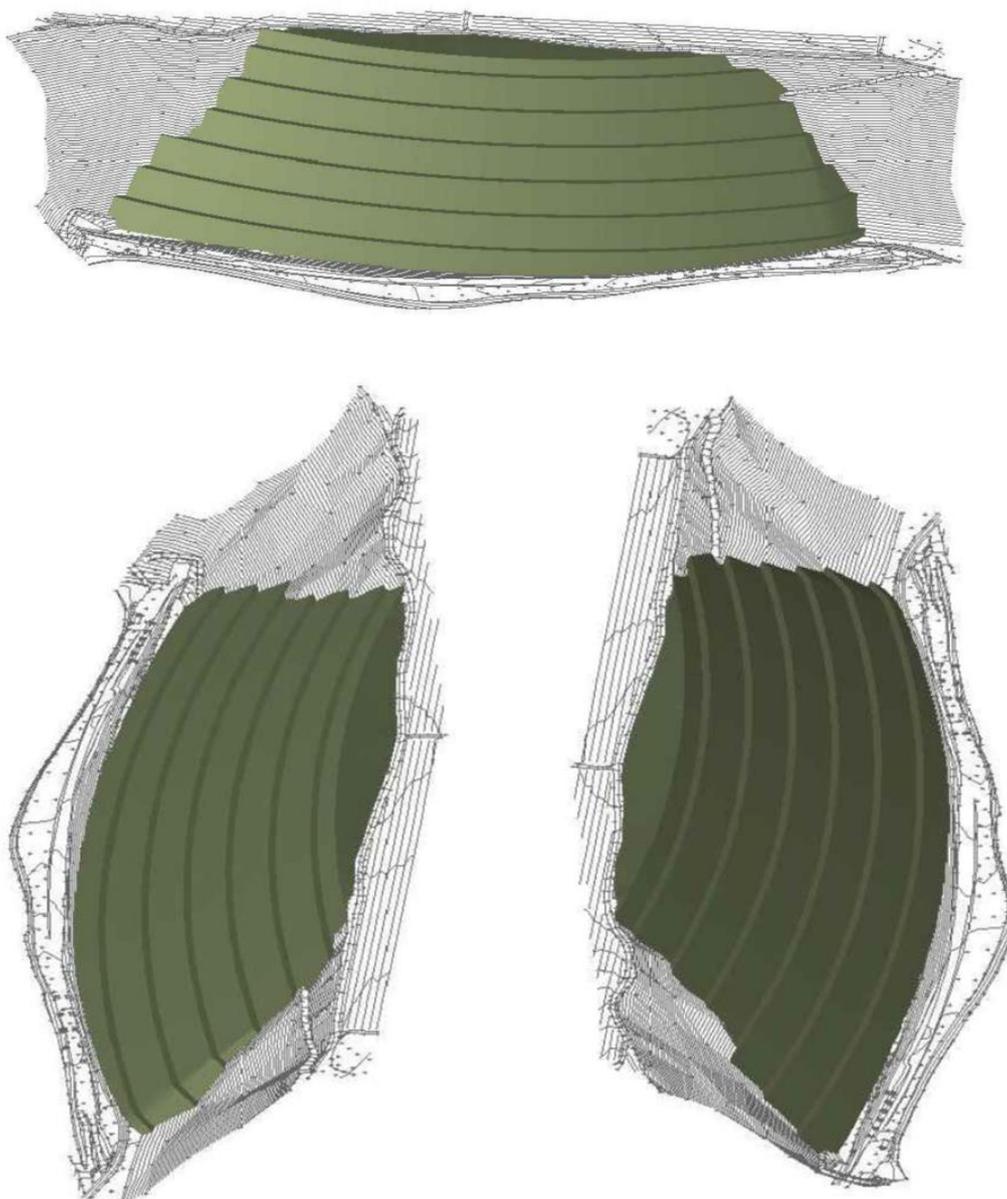


Figura 5-1 – Vista 3D fase finale di progetto del deposito di Plattner

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 10 di 45

6. CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE

6.1 CRITERI GENERALI DI VERIFICA

Per il versante devono essere svolte le seguenti verifiche di sicurezza e delle prestazioni attese (par. 6.2.3. del Doc. Rif. [1]):

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

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

$$E_d \leq R_d \quad (\text{Eq. 6.2.1 del Doc. Rif. [1]})$$

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, sull'effetto delle azioni, ossia sulle sollecitazioni prodotte dalle azioni caratteristiche (Par. 6.2.3.1 del Doc. Rif. [1]).

Per ogni Stato Limite d'Esercizio (SLE) deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq C_d \quad (\text{Eq. 6.2.7 del Doc. Rif. [1]})$$

dove:

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

C_d = valore limite prescritto dell'effetto delle azioni (definito Progettista Strutturale).

La verifica della condizione $E_d \leq C_d$ deve essere effettuata impiegando i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici dei materiali.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 11 di 45

6.2 VERIFICA DI SICUREZZA IN CAMPO STATICO

In base a quanto indicato dalle NTC 2008 le verifiche di sicurezza che devono essere condotte per opere costituite da materiali sciolti sono le seguenti.

6.2.1 Stati limite ultimi (SLU)

Le verifiche di stabilità in campo statico di opere in materiali sciolti, quali rilevati, devono essere eseguite secondo il seguente approccio (Par. 6.8.2 del Doc. Rif. [1]):

Approccio 1:

- Combinazione 2: A2 + M2 + R2

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati in Tabella 6-1, Tabella 6-2 e Tabella 6-3. La verifica di stabilità globale si ritiene soddisfatta se:

$$\frac{R_d}{E_d} \geq 1 \rightarrow \frac{1}{\gamma_R} \frac{R}{E_d} \geq 1 \rightarrow \frac{R}{E_d} \geq \gamma_R$$

essendo R resistenza globale del sistema (vedasi Par. C.6.8.6.2 del Doc. Rif. [2]), calcolata sulla base delle azioni di progetto, dei parametri di progetto e della geometria di progetto

$$R = R \left[\gamma_F \cdot F_k; \frac{X_k}{\gamma_m}; a_d \right]$$

La stabilità globale dell'insieme manufatto-terreno di fondazione deve essere studiata nelle condizioni corrispondenti alle diverse fasi costruttive ed al termine della costruzione.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G2}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3

Tabella 6-1: Coefficienti parziali sulle azioni (A1, A2 e EQU)

Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano completamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

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

Tabella 6-2: Coefficienti parziali sui terreni (M1 ed M2)

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 12 di 45

Coefficiente parziale	(R2)
γ_R	1.1

Tabella 6-3: Coefficienti parziali per le verifiche di stabilità globale (R2)

6.2.2 Stati limite esercizio (SLE)

La valutazione dei cedimenti dei rilevati dovuti alla deformazione dei terreni di fondazione è stata condotta allo stato limite d'esercizio.

6.3 VERIFICA DI SICUREZZA IN CAMPO SISMICO

6.3.1 Stati limite di riferimento per le verifiche sismiche

Le NTC-2008 (Doc. Rif. [1]) stabiliscono differenti Stati Limite (sia d'Esercizio che Ultimi) in funzione, in primo luogo, dell'importanza dell'opera mediante l'identificazione della Classe d'Uso e poi in funzione del danno conseguente ad un certo Stato Limite. In particolare si definiscono i seguenti Stati Limite di Esercizio e Ultimi, come riportato al par. 3.2.1 del Doc. Rif. [1]:

Stati Limite di Esercizio:

- Stato Limite di immediata Operatività SLO per le strutture ed apparecchiature che debbono restare operative a seguito dell'evento sismico. Tale stato limite non si applica per l'opera in oggetto.
- Stato Limite di Danno SLD definito come lo stato limite da rispettare per garantire la sostanziale integrità dell'opera ed il suo immediato utilizzo.

Stati Limite Ultimi (SLU):

- Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, SLV, definito come lo stato limite in cui la struttura subisce una significativa perdita della rigidità nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
- Stato Limite di Prevenzione del Collasso, SLC, stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali.

La Tabella 6-4 riporta, in funzione della classe d'uso della struttura, lo stato limite da considerare in funzione della verifica di sicurezza appropriata per l'opera (Tabella C7.1.I del Doc. Rif. [2]).

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST					
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 13 di 45

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

Tabella 6-4: Verifiche di sicurezza in funzione della Classe d'uso (Tab. C7.1.1, Doc. Rif. [2]).

Con riferimento all'opera in oggetto, e considerando quanto riportato al punto C7.1 del Doc. Rif. [2], le verifiche geotecniche in presenza di un evento sismico richiedono la verifica ai seguenti stati limite:

- Stato Limite Ultimo: SLV – Stato Limite di Salvaguardia della Vita (cui corrisponde una probabilità di superamento $P_{vr} = 10\%$ nel periodo V_r);
- Stato Limite Esercizio: SLD – Stato Limite di Danno (cui corrisponde una probabilità di superamento $P_{vr} = 63\%$ nel periodo V_r).

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 14 di 45

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

6.3.2 Stati limite ultimi (SLU)

Per tutte le verifiche, l'azione sismica di progetto deve essere valutata sulla base degli Stati Limite relativi all'opera da verificare (vedasi Tabella 6-4). Per l'opera in oggetto, come definito al §6.3.1, le verifiche agli Stati Limite Ultimi verranno condotte con riferimento allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV).

Le verifiche di sicurezza agli SLU in campo sismico devono contemplare almeno le medesime verifiche definite in campo statico. In particolare la stabilità globale in condizioni sismiche delle opere in materiali sciolti, quali rilevati, deve essere svolta secondo l'Approccio 1 – Combinazione 2.

Approccio 1:

- Combinazione 2: A2 + M2 + R2

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati di Tabella 6-1 e Tabella 6-2 e ponendo i coefficienti parziali sulle azioni tutti pari ad uno (vedasi Par.7.11.1 del Doc. Rif. [1]).

Le condizioni di stabilità del rilevato devono essere verificate affinché prima, durante e dopo il sisma la resistenza del sistema sia superiore alle azioni, ovvero gli spostamenti permanenti indotti dal sisma siano di entità tale da non pregiudicare le condizioni di sicurezza o di funzionalità delle strutture o infrastrutture medesime.

Come riportato al Par. 7.11.6.3.11 del Doc. Rif. [1] le verifiche possono essere condotte mediante metodi pseudo statici, metodi degli spostamenti e metodi di analisi dinamica

6.3.3 Stati limite di esercizio (SLE)

Data la tipologia di opera in esame, come già detto per le verifiche in campo statico, non si ritiene necessario effettuare verifiche agli stati limite di esercizio in quanto ritenute non significative.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 15 di 45

7. DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA

7.1 VITA NOMINALE, COEFFICIENTE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

La Vita Nominale VN di un'opera è intesa come il numero di anni in cui essa possa essere usata per lo scopo al quale è destinata, purché soggetta alla manutenzione ordinaria.

La Vita Nominale dei diversi tipi di opere è così definita dalle NTC2008:

- VN ≤ 10 anni, per opere provvisorie e opere provvisionali.
- VN ≥ 50 anni, per opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.
- VN ≥ 100 anni, per grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di importanza strategica.

Nel seguito, per le opere in esame, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si assumerà, in accordo alle NTC2008 una vita nominale pari a **VN = 50 anni**;

Con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche, le costruzioni sono suddivise dalle NTC2008 in classi d'uso, la cui appartenenza è stabilita sulla base dell'importanza dell'opera rispetto alle esigenze di operatività a valle di un evento sismico. In particolare alla Classe d'uso II (ossia ... omissis ... Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o Classe d'uso IV, salvo casi particolari per i quali sia necessaria la classe d'uso III o IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza ... omissis ...) si ha un coefficiente d'uso CU = 1.0.

Per le opere in progetto si è dunque assunto una classe d'uso II pertanto il coefficiente d'uso è pari a: CU = 1.

L'azione sismica di verifica delle opere viene definita in relazione ad un periodo di riferimento VR che si ricava, per ciascun tipo di opera, moltiplicandone la vita nominale VN per il coefficiente d'uso CU:

$$VR = VN \times CU$$

Per le opere in progetto risulta dunque periodo di riferimento pari a: VR = 50 x 1 = 50 anni

7.2 ACCELERAZIONE DI RIFERIMENTO SU SUOLO RIGIDO

In allegato al testo delle Norme Tecniche è presente una tabella nella quale i valori ag (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale), Fo (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e Tc* (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) vengono assegnati in corrispondenza di una griglia di punti distribuiti sull'intero territorio nazionale. I corrispondenti valori di pericolosità sismica situati in punti intermedi della griglia si otterranno per interpolazione sui quattro punti di griglia ad essi adiacenti.

In accordo alla georeferenziazione del sito, in Figura 7-2 si riporta, per il punto di interesse, la relativa localizzazione ed uno schema della posizione del punto rispetto ai nodi della griglia dei valori di pericolosità, ottenuto attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v. 1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (2009).

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 16 di 45

Si è scelto come punto di riferimento per la georeferenziazione necessaria per l'inquadramento sismico, il punto medio localizzato nel deposito in studio di cui in Figura 7-1.

Il risultato dell'interpolazione per i parametri a_g , F_0 e T_c^* è riportato in Tabella 7-1.

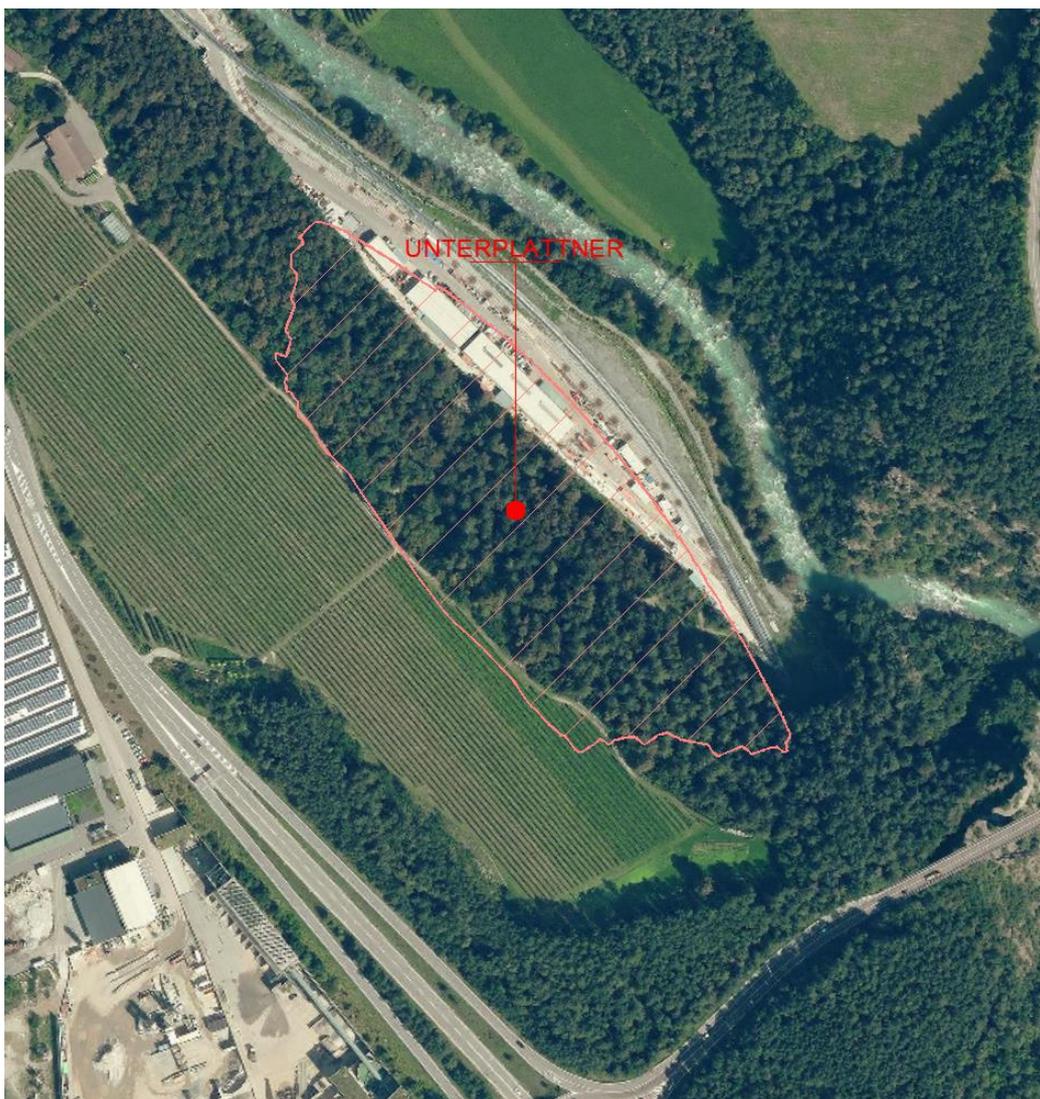


Figura 7-1 – Individuazione del sito di interesse di Unterplattner

La seguente tabella individua le coordinate del sito di interesse:

SITO	Latitudine	Longitudine
UNTERPLATTNER	46.7685	11.6425

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 17 di 45

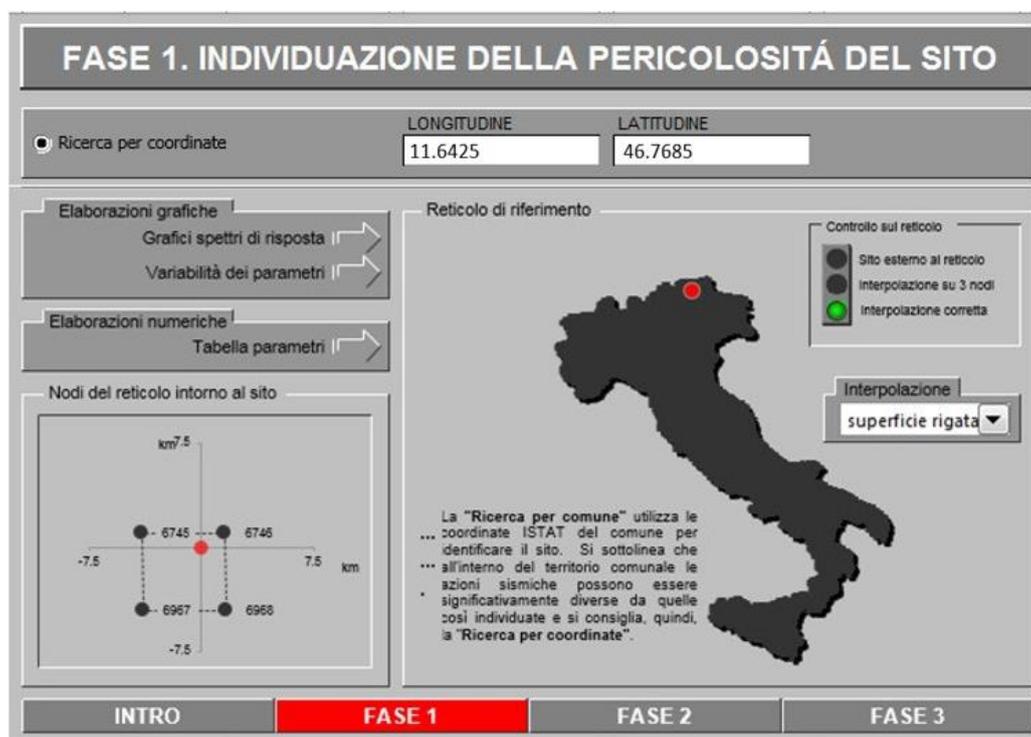


Figura 7-2 – Associazione dei punti di interesse, ai nodi della griglia di rappresentazione dei valori di pericolosità sismica secondo le tabelle allegate alle NTC2008.

SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_c^* (s)
SLO	30	0.017	2.546	0.144
SLD	50	0.021	2.473	0.185
SLV	475	0.049	2.559	0.355
SLC	975	0.059	2.689	0.387

Tabella 7-1: Valori dei parametri a_g , F_0 , T_c^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLPP (2009).

7.3 RISPOSTA SISMICA LOCALE

Per quanto riguarda l'amplificazione topografica, l'intervento in esame ricade nella categoria T4 (cioè si colloca in corrispondenza della cresta del rilievo) ed in accordo alla Tabella 3.2.IV - par.3.2.2. delle NTC2008, il fattore di amplificazione topografica da assumere è $ST=1.4$.

Per quanto riguarda l'amplificazione stratigrafica ed ai fini della definizione della categoria di sottosuolo, si è fatto riferimento al valore medio di resistenza penetrometrica dinamica N_{spt} nei primi 30 m di profondità, $N_{spt,30}$.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 18 di 45

Come riportato al paragrafo 6.1, i siti ricadono nella categoria di sottosuolo di tipo B, tuttavia, si è scelto cautelativamente di adottare per dimensionamento e verifiche la categoria di sottosuolo C.

Il coefficiente di amplificazione topografica è dunque pari a $S_s=1.500$ (vedi Figura 7-3).

L'amplificazione dell'azione sismica viene determinata, secondo le NTC2008, attraverso l'impiego di un fattore di sito S , funzione sia della categoria di sottosuolo (S_s) sopra determinata, sia dell'andamento della superficie topografica (S_T):

$$S = S_s \cdot S_T .$$

Per i depositi definitivi in val Riga, (categoria di sottosuolo C e categoria topografica T4) risulta dunque $S=1.500 \times 1.400=2.100$.

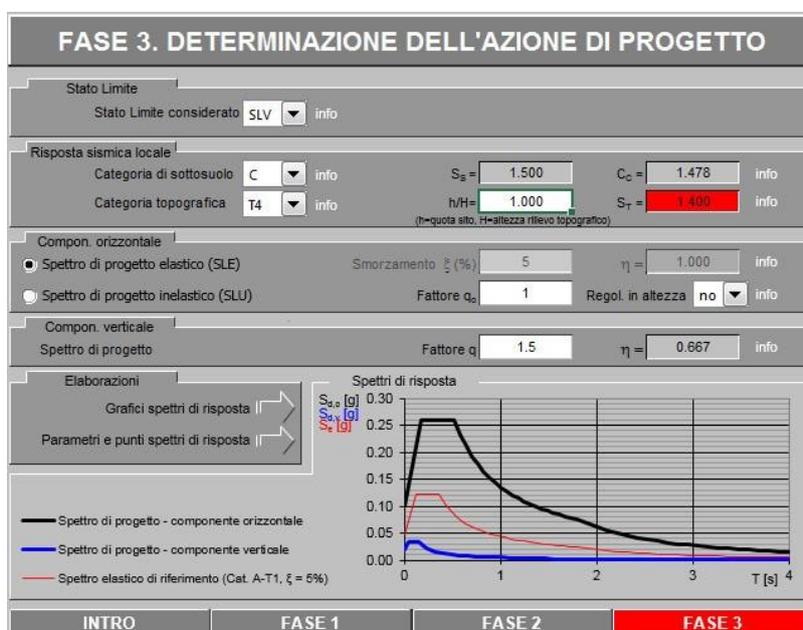


Figura 7-3 – Valutazione dei coefficienti di amplificazione Topografica S_s e Topografica S_T attraverso il foglio di calcolo Spettri- NTC ver.1.0.3.xls, CSLLPP (2009).

In Tabella 7-2 sono riportati i valori del fattore di sito S e dell'azione sismica di progetto a_{max} , data da $a_{max}=S a_g$ per i periodi di ritorno corrispondenti ai diversi stati limite.

SL	TR(anni)	a_g (g)	S (-)	a_{max} (g)
SLO	30	0.017	2.1	0.035
SLD	50	0.021	2.1	0.045
SLV	475	0.049	2.1	0.102
SLC	975	0.059	2.1	0.124

Tabella 7-2 - Valori dei parametri a_g , a_{max} , $S(-)$ per i periodi di ritorno TR di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTC ver.1.0.3.xls, CSLLPP (2009).

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 19 di 45

7.4 AZIONI SISMICA EQUIVALENTE

La verifica di stabilità globale va condotta mediante il metodo di analisi definito al Par. 7.11.3.5 delle NTC2008, inerente alla stabilità dei pendii.

Sulla base di quanto definito al Par.7.11.3.5.2 delle NTC2008, in mancanza di studi specifici, i coefficienti sismici k_h (orizzontale) e k_v (verticale) sono definiti come:

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

$$k_v = \pm k_h / 2$$

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito; per la **categoria di sottosuolo C** (Tabella 7-3) il coefficiente β_s da assumere è pari a 0.20 essendo il parametro a_g [g] riferito allo STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA tale che: a_g (g) < 0.1.

Per la **categoria di sottosuolo C** il coefficiente β_s da assumere è pari a 0.20 essendo il parametro a_g [g] riferito allo STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA tale che: a_g (g) < 0.1.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B,C,D,E
	β_s	β_s
$0.2 < a_g$ (g) < 0.4	0.30	0.28
$0.1 < a_g$ (g) < 0.2	0.27	0.24
a_g (g) < 0.1	0.20	0.20

Tabella 7-3: Coefficiente β_s

Con riferimento allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita, in accordo alle espressioni di cui sopra, si ottengono i seguenti coefficienti per la verifica di stabilità globale risulta dunque:

- $k_h = \beta_s a_{max} = 0.20 \times 0.102 = \mathbf{+0.0204}$
- $k_v = \pm k_h / 2 = \mathbf{\pm 0.0102}$

APPALTAZIONE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 20 di 45

8. CODICI DI CALCOLO E METODOLOGIE DI VERIFICA

8.1 CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI

8.1.1 Slide2

Slide2 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 Slide2 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.

8.1.2 Plaxis 2D

I calcoli sono stati effettuati con il programma agli elementi finiti Plaxis 2D, Versione 2022.

Il programma utilizzato è un codice agli elementi finiti che permette di tenere conto del comportamento elastoplastico del terreno seguendo contemporaneamente, per passi successivi, la variazione di stato tensionale e deformativo nei vari punti del mezzo considerato e degli elementi strutturali collegati, considerando, inoltre, l'influenza delle fasi costruttive dell'opera indagata.

È utilizzabile per eseguire analisi di stabilità e di deformazione nell'ambito di molteplici applicazioni geotecniche. Esso fa uso di una interfaccia grafica che consente all'utente di costruire un modello geometrico e di generare un reticolo di elementi finiti, a partire da una sezione trasversale rappresentativa del problema.

Il terreno è schematizzato mediante un insieme di elementi finiti a forma triangolare a quindici nodi che forniscono una distribuzione cubica delle tensioni e delle deformazioni all'interno di ciascun elemento (essendo polinomi del 4° ordine le funzioni di forma interpolanti il campo degli spostamenti); di conseguenza il programma individua con accuratezza campi di tensione e di deformazione complessi anche con un limitato numero di elementi.

Per effettuare un'analisi agli elementi finiti attraverso PLAXIS, si deve creare un modello agli elementi finiti opportunamente discretizzato, specificare le proprietà dei terreni e dei materiali coinvolti, imporre le condizioni al contorno e le fasi esecutive che interessano l'opera.

In generale, i dati principali richiesti dal programma sono:

- geometria del problema (coordinate dei vertici di quadrilateri che vengono poi suddivisi in triangoli a 15 nodi, posizione di elementi plate, truss, geotessili, molle elastoplastiche, vincoli, falda);
- modello costitutivo adottato per i terreni presenti e relative proprietà meccaniche. Tipicamente vengono richiesti:
 - γ = peso totale dell'unità di volume del terreno,
 - ϕ' = angolo d'attrito interno,
 - c' = coesione,
 - E' = modulo di Young,
 - ν = coefficiente di Poisson.
- altri parametri dipendenti dal modello costitutivo adottato;
- tipo di comportamento (drenato o non drenato);

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 21 di 45

- caratteristiche degli elementi strutturali impiegati:
 - EJ ed EA per gli elementi plate,
 - EA per gli elementi anchor,
 - rigidezza elastica per elementi geotessili in trazione,
 - rigidezza e forza ultima per le molle elastoplastiche;
- definizione degli eventuali sistemi di carico.

8.2 METODOLOGIE DI VERIFICA ADOTTATE

8.2.1 Verifica di stabilità

Il codice Slide2 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.

Nelle analisi sono state escluse, perché considerate non significative, le superfici di rottura superficiali che coinvolgono volumi di terreno ridotti. Le analisi vengono sviluppate nel software utilizzando il metodo dei conci, che a seconda delle condizioni al contorno introdotte per rendere il problema staticamente determinato, si distingue in differenti metodologie. Queste condizioni supplementari si traducono solitamente in assunzioni riguardanti le azioni all'interfaccia tra i conci di terreno.

Per le analisi di stabilità oggetto della presente relazione al §10 saranno calcolati i coefficienti di sicurezza con riferimento ai metodi "Semplificato di Bishop" e "Morgenstern e Price", ben noti in letteratura.

8.2.2 Analisi dei cedimenti

Il codice PLAXIS 2D V22 è stato utilizzato nel presente documento per la stima dei cedimenti indotti per effetto della realizzazione dei rilevati di abbancamento. Le analisi sono condotte allo SLE, come richiesto dalla Normativa per le opere in terreni sciolti.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 22 di 45

9. CARATTERISTICHE GENERALI DELLA SEZIONE DI CALCOLO

Per quanto concerne la stratigrafia e il livello di falda di calcolo, si rimanda alla Relazione geotecnica (Doc. Rif. [7]) e alla Sezione geotecnica riportata nell’elaborato Deposito Principale - Sezioni geotecniche – (Doc. Rif. [13]).

9.1 DESCRIZIONE DELLA SEZIONE DI CALCOLO PER ANALISI DI STABILITA' E DEI CEDIMENTI.

Di seguito si riporta la geometria del deposito implementata nei software di calcolo in termini di sezioni, insieme a una vista in pianta del sito con ubicazione della sezione considerata. Le sezioni di calcolo sono la 1-1 e la 2-2 di cui ai documenti di progetto (Doc. Rif. [13]).

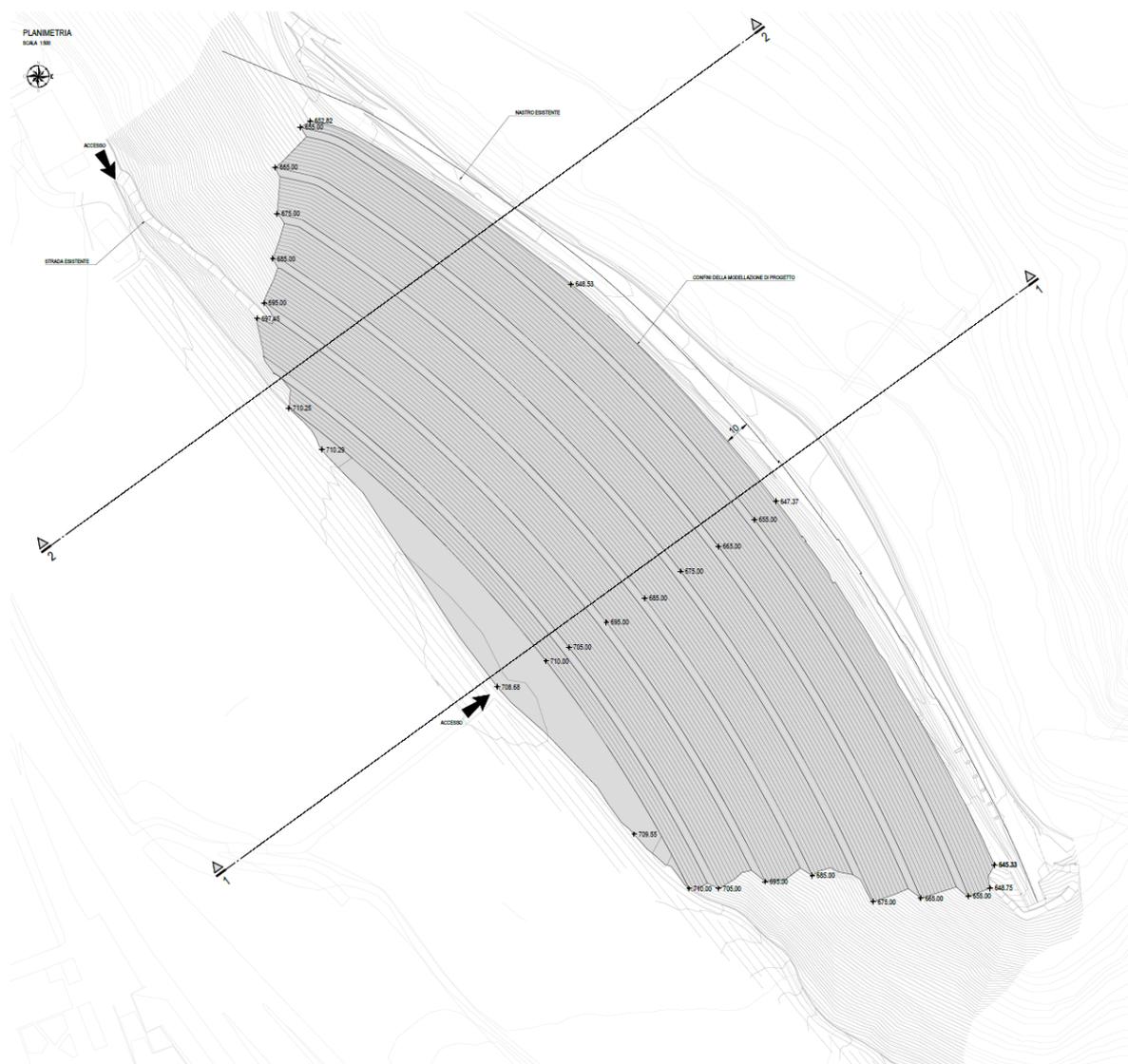


Figura 9-1: Vista in pianta sito Unterplattner con ubicazione delle sezioni di analisi

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL	SIST		
M Ingegneria						
11 - OPERE CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0340002	B	23 di 45

SEZIONE 1-1

SCALA 1:1000

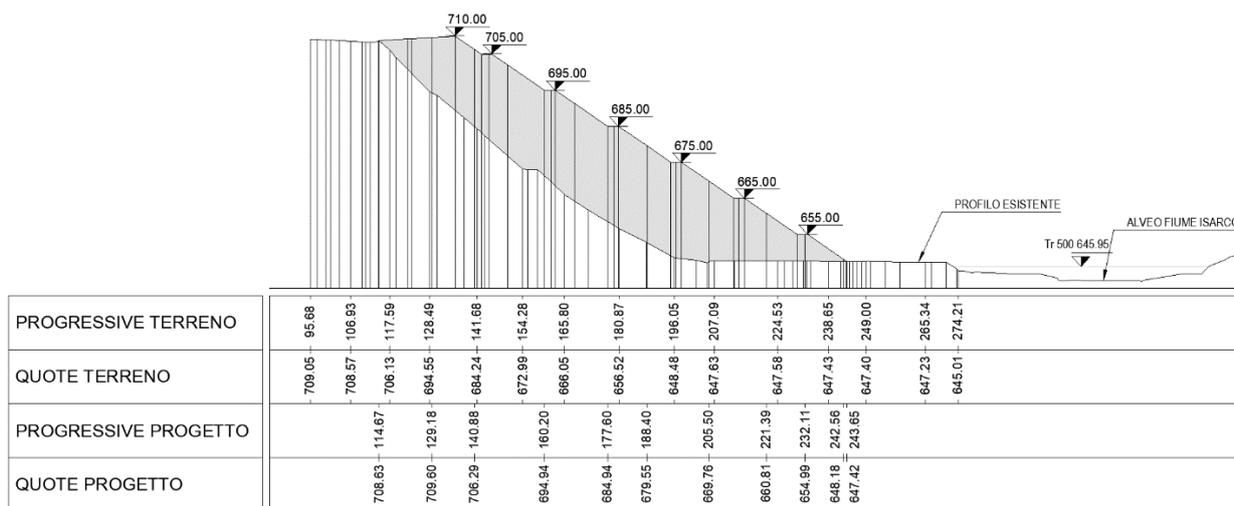


Figura 9-2 - Sezione di calcolo 1-1

SEZIONE 2-2

SCALA 1:1000

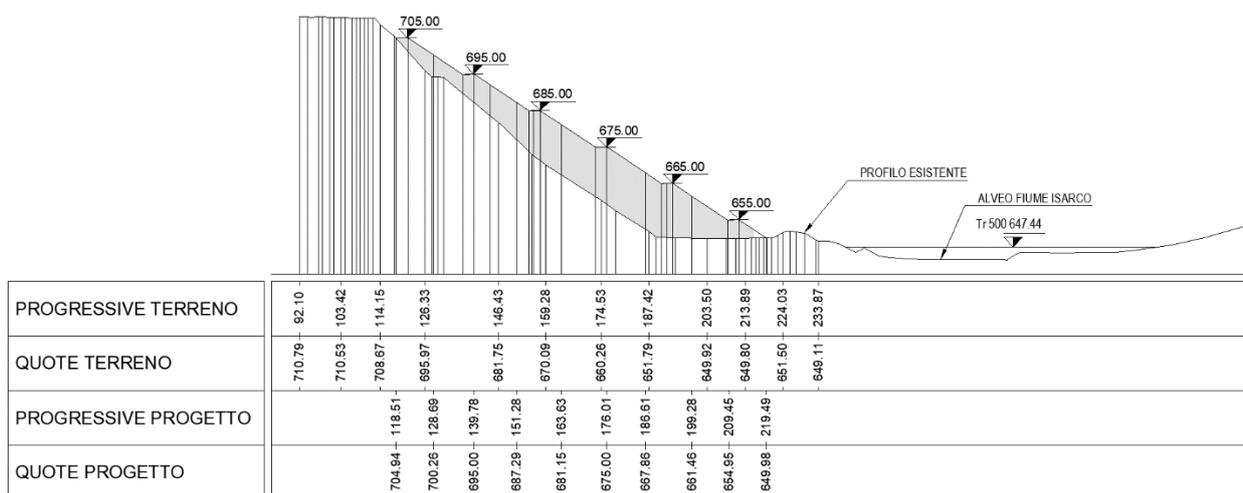


Figura 9-3 - Sezione di calcolo 2-2

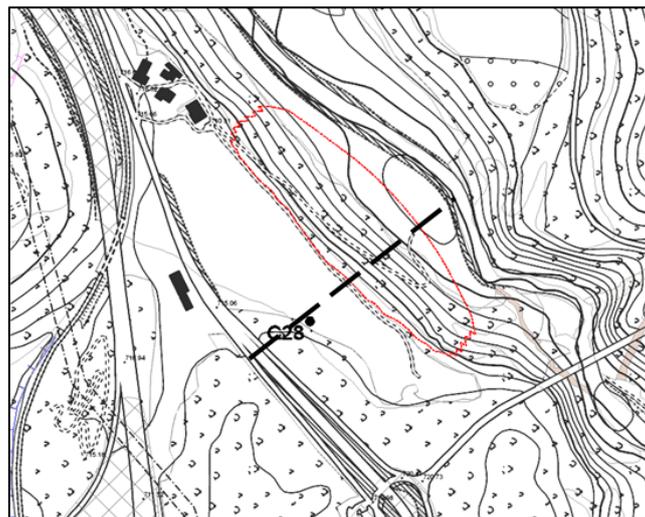
La sezione 2-2 è rappresentativa delle parti prossime alla scarpata (estremo nord e sud) mentre la sezione 1-1 è rappresentativa delle parti mediane dell'opera.

Su entrambe le sezioni appena riportate sono state eseguite verifiche di stabilità in condizioni statiche e sismiche.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 24 di 45

Il calcolo dei cedimenti è stato invece eseguito nella sezione 1-1, che taglia il volume di abbancamento nella posizione in cui l'area sezionata risulta maggiore, massimizzando il peso che grava sul terreno esistente. L'abbancamento in progetto è costituito da diverse banche che suddividono il pendio in dislivelli monopendenti con altezza pari a 10 metri; che vengono modellate numericamente per fasi successive.

L'unico sondaggio disponibile è il C28 e sulla base di esso è stata desunta la sezione stratigrafica indicata in figura con una linea nera tratteggiata.



C28 ● Sondaggi ordinari – campagna 2013
- - - Traccia di sezione geologica

Figura 9-4 – Ubicazioni indagini

Di seguito si riporta la stratigrafia ottenuta dalle indagini. Gli orizzonti litostratigrafici sono costituiti da blocchi e ghiaie in matrice sabbiosa (Unità 3) e sabbie limoso-ghiaiose (Unità 1).

Sezione PLATTNER - Scala 1:2.000

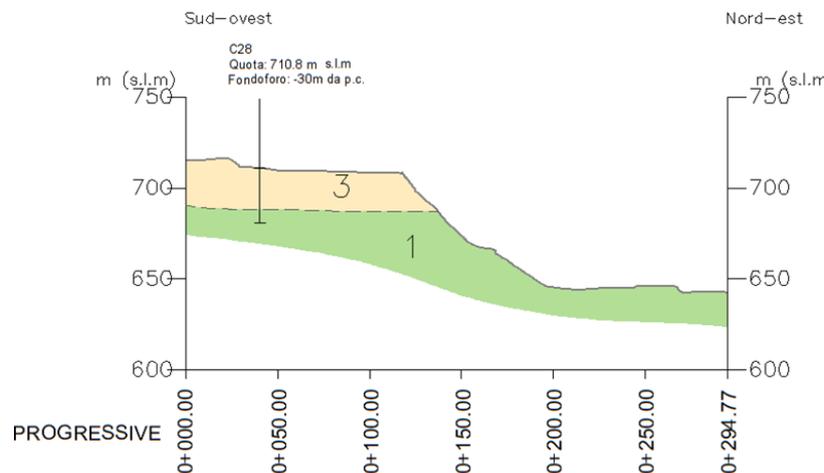


Figura 9-5 – Stratigrafia del sito di Plattner

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 25 di 45

9.2 PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

In accordo a quanto riportato nella Relazione Geotecnica e sulla base di quanto descritto nei precedenti capitoli, in Tabella 9-1 sono riportati i valori dei parametri geotecnici caratteristici e di progetto, fattorizzati utilizzando i coefficienti M2.

Come già descritto nella Relazione Geotecnica i depositi morenici incontrati nell'ambito del deposito di Plattner sono costituiti da sabbie da fini (fino a sabbie limose) a medio-grossolane e da ghiaie e ciottoli di dimensioni variabili. Si tratta di materiali in cui sono state condotte prove SPT che hanno dato risultati generalmente piuttosto alti (superiori a 40 colpi/30cm) ed in alcuni casi a rifiuto. Viste le caratteristiche granulometriche dei materiali i parametri che ne caratterizzano la resistenza al taglio sono ovviamente parametri drenati.

In aggiunta ai materiali naturali presenti in sito si ha la presenza del materiale costituente il riempimento.

Tale materiale proverrà principalmente dagli scavi delle gallerie ed in parte dagli scavi delle fondazioni previste nell'ambito del progetto di quadruplicamento del collegamento Fortezza – Verona. Si prevede che possa essere stato scavato sia con tecnica tradizionale sia con scavo meccanizzato (TBM).

In base ai requisiti fissati in sede di progetto, il materiale, indipendentemente dalla provenienza, per poter essere accettati per il riempimento dei depositi dovrà avere le caratteristiche di seguito elencate.

Deve essere classificabile come appartenente ai gruppi A1, A2-4, A2-5, A2-6, A2-7, A3 e A4, (ex norma CNR-UNI 10006) e dovrà essere steso in strati di spessore non superiore a 50 cm garantendo un adeguato grado di compattazione. Non potranno essere impiegati frammenti rocciosi di dimensione superiore a 250 mm. Per materiale avente pezzatura di diametro maggiore dovrà essere prevista opportuna frantumazione per garantire la granulometria richiesta.

Di seguito vengono comunque definiti i valori indicativi di densità in situ e di modulo deformazione che dovranno essere riscontrati su tutto lo spessore dello strato.

Il piano di posa dovrà essere costipato mediante rullatura in modo da ottenere una densità secca non inferiore al 90% della densità massima, ottenuta per quella terra, con la prova di costipamento AASHTO modificata (CNR-BU n. 69). Il modulo di deformazione misurato mediante prova di carico su piastra, al primo ciclo di carico nell'intervallo 0.05 MPa – 0.15 MPa, non dovrà essere inferiore a 10 MPa.

Dopo la compattazione, la densità secca di ciascuno strato dell'opera in terra dovrà risultare non inferiore al 90% della densità massima, ottenuta per quella terra, con la prova di costipamento AASHTO modificata (CNR-BU n. 69). Il modulo di deformazione dell'opera in terra, misurato mediante prova di carico su piastra, al primo ciclo di carico nell'intervallo 0.15 MPa - 0.25 MPa, non dovrà essere inferiore a 15 MPa.

Nel caso di impiego di frammenti rocciosi, in luogo della prova di densità, si dovranno eseguire, durante la formazione degli strati, solo prove per la determinazione del modulo di deformazione, eventualmente con piastra di diametro D = 600 mm.

Il materiale dovrà essere messo in opera con un contenuto d'acqua tale da permettere il raggiungimento della densità richiesta nonché dei parametri necessari alle verifiche geotecniche.

Gli schemi di posa in opera e di rullatura dovranno essere verificati prima della messa in opera del materiale e quando si hanno modifiche sostanziali delle loro caratteristiche.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 26 di 45

Sulla base di quanto sopra definito, si ipotizza di poter caratterizzare i materiali costituenti il riempimento per mezzo di parametri di resistenza drenati ed in particolare di potervi associare un valore di angolo di resistenza al taglio pari a 38° con coesione efficace pari a 35 kPa.

Modelli costitutivi	Unità geotecniche	γ [KN/m ³]	Per analisi dei cedimenti - PLAXIS					Modelli costitutivi	Per analisi di stabilità - SLIDE2		γ_{M2} 1,25
			c_k [Kpa]	φ_k [°]	$E_{oed}=E_{50}$ [Mpa]	E_{ur} [Mpa]	k_0 [-]		c_d [Kpa]	φ_d [°]	
Hardening Soil	Unità 1	19	5	40	70	175	0,357	Mohr	4	33,9	
	Unità 3	20	5	42	70	350	0,331		4	35,8	
Mohr Coulomb	Rilevato (abbancamento)	21	35	38	25	-	0,384	Coulomb	28	32,0	

Tabella 9-1: Parametri geotecnici caratteristici e di progetto

9.3 APPLICAZIONE DEI CARICHI

Per le verifiche allo SLU, sulla sommità del rilevato è stata ipotizzata la presenza di un carico di cantiere con un valore caratteristico pari a 10kPa. Essendo un'azione variabile sfavorevole il suo valore di calcolo in condizioni statiche va amplificato del coefficiente parziale sulle azioni pari a 1.3: $10 \cdot 1.3 = 13$ kPa.

In condizioni sismiche non è stato considerato nessun sovraccarico di cantiere.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 27 di 45

10. ANALISI DI STABILITÀ

Le verifiche SLU della stabilità globale e locale della scarpata in condizioni statiche e sismiche sono state condotte tramite il codice di calcolo Slide2. Le combinazioni di carico adottate nelle analisi fanno riferimento rispettivamente ai coefficienti parziali (M2) sia per le analisi in campo statico che per le analisi sismiche.

Tali coefficienti sono contenuti nella Tabella 6-1 e nella Tabella 6-2 della presente relazione. Per quanto concerne i parametri geotecnici di calcolo si rimanda alla Tabella 9-1.

Come da NTC 2008 (Doc. Rif. (Norme tecniche per le Costruzioni 2008 - D.M. 14/01/2008, pubblicato sulla G. U. del 04/02/08;)), la verifica SLU di stabilità globale è soddisfatta se la relazione: $FS \geq R2 = 1.1$.

è verificata sia in condizioni statiche che sismiche. Il coefficiente R2 è contenuto nella Tabella 6-3 della presente relazione.

10.1.1 Sezione 1-1 – Verifiche in condizioni statiche e sismiche

Per i due casi di analisi statiche, l'uno volto a determinare un fattore di sicurezza nei confronti di uno scorrimento globale del pendio, l'altro a valutarne la stabilità locale, si fa riferimento alla fase finale di realizzazione dell'abbancamento, in cui le dimensioni del deposito sono massime. Sono incluse nell'analisi anche le due combinazioni sismiche, per le quali viene valutata sia la stabilità globale che quella locale.

Nella tabella sottostante sono ricapitolate le analisi svolte in campo statico e sismico, con i fattori di sicurezza minimi riscontrati.

ANALISI	OUTPUT	FS _{MIN}
<i>Fase finale – Abbancamento massimo</i>		
Stabilità globale in condizioni statiche	Figura 10-2	1.484
Stabilità locale in condizioni statiche	Figura 10-3	1.883
Stabilità globale in condizioni sismiche – Combinazione con $k_v < 0$	Figura 10-4	1.425
Stabilità locale in condizioni sismiche – Combinazione con $k_v < 0$	Figura 10-5	1.811
Stabilità globale in condizioni sismiche – Combinazione con $k_v > 0$	Figura 10-6	1.421
Stabilità locale in condizioni sismiche – Combinazione con $k_v > 0$	Figura 10-7	1.797

Tabella 10-1: Deposito di Plattner - Risultati analisi in campo statico e sismico

Essendo sempre soddisfatta la relazione $FS_{MIN} \geq R2 = 1.1$, **il pendio risulta stabile.**

La geometria della scarpata è visibile in un estratto dalla modellazione in Figura 10-1.

Nelle figure successive invece sono riportati gli output di tutti gli scenari analizzati per le verifiche di stabilità, in cui si hanno le superfici di rottura critica con i fattori di sicurezza ad esse associate. È possibile effettuare anche un confronto dei risultati visivo grazie alle scale cromatiche, impostate in modo analogo per tutti gli scenari.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
11 - OPERE CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0340002	B	28 di 45

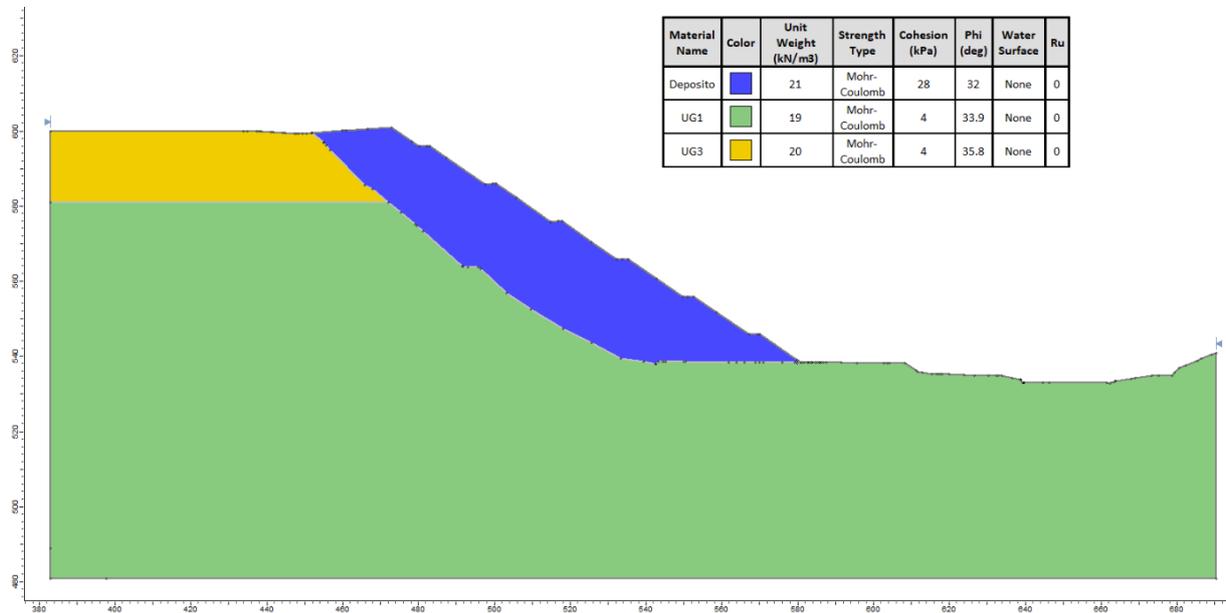


Figura 10-1 – Deposito di Plattner – Modello di calcolo - Sezione 1-1

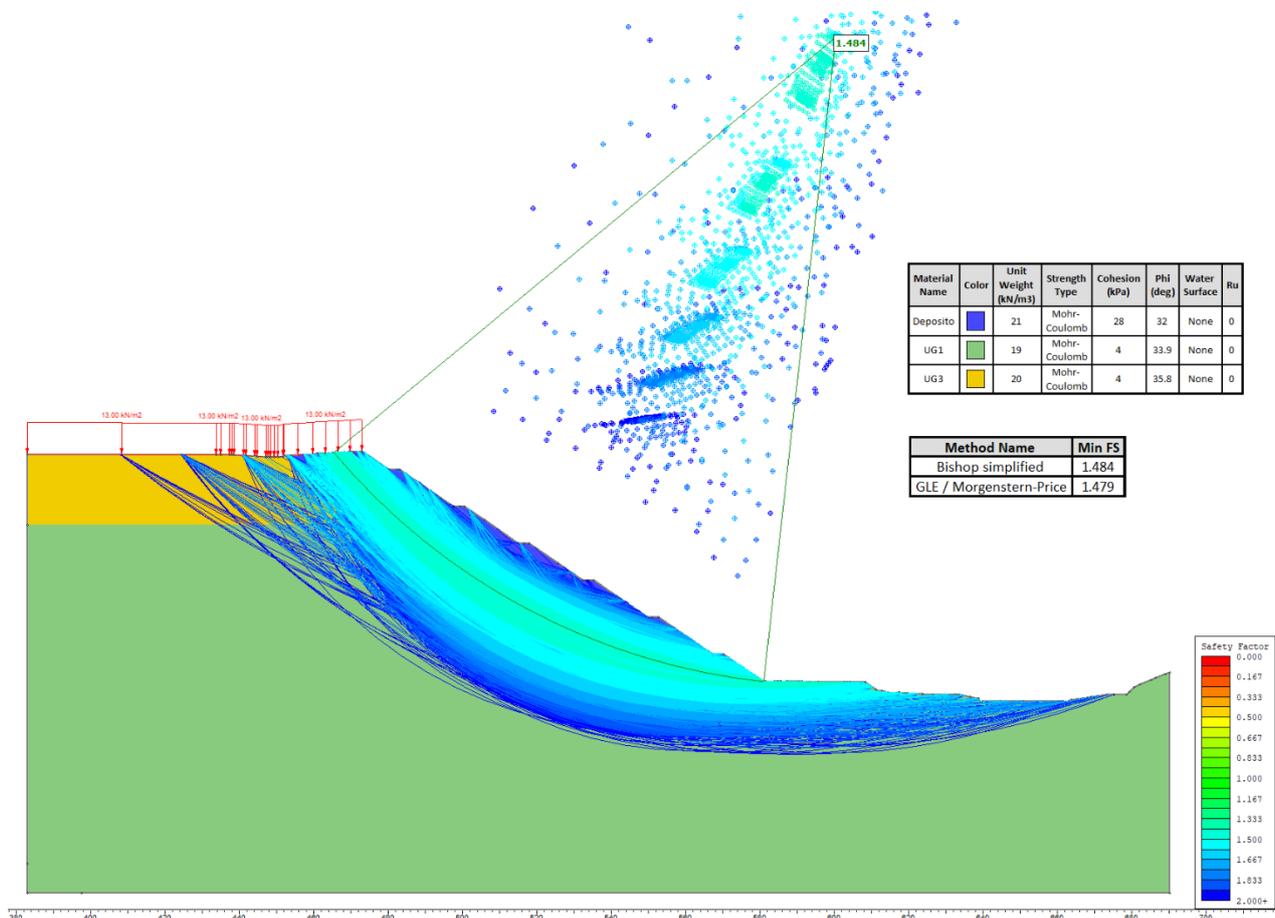


Figura 10-2 – Deposito di Plattner – Analisi di stabilità in campo statico (globale) - Sezione 1-1

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO					
Mandataria:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
11 - OPERE CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0340002	B	29 di 45

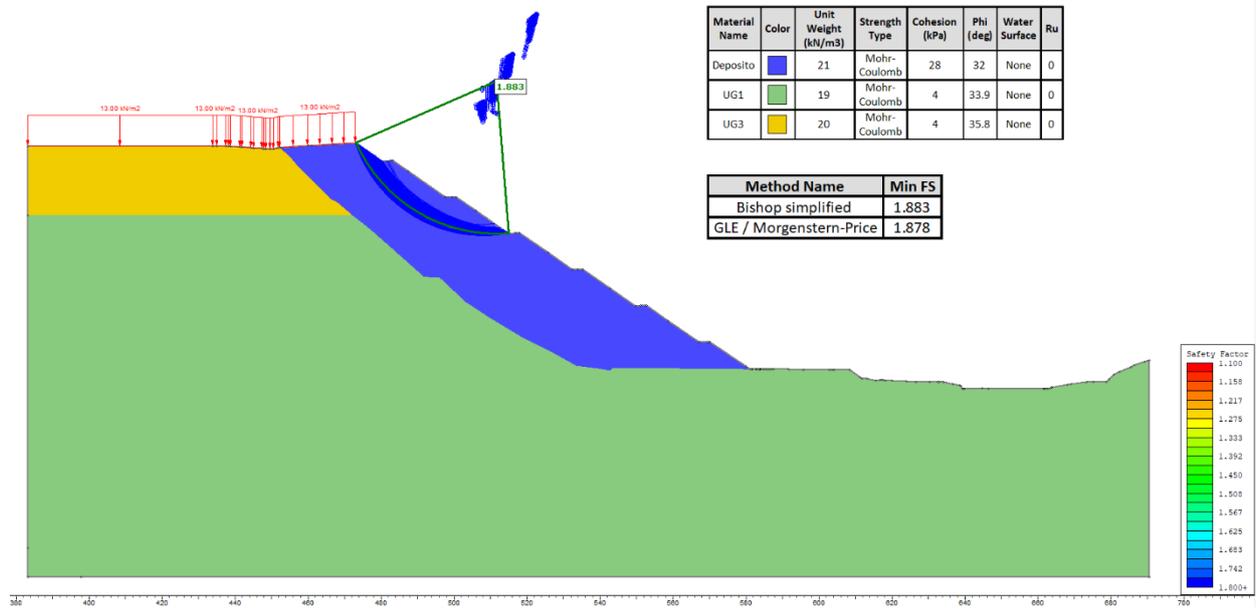


Figura 10-3 – Deposito di Plattner – Analisi di stabilità in campo statico (locale) - Sezione 1-1

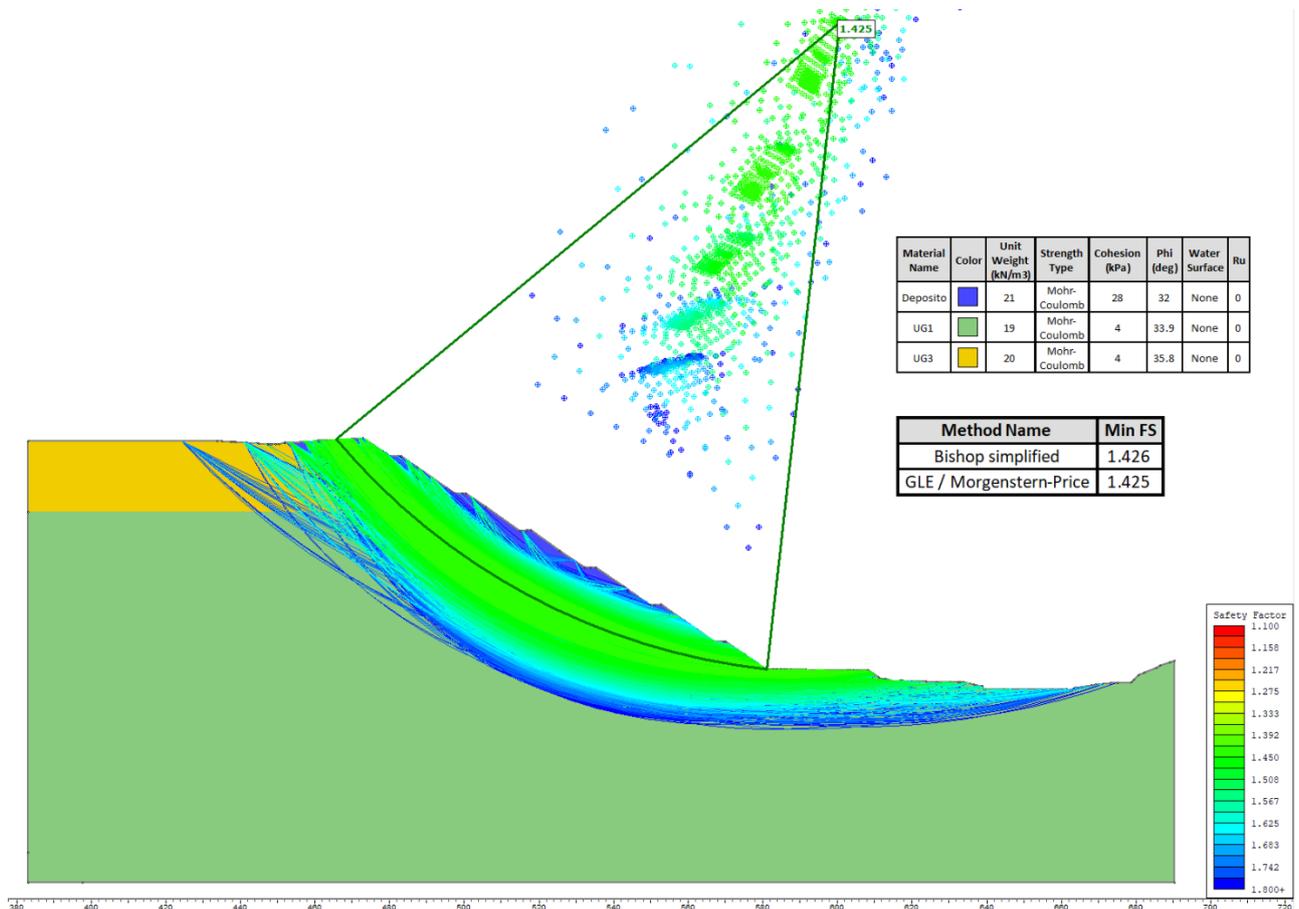


Figura 10-4 – Deposito di Plattner – Analisi di stabilità in campo sismico (globale), combinazione con $K_v < 0$ - Sezione 1-1

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO					
Mandataria:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL	SIST	M Ingegneria	
11 - OPERE CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0340002	B	30 di 45

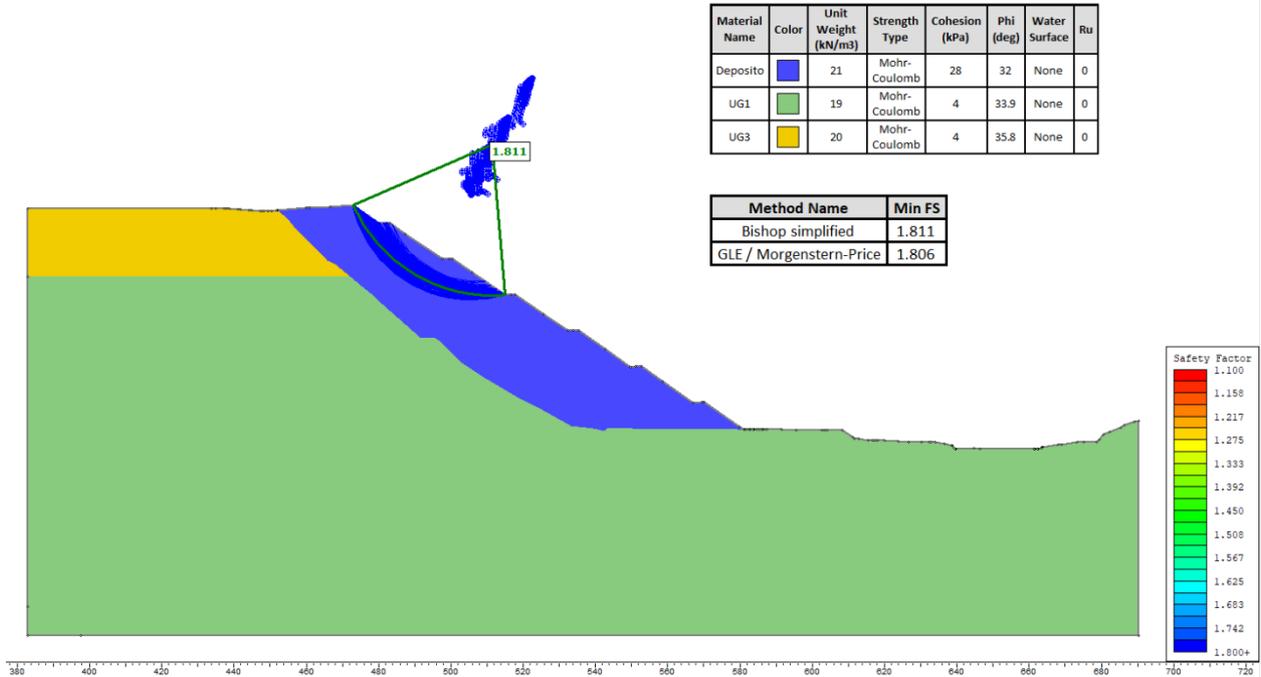


Figura 10-5 – Deposito di Plattner – Analisi di stabilità in campo sismico (locale), combinazione con Kv < 0 - Sezione 1-1

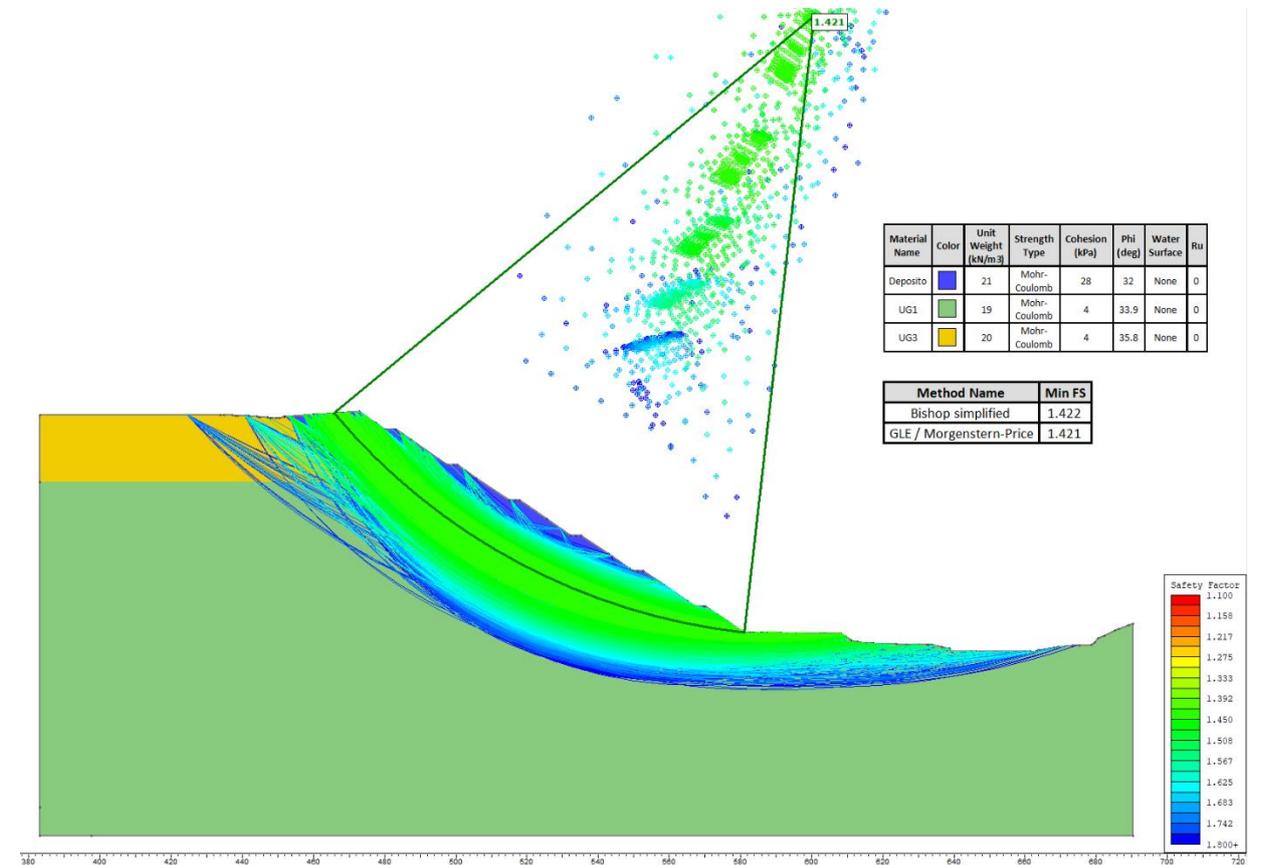


Figura 10-6 – Deposito di Plattner – Analisi di stabilità in campo sismico (globale), combinazione con Kv > 0 - Sezione 1-1

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO					
Mandataria:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
11 - OPERE CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0340002	B	31 di 45

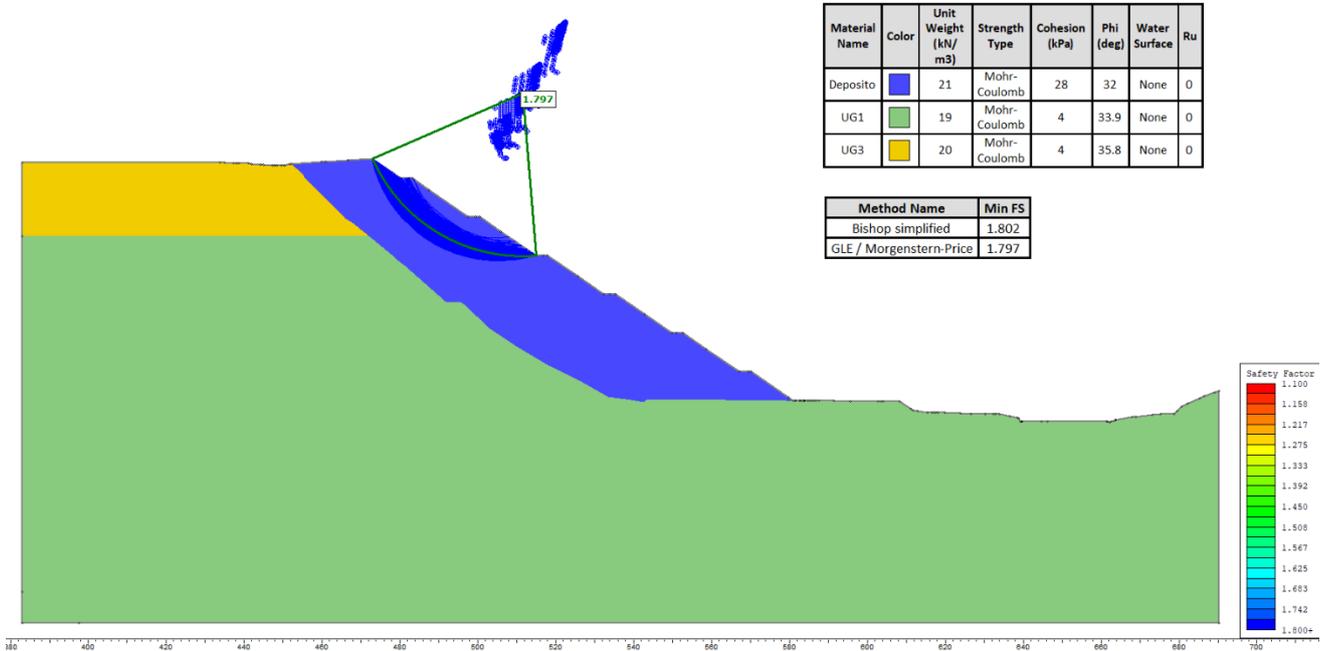


Figura 10-7 – Deposito di Plattner – Analisi di stabilità in campo sismico (locale), combinazione con $K_v > 0$ - Sezione 1-1

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 32 di 45

10.1.2 Sezione 2-2 – Verifiche in condizioni statiche e sismiche

Per i due casi di analisi statiche, l'uno volto a determinare un fattore di sicurezza nei confronti di uno scorrimento globale del pendio, l'altro a valutarne la stabilità locale, si fa riferimento alla fase finale di realizzazione dell'abbancamento, in cui le dimensioni del deposito sono massime. Sono incluse nell'analisi anche le due combinazioni sismiche, per le quali viene valutata sia la stabilità globale che quella locale.

Nella tabella sottostante sono ricapitolate le analisi svolte in campo statico e sismico, con i fattori di sicurezza minimi riscontrati.

ANALISI	OUTPUT	FS _{MIN}
<i>Fase finale – Abbancamento massimo</i>		
Stabilità globale in condizioni statiche	Figura 10-9	1.506
Stabilità locale in condizioni statiche	Figura 10-10	1.616
Stabilità globale in condizioni sismiche – Combinazione con k_v<0	Figura 10-11	1.447
Stabilità locale in condizioni sismiche – Combinazione con k_v<0	Figura 10-12	1.557
Stabilità globale in condizioni sismiche – Combinazione con k_v>0	Figura 10-13	1.424
Stabilità locale in condizioni sismiche – Combinazione con k_v>0	Figura 10-14	1.552

Tabella 10-2: Deposito di Plattner - Risultati analisi in campo statico e sismico

Essendo sempre soddisfatta la relazione $FS_{MIN} \geq R2 = 1.1$, **il pendio risulta stabile.**

La geometria della scarpata è visibile in un estratto dalla modellazione in Figura 10-8.

Nelle figure successive invece sono riportati gli output di tutti gli scenari analizzati per le verifiche di stabilità, in cui si hanno le superfici di rottura critica con i fattori di sicurezza ad esse associate. È possibile effettuare anche un confronto dei risultati visivo grazie alle scale cromatiche, impostate in modo analogo per tutti gli scenari.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
11 - OPERE CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0340002	B	33 di 45

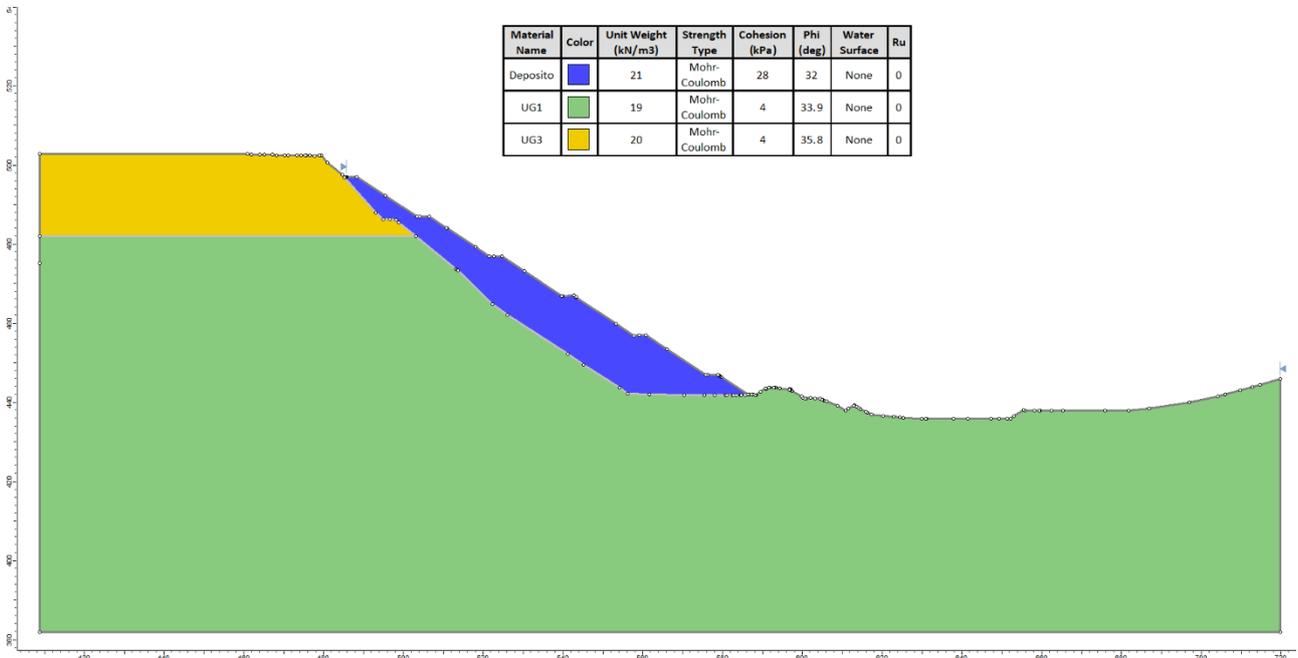


Figura 10-8 – Deposito di Plattner – Modello di calcolo – Sezione 2-2

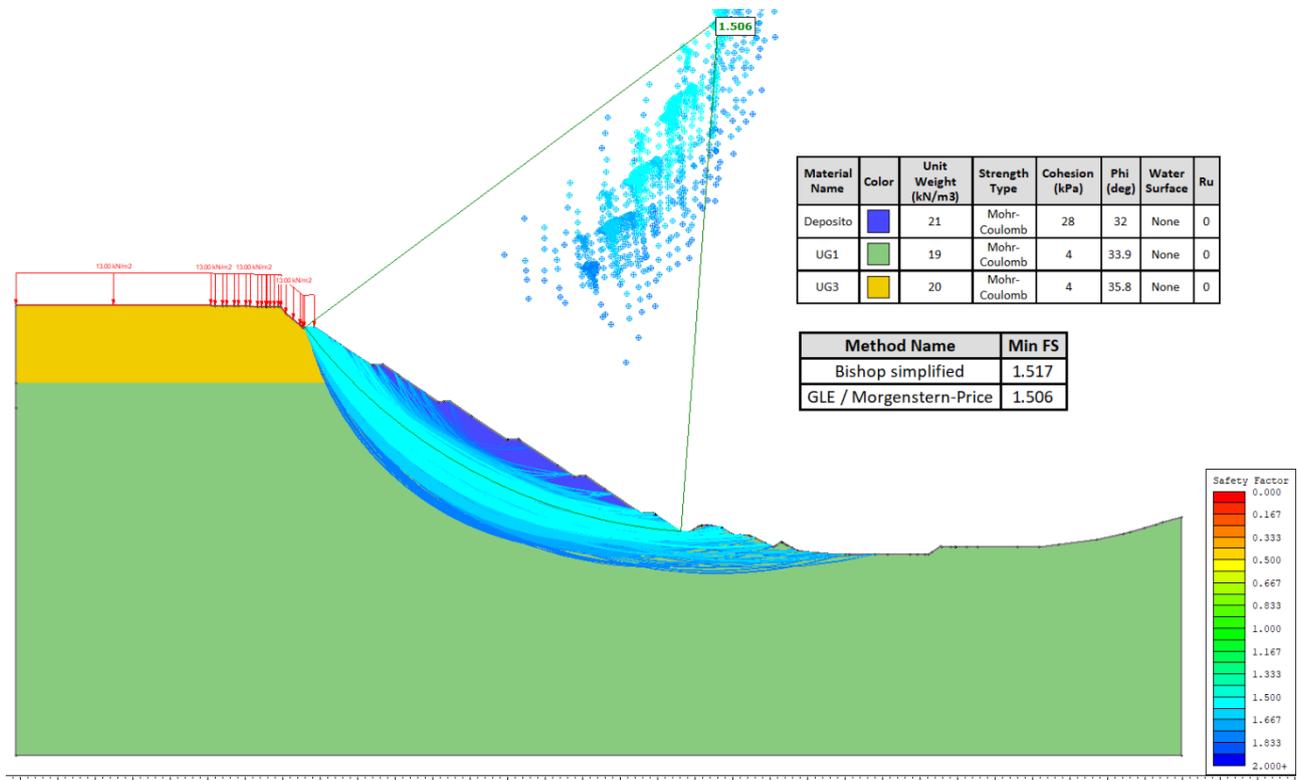


Figura 10-9 – Deposito di Plattner – Analisi di stabilità in campo statico (globale) - Sezione 2-2

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO					
Mandataria:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
11 - OPERE CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0340002	B	34 di 45

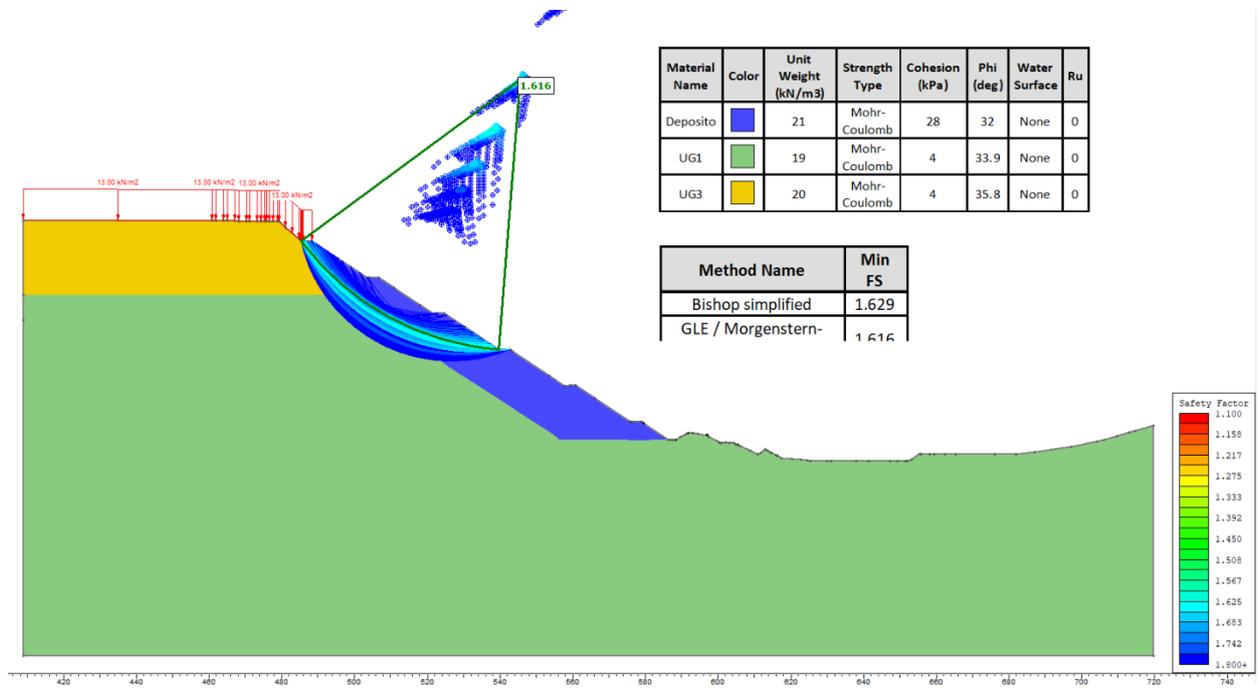


Figura 10-10 – Deposito di Plattner – Analisi di stabilità in campo statico (locale) - Sezione 2-2

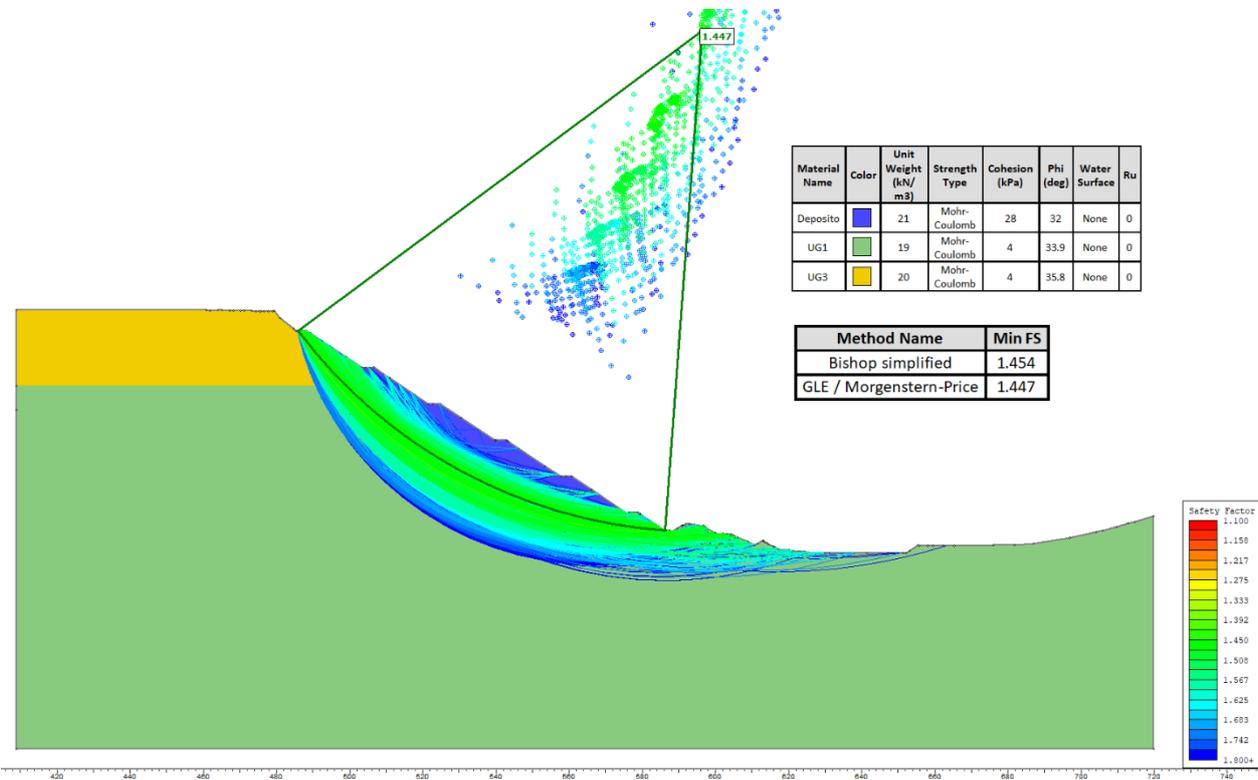


Figura 10-11 – Deposito di Plattner – Analisi di stabilità in campo sismico (globale), combinazione con Kv < 0 - Sezione 2-2

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 35 di 45

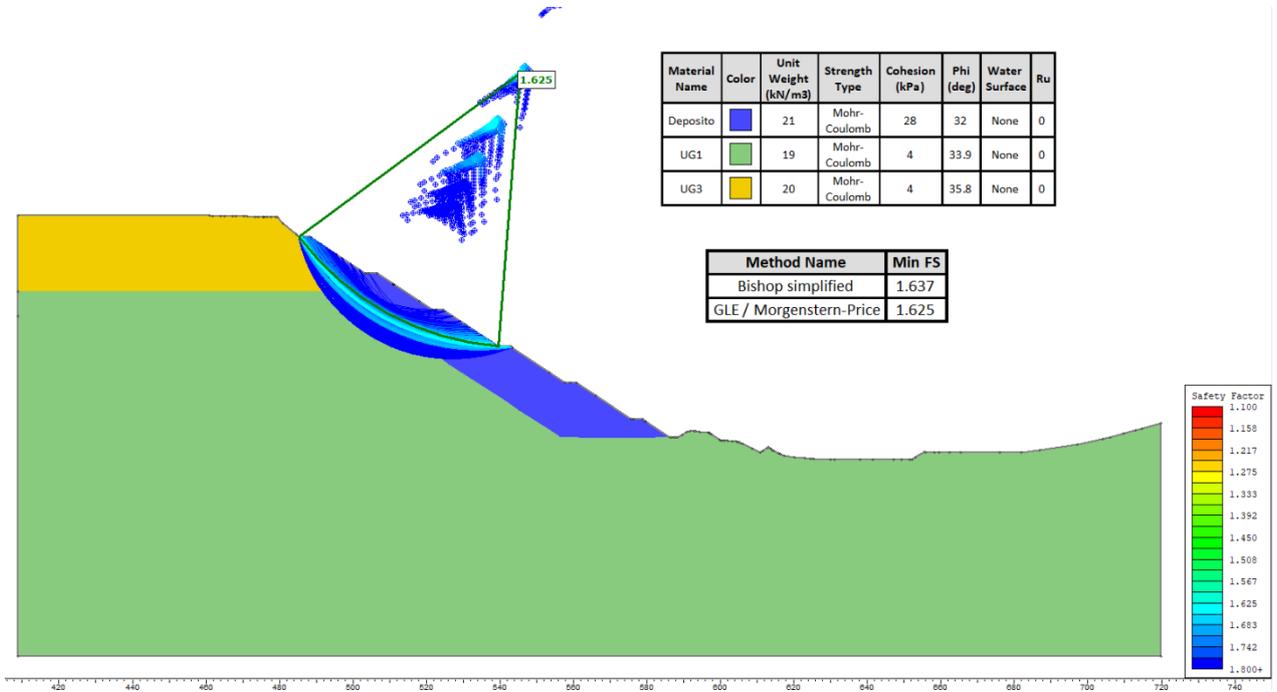


Figura 10-12 – Deposito di Plattner – Analisi di stabilità in campo sismico (locale), combinazione con $K_v < 0$ - Sezione 2-2

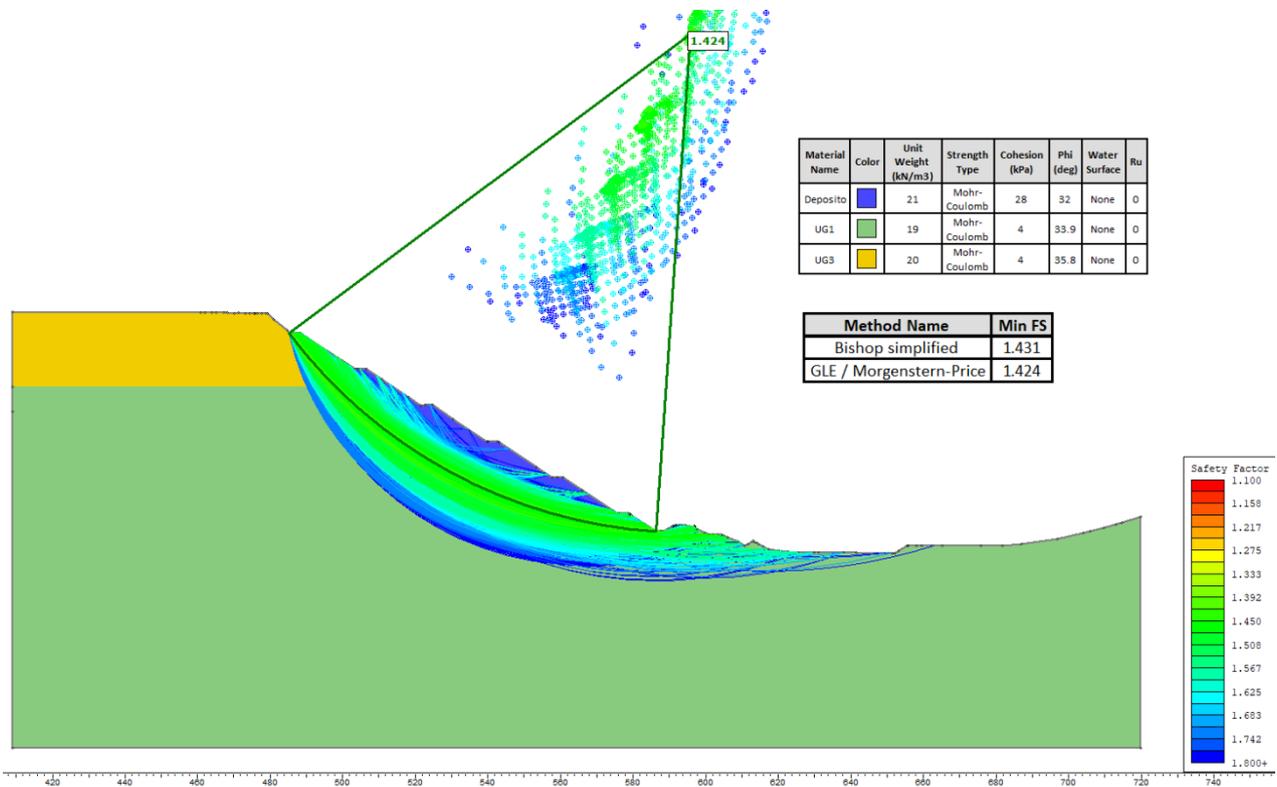


Figura 10-13 – Deposito di Plattner – Analisi di stabilità in campo sismico (globale), combinazione con $K_v > 0$ - Sezione 2-2

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
11 - OPERE CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di stabilità e cedimenti versante	IBOU	1BEZZ	CL	RI0340002	B	36 di 45

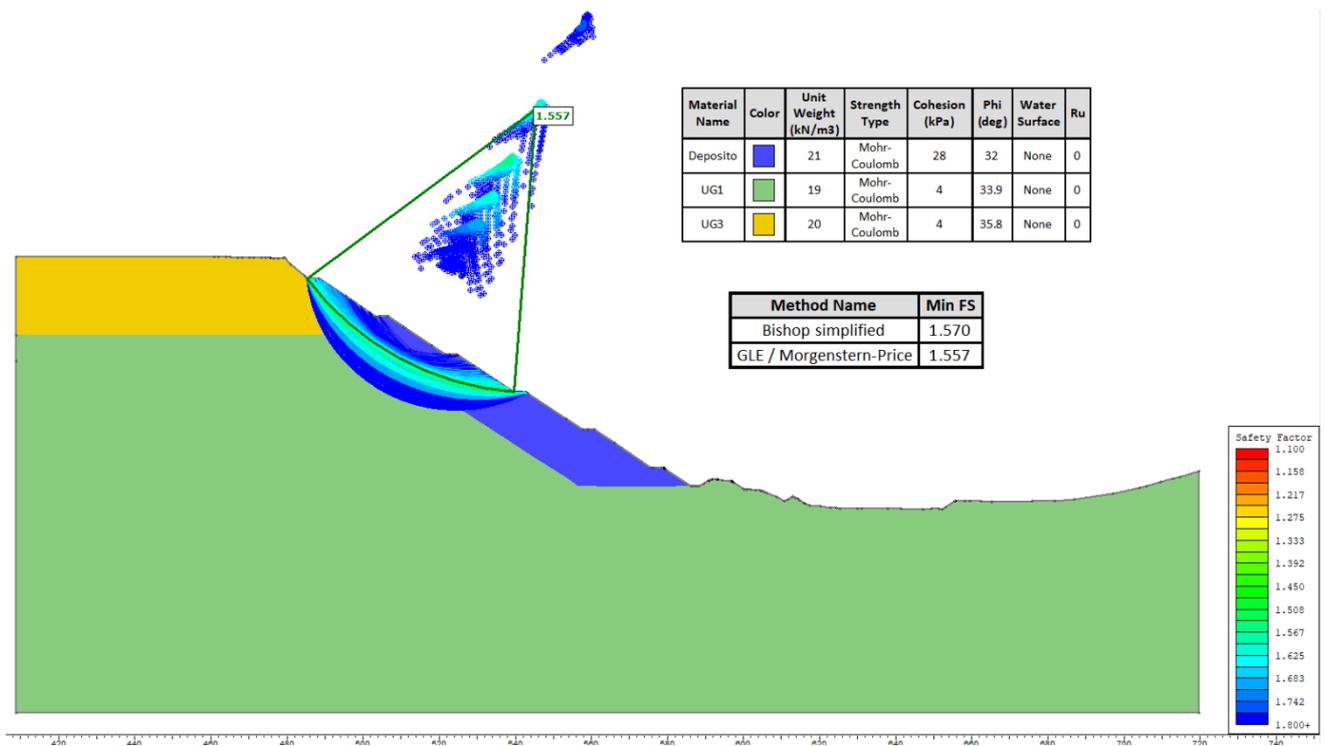


Figura 10-14 – Deposito di Plattner – Analisi di stabilità in campo sismico (locale), combinazione con $K_v > 0$ - Sezione 2-2

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 37 di 45

11. ANALISI DEI CEDIMENTI

11.1.1 Modello di calcolo

L'immagine che segue illustra il modello geometrico implementato in Plaxis (con particolare riferimento alla configurazione finale), sulla base delle caratteristiche dei depositi e delle stratigrafie indicati nei paragrafi precedenti.

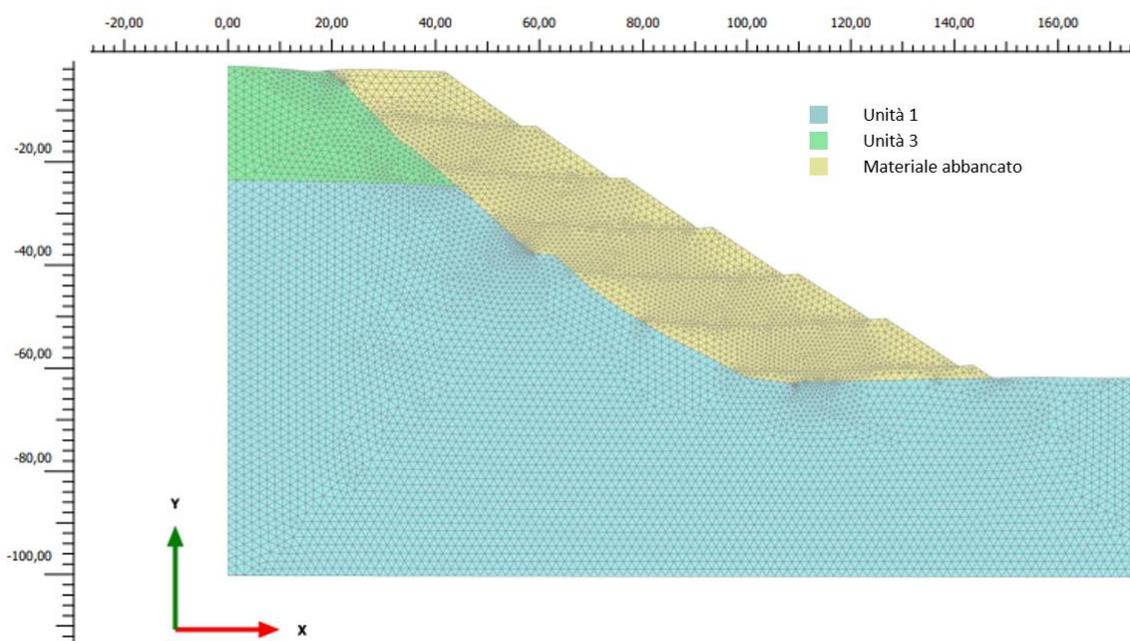


Figura 11-1 – Modello geometrico Plaxis

La stratigrafia di progetto è stata estesa alla sezione di calcolo mantenendo l'andamento altimetrico dei passaggi stratigrafici.

11.1.1.1. Modelli reologici adottati

I modelli reologici impiegati per i materiali sono rispettivamente il Mohr Coulomb per il materiale di abbancamento e l'Hardening Soil per tutti i terreni. Nel seguito si fa un breve accenno ai modelli reologici e successivamente si indicano i rispettivi parametri impiegati.

Nelle analisi si è considerato il comportamento di tipo drenato per tutti i materiali.

Il modello elastoplastico di tipo *Mohr Coulomb* esprime la resistenza del materiale unicamente mediante i parametri coesione (c') e angolo di resistenza al taglio (ϕ'), costanti per il terreno.

Dal punto di vista deformativo vede la possibilità di sviluppo di deformazioni di tipo elastico (ε^e) e plastico (ε^p). Per tensioni (σ') che inferiori alla resistenza del materiale, il comportamento è di tipo elastico e la relazione tensioni-deformazioni è governata dalla legge di Hooke; per tensioni che superano la resistenza si hanno deformazioni plastiche.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 38 di 45

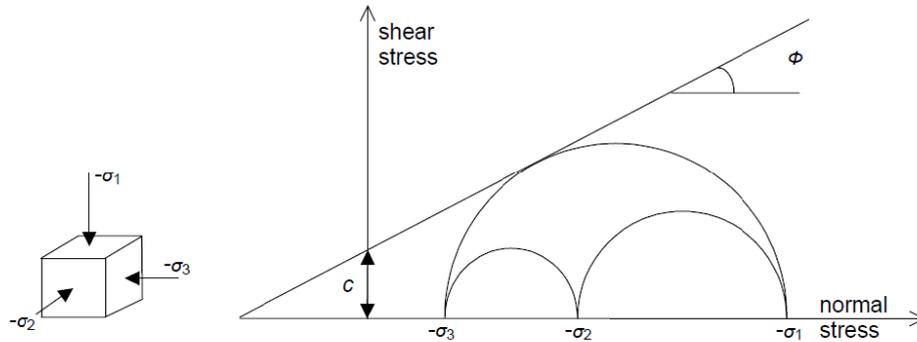


Figura 11-2 – Circoli di Mohr: configurazione al limite plastico

Nel seguito si illustra la superficie di rottura secondo Mohr-Coulomb che identifica il limite oltre il quale si raggiunge il comportamento plastico e si sviluppano deformazioni irreversibili.

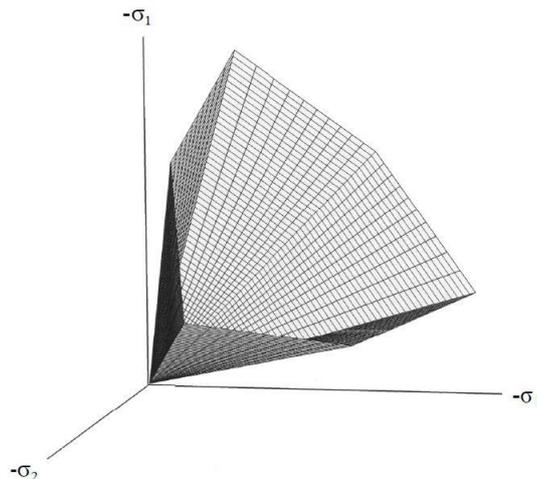


Figura 11-3 – Superficie di rottura alla Mohr-Coulomb nello spazio delle tensioni principali ($c=0$)

L'immagine che segue mostra la relazione sforzi deformazioni di tale criterio.

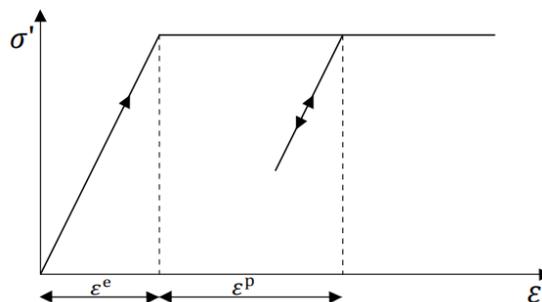


Figura 11-4 – Legge di un modello elastico perfettamente plastico

Per la definizione del modello reologico sono state inserite le seguenti grandezze: il modulo di elasticità E ed il coefficiente di contrazione trasversale di Poisson ν , così come le leggi di Hooke, l'angolo di resistenza al taglio ϕ ed il valore di coesione c , così come da criterio di rottura di Coulomb.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 39 di 45

L'Hardening Soil è un modello reologico avanzato in grado di descrivere in modo esaustivo il comportamento meccanico dei terreni, tenendo conto di aspetti quali la diversa risposta per percorsi tensionali di primo carico e di scarico-ricarico.

È un modello di tipo elastoplastico iperbolico formulato nell'ambito dell'incrudimento per plasticizzazione a taglio. Tiene, inoltre, conto dell'incrudimento per compressione, simulando la deformazione irreversibile per compattazione sotto carico primario a compressione.

L'immagine che segue mostra il diagramma tensioni-deformazioni di tipo elastoplastico iperbolico appena descritto.

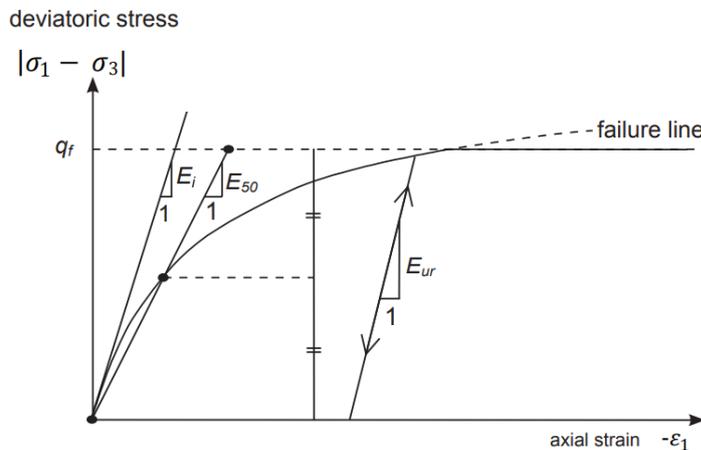


Figura 11-5 – Legge sforzo deformazione Hardening Soil

I parametri richiesti da questo tipo di modello costitutivo sono i seguenti:

E_{50}^{Ref} : modulo di rigidezza secante (al 50% della rottura) alla pressione di riferimento;

E_{ur}^{Ref} : modulo di rigidezza nel ramo di carico/scarico alla pressione di riferimento;

E_{oed}^{Ref} : modulo di rigidezza edometrico alla pressione di riferimento;

m : coefficiente esponenziale che regola la dipendenza dallo stato tensionale dei parametri di rigidezza sopra elencati, assunto pari a 0.5;

p_{ref} : è la pressione di riferimento che è stata assunta pari a 100kpa.

A partire da questi parametri, i moduli di rigidezza E_{oed} , E_{50} e E_{ur} vengono calcolati in funzione dello stato tensionale mediante le seguenti espressioni.

$$E_{oed} = E_{oed}^{Ref} \left[\frac{(c' \cos \phi' - \sigma'_3/k_0 \sin \phi')}{(c' \cos \phi' + p_{ref} \sin \phi')} \right]^m$$

$$E_{50} = E_{50}^{Ref} \left[\frac{(c' \cos \phi' - \sigma'_3 \sin \phi')}{(c' \cos \phi' + p_{ref} \sin \phi')} \right]^m$$

$$E_{ur} = E_{ur}^{Ref} \left[\frac{(c' \cos \phi' - \sigma'_3 \sin \phi')}{(c' \cos \phi' + p_{ref} \sin \phi')} \right]^m$$

Dove σ'_3 è la pressione minima agente nel mezzo.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 40 di 45

11.1.1.2. Parametri geotecnici

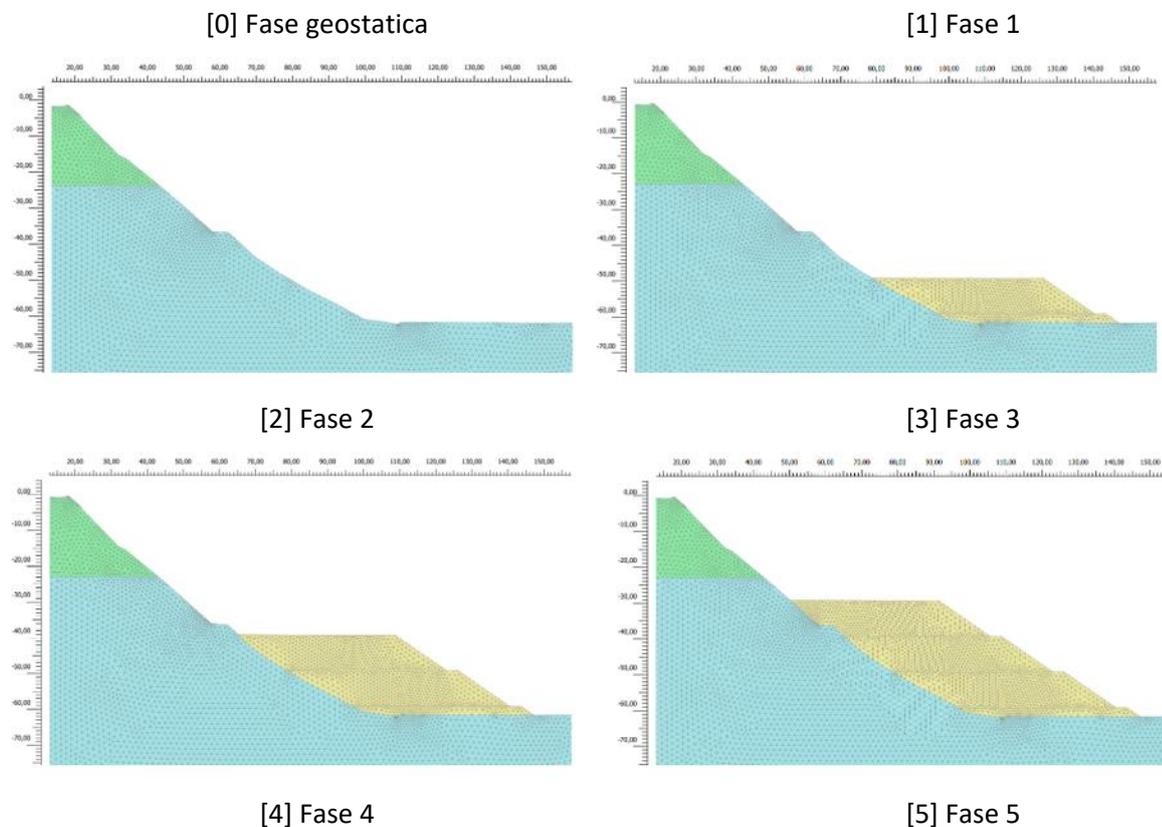
Sulla base di quanto indicato nella relazione geotecnica di progetto e di quanto già riportato al §9.2, sono stati individuati i seguenti parametri geotecnici per i litotipi considerati nel calcolo.

Modelli costitutivi	Unità geotecniche	γ [KN/m ³]	Per analisi dei cedimenti - PLAXIS				
			c_k [Kpa]	φ_k [°]	$E_{oed}=E_{50}$ [Mpa]	E_{ur} [Mpa]	k_0 [-]
Hardening Soil	Unità 1	19	5	40	70	175	0,357
	Unità 3	20	5	42	70	350	0,331
Mohr Coulomb	Rilevato (abbancamento)	21	35	38	25	-	0,384

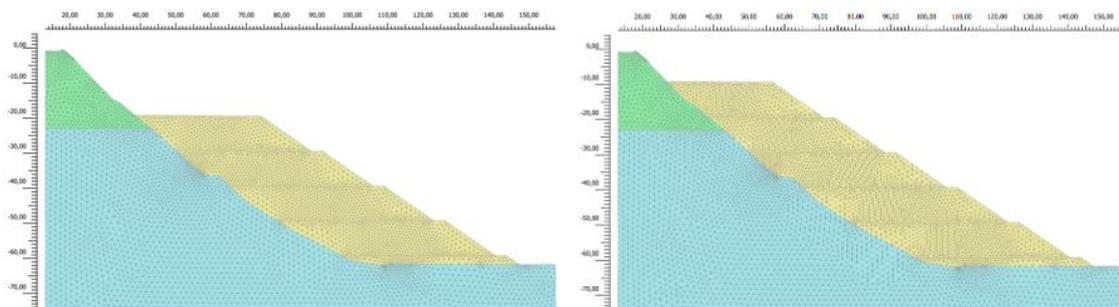
Tabella 11-1 - Parametri geotecnici caratteristici.

11.1.1.3. Fasistica

Vista l'entità dei cedimenti, si è reso necessario realizzare una valutazione più dettagliata dei cedimenti, stimando la loro entità per ogni singola fase costruttiva. In Figura 11-6 vengono mostrate le fasi costruttive considerate nel modello di calcolo. Di seguito si presentano i risultati delle elaborazioni FEM tenendo conto della successione temporale di abbancamento del materiale di scavo.



APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 41 di 45



[8] Fase finale

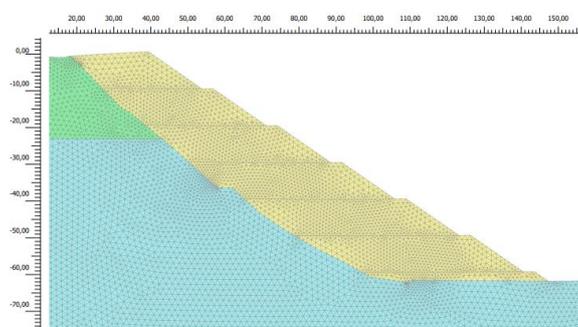


Figura 11-6 – Fasi costruttive per il modello di calcolo

11.1.2 Risultati

Di seguito si riporta, per ciascuna fase costruttiva, l'andamento dei cedimenti verticali su una sezione situata al piede del rilevato, in cui si riscontra il classico andamento a campana, con il massimo situato nella mezzeria del carico applicato.

I successivi step di carico determinano un incremento della curva dei cedimenti a monte, vista la pendenza con cui avviene il progressivo innalzamento del rilevato.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 42 di 45

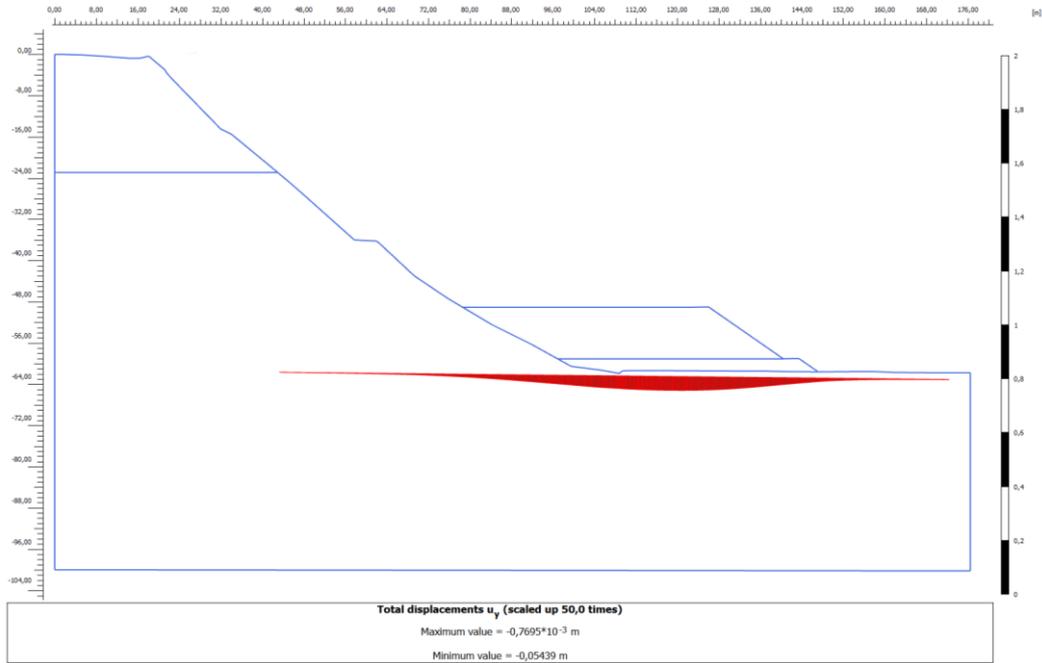


Figura 11-7 –Spostamenti verticali totali al piede del rilevato post Fase 1

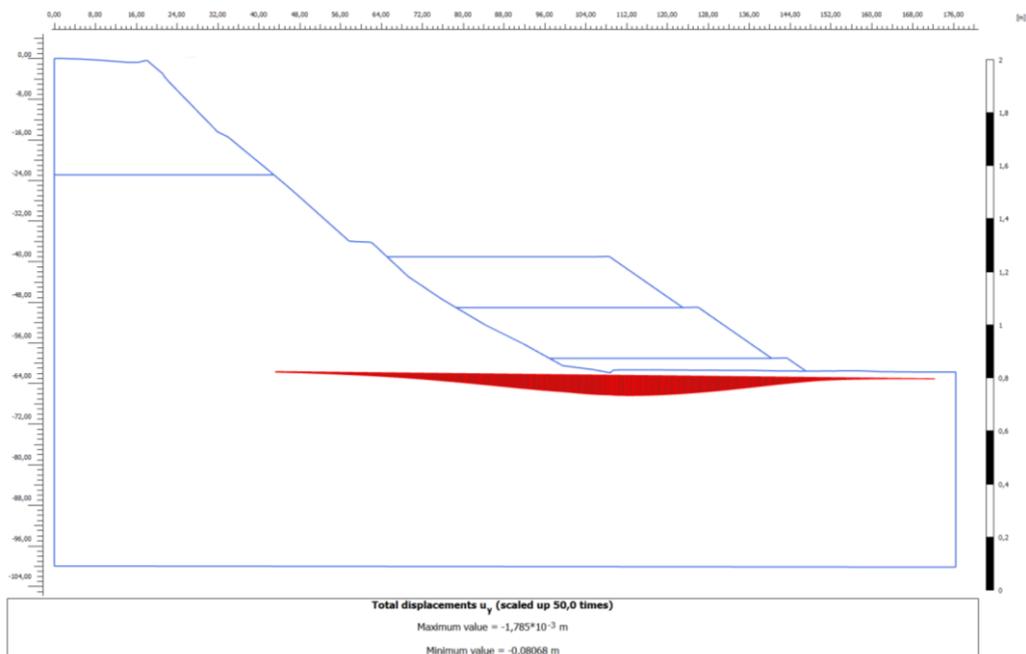


Figura 11-8 –Spostamenti verticali totali al piede del rilevato post Fase 2

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 43 di 45

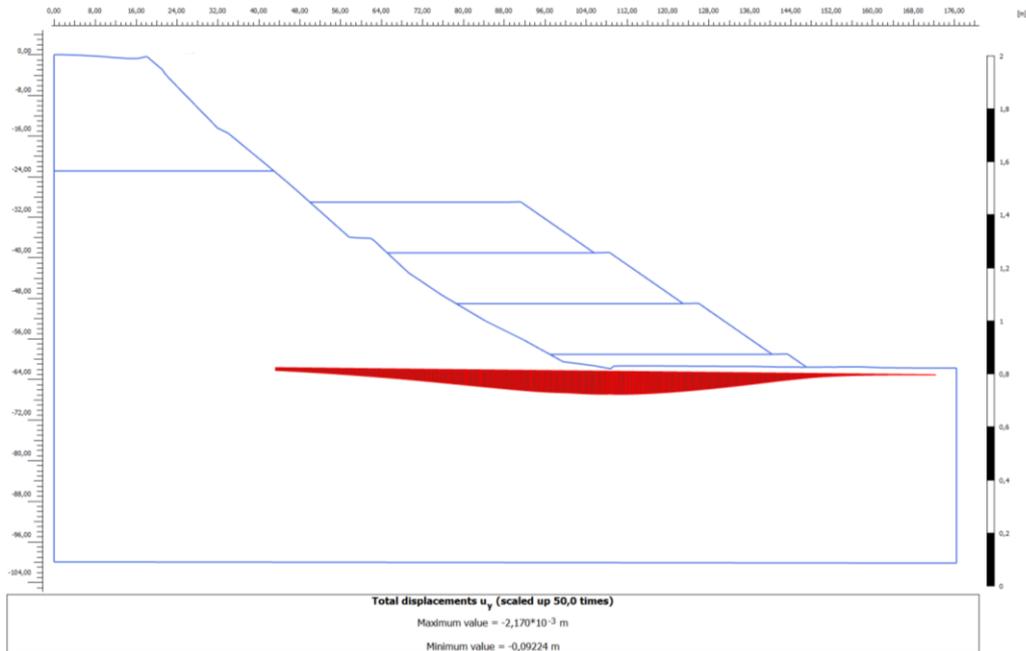


Figura 11-9 –Spostamenti verticali totali al piede del rilevato post Fase 3

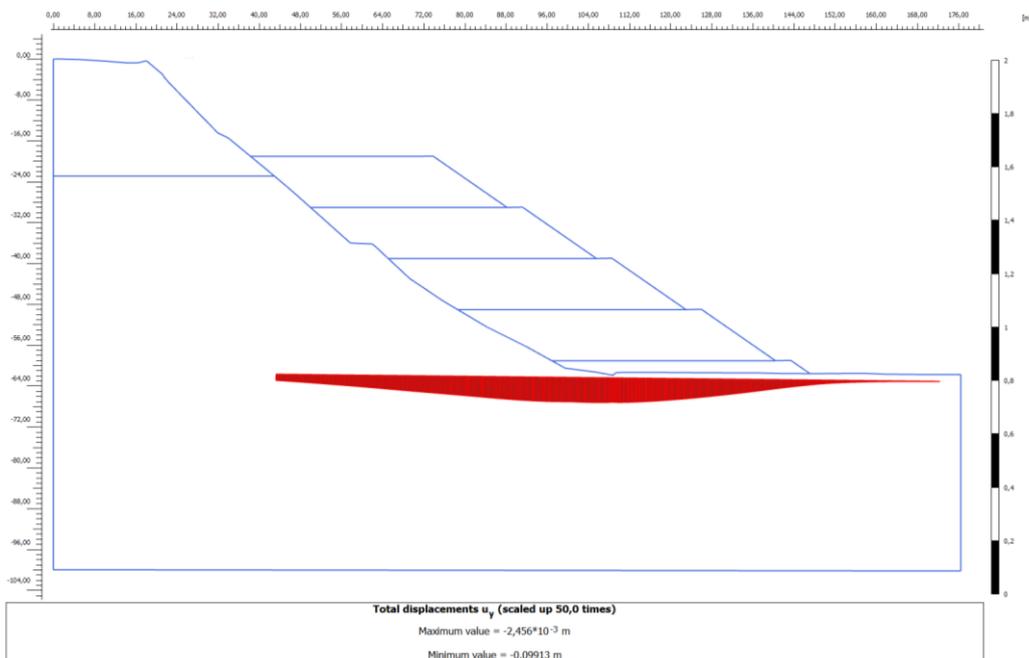


Figura 11-10 – Spostamenti verticali totali al piede del rilevato post Fase 4

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. M Ingegneria Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI0340002	REV. B	FOGLIO. 44 di 45

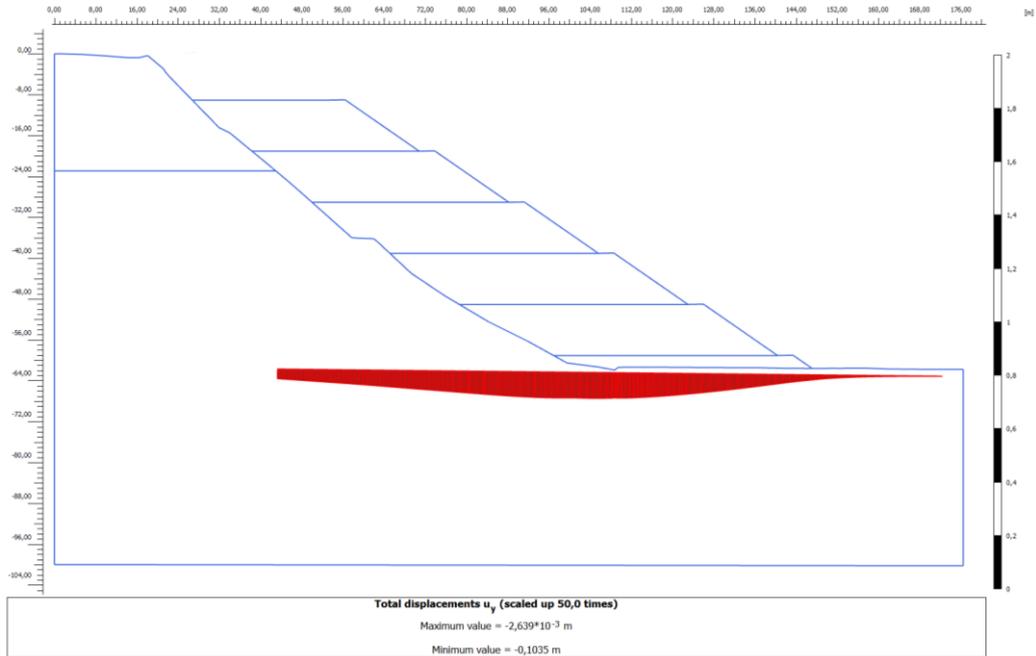


Figura 11-11 – Spostamenti verticali totali al piede del rilevato post Fase 5

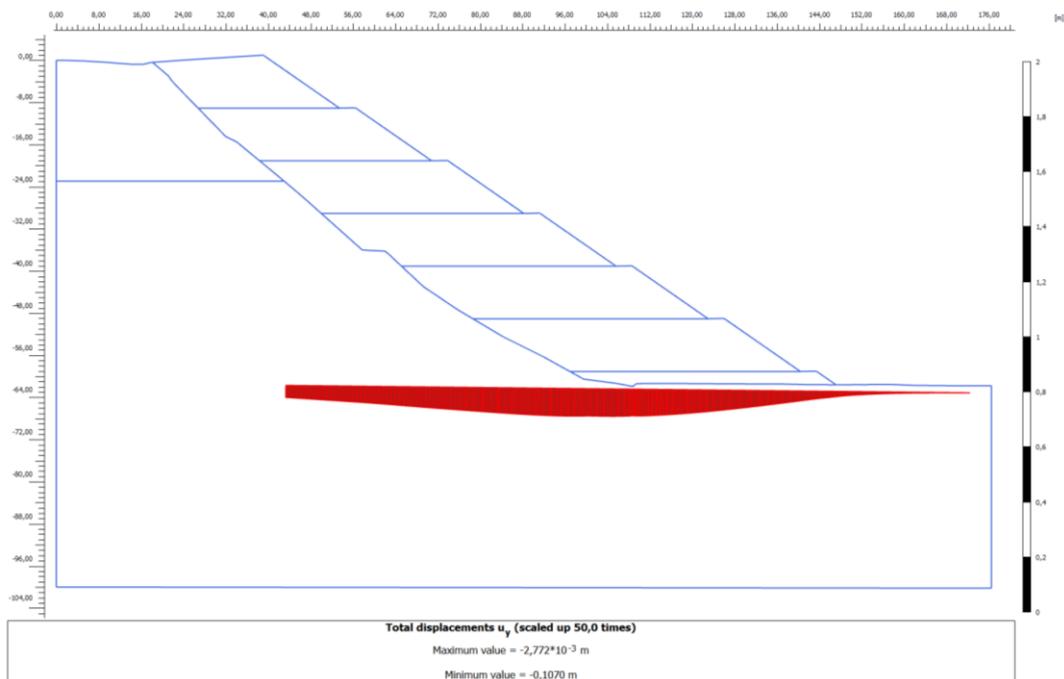


Figura 11-12 – Spostamenti verticali totali al piede del rilevato post Fase 6

Il cedimento massimo che si ottiene al piede del rilevato è di circa 10cm.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> <u>Mandanti:</u> SWS Engineering S.p.A. PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria							<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>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>RI0340002</td> <td>B</td> <td>45 di 45</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1BEZZ	CL	RI0340002	B	45 di 45													
11 - OPERE CIVILI Relazione di stabilità e cedimenti versante																		

12. ALLEGATI

Al fine di limitare la dimensione del file, gli allegati di seguito elencati non sono stati assemblati nel presente pdf, ma sono disponibili nello zip consegnato su PDM.

REPORT SLIDE2 DELLE SEZIONI DI CALCOLO